

자성유체를 이용한 점성댐퍼에서의 진동특성에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Vibration Characteristics in Viscous Damper using Magneticfluid

이 봉 규**, 전 운 학*, 황 승 식**, 이 회 상**, 김 중**
B. K. Lee, U. H. Chun, S. S. Hwang, H. S. Lee, J. Kim

ABSTRACT

The aim of this study is to provide fundamental informations for the development of magneticfluid damper. To achieve the aim, the damping effect of magneticfluid is investigated by experiments that the diameter of inner circular bar and the input amplitude vary in the magnetic field generated by the permanent magnet and the electromagnet. From the study, the following conclusive remarks can be made.

As the diameter of inner circular bar and the input amplitude increase, the damping effect is improved. And we can know that as the contact area between inner circular bar and magneticfluid increases, damping ratio is improved.

Also we consider the cases that there is magnetism generated by electromagnet and DC voltage is supplied to electromagnet from 10V to 50V by 10V. In these cases, the amplitude ratio decreases sharply from 1.8 to 1.0. And for these cases, the damping ratio is 0.745.

주요기술용어 : Magneticfluid(자성유체), Additional mass(부가질량), Damping ratio(감쇠비), Resonance Characteristics(공명특성), Spring-Mass System(스프링-질량계).

Nomenclature

B : 자속밀도(Gauss)
 ξ : 감쇠비
a : 입력진폭 (mm)
z : 출력진폭 (mm)
 ω : 가진진동수 (rad/s)
 ω_n : 고유진동수(rad/s)

1. 서 론

기계의 제진 문제는 그 기계가 가진 특성을 좌우하는 것으로 신뢰성, 안전성 나아가 인체에 주는 진동 장애와 소음 공해 등에 관한 주요 관심사이고 다양한 대책이 강구되어져 왔다. 이러한 진동에 대한 대책으로는 제진 장치 및 진동

* 정회원, 국민대학교 기계공학부

** 정회원, 국민대학교 대학원

절연기를 사용하거나 진동이 가해지는 시스템의 구조를 바꾸거나 동적 특성을 개선시키는 방법들이 있다.

제진 장치로서 가장 일반적으로 채택되어 사용되고 있는 것이 댐퍼이다. 댐퍼는 충돌하는 두 물체 사이에 끼워져서 적당한 저항력을 발휘하여 진동하고 있는 물체의 에너지를 흡수하는 방식으로 진동을 감쇠시켜 과도한 충격력을 방지하고 차량, 항공기, 일반기계, 구조물 등의 진동계에 부가되어 자유진동의 감소 및 방지, 강제진동의 진폭저감을 꾀하는 제진 장치이다.

댐퍼는 사용 형태에 따라 능동형과 수동형으로 구분되고 감쇠력에 따라 제동력으로 전자력을 사용하는 전자댐퍼와 고체마찰을 이용하는 마찰댐퍼 그리고 가장 널리 사용되는 유체의 점성 또는 동압저항의 감쇠력을 이용한 유체 점성댐퍼로 구분한다.

자성유체 댐퍼의 진동 특성에 대한 연구를 살펴보면 다음과 같다.

자성유체가 채워진 관에 비균일 수직 자장을 인가한 경우의 자성유체의 자화 특성¹⁾과 비균일 자장을 인가하면서 외부로부터 주어지는 자장을 변동시킨 경우의 자성유체의 자화 특성²⁾에 관한 이론 및 실험적 연구를 하였다.

가장 기본적인 스프링-질량 시스템의 진동 특성에서 균일 자장의 인가에 의한 자성유체 입자의 응집으로부터 발생하는 결보기 점도의 증가에 관한 이론 및 실험적 연구를 하였다.³⁾ 그리고 비균일 자장하에서 자성유체 입자의 응집의 역할에 관한 이론 및 실험적 연구를 하였다.⁴⁾

이러한 연구로부터 자성유체 점성댐퍼의 진동특성에 미치는 자장의 영향은 입자의 응집과 함께 복잡한 양상을 나타낼 것이 예상되고 또한 자성유체를 이용한 댐퍼의 진동특성을 인가 자장에 의해 여러 가지 조건에서 제어 가능한 것이 기대되고 있다. 하지만 자성유체 댐퍼의 진동 특성에 미치는 자장의 영향에 관한 상세한 검토는 아직 충분히 이루어지지 않았고 그 기본 특성을 더욱 검토할 필요가 있다.

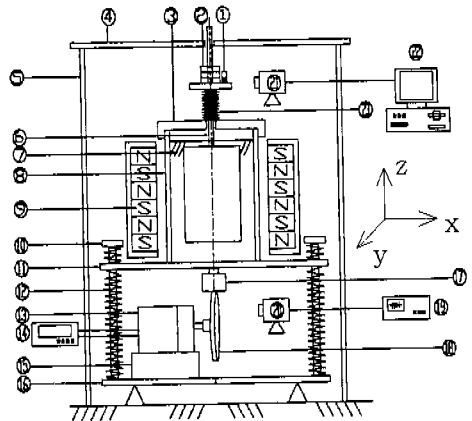
따라서 본 논문에서는 자성유체를 이용한 반능동형 댐퍼 개발의 기초 자료를 얻기 위하여 영구 자석 및 전자석을 사용하고 내부환봉의 직경을 변경하면서 입력 진폭에 변화를 주어 실험을 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1. 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도이다.

실험장치는 크게 스프링-질량 시스템과 자장 발생부, 출력진폭을 측정하는 계측부, 입력진폭을 인가하는 진동여자장치부로 나뉜다.



- | | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| 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 circular bar | 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

스프링-질량 시스템은 외부실린더, 내부환봉 그리고 스프링으로 구성되어 있다.

외부실린더의 외경은 29mm, 내경은 24mm이며, 내부환봉의 직경은 10, 14, 18 및 22mm로 제작하여 내부환봉 직경의 변화에 따른 진동감쇠 영향을 실험하고자 하였다.

스프링상수 66.4N/m 인 스프링을 사용하였다.

자장발생부는 자성유체에 자장을 인가하는 부분으로 영구 자석과 전자석로 나뉜다. 영구자석은 내부직경 33mm, 외부직경 60mm, 두께는 7.87mm으로 자기장의 세기가 3500Gs인 것을 사용하였다. 8개의 영구자석을 겹쳐서 스프링-질량 시스템의 외부실린더주위에 2mm의 간극을 두고 설치하였다.

전자석의 철심은 길이 200mm, 지름 20mm인 철봉으로 재질은 SMC45이며, 철심주위를 지름 1.5mm 니크롬선을 권선기로 2016회 감았다. 전자석의 길이는 200mm이며 니크롬선을 감은 지름은 72mm로 제작하였다. 전자석은 함수 발생기(function generator)에서 발생시킨 직류전압으로 자장을 인가하였다.

진동여자장치는 기반진동을 주기 위한 DC모터와 DC전원공급기, 캠, 진동수를 측정하기 위한 Tachometer 센서, Tachometer 디스플레이로 구성되어 있으며, 가진 진폭을 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm 및 2.5 mm로 가하기 위해 4종류의 캠을 설계하여 제작하였다.

계측부는 가우스미터, 카메라, 비전보드 그리고 측정판으로 구성된다. 실험에 사용된 영구자석과 전자석에서 발생하는 자장의 세기를 측정하기 위해서 가우스미터를 사용하였다. 비전보드는 삼성전자에서 제작한 MVB03 Vision Board Version 3.1을 사용하였으며 측정할 수 있는 변위는 0.1mm까지 측정할 수 있다.

측정된 출력진폭은 컴퓨터를 통해 모니터에 표시될 수 있도록 하였다.

2.2 실험방법

실험은 크게 영구자석을 이용하여 자성유체에 자장을 인가한 경우와 전자석을 이용하여 자장을 인가한 경우로 나누어 실험을 진행하였다. 본 실험에서 사용된 자성유체는 페러클로이드의 일종으로서 안정된 자화의 특성을 갖으며, water base 자성유체보다 사용가능온도범위가 넓은 (-20℃~120℃) HC-50(Kerosene base)을 사용하였다.

2.2.1 고유진동수 측정 실험

스프링-질량 시스템이 가지고 있는 고유진동수를 측정하기 위하여 작동유체를 사용하지 않고 가진진동수에 따른 진폭비를 측정하였다.

2.2.2 영구 자석에 의한 실험

자장을 인가하기 위해서 실험장치에서 소개한 영구자석을 사용하였으며, 실험진행시 내부환봉의 위치인 $x=10, y=0$ 의 위치에서 측정된 자속 밀도분포는 Fig. 2와 같다.

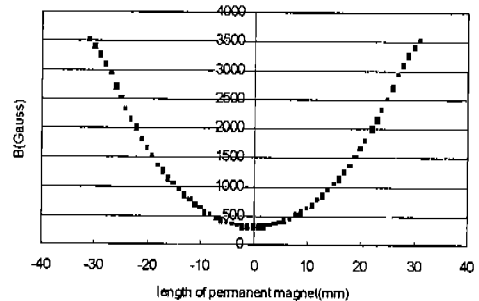


Fig. 2 Distribution of magnetic flux density ($x=10, y=0$)

실험방법은 자성유체 자신이 가지고 있는 진동감쇠효과와 자장이 인가 되었을때의 감쇠효과를 비교하기 위하여 각각의 주요변수에 대해서 자장을 인가한 경우와 인가하지 않은 경우로 나누어서 실험하였다.

첫째로, 자성유체 자체가 가지고 있는 진동감쇠효과를 측정하기 위해서 스프링-질량 시스템

의 내부환봉 직경 10mm, 14mm, 18mm 및 22mm 각각에 대하여 가진진동수에 따른 진폭비를 측정하였다. 입력진폭 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm 및 2.5mm 각각에 대하여 동일한 실험을 수행하였으며 가진진동수는 20.94~41.89rad/s 까지 2.1rad/s씩 변화를 주었다.

실험결과를 이용하여 각각의 실험변수에 따른 감쇠비 변화를 구하였다.

둘째로, 자장을 인가했을 경우의 진동감쇠효과를 측정하기 위해서 영구자석을 사용하였으며 첫째와 동일한 실험을 수행하였다.

실험결과를 이용하여 자장을 인가했을 경우의 각각의 실험변수에 따른 감쇠비변화를 구하였다.

2.2.3 전자석에 의한 실험방법

점성댐퍼의 작동유체로 자성유체의 제어가능성을 파악하기 위하여 실험장치에서 소개한 전자석에 함수발생기를 이용하여 자장을 인가하였다.

전자석에 의한 자장인가 실험에서는 자장실험에서 감쇠비가 가장 큰 내부환봉 직경 18mm, 입력진폭 2.5mm로 가진진동수를 8.4rad/s에서 41.9rad/s 까지 2.1rad/s 씩 증가시키면서 모든 실험을 진행하였다.

함수발생기에서 입력전압을 10V~50V 까지 10V씩 증가시키면서 가진진동수(ω)에 대한 진폭을 측정하였다.

Fig. 3, 4 및 5는 전자석의 입력전압에 따른 자속밀도분포를 나타낸 것이다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 자장이 감쇠에 미치는 영향

3.1.1 내부 환봉의 직경 변화에 따른 감쇠 효과

Fig. 6 (a)는 자성유체를 외부 실린더와 내부 환봉 사이에 채우고 자장이 인가된 상태에서 내부 환봉의 직경d를 10mm로 고정하고

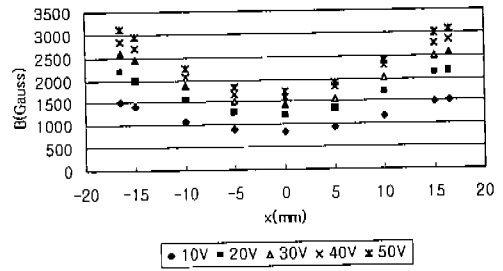


Fig. 3 Distribution of magnetic flux density in electromagnet (y=0mm, z=0mm, x-direction)

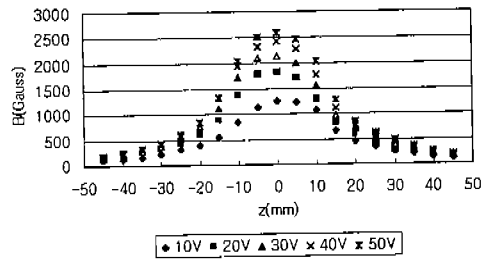


Fig. 4 Distribution of magnetic flux density in electromagnet (x=10mm, y=0mm, z-direction)

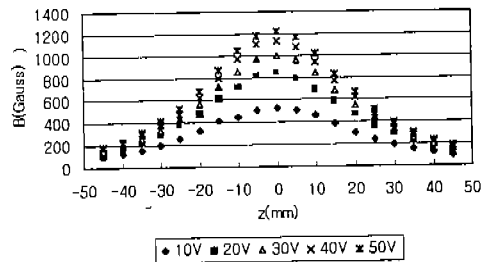


Fig. 5 Distribution of magnetic flux density in electromagnet (x=0mm, y=10mm, z-direction)

a를 1~2.5mm의 범위에서 0.5mm간격으로 변화시킬 때의 출력 진폭 z를 나타내었다.

시스템의 공진점은 자장을 인가하지 않은 경우와 같이 33.5rad/s 지점이고 공진점의 ω/ω_n 이 0.97이지만 자장을 인가하지 않은 경우보다 출력 진폭이 감소한 것을 알 수 있다. 이로부터 자장에 의해 점성 감쇠 효과가 커지고 있음을 예측할 수 있다.

진동수 응답 곡선 Fig. 6 (b)는 자성유체를

외부 실린더와 내부환봉 사이에 채우고 자장을 인가한 상태에서 내부환봉의 직경d를 10mm로 고정하고 입력 진폭 a를 1~2.5mm까지 0.5mm 간격으로 변화시킬 때의 입력 진폭에 대한 출력 진폭비 z/a를 나타내었고 입력 진폭이 커짐에 따라 입력 진폭에 대한 출력 진폭비가 작아지는 것을 알 수 있다. 이로부터 입력 진폭이 클수록 출력 진폭의 감쇠 정도가 커짐을 예측할 수 있다. 이는 입력 진폭이 증가하여 내부환봉과 자성유체가 마찰을 일으키는 면적이 커지면서 점성 감쇠 효과가 커지는 것과 동시에 자장이 인가되면서 자성유체의 입자가 응집하게되고 질량이 부가되는 것 같은 현상이 나타나기 때문이라고 생각된다.

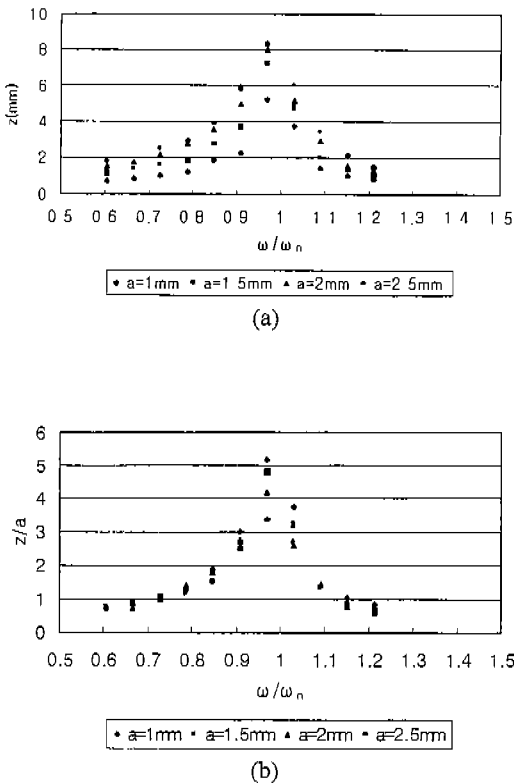


Fig. 6 Magneticfluid damping output amplitude and amplitude ratio with magneticfield using permanent magnet (d=10mm)

Fig. 7 (a)는 자성유체를 외부 실린더와 내부 환봉 사이에 채우고 자장이 인가된 상태에서 내부 환봉의 직경d를 14mm로 고정하고 입력 진폭 a를 1~2.5mm의 범위에서 0.5mm간격으로 변화시킬 때의 출력 진폭 z를 나타내었다. 입력 진폭이 커짐에 따라 출력 진폭도 커지는 것을 알 수 있다. 시스템의 공진점은 31.4rad/s 지점이고 공진점의 ω/ω_n 은 0.91이다. 자장을 인가한 상태의 내부환봉 직경이 10mm인 경우보다 출력 진폭이 감소한 것을 알 수 있다. 이로부터 자장에 의한 점성 감쇠 효과가 더 커지고 있음을 예측할 수 있다.

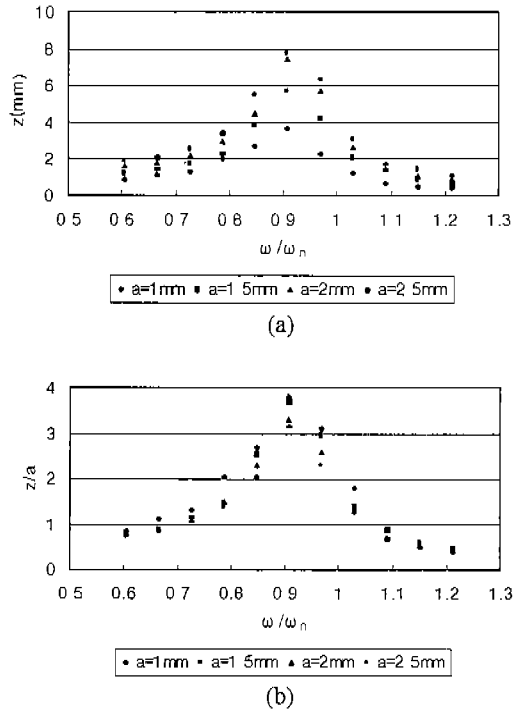


Fig. 7 magneticfluid damping output amplitude and amplitude ratio with magneticfield using permanent magnet (d=14mm)

진동수 응답 곡선 Fig. 7 (b)는 자성유체를 외부 실린더와 내부환봉 사이에 채우고 자장을 인가한 상태에서 내부환봉의 직경을 14mm로 고정하고 입력 진폭을 1~2.5mm까지 0.5mm간격

으로 변화시킬 때의 입력 진폭에 대한 출력 진폭 비 z/a 를 나타내었고 입력 진폭이 커짐에 따라 입력 진폭에 대한 출력 진폭비가 작아지는 것을 알 수 있다. 이로부터 입력 진폭이 클수록 출력 진폭의 감쇠 정도가 커짐을 예측할 수 있다.

Fig. 8 (a)는 자성유체를 외부 실린더와 내부 환봉 사이에 채우고 자장이 인가된 상태에서 내부 환봉의 직경 d 를 18mm로 고정하고 입력 진폭 a 를 1~2.5mm의 범위에서 0.5mm간격으로 변화시킬 때의 출력 진폭 z 를 나타내었다. 입력 진폭이 커짐에 따라 출력 진폭도 커지는 것을 알 수 있다. 시스템의 공진점은 27.2rad/s 지점이고 공진점의 ω/ω_n 은 0.73이다. 자장을 인가한 상태의 내부환봉 직경이 14mm인 경우보다 출력 진폭이 크게 감소한 것을 알 수 있다. 이로부터 자장에 의한 점성 감쇠 효과가 더 커지고 있음을 예측할 수 있다.

진동수 응답 곡선 Fig. 8 (b)는 자성유체를 외부 실린더와 내부환봉 사이에 채우고 자장을 인가한 상태에서 내부환봉의 직경을 18mm로 고정하고 입력 진폭을 1~2.5mm까지 0.5mm간격으로 변화시킬 때의 입력 진폭에 대한 출력 진폭 비 z/a 를 나타내었고 입력 진폭이 커짐에 따라 입력 진폭에 대한 출력 진폭비가 작아지는 것을 알 수 있다.

이상의 결과를 비교해보면 외부 실린더의 내경(24mm)에 대한 내부환봉의 직경의 비가 0.75 이하인 범위에서는 입력 진폭이 커질수록 출력 진폭이 커지는 경향을 보이고 있고 내부환봉 직경이 클수록 출력 진폭은 작아지고 있다. 또한 입력 진폭이 커지고 내부환봉 직경이 클수록 출력 진폭이 작아지고 입력 진폭에 대한 출력 진폭비도 감소하고 있다.

3.2 자장이 감쇠비에 미치는 영향

자장을 인가하지 않은 상태에서 입력 진폭을 2.5mm로 고정시켰을 경우 내부환봉 직경이 10mm와 14mm일 때는 감쇠비가 0.243으로 차

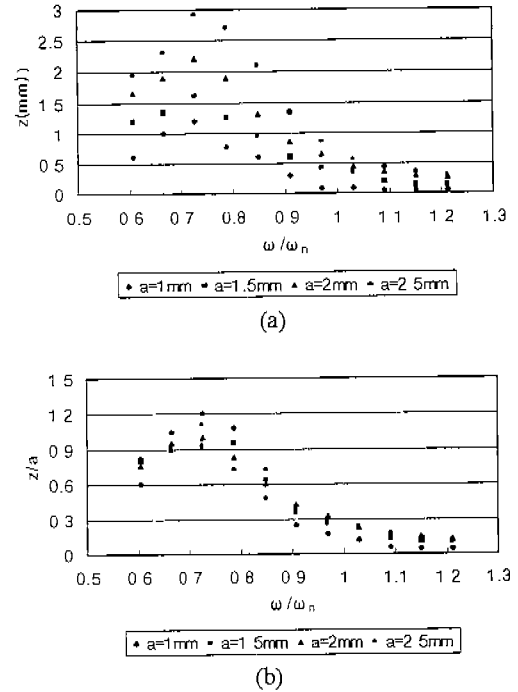


Fig. 8 Magneticfluid damping output amplitude and amplitude ratio with magneticfield using permanent magnet ($d=18\text{mm}$)

이가 나타나지 않았다. 하지만 내부환봉의 직경이 18mm일 때 감쇠비가 0.527로 가장 크게 나타난다.

자장을 인가한 상태에서 입력 진폭을 2.5mm로 고정시켰을 경우 내부환봉 직경이 10mm, 14mm, 18mm일 때 각각의 감쇠비가 0.243, 0.341 및 0.683으로 차이가 분명하게 나타나고 있다. 내부환봉 직경이 18mm일 때 감쇠비가 0.683으로 가장 크게 나타난다.

이는 자장이 인가되면서 자성유체 입자가 응집하여 질량이 부가되는 것 같은 현상이 나타나기 때문이라고 생각한다.

3.3 전자석 입력전압에 의한 감쇠영향

점성댐퍼의 작동유체로 자성유체의 적용 가능성 및 제어 가능성을 알아보기 위해 전자석의

입력전압에 따른 진동특성을 실험하였다.

전자석실험에서는 영구자석실험에서 감쇠비가 가장 큰 내부환봉직경 18mm, 입력진폭 2.5m m을 이용하였으며 가진진동수(8.4~41.9rad/s)에 대한 출력진폭을 측정하여 가진진동수(ω)와 고유진동수(ω_n)의 비(ω/ω_n)와 입력진폭(a)과 출력진폭(z)의 비인 진폭비(z/a)로 진동응답곡선을 나타내었다.

입력전압은 직류전압으로 10V~50V까지 10V씩 변화를 주었으며 자장을 인가하지 않았을 때의 진폭보다 자장을 인가하였을 때의 진폭이 작은 영역을 제어가능영역으로 나타내었다.

Fig. 9는 전자석에 10V의 전압을 입력한 진동수응답곡선과 자장을 인가하지 않은 경우의 진동수응답곡선을 비교하여 나타낸 것이다.

공진현상이 일어나는 진동수영역에서는 자장을 인가하지 않은 경우의 진폭비 1.56보다 12.8%가 증가한 1.76으로 나타났다. 한편, 공진진동수는 자장을 인가하지 않았을 경우인 진동수비 0.84 보다 작은 0.78에서 공진현상이 나타났다. 이는 자장인가에 따른 자성유체입자의 응집이 점성력의 증가보다는 부가질량의 효과로 나타난 것으로 생각된다.

10V입력시 자장을 인가하여 제어가능한 진동수비 영역은 0.78(27.23rad/s)~1.21(41.9rad/s)로 나타났다. 10V입력시의 감쇠비(ξ)는 자장을 인가하지 않은 경우의 0.529보다 증가한 0.686이다.

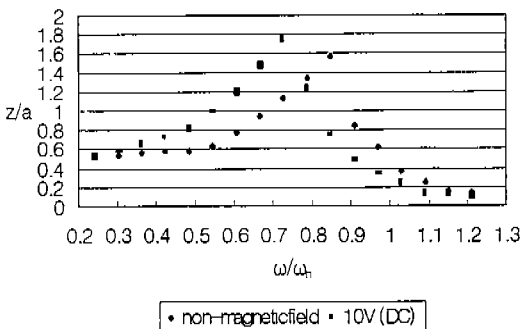


Fig. 9 Amplitude ratio to frequency ratio (DC 10V)

Fig 10은 전자석에 20V의 전압을 입력한 진동응답곡선과 자장을 인가하지 않은 경우의 진동응답곡선을 비교하여 나타낸 것이다.

20V입력시 공진이 일어나는 진동수비가 10V를 입력했을때보다 작은 0.67에서 나타난 것으로 보아 10V를 입력했을 때 보다 자성유체입자의 응집현상이 두드러져 부가질량의 효과로 나타난 것으로 생각된다.

20V입력시 진동수비 0.72이하에서는 진동감쇠효과가 없었으며 진동수비 0.78이상의 진동수에 대해서는 모두 진동감쇠현상을 나타냈다.

따라서 20V입력시 자장을 인가하여 제어가능한 진동수비영역은 10V를 입력한 경우와 같은 0.78(27.23rad/s)~1.21(41.9rad/s)로 나타났으며 진폭비는 10V입력한 경우보다 더욱 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

20V입력시의 감쇠비는 10V입력시의 감쇠비 0.686보다 증가한 0.745 이다.

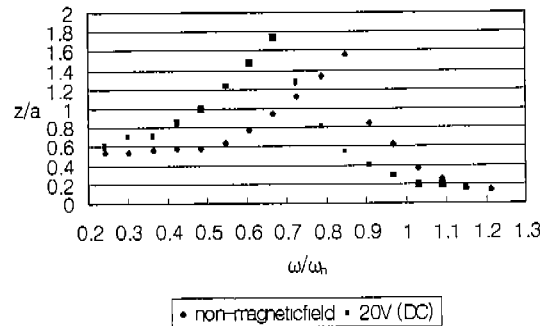


Fig. 10 Amplitude ratio to frequency ratio (DC 20V)

Fig. 11은 전자석에 30V의 전압을 입력한 진동응답곡선과 자장을 인가하지 않은 경우의 진동응답곡선을 비교하여 나타낸 것이다.

30V입력시 공진이 일어나는 진동수비가 20V를 입력했을때와 같은 0.67에서 일어났으며 공진진동수에서의 진폭비는 20V를 입력한 경우보다 12.6%가 감소하고, 자장을 인가하지 않은 경우보다 2.6%가 감소한 1.52로 나타났다.

따라서 30V입력시 자장을 인가하여 제어 가능한 진동수비영역은 0.72(25.13rad/s)~1.09(37

.70rad/s)로 나타났으며 진폭비를 더 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

30V 입력시의 감쇠비(ξ)는 20V를 입력한 경우와 같은 0.745 이다.

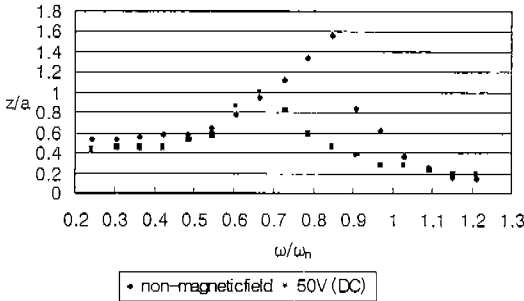


Fig. 11 Amplitude ratio to frequency ratio (DC 30V)

Fig. 12는 전자석에 40V의 전압을 입력한 진동 응답곡선과 자장을 인가하지 않은 경우의 진동 응답곡선을 비교하여 나타낸 것이다. 40V 입력시 공진이 일어나는 진동수비(ω/ω_n)가 20V 및 30V를 입력했을 때와 같은 0.67에서 일어났으며 공진 진동수에서의 진폭비는 30V를 입력한 경우 보다는 19.7% 감소하고, 자장을 인가하지 않은 경우 보다는 21.8%가 감소한 1.22로 나타났다.

따라서 40V 입력시 자장을 인가하여 제어 가능한 진동수비영역은 0.72(25.13rad/s)~1.09(37.70rad/s)로 나타났으며 진폭비는 더 감소시킬 수 있었다.

40V 입력시의 감쇠비(ξ)는 20V 및 30V를 입력한 경우와 같은 0.745이다

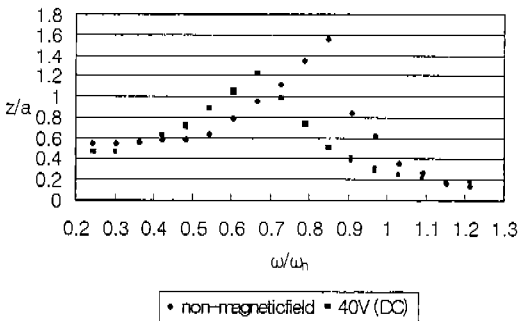


Fig. 12 Amplitude ratio to frequency ratio (DC 40V)

Fig. 13은 전자석에 50V의 전압을 입력한 진동 응답곡선과 자장을 인가하지 않은 경우의 진동 응답곡선을 비교하여 나타낸 것이다. 공진이 일어나는 진동수비(ω/ω_n)가 20V, 30V 및 40V를 입력했을 때와 같은 0.67에서 일어났으며 공진 진동수에서의 진폭비는 40V를 입력한 경우 보다는 18%가 감소하고, 자장을 인가하지 않은 경우 보다는 35.9%가 감소한 1.0으로 나타났다. 50V 입력시 자장을 인가하여 제어 가능한 진동수비영역은 0.72(25.13rad/s)~1.03(35.6rad/s)로 나타났으며 진폭비는 더 감소시킬 수 있었다

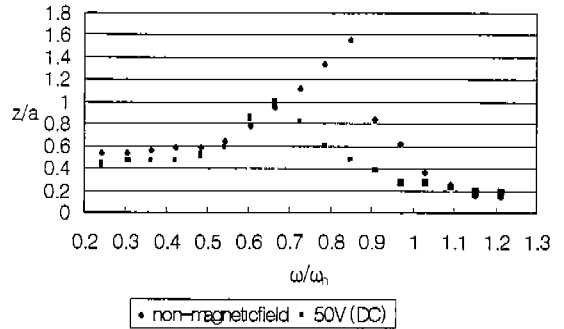


Fig. 13 Amplitude ratio to frequency ratio (DC 50V)

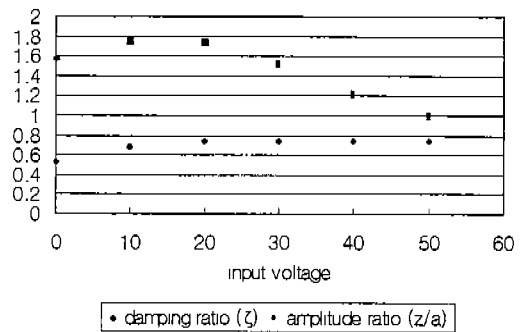


Fig. 14 Damping ratio and amplitude ratio due to input voltage

Fig. 14는 각각의 입력전압에서의 진폭비와 감쇠비를 비교하여 나타낸 것이다.

전자석의 입력전압을 변화시켜 자장을 인가한 결과 입력전압을 크게 할수록 감쇠비가 증가하는 10V, 20V의 입력전압에서는 자장의 인가에

의한 자성유체입자의 응집이 부가질량의 효과를 나타냈다. 감쇠비가 0.7454로 일정한 그 이상의 전압인 30V, 40V 및 50V에서는 자성유체입자의 응집이 점성력의 증가로 진폭비를 감소시키는 것으로 나타났으며 전자석 입력전압이 증가할수록 진폭비의 감소는 현저하게 나타났고 공진진동수비는 0.67의 일정한 값을 나타냈다.

4. 결론

본 연구는 자성유체를 이용한 점성댐퍼에 관한 연구로서 자성유체를 작동 유체로 사용한 기반의 조화 운동을 수반하는 진동계에 자장을 인가하여 자장이 감쇠에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험적 고찰을 하였다. 댐퍼의 내부환봉 직경과 입력되는 진폭을 변화시키면서 영구 자석과 전자석에 의해 자장을 인가하여 출력되는 진폭과 입력 진폭에 대한 출력 진폭비를 구하는 실험을 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 스프링-질량 시스템의 고유진동수는 34.54rad/s이고, 자성유체를 삽입한 경우의 공진진동수비는 내부환봉의 직경이 10mm 그리고 14mm일 경우에는 0.97이고 내부환봉의 직경이 18mm일 경우에는 0.85이며 내부환봉의 직경이 18mm일 때 감쇠비가 가장 크고 자성유체에 자장을 인가한 경우의 공진진동수비는 내부환봉의 직경이 10mm 그리고 14mm일 경우에는 0.97이고 내부환봉의 직경이 18mm일 경우에는 0.73이며 내부환봉의 직경이 18mm일 때 감쇠비가 가장 크고 전자석 전압을 인가한 경우에는 약 0.67의 일정한 값을 갖는다.

(2) 자장을 인가하지 않은 자성유체의 감쇠효과는 가진진폭이 클수록, 외부실린더의 내경(24mm)과 내부환봉의 직경(18mm)비가 0.75가 될 때까지 증가하였으며, 자성유체가 없는 경우보다 진폭비는 약 63%감소하였다.

(3) 자성유체에 자장을 인가한 경우 가진진폭이 클수록, 외부 실린더의 내경에 대한 내부환봉의 직경비가 0.75가 될 때까지 감쇠효과가 증가하였으며, 직경비가 0.75일 때의 감쇠비는 자성유체가 없는 경우보다 최대 77%의 감소효과를 보였으며, 이는 자성유체의 감쇠에 자장의 감쇠가 첨가된 때문이다.

(4) 자성유체에 전기자장을 인가한 경우 인가 전압이 30, 40 및 50V 일 때 각각 자장을 인가하지 않은 경우보다 공진진동수에서 진폭비는 12.6%, 21.8% 및 35.9%를 감소하고 진폭비감소제어가 가능 진동수비 영역은 약 0.72~1.09이다.

참 고 문 헌

1. Schwab-Stierstsadt,
性流體のベナール對流に及ぼす磁場の影響について實驗的研究, 4th ICMF, 1986.
2. Popplewell-Qenale,
磁性流體の熱傳導率の測定に關する研究, 4th ICMF, 1986.
3. 島田邦雄, 神山新一, 日本機械學會論文集, 4111~4115, 57, 544, 1991.
4. 島田邦雄, 神山新一, 日本機械學會論文集, 3493~3497, 59, 567, 1993.