

미세 진동 흡수를 위한 가변형 댐퍼

김기덕, 심원철, 전도영, 최범규
서강대학교 공과대학 기계공학과

The controllable damper for micro vibration suppression

Ki-Duck Kim, Won-Chul Sim, Do-Young Jeon, Bum-Kyoo Choi
Department of Mechanical Engineering, Sogang University, Seoul 121-742, Korea

Abstract - The vibration and impact hinders the movement of micro dynamic system. The controllable micro damper is a solution for this problem. In this paper, the controllable micro damper for MR(Magneto - Rheological) Fluid is designed and fabricated using bulk micro-machining process and organic bonding technique. The damping constant of micro MR damper changes according to input magnetic field. The response of the micro MR damper is measured and the experimental results are compared.

1. 서 론

최근의 MEMS 가공 공정을 이용한 마이크로 장치들이 많이 개발되고 있으며 그 실용성도 부각되고 있다. 이러한 장치는 대부분 액츄에이터와 센서로 마이크로 터빈, 펌프, 가속도 센서, 압력 센서 그리고 밸브등이 주종을 이루고 있다. 대부분의 장치는 마이크로에서의 동력원으로 작용하는 장치로 외부의 힘에 의해 진동이나 충격을 받을 수 있고 장치가 파괴될 수도 있다. 미세 진동이나 충격을 흡수하기 위해서 댐퍼가 필요한데 현존하는 댐퍼는 이와 같은 미세 진동이나 충격을 흡수하거나 감소시킬 수 없는 실정이다. 단지 마이크로 평판 구조물의 점성 댐핑에 대한 모델과 점성에 대한 에너지 손실을 연구하고 있다[1].

일반적으로 매크로 댐퍼는 수동형, 능동형과 반능동형으로 분류되는데 수동형 댐퍼는 고정된 댐퍼를 가진 시스템으로써 외부 힘의 특성에 따라 이상적인 성능을 가질 수 없다. 능동형 댐퍼는 마이크로 장치와 진동원 사이에 유압이나 공압과 같은 작동기를 장착하여 진동을 제어하여 성능 면에서는 혁신적인 향상이 있으나, 외부로부터 에너지 공급이 있어야 하므로 액츄에이터를 필요로 한다. 반능동형 댐퍼는 지능형 물질(Smart materials)이라고 불리는 전기유변(Electro Rheological) 및 자기유변(Magneto Rheological) 유체를 이용한 전자 제어 방식의 연속 가변 댐퍼가 있으며 제어 가능 유체인 전기유변과 자기유변유체는 각각 전기장과 자기장에 의해서 항복 응력의 크기를 변화시키는 특성을 가지고 있다[2]. 본 연구에서는 외부의 힘에 따라 적합한 성능을 가지기 위해 자기유변유체를 사용한 반능동형 댐퍼를 설계하고 제작한다.

2. 본 론

2.1 자기유변유체와 자기유변 가변형 댐퍼

2.1.1 자기유변유체의 특성

자기유변유체란 자기 극성을 띠는 마이크로단위 크기의 입자로 채워진 오일로서 이 유체는 작용하는 장이 없을 때에는 뉴턴(Newtonian) 유체의 특징을 보이며 장이 작용할 때는 항복응력이 증가하는 빙햄(Bingham)

유체의 특성을 나타낸다. 빙햄 유체라는 것은 다음의 식(1)과 같이 점성 μ 와 전단응력변형률인 $\dot{\gamma}$ 에 의해 생기는 응력과 어떤 자기장에 대한 함수 형태로 나타나는 응력으로 표현된다.

$$\tau = \tau(H) + \mu \dot{\gamma} \tag{1}$$

이러한 빙햄 유체의 특성을 그래프로 나타내면 Fig. 1과 같은데 기울기는 점성 μ 가 되고 자기장의 세기 H가 증가함에 따라 $\tau(H)$ 는 증가된다.

자기유변유체에 자기장이 작용하지 않을 경우에 Fig. 2(a)와 같이 자기유변유체는 등방성의 물리적 현상을 가지게 되나 자기장이 작용하여 유체에 N극과 S극이 존재할 때(Fig. 2 (b)) 자기유변유체는 자기 극성을 가지게 되어 각각의 입자들이 쇠사슬 형태로 나열되며 작용하는 자기장의 세기가 강할수록 더욱 강한 힘으로 서로를 붙잡게 된다. 결국 자기장의 세기가 강할수록 이 사슬을 부수기 위한 힘인 항복응력이 증가하게 된다.

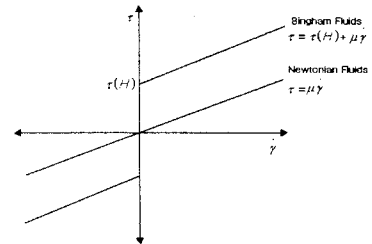


Fig.1 The property of Bingham fluids

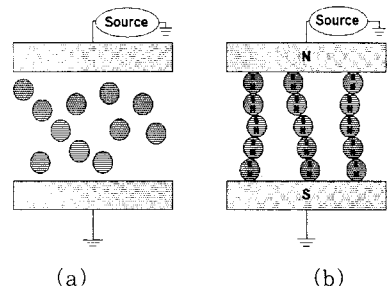


Fig.2 The behavior of MR fluids
(a) No magnetic fields applied
(b) Magnetic fields applied

자기유변유체는 변화하는 장에 대한 반응속도가 빠른 특징이 있는데 대략적으로 자기장 변화에 대한 응답 시간이 수 msec로 알려져 있기 때문에 실시간 제어가 가능하며 기계 시스템과 전자제어 상호간의 융합이 용이하다. 또한 생산 및 장치의 동작 시에 첨가될 수 있는 불순물의 영향이 없고 독성이 없어 어느 환경에서나 안전

하여 모든 장치의 구성요소로 충분하다. 자기유변유체는 자기장을 띠는 탄소강 입자, 실리콘 오일, 강, 니켈 그리고 코발트로 구성되며 항복응력은 대략 50-100 kPa ($0.15 \sim 0.25 A/\mu m$)이고 작동온도는 $-40^{\circ}C$ 에서 $150^{\circ}C$ 정도이다. 일반적으로 자기장이 없는 상온에서 자기유변유체의 점성은 0.2-0.3Pas이고 비중은 $3-4 g/cm^3$ 정도이며 색깔은 검갈색이나 회색을 띤다[3].

2.1.2 자기유변 가변형 댐퍼

본 연구에서는 자기유변댐퍼의 구조를 Fig.3과 같이 설계하였다. 웨이퍼 4개를 접합하여 구성된 마이크로 가변형 댐퍼의 단면적은 $7.2mm \times 2.1mm$ 이며 폭은 2.1mm를 가진다. 마이크로 가변형 댐퍼 1의 membrane이 스프링의 역할을 해주며 자기유변유체가 댐퍼의 역할을 한다. 마이크로 가변형 댐퍼의 댐핑효과는 웨이퍼 1과 2의 면적 차이의 의한 오리피스소로 인하여 극대화된다. membrane의 움직임에 의해서 댐퍼 내부 부피 변화가 일어나게 되는데 이러한 부피변화에 의한 압력 손실을 줄이기 위하여 댐퍼 하부(웨이퍼 4)에는 유연한 다이어프램이 있다. 그리고 자기유변유체를 댐퍼 안에 채우기 위해 2에 유로를 제작하고 코일을 감기 위한 둔덕을 1과 4에 제작하였다. 코일에 전류를 가하면 자기장의 세기가 변화하여 자기유변유체의 점성계수가 변한다. 그로 인해 댐퍼의 전단력을 변화하여 댐퍼의 댐핑력을 작용하는 힘에 따라 변화시킬 수 있는 가변형 댐퍼의 역할(Fig.4)을 한다.

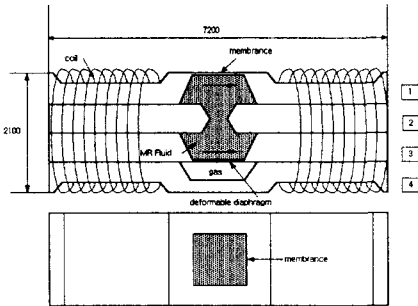


Fig.3 The controllable micro damper

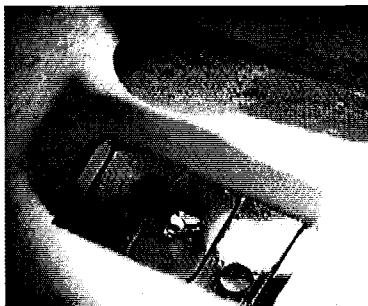


Fig.4 Microscope picture of the fabricated controllable micro damper

2.2 제작공정

본 논문의 마이크로 가변형 댐퍼의 제작에 사용되는 웨이퍼는 n-type(100)이며 크기는 4-inch, 두께는 $525\mu m$ 로서 제작 공정은 크게 부피 미소 가공 공정과 접합 기술로 나눌 수 있다.

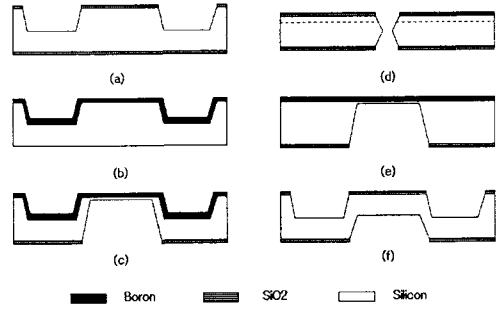


Fig.5 Fabrication process for the controllable micro damper

먼저 부피 미소 가공은 웨이퍼 4개를 가공하는 것으로 Fig.5와 같다. (a)-(c)는 1, (d)는 2, (e)는 3 그리고 (f)는 4를 만들기 위한 공정으로 1, 2와 4는 양면 식각하고 3은 한 면만 식각한다. 1을 제작하기 위해 실리콘 웨이퍼를 $1100^{\circ}C$ 에서 5000A 산화막을 형성하고 둔덕부분을 $200\mu m$ 식각한다. 그리고 확산깊이 $3\mu m$, 농도 $6 \sim 7 \times 10^{19} / cm^3$ 로 p^+ 도핑을 한 후 반대쪽에서 $525\mu m$ EDP 식각하여 membrane을 형성한다. 2는 (d)공정을 통하여 미세유로와 오리피스를 만들며 3은 1과 같은 방법으로, 4는 (f) 공정을 통하여 EDP 식각하여 다이어프램을 형성시킨다. 이렇게 만든 4개의 웨이퍼 판을 Fig.3과 같은 순서로 예폭시로 접합한 후 주사기를 사용하여 유로에 자기유변유체를 삽입시켜 봉합한다. 또한 p^+ 막 대신에 silicon rubber막을 코팅하여 마이크로 가변형 댐퍼를 제작하였다.

2.3 실험장치 및 실험결과

2.3.1 실험장치

마이크로 가변형 댐퍼를 이용하여 실험장치를 Fig.6과 같이 구성하고 실험을 수행하였다.

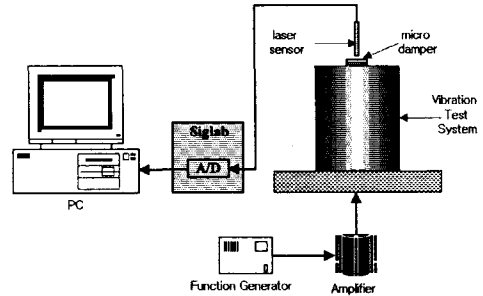


Fig.6 Experimental setup

합수 발생기로 사인 형태의 가진 입력을 증폭기에 연결하여 가진기를 $0.1Hz$ 에서 $1400Hz$ 까지 가진시킨다. 마이크로 가변형 댐퍼를 가진기에 부착시키고 댐퍼의 membrane의 변위를 레이저 변위 센서로 측정하여 컴퓨터 인터페이스 카드(Siglab)로 보내어진다. 이 신호를 시간에 대한 변화와 주파수에 대한 응답으로 연산하여 결과를 비교하고 분석한다.

2.3.2 실험결과

센서의 신호는 변위에 대해 전압의 변화로 나타나며 본 논문에서의 그래프들은 $2Hz$ 에서의 변위에 대한 전압을 기준으로 하여 분석한다. 즉 각 주파수에 전압 출력값을 $2Hz$ 의 전압 출력값으로 나누어서 그래프로 나타낸다.

가진기로 웨이퍼 판을 가진 하는 경우와 silicon rubber막을 도핑한 마이크로 가변형 댐퍼를 가진 하는 경우의 진동 특성을 Fig.7에 비교하였다.

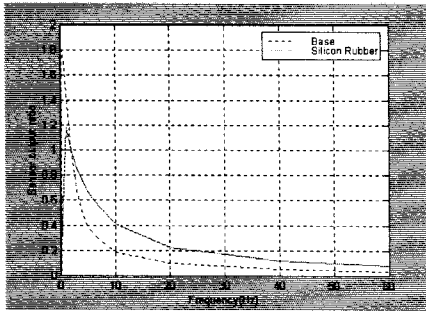


Fig.7 Vibration comparison of base and silicon rubber

실험결과 silicon rubber 막의 경우에 저주파수 구간에서 진동이 감소되는 것을 볼 수 있으며 이것은 silicon rubber 막의 경우가 웨이퍼 판의 경우보다 유연하기 때문에 나타나는 현상이다.

p^+ 을 도핑시킨 마이크로 가변형 댐퍼를 자기장이 작용하는 경우와 자기장이 작용하지 않는 경우에 대한 진동 특성을 Fig.8에 나타내었다.

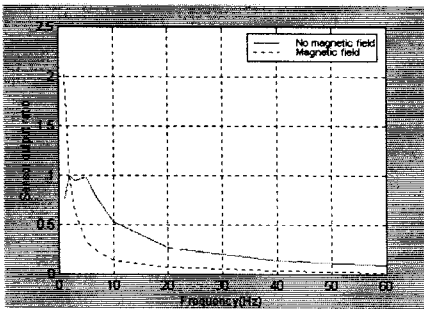


Fig.8 Comparison of no magnetic fields applied and magnetic fields applied

Fig.8에서 보는 바와 같이 저주파수 구간에서 자기장이 작용하는 경우가 자기장이 작용하지 않는 경우보다 큰 진동을 나타내지만 그 이상의 주파수 구간에서는 진동이 감소되는 것을 알 수 있다. 자기장이 작용하는 경우에 자기유변유체의 점성계수는 증가하여 댐핑계수가 커지는 현상이 나타나야 하는데 Fig.8의 그래프를 보면 댐핑계수의 증가보다 스프링과 같은 강성이 훨씬 크게 증가되는 현상을 보이고 있다. 이것은 자기유변유체가 매크로에서도 자기장이 작용하는 경우 강성이 증가하는 현상을 나타내는데, 마이크로에서 강성의 증가가 훨씬 크게 작용하는 것으로 보인다.

3. 결 론

본 논문에서는 마이크로 구조물의 미세 진동이나 충격으로 인해 마이크로 장치의 움직임을 방해하거나 파괴하는 현상을 감소시키는 마이크로 가변형 댐퍼를 설계하고 제작하였다. 마이크로 가변형 댐퍼는 membrane과 오피퍼스를 갖는 구조로 설계되었고 부피 미소 가공 공정과 접합 기술을 사용하여 마이크로 가변형 댐퍼를 제작할 수 있었으며 그 댐퍼의 유로를 통하여 유체를 삽입할 수 있었다.

membrane으로 p^+ 와 silicon rubber를 사용하였는데 실험에서 보는 바와 같이 membrane에 의해 진동이 감쇄되는 것을 볼 수 있었다. 또한 마이크로 가변형 댐퍼안에 자기유변유체를 채우고 자기장이 작용하는 경우와 작용하지 않는 경우의 진동 특성을 보면 자기장이 작용하는 경우에는 고주파수에서 진동 감소가 나타났고 자기장이 작용하지 않을 경우에는 저주파수에서 진동 감소 현상을 보였다. 그러므로 외부 진동의 주파수를 판단하여 그에 적합한 자기장을 작용하면 마이크로 장치의 진동을 감쇄시킬 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국 학술진흥재단 대학 부설 연구소 과제 연구비에 의하여 연구되었으며 실험을 위해 아주대학교 실리콘 반도체 실험 장비를 사용하게 해주심을 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Young-Ho Cho, Albert P.Pisano, and Roger T.Howe, "Viscous Damping Model for Laterally Oscillation - Microstructures", Journal of Microelectromechanical System, vol.3, 81-87, 1994
- [2] Keith D.Weiss, Theodore G.Duclos, J.David Carlson, Michael J.Chrzan, and Anthony J.Margida, "High Strength Magneto-and Electro-rheological Fluids", SAE Technical paper series, 932451
- [3] Cl.Kormann, H.M.Laun, H.J.Richer "MR Fluids with nano-magnetic particles", International Journal of Modern Physics B, vol.10, 3167-3172, 1996