

Magnetic Reactive Particle 코팅 및 인가전류에 따른 Magnetorheological Elastomer 의 전단계수 측정

Experimental Evaluation on Shear Modulus of MRE due to MRP Coating and Induced Current

오재응† · 정운창‡ · 김진수* · 윤정민* · 노정준*

Jae-Eung Oh, Un-Chang Jeong, Jin-Su Kim, Jung-Min Yoon and Jeong-Joon Roh

Key Words : Magneto-rheological Elastomer(MR 엘라스토머), Magnetic Reactive Particle(자기 반응성 입자), Shear Modulus(전단계수), Carboynyl Iron Powder(금속분말)

Abstract

MRE(Magneto-rheological Elastomer) is a material which shows reversible and various modulus in magnetic field. Comparing to conventional rubber vibration isolator, MREs are able to absorb broader frequency range of vibration. These characteristic phenomena result from the orientation of magnetic particle (i.e., chain-like formation). Magnetic reactive powder(MRP), having rapid magnetic reaction, was selected as a magnetic particle to give magnetic field reactive modulus. The mechanical properties of manufactured MREs were measured with the application of magnetic field. The analysis of MR effect was carried out by FFT analyzer with various induced current. As induced magnetic field intensity increased and coated with MRP, increment of MR effect was observed.

기 호 설 명

k_r : 전단방향의 강성

f_n : Oscillator 의 고유진동수

G_{MRE} : MRE 의 Shear Modulus

m : Oscillator 의 질량

h : 시편의 두께

μ_0 : 공기의 투자율

ε : 변형률

1. 서 론

MR 재료는 기본 매트릭스에 MRP(Magnetic Reactive Particle) 등을 첨가하여 물성이 인가 자기장 세기에 의해 증가할 수 있는 자기유동학적 재료이다. 기본 매트릭스에 따라 크게 MR 유체(Magnetorheological Fluid, MRF)와 MR엘라스토머(Magnetorheological Elastomer, MRE)로 분류할 수 있다. MRF의 경우, 인가전류에 의한

† 회원, 한양대학교 대학원 융합기계공학과
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
TEL : (02)2294-8294 FAX : (02)2299-3153

‡ 한양대학교 대학원 융합기계공학과

* 한양대학교 대학원 융합기계공학과

자기력에 의해 극성을 가질 수 있는 입자들이 점성유체 내부에 불규칙적으로 분포하게 있으나, 외부 자기력의 방향에 따라 입자들이 체인 형태로 정렬하여 기계적 성질이 변하게 된다. 이런 성질을 이용하여 브레이크와 클러치, 엔진마운트 등에 적용되고 있다. 그러나, MRF는 유체의 봉입을 위해 시스템을 소형화시키기 어렵고, 누출 등의 환경오염 문제가 발생할 수 있으며, MRF 입자의 잔류물은 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다. 이와 같은 MRF의 단점을 보완하기 위해, MR 재료이며 고체상의 엘라스토머인 MRE에 대한 연구가 주목을 받고 있다. Magnetorheological Elastomer (MRE)는 스마트재료의 한 종류로서 자기장 인가에 따라 고무의 물성을 변화시킬 수 있어 진동 소음에 능동적인 방진대책에 적용될 수 있다. MRE는 천연고무에 Carbonyl-Iron Powder (CIP) 입자를 첨가한 고체이다. MRE는 제작 시의 CIP 배열에 따라 이방성 및 등방성 MRE로 나뉜다. 특히 이방성 MRE는 제작 시에 자기장을 인가하여 천연고무를 바탕으로 CIP입자가 체인-사슬형태를 이루게 되어 자기장 인가에 따라 MRE의 물성의 변화율이 크게 나타나게 된다. 이러한 이방성 MRE의 물성 변화를 이용하여 가변하는 가진주파수에서의 진동 저감이 예상된다.

따라서 이방성 MRE의 자기장 인가에 따른 물성 변화를 적용하여 진동 전달률의 변화를 실험적으로 평가할 필요가 있다.

본 연구에서는 실제 시스템 응용 전 단계의 MRE에 대한 기초연구로서 MRF와 천연고무 매트릭스 간의 계면결합력을 변화시킬 수 있는 MRF 코팅에 따른 MRE의 인가전류에 대한 전단계수 변화율을 평가하기 위한 실험을 수행하였다. MRF 코팅으로 인해 금속성분인 MRF와 천연고무 매트릭스 간의 계면결합력이 변화하여 MRE 시편의 MR 효과가 증가할 것으로 예상되었다. 이를 실험적으로 평가하기 위해 천연고무를 기본 매트릭스로 한 MRE에 코팅 유무에 따른 MRF와 첨가제를 배합하여 두 개의 시편을 제작한 후 자기장을 인가하기 위한 시스템을 구성하여 MRF 코팅에 따른 MRE의 전단계수 변화율을 실험적으로 평가하였다.

2. 전단계수 도출을 위한 수식 유도 및 실험적 평가

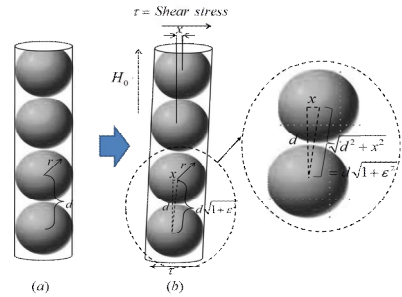


Fig. 1. The shear model of CIP column and chain .

자기장 인가 시 이방성 MRE의 전단응력은 식(1)과 같다.

Fig.1와 같이 CIP 입자 열과 함께 MRE 또한 전단변형이 발생하므로 전단응력과 전단계수와의 관계를 이용하여 전단계수 변화량 ΔG 는 식(21)으로 나타낸다.

$$\Delta G = 12\mu_0\phi_p\mu_m\left(\frac{R}{d}\right)H_0^2 \times \frac{(\mu_p - \mu_m)^2}{\sqrt{1+\epsilon^2}[3\sqrt{1+\epsilon^2}(\mu_p + \mu_m) - 4\frac{R}{d}(\mu_p - \mu_m)]^2} \quad (1)$$

이방성 MRE의 전단계수는 자기장의 세기와 CIP 부피비에 영향을 받는 것을 알 수 있으며 여기서 μ_0 는 공기의 투자율을 나타내며, 식 (1)에서 전단계수는 전단변형률이 증가할수록 감소하게 된다.

Fig. 2와 같은 MRE의 진동 전달률을 측정하기 위한 시스템을 구현하였다.

$$k^* = \frac{G_{MRE}A}{h} \quad (2)$$

여기서 h는 시편의 두께이다.

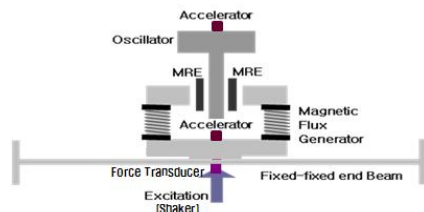


Fig. 2. Measurement System for MRE

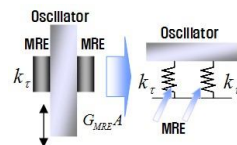


Fig. 3. Mathematical modeling of MRE and oscillator

전단방향의 강성 k_r 를 가지는 두 개의 스프링이 지지하는 1 자유도계로 상사하면, oscillator 의 고유진동수는 식(1)로 표현된다.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2k_r}{m}}, \text{ where } m : \text{mass of oscillator (3)}$$

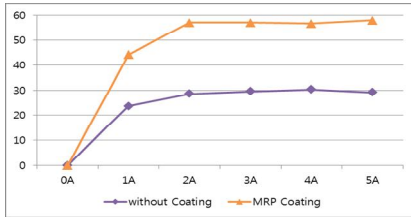


Fig. 4 Variation Rate of Shear Modulus

평가 결과 종래의 MRE와 같이 인가전류 증가에 따라 전단계수 변화율이 증가하는 MR 효과가 나타났으며, 자기포화점은 재료 고유의 특성이므로 전류 인가와 코팅에 무관하게 2A 임을 알 수 있다. MRP 코팅 시편의 경우 전단계수의 최대 변화율 기준으로 57.957%, 코팅하지 않은 시편은 30.351%의 결과를 나타내었다. 이는 MRP 코팅을 통한 천연고무 매트릭스와 MRP 간의 계면결합력 변화가 MRE 시편의 전단계수 변화율을 약 27% 증가시킬 수 있음을 실험적으로 알 수 있었다.

3. 결 론

MRP 코팅과 인가전류에 따른 MRE 의 전단계수 변화율에 대한 실험적 평가를 위해 천연고무 매트릭스에 일반 MRP 와 코팅된 MRP 를 각각 30vol% 성분비로 코팅 유무에 따른 두 개의 Anisotropic MRE 시편을 제작하였다. 두 개의 시편을 MRE 의 전단계수 측정 시스템을 이용하여 인가전류에 따른 전단계수 변화율을 비교하였다. 실험결과, MRP 코팅으로 인한 천연고무 매트릭스와 MRP 간의 계면결합력 변화가 인가전류에 따른 Anisotropic MRE 의 전단계수 변화율을 약 27% 증가시킬 수 있음을 실험적으로 규명하였다.