

인가전류 세기와 CIP 성분비에 따른 MRE 의 기계적 물성 측정

오재응[†] · 윤지현* · 윤규서** · 정경호** · 조현철 · 이성훈***

Measurement of mechanical properties of Magneto-rheological Elastomer due to current and volume ratio of Carbonyl Iron Power

Jae-Eung Oh, Ji-Hyun Yoon, Kyu-Seo Yoon, Kyung-Ho Chung, Hyun-Chul Cho and Seong-Hoon Lee

Key Words : Mechanical Property(기계적 물성), Magneto-rheological Elastomer(MR 엘라스토머), Carbonyl 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) in rubber matrix. In this study, NR was used as a matrix in order to manufacture MREs. 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 without the application of magnetic field. The results showed that the tensile property and resilience were decreased while the hardness was increased with the addition of CIP. The analysis of MR effect was carried out by FFT analyzer with various magnetic flux. As the addition of MRP and magnetic flux increased, increment of MR effect was observed.

m.

1. 서론

자기유동학적 엘라스토머(Magneto-rheological Elastomer, MRE)는 smart material 의 한 종류로써 자기유동학적 유체(Magneto-rheological Fluid, MRF)의 한 지류로 간주될 수 있다.[1] MRF 의 경우, 자기력에 의해 극성을 가질 수 있는 입자들이 점성유체 안에 불규칙적으로 분포하고 있으나 외부 자기력의 방향에 따라 입자들이 체인 형태로 정렬하여 기계적 성질이 변하게 된다. 이런 성질을 이용하여 브레이크와 클러치[2,3], 엔진마운트[4] 등에 적용되고 있다. 그러나 MRF 는 액체 누출 등의 환경 오염 문제가 나타날

수 있으며 입자의 잔류물은 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다. 이와 같은 MRF 의 단점을 보완하기 위해 자기유동학적 재료이며 폴리머인 MRE 에 대한 연구가 이루어지고 있다.

MRE 는 MRF 와 마찬가지로 NR(Natural Rubber), Silicon Rubber 와 같은 폴리머에 CIP(Carbonyl Iron Powder) 등의 자기력에 의해 극성을 가지는 입자를 첨가한 고체이다. MRE 의 거동은 MRF 와 유사하며 MRE 는 복합재 안에 포함된 입자들이 항복 전 상태에서 작동하는 반면에 MRF 는 항복 후 연속 전단이나 유동 형태로 작동한다.[5]

최근 이와 같은 성질을 가지는 MRE 에 대해 다양한 연구가 이루어지고 있다. 도요타 R&D 연구실에서는 1992 년에 철입자가 포함된 실리콘 겔을 엔진 마운트에 적용하기 위해 개발하였고[6], Ford 연구소에서는 Ginder[7] 등이 NR 과 합성고무를 이용하여 MRE 를

[†] 회원, 한양대학교 기계공학부

E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr

TEL : (02)2294-8294 FAX : (02)2299-3153

* 한양대학교 기계공학부

** 수원대학교 신소재공학과

*** 현대기아자동차

제작하였다. Watson 은 MRE 를 이용한 자동차 부싱을 개발하였다.[8]

자기력에 의해 기계적 물성을 컨트롤 할 수 있는 MRE 는 현재 MRF 에 비해 여러 분야에 적용되고 있지는 못하지만 MRF 의 단점을 보완할 재료로써 주목을 받고 있으며, 자동차 서스펜션, 강성조절이 가능한 마운트 등의 분야에서 응용될 가능성이 크다.[9]

본 연구에서는 MRE 의 기계적 물성 중 전단탄성계수를 측정하기 위한 초기실험을 수행하였다. MRE 의 전단탄성계수 측정을 위해 NR 을 기본 매트릭스로 한 MRE 에 CIP 와 첨가제를 배합하여 제작한 후 시스템에 자기력을 가하기 위한 진동실험장치를 구성하였다, 자기장 변화와 기본매트릭스인 NR 에 첨가되는 CIP 볼륨비에 따른 전단탄성계수의 변화를 파악하기 위해 시스템을 mass-stiffness 으로 모델링하여 간접적으로 MRE 의 전단탄성계수를 측정하였다.

2. MRE 제작

NR(Natural rubber)을 기본 매트릭스로 하여 Activator 는 ZnO 와 Stearic Acid, Accelerator 는 CZ, Curing Agent 는 S 으로 준비하였다. 위와 같은 각종 첨가제와 CIP(Carbonyl Iron Powder, S1611)를 NR 과 함께 고무배합기계인 Roll-mill 을 사용하여 재료를 혼합하였다. 이 작업을 거친 뒤, 고분자재료 내의 사슬 완화를 위하여 상온에서 24 시간동안 두었다. 다음으로 프레스를 이용하여 160 도, 2000psi(14.8kPa)의 조건으로 경화 과정을 약 7분간 거쳐서 MRE 를 성형하였다.



Fig.1 Roll-mill



Fig.2 Press

Table 1 Ratio of Mixture

Ratio of Mixture(phr)		
Compound	Additive(phr)	Use
NR	100	Matrix
ZnO	5	Activator
Stearic Acid	2	Activator
CZ	0.8	Accelerator
S	2.5	Curing Agent

3. 실험

3.1 실험장치 제작 및 구성

MRE 에 자기력을 가하기 위한 마그네틱 콘덴서의 형상은 가해지는 자기장의 효율을 극대화하기 위해 상부의 중앙에 공극을 가지는 C-shape 형태로 결정하였다. 마그네틱 콘덴서의 상부는 MRE 와 oscillator 의 탈착이 용이하도록 볼트로 제작하였다. 좌우측 두 개의 코일은 정사각형의 중공을 가지는 프레임에 800turn 으로 감았다.

본 실험에서는 제작된 마그네틱 콘덴서를 탄소강 양단고정보 위에 설치하였다. 가속도계(EMDEVCO), 임피던스 헤드(EMDEVCO), FFT Analyzer(B&K Pulse), Power Supply, Power Amp., Function Generator, Shaker(B&K)를 이용하여 Fig.3 와 같이 실험장치를 구성하였다.

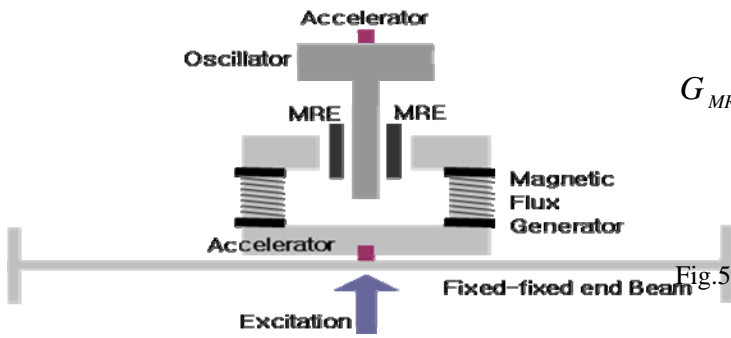


Fig.3 Constitution of system

마그네틱 콘덴서의 상부에 두 개의 MRE 시편과 oscillator 를 볼트를 이용하여 조였고, Power Supply 로 전압을 코일에 가할 수 있게 하였다. 빔의 하단에는 shaker 와 임피던스 헤드를 설치하여 white excitation 과 함께 force 를 측정하였고, oscillator 의 상단에는 가속도계를 부착하여 FFT Analyzer 를 통해 전달함수를 얻었다.

4. 전단계수 도출을 위한 수식

4.1 전단계수

Fig.4 와 같이 oscillator 와 MRE 를 1 자유도계 시스템으로 모델링하였다.

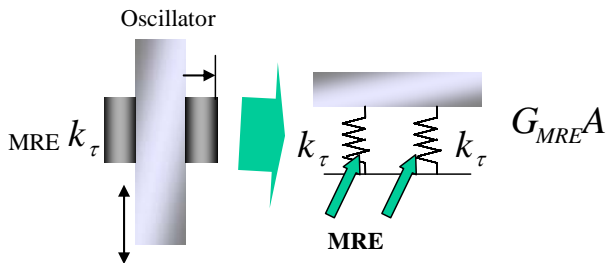


Fig.4 Modeling of system

전단방향의 강성 k_τ 를 가지는 두 개의 스프링이 지지하는 1 자유도 시스템으로 상사하였으므로, oscillator 의 고유진동수는 식(1)로 표현된다.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2k_\tau}{m}} \quad (32)$$

,where m is mass of oscillator

Fig.5 와 같이 전단방향의 힘 $k_\tau h$ 와 GA 가 같다고 가정하면, 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

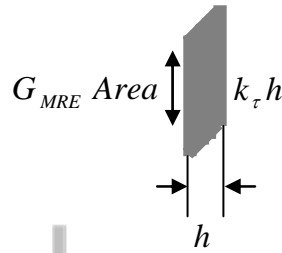


Fig.5 FBD of MRE in deflection

$$2k_\tau h = 2G_{MRE} A \quad (2)$$

따라서, 전단방향의 강성을 식(3)과 같다.

$$k_\tau = \frac{G_{MRE} A}{h} \quad (3)$$

식(3)을 식(1)에 대입하면,

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2G_{MRE} A}{mh}} \quad (4)$$

MRE 의 shear modulus 는 식(5)로 표현된다.

$$G_{MRE} = 4\pi^2 f_n^2 \frac{mh}{2A} \quad (5)$$

위의 식(5)를 통해 MRE 의 shear modulus 는 oscillator 의 고유진동수의 제곱에 비례한다는 것을 알 수 있다.

5. 실험결과

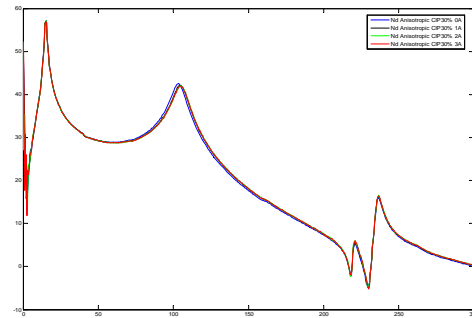


Fig.6 Transfer Function

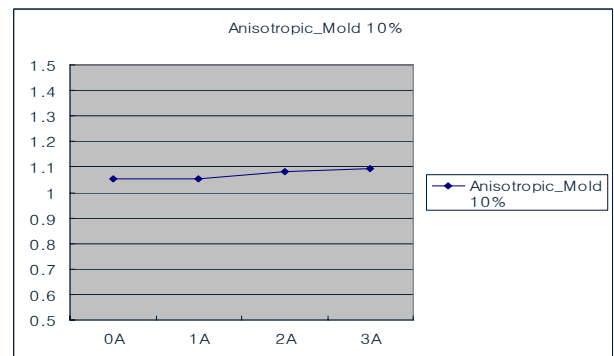


Fig. 7 Shear modulus of MRE(CIP10%)

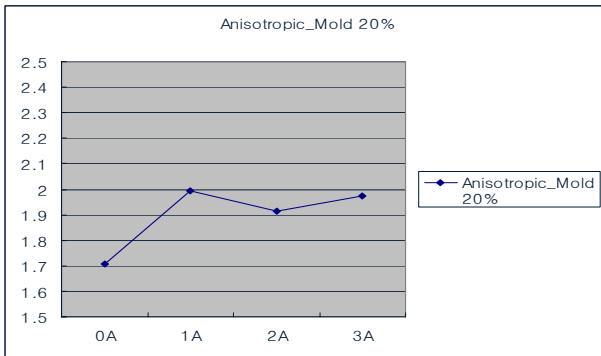
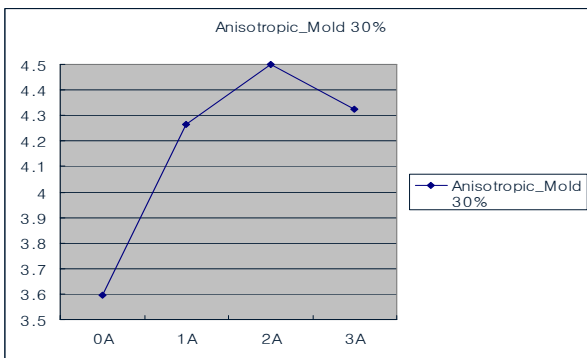


Fig. 8 Shear modulus of MRE(CIP20%)



CIP10%의 경우는 낮은 볼륨비에 의한 자기포화에 의해 인가전류에 대한 전단계수 변화가 뚜렷한 변화를 보이지 않았다. CIP20%의 경우는 인가 전류에 대한 변화를 보이지만 2A, 3A 에서 보다 작은 값을 나타내는데 이것은 측정 시 시편 Slip 으로 인한 것으로 보여진다. CIP30%의 경우 3A 에서 전단계수가 낮아지는 현상은 자기포화와 시편 Slip 이 원인이었을 것으로 사료된다.

6. . 결론

CIP10%의 경우 3A 의 전류가 인가되었을 때 1.025MPa 에서 1.096MPa 로 6.93%의 변화를 보였고, CIP20%의 경우 1.707MPa 에서 1.994MPa 의 14.4%의 변화를 보였다. CIP30% MRE 는 3.597MPa 에서 4.501MPa 의 20.08% 변화가 나타났다. 이를 통해 CIP 볼륨비가 커질수록 인가전류에 대한 MRE 의 기계적 물성변화가 크게 나타남을 알 수 있다. 다만, 향후 CIP20%와 CIP30%에 나타난 시편 slip 과 자기포화에 대한 검증이 필요하다.

참고문헌

(1) G Y Zhou, 2004, "Complex shear modulus of a Magnetorheological Elastomer", Smart Mater. Struct. 13 1203~1210

(2) Carlson, J.D.,1991, US Patent 5, 054, 593
 (3) Gentry, S.B., Mazur, J.F. and Blackburn, B.K., 1995, US patent 5, 460,485
 (4) Carlson, J.D. and Weiss, K.D., 1995, US Patent, 5,328,373
 (5) Carlson, J.D. and Jolly, M.R., 2000,"MR Fluid, Foam and Elastomer Devices", Mechatronics, 10:555~569
 (6) Shiga, A., Fujimoto, Y. and Hirose, M., 1993, Tokai Hei Japanese Patent 5-25315, Feb. 2.
 (7) Ginder,J.M.,Nichols,M.E.,Elie,L.D. and Clark,S.M., 2000, "Controllable-stiffness Components Based on Magnetorheological Elastomers", In:Wereley,N.M.(ed.), Smart and Materials 2000:Smart Structures and Integrated Systems, Proceedings of SPIE 3985, pp.418~425.
 (8) Watson, J.R., 1996, US Patent 05609353
 (9) M.S. Jung, B.C. Bae, S.Heo, M.H. Song and M.K. Kwak, 2007, "Experimental Study on the Damping and Stiffness Characteristics of MR Elastomers", KSNVE07S-33-06