

Anisotropic Magneto-rheological Elastomer 의 인가전류에 따른 전단계수에 대한 실험적 평가

Experimental evaluation on Shear Modulus of Anisotropic Magneto-rheological Elastomer due to Induced Current

*윤지현¹, *정재은¹, 양인형¹, 이정운², #오재응³

*J. H. Yoon¹, J. E. Jeong¹, I. H. Yang¹, J. Y. Lee², #J. E. Oh(jeoh@hanyang.ac.kr)³

¹ 한양대학교 기계공학과, ² 경기대학교 기계시스템디자인공학부, ³ 한양대학교 기계공학부

Key words : Anisotropic Magneto-rheological Elastomer, Shear Modulus, Experimental Evaluation

1. 서론

Magneto-rheological material, 즉 MR 재료는 인가전류의 세기에 따라 재료의 물성이 변하는 자기유동학적 재료로서 크게 MR 유체(Magneto-rheological Fluid, MRF)와 MR 엘라스토머(Magneto-rheological Elastomer, MRE)로 분류할 수 있다. MRF의 경우, 인가전류에 의한 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, 엔진마운트 등에 적용되고 있다. 그러나, MRF는 액체 누출 등의 환경오염 문제가 발생할 수 있으며, 입자의 잔류물은 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다. 이와 같은 MRF의 단점을 보완하기 위해 자기유동학적 재료이며, 엘라스토머인 MRE에 대한 연구가 이루어지고 있다.

MRE는 MRF와 마찬가지로 Natural Rubber(NR), Silicon Rubber와 같은 폴리머에 Magnetic Reactive Powder(MRP) 등의 자기력에 의해 극성을 가지는 입자를 첨가한 엘라스토머이다.

최근 이와 같은 성질을 가지는 MRE에 대해 다양한 연구가 이루어지고 있다. 도요타 R&D 연구실에서는 1992년에 철입자가 포함된 실리콘 젤을 엔진마운트에 적용하기 위해 개발하였고, Ford 연구소에서는 Ginder 등이 NR과 합성고무를 이용하여 MRE를 제작하였다. Watson은 MRE를 이용한 자동차 부싱을 개발하였다.

자기력에 의해 기계적 물성을 컨트롤 할 수 있는 MRE는 현재 MRF에 비해 여러 분야에서 실용화되고 있지는 못하지만 MRF의 단점을 보완할 재료로서 주목을 받고 있다. 또한, MRE는 유체실링 등이 필요 없고 비교적 작은 공간에서의 구현이 가능하므로 가변형 강성을 가지는 마운트, 자동차 서스펜션 등의 분야에서 응용될 가능성이 크다.

본 연구에서는 MRE를 이용한 가변형 강성을 가지는 마운트, 서스펜션 개발의 기초연구로서 인가전류에 따른 전단계수를 평가하기 위한 실험을 실시하였다. 첫번째 단계로, NR을 기본 매트릭스로 한 폴리머에 MRP를 첨가하여 입자를 사슬모양의 클러스터 형상으로 배향하기 위해 본 연구팀이 제작, 설계한 Anisotropic mold를 이용하였다. 입자의 배향 시 네오디움 영구자석을 이용한 방법도 있으나, 이는 MRE의 성능저하를 유발하게 되는 기포발생과 강한 자기력으로 인한 시편제거의 어려움이 발생하므로 Anisotropic mold를 제작하여 배향하였다. 배향된 MRE를 본 연구팀에서 개발한 전단계수 측정 시스템을 통하여 MRP 성분비(10, 30, 50 vol%)와 인가전류에 따른 Anisotropic MRE의 전단계수에 대해 실험적인 평가를 수행하였다.

2. Anisotropic MRE의 제작

NR을 기본 매트릭스로 하여 Activator는 ZnO와 Stearic Aci, Accelerator는 Cz, Curing Agent는 S로 준비하였다. 위와

같은 각종 첨가제와 MRP를 NR과 함께 고무배합기인 Roll-mill을 사용하여 재료를 혼합하였다. 이 작업을 거친 뒤, 고분자재료 내의 사슬 완화를 위하여 상온에서 24시간 두었다. 다음으로 프레스를 이용하여 160도, 2000psi(14.8kPa)의 조건으로 경화 과정을 약 7분간 거쳐서 MRE를 성형하였다. 이 때, MRP의 체인 형태의 배열을 유도하기 위하여 0.6T의 자기력을 갖는 두 개의 네오디움 자석을 이용한 Anisotropic mold를 제작하여 배향하였다.

Table 1 Ratio of Mixture

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



Fig. 1 Roll-mill



Fig. 2 Press



Fig. 3 Anisotropic mold

3. 실험장치 제작 및 구성

MRE에 자기력을 인가하기 위한 마그네틱 콘텐서의 형상은 가해지는 자기장의 효율을 극대화하기 위해 상부의 중앙에 공극을 가지는 C-shape 형태로 결정하였다. 마그네틱 콘텐서의 상부는 MRE와 Oscillator의 탈착이 용이하도록 볼트로 제작하였다. 좌우측 두 개의 코일은 정사각형의

중공을 가지는 프레임에 800turn 으로 감았다.

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.4 과 같이 실험장치를 구성하였다.

마그네틱 콘덴서의 상부에 두 개의 MRE 시편과 Oscillator 를 볼트를 이용하여 체결하였고, Power Supply 로 전압을 코일에 가할 수 있게 하였다. 양단고정보의 하단에는 shaker 와 임피던스 헤드를 설치하여 white excitation 과 함께 force 를 측정하였고, oscillator 의 상단에는 가속도계를 부착하여 FFT Analyzer 를 통해 전달함수를 얻었다. 측정된 전달함수의 공진주파수를 확인한 후, 다음 장의 전단계수 도출 수식에 대입하여 MRE 의 인가전류에 따른 전단계수를 평가하였다.

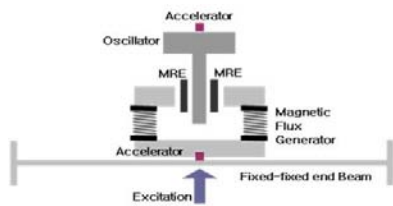


Fig. 4 Constitution of Evaluation System

4. 전단계수 평가를 위한 수식 및 실험결과

Fig.4 의 시스템에서 Fig.5 와 같이 Oscillator 와 MRE 를 1 자유도계 진동시스템으로 모델링하였다.

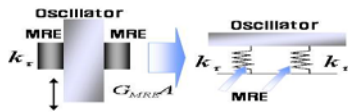


Fig. 5 Modeling of Oscillator and MRE

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

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

전단방향의 힘 $k_r h$ 와 GA 가 같다고 가정하면 전단계수는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

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

Fig.4 의 시스템에서 하부 가진력에 대한 oscillator 의 주파수를 측정하여 식(2)로부터 전단계수를 평가하였다. MR 효과는 자기장 유무에 따른 전단계수 변화율이 가장 중요한 성능인자이므로 자기장이 인가되지 않은 경우(0A)에 대한 증가율(%)로 Fig.6, 7, 8 에 나타내었다.

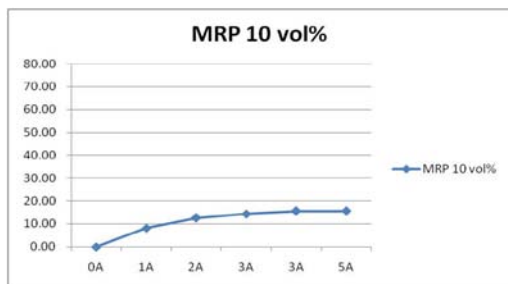


Fig. 6 Rates of Increase(%, MRP 10vol%)

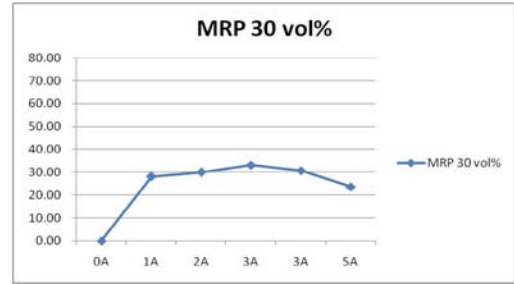


Fig. 7 Rates of Increase(%, MRP 30vol%)

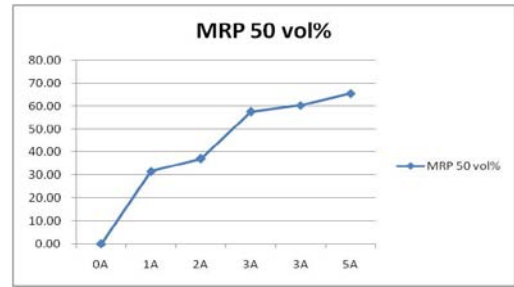


Fig. 8 Rates of Increase(%, MRP 50%)

MRE 의 인가전류에 대한 전단계수 변화율을 평가한 결과, 각 볼륨비의 최대변화율은 MRP10%-15.6%, MRP30%-33.16%, MRP50%-65.48%로 나타났으며, MRP 성분비와 인가전류 세기 증가에 따라 전단계수 변화율 역시 증가하는 경향을 보이는 것을 알 수 있었다. MRP 10%의 경우 낮은 볼륨비에 의한 자기포화에 의해 전단계수 변화가 뚜렷하게 나타나지 않았다. MRP 30%의 경우는 5A 인가 시 4A 보다 작은 값을 나타내는 데 이것은 측정 시 시편 slip 으로 인한 것으로 보여진다. 또한, 2A 이상에서 급격히 변화율이 감소하는 이유는 자기포화에 도달했기 때문으로 사료된다.

4. 결론

Anisotropic MRE 를 Anisotropic mold 를 사용하여 제작한 후, 본 연구팀에서 개발한 시스템으로 MRE 의 인가전류에 대한 전단계수를 평가하였다. 평가결과를 자기장을 인가하지 않은 경우에 대한 변화율로 나타내었을 때, 최대 변화율은 MRP10%에서 15.6%, MRP30%에서 33.16%, MRP 50%에서 65.48%로 나타났다. 또한, 전단계수는 인가전류와 MRP 볼륨비가 높아질수록 변화율 역시 증가하는 것으로 확인되었다. 추후 시편 slip 및 MRP 볼륨비에 따른 자기포화량에 대한 검증이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. G. Y. Zhou, "Complex shear modulus of a Magnetorheological Elastomer", Smart Mater. Struct. 13, 1203~1210, 2004
2. Carson, J. D., US Patent 5, 054, 593
3. Gentry, S. B., Mazur, J. F. and Blackburn, B. K., US Patent 5, 460,485
4. Ginder, J.M., Nichols, M. E. Elie, L. D. and Clark, S. M., "Controllable-stiffness Components based on Magnetorheological Elastomers", Smart and Materials 2000:Smart Structures and Integrated Systems, Proceedings of SPIE 3985, pp.418~425, 2000