

MRP 코팅 및 인가전류에 따른 천연고무 매트릭스 MRE의 전단계수 변화율에 대한 실험적 평가

Experimental Evaluation on Variation Rate of Shear Modulus of MRE based on Natural Rubber Matrix due to MRP Coating and Induced Current

*윤지현¹, 양인형¹, 정운창¹, 이유엽², #오재응³

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

¹한양대학교 기계공학과, ²호원대학교 자동차기계공학과, ³한양대학교 기계공학부

Key words : MRE(Magnetorheological Elastomer), Shear Modulus, MRP(Magnetic Reactive Powder)

1. 서론

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 MR 엘라스토머(Magnetorheological Elastomer, MRE)로 분류할 수 있다. MRF의 경우, 인가전류에 의한 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 붓입을 위해 시스템을 소형화시키기 어렵고, 누출 등의 환경오염 문제가 발생할 수 있으며, MRP 입자의 잔류물은 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다. 이와 같은 MRF의 단점을 보완하기 위해, MR 재료이며 고체 상의 엘라스토머인 MRE에 대한 연구가 주목을 받고 있다.

MRE 역시 MRF와 마찬가지로 천연고무(Natural Rubber, NR), 실리콘과 같은 폴리머 매트릭스에 자기력에 따른 극성을 나타내는 입자인 MRP를 첨가하여, 자기장 인가 시 매트릭스 내부에 분포하는 MRP 간의 인력에 의해 물성이 변하는 가변형 엘라스토머이다.

최근, 이와 같은 특성을 갖는 MRE에 대해 다양한 연구가 이루어지고 있다. 도요타 R&D

연구실에서는 1992년에 철 입자가 포함된 실리콘 젤을 엔진마운트에 적용하기 위해 개발하였고, Ford 연구소에서는 Ginder 등이 NR과 합성고무를 이용하여 MRE를 제작하였다. Watson은 MRE를 이용한 자동차 부품을 개발하였다.

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

2. MRE 시편의 제작

천연고무(NR)를 기본 매트릭스로 하여 Activator는 ZnO와 Stearic Acid, Accelerator는 Cz, Curing Agent는 S로 준비하였다. 위와 같은 각종 첨가제와 코팅 공정을 거친 MRP를 NR과 함께 고무배합기계인 Roll-mill을 사용하여 재료를 배합하였다. 이 작업을

수행한 뒤 고분자재료 내의 사슬 완화를 위하여 상온에서 24 시간 두었다. 다음으로 프레스를 이용하여 경화과정을 거쳐서 MRE 를 성형하였다. 이 때, 강한 자기장에 MRE 를 노출시켜 체인 형태의 MRP 배열을 유도한 것을 Anisotropic MRE 라 한다. 본 연구에서는 천연고무 매트릭스 Anisotropic MRE 에 30vol%의 MRP 를 첨가하고, MRP 코팅 유무에 따른 두 개의 시편을 제작하여 인가전류에 따른 전단계수 변화율에 대한 실험적 평가를 실시하였다.

3. 전단계수 도출을 위한 수식 유도 및 실험적 평가

Fig.1 과 같은 MRE 의 인가전류에 따른 전단계수를 평가하기 위한 시스템에서,



Fig. 1 Measurement System for MRE

Fig. 2 에서와 같이 oscillator 와 MRE 를 1 자유도계로 모델링하였다.

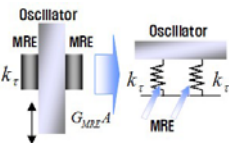


Fig. 2 Modeling of Oscillator and MRE

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

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

전단방향의 힘 $k_t h$ 와 GA 가 같다고 가정하면, 전단계수는 식(2)의 수식과 같이 나타낼 수 있다.

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

Fig. 1 의 측정 시스템에서 하부 Shaker 의 가진에 대한 oscillator 의 고유진동수 f_n 을 측정 후 식(2)에 대입하여 전단계수를 도출하였으며, 이를 인가전류에 따른 전단계수 변화율로 나타내었다.

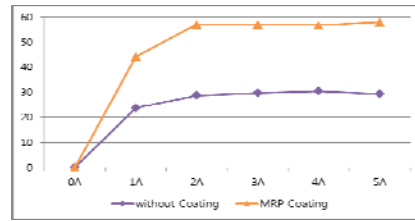


Fig. 3 Variation Rate of Shear Modulus

평가 결과 종래의 MRE 와 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.

4. 결론

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.

후기

이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0015686)

참고문헌

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