

Peptizer 배합시간에 따른 천연고무 매트릭스 기반 Magneto-rheological Elastomer 의 전단계수 변화율에 대한 실험적 규명

Experimental Identification on Variation of Shear Modulus of Magneto-rheological Elastomer based on Natural Rubber Matrix by Mixing Time of Peptizer

윤지현* · 양인형* · 정재은* · 정경호** · 오재응†

Ji-Hyun Yoon, In-Hyung Yang, Jae-Eun Jeong, Kyung-Ho Chung and Jae-Eung Oh

1. 서론

Magneto-rheological Elastomer(MRE)는 자기력에 따라 물성이 변하는 자기유동학적 엘라스토머로서 Magneto-rheological Fluid(MRF)와 유사한 개념의 폴리머 재료이다. 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, 엔진마운트 등에 적용되고 있다. 그러나, MRF 는 액체 누출 등의 환경오염 문제가 발생할 수 있으며, 입자의 잔류물은 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다. 이와 같은 MRF 의 단점을 극복하기 위해 자기유동학적 재료이며 고체인 MRE 에 대한 연구가 이루어지고 있다.

MRE 는 MRF 와 마찬가지로 Natural Rubber(NR), Silicon Rubber 와 같은 폴리머에 Carbonyl Iron Powder(CIP) 등의 자기력에 의해 극성을 가지는 입자를 첨가한 엘라스토머이다.

최근 이와 같은 성질을 가지는 MRE 에 대해 다양한 연구가 이루어지고 있다. 도요타 R&D 연구실에서는 1992 년에 철입자가 포함된 실리콘 젤을 엔진 마운트에 적용하기 위해 개발하였고, Ford 연구소에서는 Ginder 등이 NR 과 합성고무를 이용하여 MRE 를 제작하였다. Watson 은 MRE 를 이용한 자동차 부싱을 개발하였다.

자기력에 의해 기계적 물성을 컨트롤 할 수 있는 MRE 는 현재 MRF 에 비해 여러 분야에서 적용되고 있진 못하지만 MRF 의 단점을 극복할 재료로서 주목을 받고 있다. 또한, MRE 는 유체의 실링 등이 필

요 없고 비교적 작은 공간에서의 구현이 가능하므로 가변형 강성을 가지는 마운트, 자동차 서스펜션 등의 분야에서 응용될 가능성이 크다.

본 연구에서는 실제 시스템 응용 전 단계의 MRE 에 대한 기초연구로서 Peptizer 배합시간에 따른 MRE 의 전단계수 변화율을 측정하기 위한 실험을 수행하였다. Peptizer 는 NR 과 같이 일정 구조가 반복되는 고분자의 사슬을 끊어주는 역할을 하는 첨가제이다. 배합시간을 증가시킬 경우 Peptizer 의 기능을 발휘 할 수 있는 시간이 길어지므로 CIP 의 배합성이 향상됨으로 인해 MR 효과가 증가할 것으로 예상되었다. 이를 확인하기 위해 천연고무(NR)를 기본 매트릭스로 한 MRE 에 CIP 와 첨가제를 배합하여 제작한 후 자기장을 인가하기 위한 시스템을 구성하여 Peptizer 배합시간에 따른 MRE 의 전단계수 변화율을 실험적으로 규명하였다.

2. MRE 시편 제작

NR 을 기본 매트릭스로 하여 Activator 는 ZnO 와 Stearic Acid, Accelerator 는 Cz, Curing Agent 는 S 로 준비하였다. 위와 같은 각종 첨가제, Peptizer, CIP(Carbonyl Iron Powder,S1641)를 NR 과 함께 고무배합기계인 Roll-mill 을 사용하여 재료를 배합하였다. 이 작업을 거친 뒤 고분자재료 내의 사슬 완화를 위하여 상온에서 24 시간 두었다. 다음으로 프레스를 이용하여 160 도, 2000psi(14.8kPa)의 조건으로 경화 과정을 약 7 분간 거쳐서 MRE 를 성형하였다. 이 때, 강한 자기장에 MRE 를 노출시켜 체인 형태의 CIP 배열을 유도한 것을 Anisotropic MRE 라 한다.



Fig.1 Roll-mill and Press

† 오재응; 한양대학교 기계공학부
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2294-8294, Fax : (02) 2299-3153
* 한양대학교 대학원 기계공학과
** 수원대학교 신소재공학과

본 연구에서는 천연고무 매트릭스 Anisotropic MRE 에 CIP 성분비 30vol%, 배합시간 15 분 (SampleA), 25 분(SampleB), 35 분(SampleC)의 세 가지 시편을 제작하였다.

3. 이론 및 측정

3.1 이론

Fig.2 와 같은 측정시스템에서,

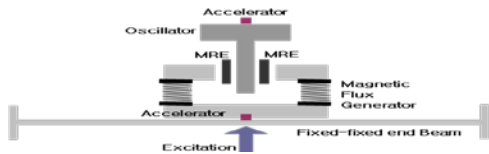


Fig.2 Measurement System for MRE

Fig.3 에서처럼 oscillator 와 MRE 를 1 자유도계 시스템으로 모델링하였다.

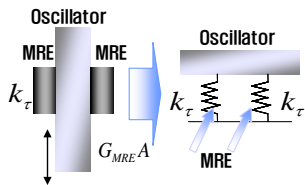


Fig.3 Modeling of Oscillator and MRE

전단방향의 강성 k_t 를 가지는 두 개의 스프링이 지지하는 1 자유도계 시스템으로 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)와 같이 나타낼 수 있다.

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

3.2 측정

Fig.2 의 시스템에서 하부 가진력에 대한 oscillator 의 주파수를 측정하여 식(2)로부터 전단계수를 도출하여 인가전류에 대한 증가율로 나타내었다.

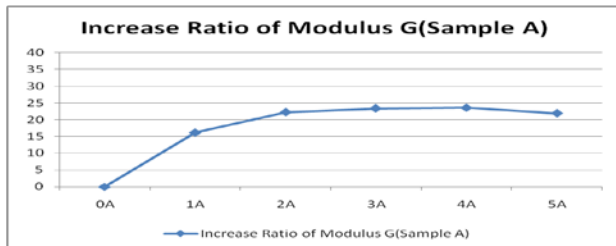


Fig.4 Variation Rate of Shear Modulus(SampleA)

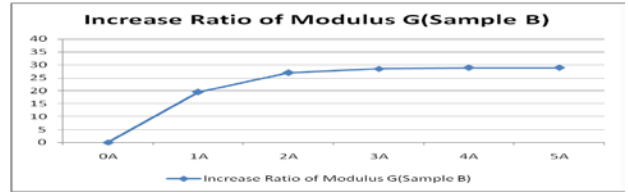


Fig.5 Variation Rate of Shear Modulus(SampleB)

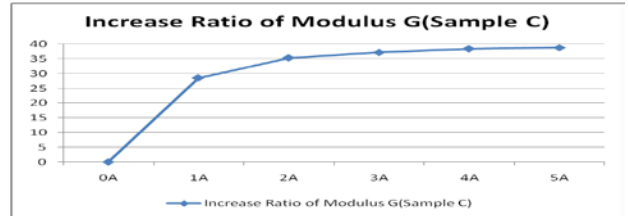


Fig.6 Variation Rate of Shear Modulus(SampleC)

측정 결과 종래의 MRE 와 같이 인가전류 증가에 따라 전단계수 변화율이 증가하는 MR 효과가 나타남을 알 수 있었으며, 각 배합시간의 최대 전단계수 변화율은 15 분-23.60%, 25 분-28.89%, 35 분-38.80%의 증가율을 나타내었다. 또한, 3A 에서 자기포화가 나타난 Sample A, B 와는 달리 Sample C 에서는 자기포화점이 5A 로 이동하는 것이 확인되었다. 이는 Peptizer 배합시간 증가로 인해 고분자 내 사슬이 완화되어 자기포화점이 증가한 것이다. 자기포화점은 MRE 의 실제 계 적용 시 물성 가변 구간이 되므로 MRE 를 이용한 강성 가변형 시스템 설계에 중요한 인자가 된다. 배합시간 15 분의 5A 에서 변화율이 저감된 것은 시편 강성 증가와 배합시간 부족에 따른 금속-폴리머의 계면접착력 약화로 인한 시편 슬립 발생이 원인인 것으로 사료된다.

4. 결론

Peptizer 배합시간에 따른 MRE 의 전단계수 변화율 규명을 위하여 천연고무 기반 CIP 30vol% Anisotropic MRE, 배합시간 15 분, 25 분, 35 분의 세가지 시편을 제작하였으며, MRE 전단계수 측정 시스템을 통하여 측정하였다. 측정 결과 Peptizer 배합시간을 증가시킬수록 고분자 내 사슬이 분리되어 MR 효과가 상승하는 것을 규명할 수 있었다. 또한, 배합시간 35 분(인가전류 5A)에서 전단계수의 증가율이 최대 38.80%로 나타났으며, Peptizer 의 고분자 사슬 분리를 위한 배합시간(35 분)이 확보됨으로 인해 자기포화점이 증가되는 현상이 나타나는 것이 실험적으로 확인되었다.

5. 후 기

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