

# 인가전류에 따른 실리콘 매트릭스 기반 Magneto-rheological Elastomer 의 전단계수에 대한 실험적 규명(II)

## Experimental Identification on Shear Modulus of Magneto-rheological Elastomer based on Silicon Matrix due to Induced Current(II)

윤지현\* · 양인형\* · 이정윤\*\* · 오재웅†

Ji-Hyun Yoon, In-Hyung Yang, Jung-Youn Lee 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 MRE 의 인가전류에 따른 전단계수 변화율을 측정하기 위한 초기 실험을 수행하였다. Silicon 을 기본 매트릭스로 한 MRE 에 CIP 와 첨가제를 배합하여 제작한 후 자기장을 인가하기 위한 시스템을 제작하여 인가전류에 따른 전단계수 변화율을 실험적으로 규명하였다.

### 2. MRE 제작

Silicon 을 기본 매트릭스로 하여 Activator 는 ZnO 와 Stearic Acid, Accelerator 는 Cz, Curing Agent 는 S 로 준비하였다. 위와 같은 각종 첨가제와 CIP(Carbonyl Iron Powder,S1641)를 Silicon 과 함께 고무배합기계인 Roll-mill 을 사용하여 재료를 혼합하였다. 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, 네오디뮴 자석으로 CIP 의 체인 형태의 배열을 유도한 것을 Anisotropic MRE 라하고, 이와 같은 처리 과정을 거치지 않은 것을 Isotropic MRE 라 한다.



Fig.1 Roll-mill and Press

본 연구에서는 실리콘 매트릭스 기반 Isotropic MRE 에 CIP 성분비 30, 40, 50%의 세가지 시편을

† 오재웅; 한양대학교 기계공학부  
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr  
Tel : (02) 2294-8294, Fax : (02) 2299-3153  
\* 한양대학교 대학원 기계공학과  
\*\* 경기대학교 기계시스템디자인공학부

제작하였다.

### 3. 이론 및 측정

#### 3.1 이론

Fig.2 와 같은 측정시스템에서,

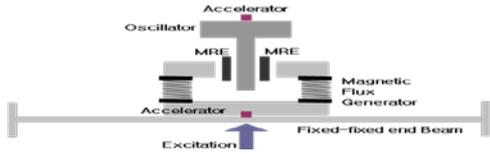


Fig.2 Measurement System for MRE

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

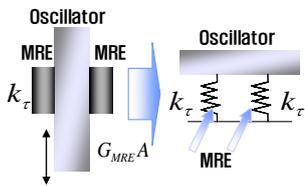


Fig.3 Modeling of Oscillator and MRE

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.

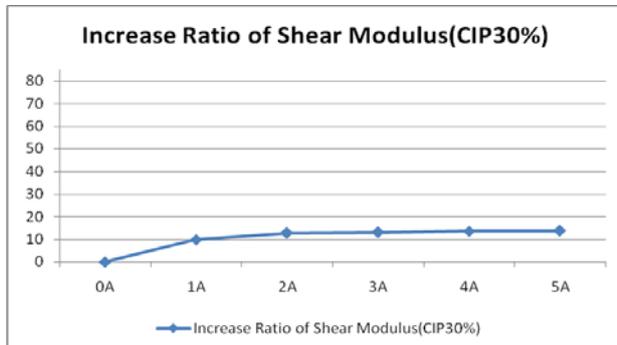


Fig.4 Increase Ratio of Shear Modulus(CIP30%)

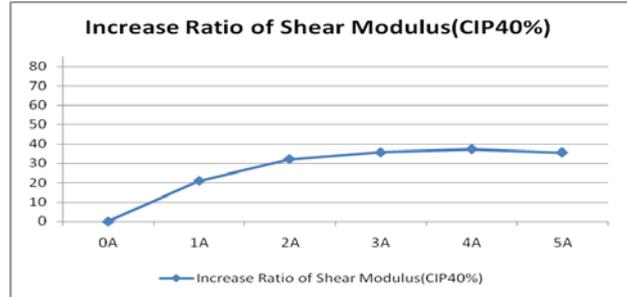


Fig.5 Increase Ratio of Shear Modulus(CIP40%)

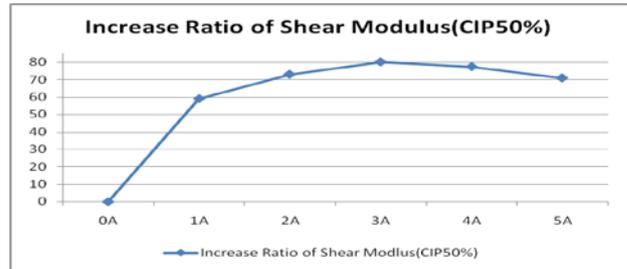


Fig.6 Increase Ratio of Shear Modulus(CIP50%)

측정 결과 인가전류 증가에 따라 전단계수가 증가함을 알 수 있었으며, 각 성분비의 최대 전단계수 변화율은 CIP30%-13.75%, CIP40%-37.25%, CIP50% 80.18%의 증가율을 나타내었다. 또한, 2A 에서 자기포화가 나타난 성분비 30%와는 달리 성분비 40%, 50%에서는 3A 에서 자기포화가 일어난 것으로 보인다. 이는 CIP 성분비 증가로 인해 자기포화점이 증가한 것으로 생각할 수 있다. 자기포화 지점은 MRE 의 실제 계 적용 시 물성 가변 구간이 되므로 MRE 를 이용한 강성 가변형 시스템 설계에 중요한 인자가 된다. 성분비 50%의 4A 에서 변화율이 저감된 것은 시편 강성 증가에 따른 금속-폴리머의 계면접착력 약화로 인한 시편 슬립이 원인인 것으로 사료된다.

### 4. 결론

MRE 의 전단계수 측정을 위하여 실리콘 매트릭스 기반 Isotropic MRE 의 CIP 30, 40, 50%의 세가지 시편을 제작하였으며, MRE 전단계수 측정 시스템을 통하여 측정하였다. 측정 결과 인가전류 증가에 따라 전단계수가 증가하는 경향을 보였으며, CIP50%, 인가전류 3A 에서 전단계수의 최대 증가율이 80.18%로 나타나는 것을 알 수 있었다.

### 5. 후 기

이 논문은 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0077766)