

Magneto-rheological Elastomer 의 전단계수 측정 시스템 개발

Development of Measurement System for Shear Modulus of Magneto-rheological Elastomer

윤지현* · 조현철** · 윤규서*** · 정경호**** · 오재응†

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

1. 서론

자기유동학적 엘라스토머(Magneto-rheological Elastomer, MRE)는 smart material 의 한 종류로써 자기유동학적 유체(Magneto-rheological Fluid, MRF)와 유사한 개념으로 간주될 수 있다. MRF 의 경우, 외부 자기력의 방향에 따라 극성을 가지는 점성유체 안에 불규칙적으로 분포한 입자들이 체인형태로 정렬하여 기계적 성질이 변하게 된다. 이런 성질을 이용하여 브레이크와 클러치, 엔진마운트 등에 적용되고 있다. 그러나, 입자의 잔류물은 시스템의 성능을 저하시킬 수 있고, 액체 누출 등의 환경오염 문제가 발생할 수 있다. 이와 같은 MRF 의 단점을 보완하기 위해 자기유동학적 재료이며 고체인 MRE 에 대한 연구가 이루어지고 있다.

MRF 와 마찬가지로 Silicon Rubber, NR(Natural Rubber)와 같은 폴리머 재료에 MRP(Magnetic Reactive Powder) 등의 자기력에 의해 극성을 가지는 입자를 첨가한 고체이다.

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, 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 보완할 재료로써 주목을 받고 있으며, 자동차 서스펜션, 강성조절이 가능한 마운트 등의 분야에서 응용될 가능성이 크다.

이와 같이 향후 다양한 분야에 대한 응용이 기대되는 가변형 물성치를 가지는 새로운 폴리머 재료에 대한 연구개발에 있어 전단계수 측정 시스템은 필수적으로 요구된다. 그러나, 기존 폴리머 특성 평가의 경우 충격 혹은 인장 시험을 통한 평가만 가능하여 자기장을 인가하는데 큰 어려움이 있으므로 MRE 의 성능평가를 위한 새로운 시스템이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 자기장에서의 동적 전단계수 변화를 측정할 수 있는 시스템 개발을 위해 1 자유도 진동 시스템을 설계하고 실험계획법을 이용한 자기장 FEM 을 수행하여 시스템의 dimension 을 최적화하였다.

2. 이론

2.1 측정시스템의 개념



Fig.1 Concept of Measurement System

(1) Fixed-fixed end Beam

시스템의 하부에 위치한 shaker 의 가진력을 전달하는 역할

(2) Oscillator

중량으로 인한 관성력으로 MRE 에 전단변형을 발생시키는 역할

(3) Magnetic Flux Generator

MRE 에 자기장을 인가하는 역할

(4) Accelerator

Oscillator 의 주파수 변화를 측정, 가진력에 대한 전달함수를 이용

2.2 전단계수 측정

Fig.2 와 같이 oscillator 와 MRE 를 1 자유도계 시스템으로 모델링하였다.

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

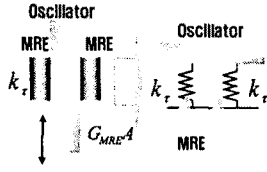


Fig.2 Modeling of Oscillator and MRE

전단방향의 강성 k_r 를 가지는 두 개의 스프링이 지지하는 1 자유도 시스템으로 상사하였으므로 oscillator의 고유진동수는 식(1)로 표현된다.

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

Fig. 2에서 전단방향의 힘 $k_r h$ 와 GA 가 같다고 가정하면, 강성은 식(2)와 같이 나타낼 수 있으며, 전단계수는 식(3)으로 표현된다.

$$k_r = \frac{G_{MRE} A}{h} \quad (2)$$

$$G_{MRE} = 2\pi^2 f_n^2 \frac{mh}{A} \quad (3)$$

3. 시스템 설계 및 측정 결과

3.1 실험계획법을 이용한 자기장 FEM

Magnetic Flux Generator의 dimension 결정을 위해 Fig.3과 같이 인자수준을 정하고 실험계획법을 이용한 자기장 FEM을 수행하였다.

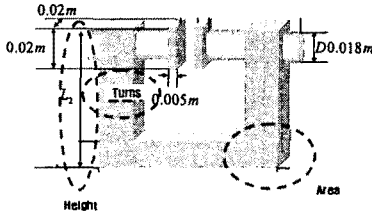


Fig.3 Model for FEM

Table1 List of factors And levels

Factor	Levels
Boundary Conditions	L2
	8 cm
	9cm
Area	10cm
	1.5x1.5 cm ²
- 3 Factors 3 levels	2.0x2.0cm ²
	2.5x2.5 cm ²
	800 turn
N	1000 turn
	1200 turn

Table2 Experiment layout using array L₉

Exp. No.	Assignment and levels of factors			Characteristics Value (E _z -MAX/FE _z)
	L2	A	N	
1	8	1.5	800	0.227
2	8	2.0	1000	0.294
3	8	2.5	1200	0.363
4	9	1.5	1000	0.234
5	9	2.0	1200	0.293
6	9	2.5	800	0.344
7	10	1.5	1200	0.241
8	10	2.0	800	0.286
9	10	2.5	1000	0.358

자기장의 극대화를 목적으로 망대특성을 적용하여 인자들의 수준을 얻었으며, 이를 Fig.4와 같이 도면

으로 나타내었다.

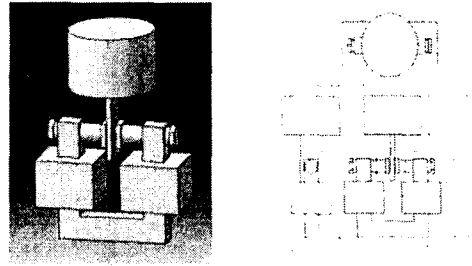


Fig.4 Draft of Measurement System

3.2 기존 측정장치와의 비교

설계, 제작된 시스템의 측정 신뢰도를 확인하기 위해 기존 고무 물성 측정 장비인 Dynamic Mechanical Analyzer(DMA)와 측정결과를 비교하였다.

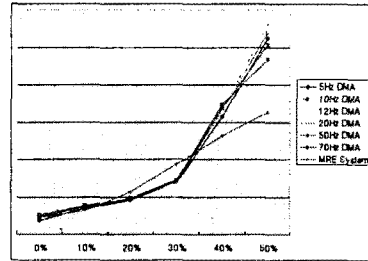


Fig.5 Shear Modulus of MRE

Fig.5는 0~50%의 MRP 성분비를 갖는 MRE를 이용하여 DMA와 측정 시스템의 결과를 나타내었다. 전체적으로 성분비 증가에 따른 전단계수 증가의 물리적 현상을 나타내었으며, 0~10% 성분비에서는 오차가 10%였으나 성분비 50%의 경우 30%의 오차가 나타났다. 이는 MRP 증가에 따른 MRE의 강성 증가로 인해 측정 시 시편의 slip이 발생한 것으로 사료된다. 따라서, 추후 MRE 성분비, 시편 조임토크, oscillator의 질량의 관계 규명을 위한 연구가 수행되어야 할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 MRE에 대한 전단계수 측정 시스템 개발을 위해 1 자유도 진동 시스템을 설계하였고, 시스템 dimension 최적화를 위해 실험계획법을 통한 자기장 FEM을 수행하였다.

설계된 시스템의 측정신뢰도를 확인하기 위해 기존 고무 물성 측정 장비인 DMA와의 MRE의 전단계수 측정결과를 비교하였다.

DMA와 비교한 결과 MRP 성분비 50%에서 30%의 오차가 나타났으나 MRP 성분비 0~10%에서는 10%이내의 오차를 나타내어 측정장치로서의 가능성을 확인할 수 있었다.