

CIP 부피비에 따른 이방성 MRE 의 전단계수 변화율

The variation rate of shear modulus for anisotropic MRE due to volume fraction of CIP

정운창* · 윤지현* · 양인형* · 이정윤** · 오재웅†

Un-Chang Jeong, Ji-Hyun Yoon, In-Hyung Yang, Jung-Youn Lee and Jae-Eung Oh

1. 서 론

자동차 등의 동적인 구조물에 있어 구조의 경량화와 더불어 승차감 및 진동소음 개선에 대한 요구는 꾸준히 증대되어 왔다. 진동소음 저감을 위한 가장 효율적인 방법은 가진원으로부터의 진동 전달을 방지하는 것이며, 이 같은 목적을 갖는 대표적인 제품이 바로 방진고무이다. 방진고무는 생산성과 적용성 그리고 저비용이라는 여러 장점을 지니고 있으므로 자동차 가전 등에 필수적인 제품으로 알려져 있다. 특히, 자동차의 경우 1대 당 방진고무의 사용 개수가 대단히 많고, 진동소음의 감소뿐만 아니라 조종안정성 등의 운전 성능에도 큰 영향을 미친다. 그러므로, 진동을 제어하여 승차감과 조종안정성을 동시에 향상시키는 방진고무 기술의 필요성이 대두되고 있다. 그러나, 기존의 방진고무는 일정한 고무 물성을 갖는 수동적인 방진대책으로서 특정 주파수 대역의 진동만을 저감시킬 수 있는 한계가 있어 MR 재료와 같은 가변형 물성 재료의 적용이 요구된다.

MR 재료는 자기장에서의 유동학적 특성을 제어할 수 있는 Smart material 의 한 종류이다. MR 재료는 매트릭스에 따라 MRE(Magnetorheological Elastomer)와 MRF(Magnetorheological Fluid)로 나눌 수 있다. 그 중 MRF 는 자기력에 의해 극성을 가질 수 있는 입자들이 점성유체 안에 불규칙적으로 분포하고 있으나 외부 자기력의 방향에 따라 입자들이 체인형태로 정렬하여 기계적 성질이 변하게 되는 재료이다. 그러나 유체의 특성으로 인하여 누출 등의 환경 오염 문제가 나타날 수 있으며 입자

의 침전물은 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다. 이와 같은 MRF 의 단점을 보완하기 위해 고체상의 엘라스토머 매트릭스를 사용하는 MRE 에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며 현재 자동차 서스펜션, 강성조절이 가능한 마운드 등의 분야에서 각광을 받고 있다.

MRE 는 천연고무와 같은 고무 매트릭스에 CIP (Carbonyl-Iron power) 등의 자기반응성 입자를 첨가한 엘라스토머이다. MRE 의 거동은 MRF 와 유사하며 MRE 는 고무 매트릭스 내부에 포함된 CIP 입자들이 항복 전 상태에서 작동하는 반면에 MRE 는 항복 후 연속 전단이나 유동 형태로 작동한다.[2] 또한, MRE 는 제작 시의 CIP 의 배열에 따라 anisotropic MRE 와 isotropic MRE 로 분류할 수 있다. 특히, anisotropic MRE 는 MRE 의 성형 시에 강한 외부 자기장 인가에 따라 CIP 입자가 체인-사슬형태로 배향되어 이방성의 물성을 나타내는 재료이다. 이러한 CIP 배향은 동일한 방향의 자기장이 인가될 경우, 체인 형태의 띠를 형성하여 외부 힘에 대한 전단방향의 저항, 즉 강성이 증가하여 MRE 의 물성을 가역적으로 변화시킬 수 있다. 이는 MRE 의 기계적 물성 중 전단계수가 가장 중요한 이유가 된다.

가변형 기계 시스템에 대한 MRE의 응용을 위해서는 MRE 내부에 분포하는 CIP의 자기장에 대한 전단계수 변화 예측이 필수적이다. 그러나, MR 재료 중 MRF 내부에 분포하는 CIP의 자기장에 따른 전단계수 변화에 대한 이론적인 모델링은 활발히 이루어지고 있으나 MRE 내부의 배향된 CIP의 자기장에 따른 전단계수 변화에 대한 이론적 모델링 및 시뮬레이션은 미비한 실정이다.[3] 그러므로, 가변형 방진고무 시스템의 설계 및 제어를 위해, 첨가되는 CIP 의 부피비와 자기장 세기에 따른 MRE 의 전단계수 변화율을 이론적으로 예측할 필요가 있다.

† 교신저자; 회원, 한양대학교 기계공학부
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
Tel : (02)2294-8294, Fax : (02)2299-3153
* 한양대학교 기계공학과
** 경기대학교 기계시스템 공학부

따라서, 본 연구에서는 MRE의 CIP의 부피비에 따른 전단계수 변화율을 이론적으로 유도하기 위하여 자계에서의 투자율과 CIP 부피비에 따른 shear stress tensor를 구하였다. 또한 MRE를 이상적인 anisotropic으로 가정하고 Maxwell-Garnett mixing rule을 이용하여 투자율을 구하였다. 이를 shear stress tensor 식에 적용하여 CIP 부피비에 따른 MRE의 전단계수 변화율의 수식을 유도하고 CIP와 MRE의 전단계수 변화율의 상관관계를 시뮬레이션을 통하여 알아보았다.

2. 자계에서의 MRE의 이론적 전단계수

MRE의 전체의 투자율은 식(1)과 같다.

$$\mu_{eff} = \mu_m + 2\phi_p \mu_m \frac{\mu_p - \mu_m}{\mu_p + \mu_m - \frac{4R}{3d}(\mu_p - \mu_m)} \quad (1)$$

자계에서의 전단응력 텐서는 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\tau = -\frac{1}{2} \mu_0 \frac{\partial \mu_{eff}}{\partial \varepsilon} H_0^2 \quad (2)$$

따라서 MRE의 이론적 전단계수는 다음과 같다.

$$G = 12\mu_0 \phi_p \mu_m \left(\frac{R}{d}\right) H_0^2 \times \frac{(\mu_p - \mu_m)^2}{\sqrt{1 + \varepsilon^2} [3\sqrt{1 + \varepsilon^2} (\mu_p + \mu_m) - 4\frac{R}{d} (\mu_p - \mu_m)]^2} \quad (3)$$

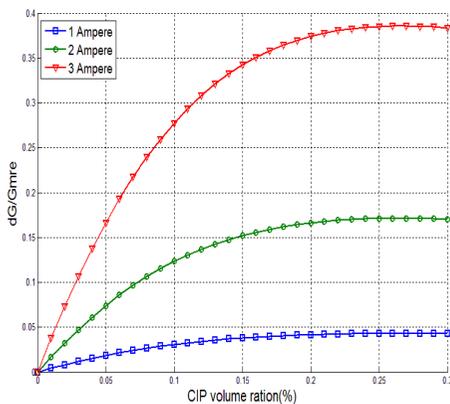


Fig. 4 The prediction variation rate of MRE due to CIP volume fraction

3. 시뮬레이션 및 고찰

MRE의 전단계수 변화율을 구하기 위해서 Guth's equation의 식(17)을 사용하였다.

$$G_{MRE} = G_0(1 + 2.5\phi + 14.1\phi^2) \quad (18)$$

여기서 G_{MRE} 는 천연고무와 CIP를 배합한 자기장이 없을 때의 MRE의 전단계수이다. 또한 G_0 는 천연고무의 전단계수로 일반적인 천연고무의 전단계수인 0.6MPa로 가정하였으며, 자기회로에 전류를 1A씩 증가시키며 인가하였다.

시뮬레이션의 결과에 따르면 1A, 2A, 3A에서 CIP 부피비가 25%에서 전단계수 변화율이 최대로 나오는 것으로 나타났다. 또한 3A에서의 전단계수 변화율이 가장 크게 나타났다. 그때의 전단계수 변화율은 38.5%임을 알 수 있다.

이것은 CIP 부피비가 25%에 이르면 MRE에서 CIP를 지지하는 고무 matrix의 비율이 낮아져 MRE의 전단계수가 증가하지 않는 것으로 사료된다.

또한 Guth's equation은 isotropic MRE의 전단계수이므로 anisotropic MRE의 전단계수보다 낮아 실제의 anisotropic MRE의 전단계수 변화율은 이보다 클 것으로 예상된다.

4. 결 론

CIP부피비에 따른 anisotropic MRE의 전단계수 변화율을 시뮬레이션을 이용하여 알아보았다.

MRE의 전단계수 변화율은 CIP부피비는 25%에서 전류는 3A를 인가하였을 때 최대로 나오는 것을 알 수 있었다. 그때의 전단계수 변화율은 38.5%임을 알 수 있었다.

추후에 anisotropic MRE의 자기장이 없을 때의 전단계수를 규명하여 anisotropic MRE 전단계수 변화율의 검증이 필요하며, 이것으로 MRE 전단계수의 변화율을 예측할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 실험을 통한 MRE의 전단계수 변화율과 이론으로 규명한 MRE의 전단계수를 비교할 필요가 있다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구 사업임(No. 2011-0002879)