

부틸 고무 매트릭스 기반 Magnetorheological Elastomer 의 인가전류에 따른 전단계수 평가

Experimental evaluation on shear modulus of Magnetorheological Elastomer based on butyl rubber matrix due to induced current

윤지현* · 양인형* · 정운창* · 이정윤** · 오재응†

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

1. 서 론

MR 재료는 기본 매트릭스에 MRP (Magnetic Reactive Powder) 등을 첨가하여 강성이 인가 자기장 세기에 의해 증가할 수 있는 자기 유변 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 되고, 외부에서 인가되는 자기장의 방향에 따라 입자들이 체인 형태로 정렬하여 기계적 성질이 가변되게 된다. 이런 특성을 이용하여 차량 등의 브레이크와 클러치, 엔진 마운트, 댐퍼 등에 적용되고 있다. 그러나, MRF는 유체를 매트릭스로 사용하기 때문에 유체 봉입을 위한 실린더 형태의 부품이 추가되어야 하므로 시스템을 소형화시키기 어렵고, 유체 누출 등의 환경오염 문제가 발생할 수 있으며, MRP 입자 잔류물은 시스템의 가변성능을 저하시킬 수 있다. 또한, 고가의 유체를 사용하기 때문에 시스템 응용 시 경제성 문제가 대두될 수 있다. 이와 같은 MRF의 단점을 보완하기 위해 MR 재료이며, 고체 상의 엘라스토머인 MRE에 대한 연구가 주목을 받고 있다.

MRE 역시 MRF와 마찬가지로 천연고무, 실리콘, 부틸 고무와 같은 폴리머 매트릭스에 자기력에 따

라 극성을 나타내는 입자인 MRP를 첨가하여, 외부 자기장 인가 시 매트릭스 내부에 분포하는 MRP간의 인력에 의해 물성이 변화하는 가변형 엘라스토머이다. 즉, MRE의 가변 성능 발현 매커니즘은 MRF와 유사하며 전단계수가 특성을 나타낼 수 있는 가장 중요한 물성이 된다. 차이점은 MRE는 매트릭스 안에 분포된 MRP 입자들이 항복 전 상태에서 작동하는 반면에 MRF는 항복 후 연속전단이나 유동 형태로 작동하는 것이다.

이와 같은 특성을 갖는 MRE에 대해 다양한 연구가 시도되고 있다. 도요타 R&D 연구실에서는 1992년에 철 입자가 포함된 실리콘 젤을 엔진마운트에 적용하기 위해 개발하였고, Ford 연구소에서는 Ginder 등이 천연고무와 합성고무를 이용하여 MRE를 제작하였다. 또한, Watson은 MRE를 이용한 자동차 부싱을 개발하였다.

본 연구에서는 실제 시스템 응용 전 단계의 기초 연구로서 부틸 고무를 기반으로 한 MRE의 인가전류에 대한 전단계수와 변화율을 평가하기 위한 실험을 수행하였다. 이를 위해 진동-전자기에 기반한 측정 시스템을 구성하여 인가전류에 따른 부틸 고무 매트릭스 MRE의 전단계수와 변화율을 실험적으로 규명하였다.

2. MRE 시편 제작

부틸 고무를 기본 매트릭스로 하여 Activator는 ZnO와 Stearic Acid, Accelerator는 CZ, Curing agent는 S로 준비하였다. 이와 같은 각종 첨가제와 30 vol%의 MRP를 부틸 고무와 함께 고무 배합장치인 Roll-mill을 사용하여 재료를 배합하였다. 이

† 교신저자; 정희원, 한양대학교 기계공학부

E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr

Tel : 02-2220-0452, Fax : 02-2299-3153

* 한양대학교 대학원 기계공학과

** 경기대학교 기계시스템디자인공학과

작업을 거친 뒤, 고분자 재료 내의 사슬 완화를 위하여 상온에서 24시간 두었다. 다음으로 Press를 이용하여 160도, 2000 psi의 조건으로 경화과정을 약 10분 간 거쳐 부틸 고무 매트릭스 MRE 시편을 제작하였다. 경화 시 강한 외부 자기장을 인가하여 MRP의 체인 형태의 배열을 유도한 것을 anisotropic MRE라 하며, 본 연구에서는 이를 이용하였다. 또한, 기존 천연고무 매트릭스 MRE와의 전단계수 변화를 비교하기 위해 천연고무 매트릭스 MRE를 같은 공정으로 제작하여 평가하고 결과를 비교하였다.

3. 실험결과 및 고찰

인가전류에 따른 부틸 고무 기반 MRE의 전단계수 변화를 Table 1에 나타내었다. 부틸 고무 기반 MRE는 0 ~ 3A의 전류 인가에 따라 0.581 MPa에서 0.749 MPa까지 변화하였다.

또한, 기존의 천연고무 매트릭스 기반 MRE와의 평가 결과 비교를 Fig.1에 인가전류에 따른 전단계수값으로 나타내었다.

Table 1 Shear modulus and variation rate of MRE based on butyl rubber

Current (A)	Shear Modulus (MPa)	Variation Rate (%)
0	0.581	0
1	0.717	23.4
2	0.748	28.7
3	0.749	28.9

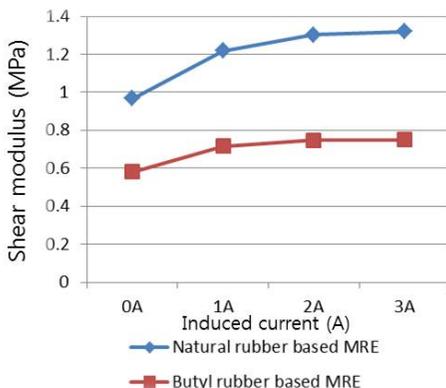


Fig.1 Shear modulus of MREs based on natural rubber and butyl rubber due to induced current

천연고무는 인가전류 0 ~ 3A에서 0.968 MPa ~ 1.319 MPa의 전단계수 변화를 나타내었다. 이 때, 최대변화율은 3A에서 발생하며 전류를 인가하지 않은 전단계수에 대해 36.3%의 변화를 나타내었다.

부틸 고무와 천연고무 매트릭스의 전단계수 변화를 비교해보면 부틸 고무를의 경우, 천연고무 매트릭스의 MRE에 비해 약 50 %의 전단계수 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 천연고무가 부틸 고무에 비해 기계적 물성이 상당히 높기 때문에 나타난 현상으로 사료된다. 또한, 전단계수 변화율에 있어서는 3A를 기준으로 부틸 고무는 28.9%, 천연고무는 36.3%로 평가되었다. 이를 종합하면 부틸 고무는 천연고무에 비해 전단계수의 절대값은 낮고, 전단계수 변화율은 다소 감소하는 것으로 확인되었다. 이는 부틸 고무가 가지는 낮은 기계적 물성 및 같은 제작 공정 조건을 이용하였으므로 부틸 고무와 천연고무의 화공재료적 특성에 의해 차이가 발생된 것으로 사료된다.

평가된 부틸 고무 기반 MRE의 특성을 이용하면 강성 변화영역이 높게 형성되는 천연고무 매트릭스 MRE를 대신하여 저주파용 가변형 동흡진기 등에 적용이 가능할 것으로 보여진다.

3. 결론

자기 유변 엘라스토머인 MRE를 제작하기 위해서는 고분자 재료를 매트릭스로 이용하여야 한다. 이 중 기계적 물성이 낮아 저주파용 MRE로서 사용이 가능할 것으로 예상이되는 부틸 고무 기반 MRE를 제작하여 인가전류에 따른 전단계수와 변화율을 평가하였으며, 기존 천연고무 매트릭스 기반 MRE와 결과를 비교하였다.

평가 결과 부틸 고무 매트릭스를 이용한 MRE는 천연고무에 비해 전단계수의 절대값이 낮게 형성되며, 전단계수 변화율은 다소 감소하는 것으로 나타났다.

본 연구 결과를 통해 부틸 고무 매트릭스 기반 MRE의 인가전류에 대한 전단계수 및 변화율을 실험적으로 규명하였다.

후 기

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