

# LD 커플링제 코팅에 따른 Magnetorheological Elastomer 의 전단계수 변화율

## Variation Rate of Shear Modulus of Magnetorheological Elastomer Coated by LD Coupling Agent

윤지현\* · 양인형\* · 정운창\* · 이유엽\*\* · 오재응†

Ji-Hyun Yoon, In-Hyung Yang, Un-Chang Jeong, You-Yup 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 자기유변 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 되어 있으나, 외부 자기력의 방향에 따라 입자들이 체인 형태로 정렬하여 기계적 성질이 변하게 된다. 이런 성질을 이용하여 브레이크와 클러치, 엔진 마운트, 댐퍼 등에 적용되고 있다. 그러나, MRF는 유체의 봉입을 위해 시스템을 소형화시키기 어렵고, 유체 누출 등의 환경오염 문제가 발생할 수 있으며, MRP 입자의 잔류물은 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다. 또한, 고가의 유체를 사용하기 때문에 시스템 적용 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 (Natural Rubber, NR), 실리콘과 같은 폴리머 매트릭스에 자기력에 따른 극성을 나타내는 입자인 MRP를 첨가하여, 자기장 인가 시 매트릭스 내부에

분포하는 MRP 간의 인력에 의해 물성이 변화하는 가변형 엘라스토머이다. 즉, MRE의 가변 성능 발현 메커니즘은 MRF와 유사하며, 차이점은 MRE는 매트릭스 안에 분포된 입자들이 항복 전 상태에서 작동하는 반면에 MRF는 항복 후 연속전단이나 유동 형태로 작동한다.

최근, 이와 같은 특성을 갖는 MRE에 대해 다양한 연구가 이루어지고 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 MRE에 대한 기초연구로서 MRP와 천연고무 매트릭스 간의 계면결합력을 변화시킬 수 있는 MRP 코팅에 따른 MRE의 인가전류에 대한 전단계수 변화율을 측정하기 위한 실험을 수행하였다.

MRP 코팅으로 인하여 금속 성분인 MRP와 천연고무 매트릭스 간의 계면결합력이 변화하여 MRE 시편의 MR 효과가 변화할 것으로 예상되었다. 이를 실험적으로 규명하기 위해 천연고무를 기본 매트릭스로 한 MRE에 MRP와 첨가제를 배합하여 시편을 제작한 후 자기장을 인가하기 위한 시스템을 구성하여 LD 커플링제 코팅에 따른 MRE의 전단계수 변화율을 실험적으로 규명하였다.

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학부

E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr

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

\* 한양대학교 대학원 기계공학과

\*\* 호원대학교 기계자동차공학부

### 2. MRE 시편 제작

천연고무를 기본 매트릭스로 하여 Activator는 ZnO와 Stearic Acid, Accelerator는 CZ, Curing

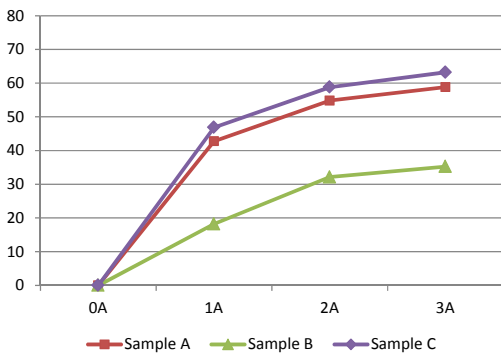
agent는 S로 준비하였다. 이와 같은 각종 첨가제와 MRP를 천연고무와 함께 고무배합장치인 Roll-mill을 사용하여 재료를 배합하였다. 이 작업을 거친 뒤, 고분자 재료 내의 사슬 완화를 위하여 상온에서 24시간 두었다. 다음으로 Press를 이용하여 160도, 2000psi의 조건으로 경화과정을 약 10분 간 거쳐서 MRE 시편을 제작하였다. 경화 시 강한 자기장을 인가하여 MRP의 체인 형태의 배열을 유도한 것을 anisotropic MRE라 한다.

본 연구에서는 MRP와 천연고무 매트릭스 간의 결합을 위해 MRP의 표면을 LD 커플링제를 이용하여 코팅한 후, Anisotropic mold를 이용하여 MRP를 배향시킨 anisotropic MRE에 대하여 기존 문헌에서 제시한 MRP의 최적 부피성분비 30 vol%로 충전함으로써 20mm x 20 mm x 2mm 인 sheet 형태의 MRE 시편을 제작하였다 (Table 1).

**Table 1** Fabricated Specimens of MRE

Specimen	Orientation	LD Coupling	MRP vol%
A	Anisotropic	X	30
B	Isotropic	O	30
C	Anisotropic	O	30

### 3. 실험결과 및 고찰



**Fig.1** Variation rate of shear modulus of MREs (%).

**Table 2** Maximum Variation Rate of Shear Modulus of MREs

Specimen	Orientation	LD Coupling	Maximum Variation rate[%]
A	Anisotropic	X	58.8
B	Isotropic	O	35.2
C	Anisotropic	O	63.2

인가전류에 따른 MRE의 전단계수 변화율을 자기장이 인가되지 않았을 경우에 대한 변화율 (%)로 Fig.1에 나타내었으며, 각 시편의 최대 전단계수 변화율을 Table 2에 나타내었다. Sample A와 C를 비교해보면, anisotropic MRE에서 LD 커플링제를 이용한 MRP 코팅이 전단계수 변화율을 4.4% 증가시키는 것을 알 수 있다. 일반적으로 MRP를 커플링제로 코팅할 경우 MRP와 천연고무 매트릭스 간의 계면결합력이 증가하여 MRP의 배향이 잘 이루어지지 않음으로써 전단계수 변화율이 감소되는 경향을 나타내지만, LD 커플링제의 경우 일반적인 경우와 달리 MRE의 전단계수 변화율을 증가시키는 것을 확인할 수 있다. LD 커플링제가 MRP의 계면결합력 향상뿐만 아니라 MRP의 배향을 촉진하는 효과가 있는 것으로 사료된다.

Sample B와 C를 비교하면, 일반적인 경우와 같이 anisotropic MRE가 isotropic MRE에 비해 최대 변화율 기준으로 31% 높은 전단계수 변화율을 나타내었다. 이 결과를 통해 MRP의 배향이 MRE의 전단계수 변화율에 큰 영향을 미치는 인자인 것을 알 수 있다.

### 3. 결 론

MRE 내부에 분포하게 되는 금속성분인 MRP와 폴리머 매트릭스 간에는 결합이 이루어지지 않기 때문에 계면결합력을 증가시키기 위해 커플링제를 이용한 MRP 코팅이 필요하다. 따라서, MRP에 대한 커플링제 코팅이 MRE의 전단계수 변화율에 미치는 영향을 실험적으로 규명하기 위해 MRP 배향과 LD 커플링제 유무에 따른 시편을 제작하고, 진동과 전자기를 이용한 측정 시스템을 이용하여 MRE의 전단계수 변화율을 평가하였다.

일반적으로 MRP 코팅이 MRP와 천연고무 매트릭스 간의 계면결합력을 증가시켜 MRE의 전단계수 변화율을 감소시키지만, LD 커플링제를 이용한 MRP 코팅이 전단계수 변화율을 4.4% 증가시키는 것을 확인하였다. 본 연구의 결과를 통해 MRP 코팅 시에도 MRE의 변화율을 촉진시킬 수 있는 커플링제 적용 가능성을 실험적으로 규명하였다.

### 후 기

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