

복합형 자기변형소자의 교류투자율 측정

경성대학교 신광호*
 부경대학교 김영학
 동아대학교 박경일, 사공건
 KIST 임상호, 나석민

1. 서론

자기변형합금과 고분자를 혼합/가공하여 제작되는 복합형 자기변형소자는 낮은 자계에서도 높은 자기변형을 나타내고, 고분자 바인더에 의한 전기적 절연에 의해서 전기저항이 크므로 와전류 손실이 작아서 비교적 높은 주파수영역에서도 우수한 자기변형특성을 나타낸다[1]. 고주파에서의 자기변형특성을 이해하고 평가하기 위해서는 자기변형특성뿐만 아니라 자기적인 특성을 구동하고자 하는 주파수영역에서 해석하여야 한다.

본 논문에서는 FeCoGe합금과 고분자 바인더를 혼합하여 제작한 복합형 자기변형소자의 투자율을 고주파(~100 kHz)에서 측정하여 평가한 결과를 보고한다.

2. 실험방법

고분자 복합체를 제작하기 위해서, 우선 유도용해로를 이용하여 제조한 모합금(Fe₃₆Co₆₂Ge₂) 잉고트를 평균 입도가 300 ~ 500 μm 인 판상 형태의 분말을 제조하였다. 제조한 합금분말과 10 wt.%의 페놀계 고분자 바인더를 8시간동안 밀링 혼합한 후 45 ~ 100 μm 크기의 혼합된 분말을 선별하였다. 혼합분말에 평균 입도가 1.36 μm 인 SiC 분말과 혼합한 후, 프레스를 이용하여 2시간 동안 가압하여 복합형 자기변형소자를 제작하였다. 가압 성형 시, 판상 분말의 정렬을 돕기 위해 복합체의 길이 방향으로 2 kOe의 자계를 인가하였으며, 이 때 성형된 복합체의 크기는 3.5 mm \times 3.5 mm \times 10 mm 였다.

본 실험에서는 복합형 자기변형 소자의 교류투자율을 평가하는 방법으로, 페라이트자심으로 구성되는 자기회로 내에 측정하고자 하는 시편의 존재 유무에 따르는 인덕턴스의 변화를 측정하여 시편의 투자율을 산출하는 페라이트자심법을 사용하였다. 시편을 장착한 경우와 장착하지 않은 경우의 저항과 인덕턴스를 10 kHz의 구동주파수에서 LCR 측정기를 이용하여 측정하였다. 또한 LCR 측정기를 이용하여 측정을 할 때, 인가전류는 10 mA로 하여 측정을 실시하였다. 일반적으로 자성체의 투자율을 측정하기 위한 방법인 페라이트자심법은 U자형태의 페라이트코어를 이용하고, 주로 박대나 박막과 같은 얇은 시편을 U자형태의 홈위에 올려 놓음으로써 자기적인 폐회로를 형성하여 측정을 실시한다. 그러나, 본 실험에서와 같이 시편의 형상이 충분히 얇지 않은 경우에는 시편을 페라이트자심의 U자형태의 홈위에 올려 놓는 것으로 자기적 폐회로를 형성시키고자 한다면 누설자속이 발생으로 인한 자기저항의 증가에 의해서 투자율의 정확한 측정이 어렵게 된다. 따라서, 본 실험에서는 페라이트자심 사이에 시편을 삽입, 장착하여 교류저항 및 인덕턴스를 측정할 수 있도록 하였다. 또한 본 실험에서 특성 평가를 하고자 하는 복합

형 자기변형소자는 응력에 의해서 민감하게 자기적인 특성이 변화하기 때문에 자기적 폐회로를 구성하기 위해서 시편에 응력을 가하지 않도록 주의하여야 한다. 본 실험에서는 시편에 가해지는 응력이 자기적인 특성을 변화시키지 않도록 충분히 작은 응력하에서 시편과 페라이트자심을 밀착시켜서 자기적 폐자로를 구성하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 10 kHz의 구동주파수에서 측정된 시편의 인덕턴스 L 과 저항 R 을 나타낸 것으로, SiC의 함량에 따른 특성을 정리한 것이다. 측정된 저항 R_T 과 인덕턴스 L_T 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R_T &= R_M + R_A \\ L_T &= L_M + L_A \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, R_M 은 시편의 자기적 손실로부터 발생한 저항성분을, R_A 는 권선의 저항(주파수의 증가에 따르는 표피효과를 고려한 저항)과 자기회로를 구성하는 페라이트자심의 자기적인 손실에 기인하는 저항성분을 나타낸다. 또한, L_M 은 시편에 자기적 성능, 즉 투자율에 의해서 발생한 인덕턴스 성분이며, L_A 는 권선만에 의해서 발생한 인덕턴스 성분을 나타낸다. 위 식에서 L_M 을 이용하여 투자율의 실수부 μ' ($= \mu_0 \mu_r'$)를 산출해 낼 수가 있으며, R_M 을 이용하여 투자율의 허수부 μ'' ($= \mu_0 \mu_r''$)를 산출해 낼 수 있다. 상대복소투자율 $\mu = \mu' - j\mu''$ 는, L_M 과 R_M 으로부터 식(2)들을 이용하여 구할 수 있다.

$$\mu_r' = \frac{lL_M}{\mu_0 SN^2}, \quad \mu_r'' = \frac{lR_M}{\omega \mu_0 SN^2} \quad (2)$$

여기서, l 은 시편의 길이, μ_0 는 진공투자율, S 는 시편의 단면적, N 은 권선수, ω 는 측정 각주파수를 나타낸다. 그림 2는 투자율의 실수부 μ' 와 허수부 μ'' 를 나타낸 것으로, SiC의 함량에 따른 변화를 도시하였다.

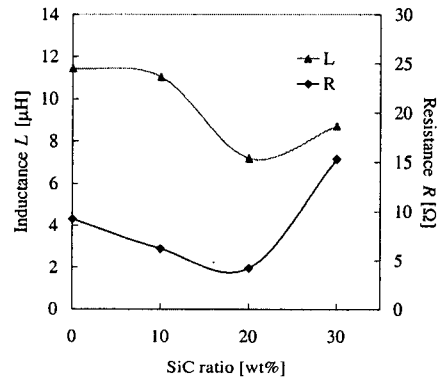


Fig. 1. Inductance and resistance of magnetostrictive composite dependent to SiC content.

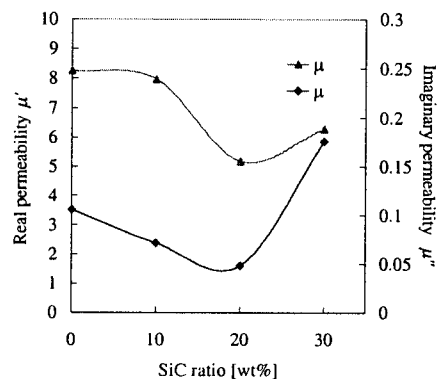


Fig. 2. Real and Imaginary part of permeability of magnetostrictive composite dependent to SiC content.