

## FeCoGeW/페놀 복합체의 자왜 및 영률 측정

박경일\*, 김홍근\*, 신광호\*\* 사공 건\*

동아대학교 전기공학과\*, 경성대학교 멀티미디어공학과\*\*

### Magnetostriction and Young's Modulus Measurement of FeCoGeW/phenol Composites

K.I. Park\*, H.G. Kim\*, K.H. Shin\*\*, G. Sa-Gong\*

Dong-A Univ.\*, Kyungseong Univ.\*\*

#### Abstract

The magnetostriction of FeCoGeW/phenol composites is measured under the external magnetic field. A few Measurement are carried out by using the electrical-resistance strain gage, the Wheaton Bridge for eliminating the unnecessary voltage, the lock-in-amplifier for the signal amplification and noise filtering. When the external magnetic field is applied to the longitudinal direction against those samples which is the 10wt.% phenol in composites, the theoretical maximum strain of 120ppm is obtained. According to the larger strain than that of others solid state actuators and piezoelectric actuators. FeCoGeW/phenol composites could be useful as an actuator.

#### 1. 서론

물체가 자기장 내에 놓이게 되면 물체의 길이가 자기장의 세기에 따라 변화하는데, 이 효과를 자기변형(Magnetostriction)이라 한다. 자기변형은 스핀-궤도결합(Spin-orbit coupling)에 기인되며 이 결합은 결정자기이방성의 원인이기도 하다[1]. 자기변형재료는 압전 재료보다 변형이 크고, 낮은 전압에서도 작동되며 작동반응 시간이 빠른 특성을 가진 재료들을 개발하기 위해서 많은 연구들이 수행되고 있다. 최근에는 자기변형재료의 분말(filler phase)을 고분자 지지제(matrix phase)로 복합화시킨 자기변형 복합체의 제조에 관한 연구가 진행되고 있다. 자기변형 복합체는 자기변형합금 분말이 유기 고분자에 의해 경화되기 때문에 비저항이 매우 크고 고주파에서의 응용에 적합하다. 또한 통상

의 분말공정에 의해 제조되기 때문에 원하는 형상으로 제조하는 것이 용이하다. 그러나 비자성체인 고분자 매트릭스가 복합화됨으로써 자기변형 특성이 다소 감소되는 단점이 있으므로 합금 분말의 형상이나 고분자와의 복합화를 최적화하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 FeCoGe/페놀 복합체에 기계적 강도를 높이기 위하여 텅스텐을 첨가하여 FeCoGeW/페놀 복합체의 텅스텐 함량 변화(0, 10, 20, 30wt%)에 따른 자기변형과 영률에 대해 조사하였다.

#### 2. 실험 방법

본 연구에서 사용한 시료는 벌크형 FeCoGe/페놀 복합체 페놀 함량 10wt%에 텅스텐을 첨가하

여 사용하였다. FeCoGeW/페놀 복합체의 시편은 텅스텐 함량이 각각 0, 10, 20 및 30wt% 4종류로 하였으며 자기변형특성을 측정하기 위하여 스트레인 게이지를 시료의 길이 방향으로 부착하였다. 이때 사용한 접착제는 충분한 시간을 두고 건조시킨 후 자장 및 응력을 가하였다. 균일한 자장을 위하여 헬름홀츠 자장을 이용하여 자기변형을 측정하였다. 또한 균일한 응력을 가하기 위하여 시편과 홀더를 접착제로 부착시켰으며 캔디레버를 이용하여 시편홀더에 균일하게 응력이 전달될 수 있게 하였다. 또한 측정장치를 충분히 예열시킨 후 측정하였으며, 열로 인한 오차를 최소화하였다.

측정 개략도

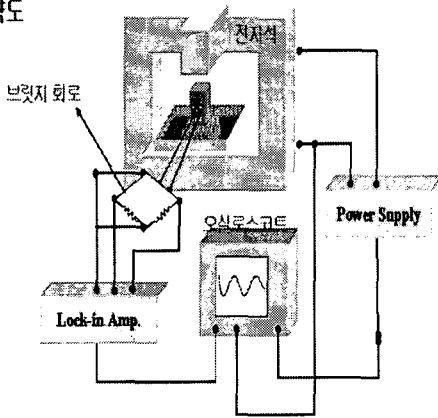


그림 1. 영률 측정 개략도

그림 1은 자기변형 및 영률을 측정하기 위한 장치의 개략도이다. 헬름홀츠 코일을 이용하여 자장을 인가하였으며 자장의 세기는 0, 1, 2, 3, 4, 4.3kOe로 하였다. 또한 영률을 측정하기 위하여 홀더가 장착된 시편에 캔디레버를 통하여 압축을 가하면 시편은 수축하게 되고 스트레인 게이지를 통하여 전기저항의 변화를 전압으로 출력하여 감지하게 된다. 저항변화에 의한 출력전압은 일반적으로  $\mu V$ 단위이므로 적절한 증폭을 위해서는 저항변화와 무관한 offset 전압을 제거하여야 하는데, 이러한 목적으로 휘스톤 브리지를 사용하였다. 휘스톤 브리지의 출력전압과 스트레인의 관계를 식 (1)에 나타내었다.

$$e_0 = \frac{E}{K_s} \times \epsilon_0 \quad (1)$$

여기서,  $e_0$ 는 출력전압,  $K_s$ 는 스트레인게이지의 게이지율,  $\epsilon_0$ 는 스트레인, E는 브리지전압(입력전압)을 나타낸다. 휘스톤브리지의 출력전압을 노이즈의 영향을 받지 않고 정밀하게 측정하기 위해 lock-in-amp를 사용, 증폭하였다. lock-in-amp에서 나오는 출력전압과 스트레인의 관계식을 식 (2)에 나타내었다.

$$\epsilon_0 = K \times \frac{e_0}{E} \times G \quad (2)$$

자기변형( $\epsilon_0$ )은 스트레인( $e_0$ )에 의해 정리할 수 있으며, 식 (2)에 의해 스트레인 게이지를 사용할 경우 스트레인 게이지율( $K$ )은 2가 된다. 여기서 G는 증폭율이다.

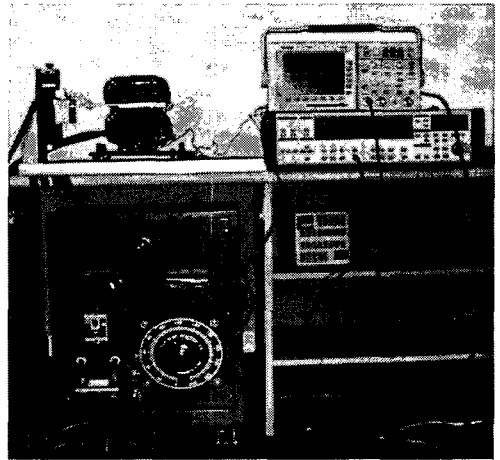


그림 2. 탄성을 측정 장치

그림 2는 자왜 및 영률을 정밀하게 측정하기 위해 사용된 장치이다. 자계는 헬름홀츠 코일을 사용하였으며 영률측정에 사용되는 홀더 구멍의 두께는 봉의 굵기보다 조금 굵게 하였고, 구멍의 폭은 충분히 넓게 해서 시편에 불균일한 응력이 가해지는 것을 방지하였다. 봉의 재질은 10kg 정도의 하중에 점성변형되지 않도록 하기 위하여 초경합금을 사용하였다.

### 3. 실험 결과

그림 3은 자기변형 복합체의 텅스텐 함량에 따른 자기변형치를 나타내고 있다.

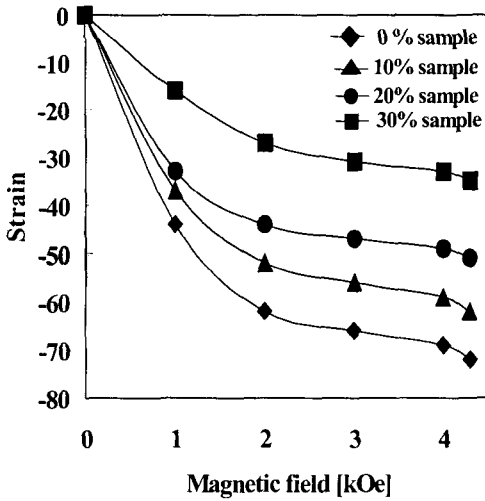


그림 3. 텅스텐 함량에 따른 자기변형치

그림 3에서 텅스텐 함량이 증가됨에 따라 자기변형치는 감소하는 것을 알 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 텅스텐 함량이 0~30wt%까지 4.3kOe의 인가 자장 하에서 72.3 ppm에서 35.7 ppm으로 감소하는 것을 알 수 있다. 복합체 제조공정에서 텅스텐의 함량이 자기변형 분말 혼합하면서 판상의 단면들에 텅스텐이 첨가하여 자기변형을 감소시키기 때문으로 생각된다.

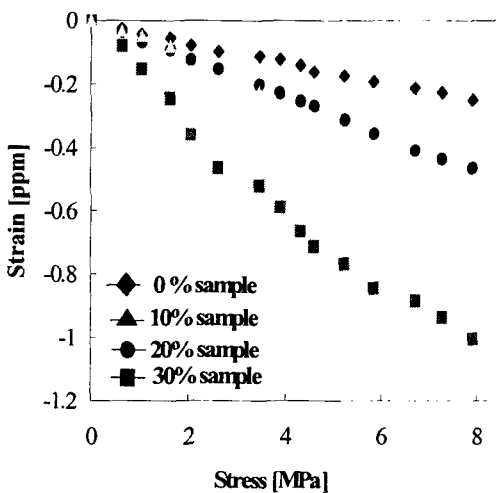


그림 4. 텅스텐 함량에 따른 탄성율

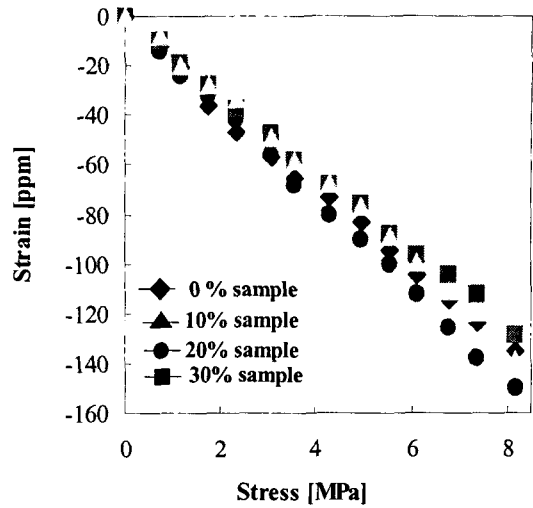


그림 4는 텅스텐함량이 증가됨에 따라 탄성율이 증가되는 것을 알 수 있다. 계산에 의하여 10wt%의 경우 탄성율은 67.4 [GPa]을 나타내며, 30wt%의 경우 탄성율은 27.6 [GPa]이었다. 그림 3과 4에서 보는 바와 같이 자기변형치는 텅스텐 함량이 증가할수록 감소하는 반면, 기계적 강도인 탄성율은 함량이 증가할수록 증가하는 것을 알 수 있었다.

그림 5. 텅스텐 함량 10wt%복합체의 자계에 따른 탄성율

그림 5는 인가자장에 대한 탄성율을 나타내는  $\Delta E$  효과를 측정하기 위해 텅스텐 함량 10wt%을 가진 복합체에 대해 자계세기에 따른 탄성율을 측정하여 나타낸 것이다. 자계의 세기는 0.5, 1, 2, 3 [kOe]로 하였으며 그림에서 보는 바와 같이 자계가 증가함에 따라 탄성율도 증가함을 보여 주고 있으며 자계에 따라 탄성율이 변화하지만 3[kOe] 이상의 자계에서는 더 이상 변화하지 않았다. 이는 자기모멘트의 회전이 응력에 의해서 포화되었기 때문이라 생각된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 스트레인 Gauge와 휘스톤브리지 회로, 노이즈 및 증폭을 위한 lock-in-amp등을 사용하여 벌크형 FeCoGeW/페놀 복합체의 텅스텐

함량에 따른 자기변형치와 탄성율을 조사하였다. 자기변형치는 텅스텐 함량이 증가할수록 감소하였으며 탄성율은 함량이 증가할수록 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 함량이 증가할수록 기계적인 성질은 우수한 반면 자기적인 성질은 감소하였다. 자기변형 복합체에 텅스텐 함량에 따라 차이가 있었으며 10wt%일 때 최대치인 67.4 [GPa]를 나타내었고, 반면 30wt%일 때는 27.6[GPa]를 나타내었는데, 이는 텅스텐함량에 따라 페놀matrix와 분말 충전상의 결합이 자기변형을 전달하기에 충분하게 경화되지 못하였기 때문이라 생각된다. 자기변형 복합체의  $\Delta E$  효과를 측정 결과 자계의 세기에 따라 탄성율이 증가하였으며 3[KOe]이상의 자계에서는 더 이상 탄성율의 증가를 확인할 수 없었다.

본 연구결과물은 과학기술부·한국과학재단에서 지정한 지역협력연구센터(RRC) 및 산업자원부·한국산업기술평가원에서 지정한 지역기술혁신센터(TIC)인 동의대학교 전자세라믹스센터의 지원에 의한 것입니다.

### 참고 문헌

- [1] B. D. Culity, Introduction to magnetic materials, Addison-Wesley Publishing Company, ch. 7 (1972)
- [2] T. Nakata, N. Takahashi, M. Nakata, "Magnetostriction Measurement with a laser Doppler Velocimeter", IEEE Trans. Magn. vol 30. no 6. (1994)
- [3] M. Enokizono, K. Takahashi, Y. Yamaura "Development of a new strain gage for measurement of two dimensional magnetostriction", J. Magn. Mater., 196 (1999)
- [4] 안승준, Michelsom 레이저 간섭계를 이용한 자기변형 측정, 선문공대 연구논문집, 4권 1호 (1998)
- [5] S. H. Lim, S.R. Kim, S. Y. Kang, J.K. Park, J. T. Nam and Derac Son, J. Magn. Mater., 191 (1999)