

## 전자기력과 중력을 이용한 기초자성 측정용 자기계의 신형 용량형 토크센서의 교정

숙명여자대학교 김미양\*, 최규리, 최수정, 송은영, 이장로  
전북대학교 이용호

Calibration of a New Type Capacitive Torque Sensor for Measuring Basic  
Magnetic Characteristics with Electromagnetic and Gravitational Forces

Sookmyung Women's Univ. M.Y.Kim, K.L.Choi, S.J.Choi, E.Y.Song, and J.R.Rhee  
Jeonbuk National Univ. Y.H.Lee

### 1. 서 론

자기장에 놓인 시료에 작용하는 토크를 분석함으로써 자성체의 기초특성인 자기이력곡선, 자기이방성, 자왜 등을 측정하기 위한 통합자기계를 제작하였다[1]. 이것은 소형 회전 전자석(중량 10 Kg, 극간격 23 mm, 소모전력 350 W, 최대자장 6 KOe) 박막 및 bulk 시료의 자기이력곡선, 자기이방성, 자왜 등의 측정이 가능한 3종의 용량형 센서, 고분해능을 가진 Transformer-ratio-arm (TRA) bridge 등으로 구성된다. 본 연구에서는 이러한 신형 토크 센서의 감도에 관한 몇가지 교정 방법과 그 결과에 대하여 보고한다. 센서의 교정을 위하여 사용하는 토크는 (1) 센서의 가동전극의 자체 무게에 의한 토크, (2) 직류 바이어스 전압[2]의 정전인력에 의한 토크, (3) 일축형상 이방성 시료의 인가 자장의 각도 변화에 따른 토크, (4) 일축형상 자기 이방성을 갖는 시료를 자화용이축으로 자화시켜 이 축에 수직 방향으로 기지의 보조 자장을 가할때 생기는 토크 등을 사용하였다.

### 2. 실험방법

이 용량형 토크 센서는 고정 전극과 가동 전극으로 구성되고 이 센서의 연직 상부 끝에 4 조각의 인칭동 구리판(폭  $w$ , 길이  $l$ , 두께  $t$ )으로 만든 십자형 beam이 붙어 있으며 연직 하부에 붙어 있는 시료에 생긴 토크  $\tau$ 는 십자형 beam을 각도  $\phi$ 만큼 회전하게 하고 이로 인하여 평행판 축전기(용량  $C_0$ )의 용량변화  $\Delta C$ 를 가져오게 한다. 이때 각도  $\phi$ 는 토크 센서의 감도 상수를  $K$ 라하면  $\phi = K \tau$ 라 쓸 수 있고,  $\Delta C/C_0 = -(K r' / g_a) \tau$ 가 된다. 여기에서  $g_a$ 는 평행판 축전기의 간격이고  $r'$ 는 회전 beam 축과 가동 극판의 중심까지의 거리이다. 이 용량 변화  $\Delta C$ 는 TRA bridge로 측정되며, 이것의 출력전압  $V_0$ 는  $V_0 = -n K r' G V \tau / (n+1) g_a$ 로 계산할 수 있다. 여기에서  $G$ 는 lock-in-amp의 감도,  $(n+1)V$ 는 TRA bridge의 2차 coil의 전압이다.

(1) 센서의 가동전극을 연직 방향에 대하여 미소각  $\theta$  만큼 기울일때 자체 무게의 토크에 의한 감도 상수  $K_G$ 는  $K_G = (n+1) \epsilon_0 A V_0 / n G V r' m g r \theta$ 로 표시 된다. 이때  $m$ 은 가동전극의 질량이고  $A$ 는 단면적이다.

(2) 직류 바이어스 전압  $V_{DC}$ 를 가할 때의 정전인력의 토크에 의한 감도 상수  $K_E$ 는  $K_E = 2(n+1) \epsilon_0^2 A^2 V_0 / n G r r' V_{DC}^2 V C_0^3$ 이다.

(3) 일축형상 이방성 시료에 자기장  $H$ 를 가하고 인가 자장과 자화용이축 방향과의 각도  $\theta$  만큼 전자석을 회전시킬 때의 생기는 토크에 의한 감도 상수  $K_A$ 는  $K_A = (n+1) \epsilon_0 A V_0 / n G V r' I_s v H \sin(\theta - \phi) C_0$ 이다. 여기에서  $v$ 는 시료의 체적이고  $I_s$ 는 시료의 포화자화 값이며  $\phi$ 는 자발 자화와 자화용이축 사이의 각이다.

(4) 일축 이방성 시료를 자화용이축으로 자화시키고 이 축에 수직 방향으로 자기장  $H_0$ 를 가할때 생기는 토크에 의한 감도 상수  $K_M$ 는  $K_M = (n+1) \epsilon_0 A V_0 / n G V r' I_s v H_0 C_0$ 이다.

### 3. 실험결과

Fig. 1은 센서의 가동전극(질량 392 mg)의 장축을 연직 방향에 대하여 미소각  $\pm 3.27^\circ$  기울일 때 자체 무게의 토크에 의한 TRA bridge의 peak to peak 출력전압  $V_0 = 5.50$  V을 나타내는 그림이며  $l = 30.0$  mm,  $r = 8.0$  mm,  $r' = 3.0$  mm,  $g_a = 0.20$  mm,  $w = 6.0$  mm,  $n = 500$ ,  $G = 400$ ,  $V = 0.30$  V 일 때  $K_G = 760/J$  이고  $\tau_E (= mgr \sin \theta)$ 는 1.75  $\mu J$ 이었다. Fig. 2는 감도 상수  $K_E$ 를 결정하기 위하

여 DC 바이어스  $V_{DC}$ 를 센서에 가했을때 lock-in-amp의 출력 전압  $V_o$ 을 나타내며 이것은  $V_{DC}^2$ 에 비례함을 알 수 있다. 이 때  $K_E = 715/J$  이고  $\tau_E (= rC_0V_{DC}^2/2g_a)$ 는  $V_{DC} = 94.5 V$ ,  $V_o = 826 mV$  일때  $1.42 \mu J$ 이었다. Fig. 3은 시료 Ni wire (직경 0.13 mm, 길이 8 mm)에 400 Oe를 가했을때 인가자장과 자화 용이축 방향의 각을  $\pm 270^\circ$  변화하면서 측정한 torque 곡선이다. Fig. 4는 Ni wire를 자화용이축으로  $\pm 650 Oe$ 의 교류 자장을 인가하여 자화시키고 이 방향과 수직한 자장  $H_a = 14.4 Oe$ 를 가하여 얻은 자기 이력 곡선으로 이때 출력 전압은  $38.7 mV$ 이고 보자력은  $63 Oe$ 이었다.

#### 4. 결 론

본 자기계의 용량형 토크 센서의 감도 상수는 각각  $K_G = 760/J$ ,  $K_E = 715/J$ ,  $K_A = 733/J$ ,  $K_M = 720/J$  이 구해졌으며 이 값들은  $\pm 3\%$ 의 편차 범위안에 있음을 알 수 있다.

#### 5. 참고문헌

- [1] Y.H.Lee, Y.D.Shin, K.H.Lee, M.Y.Kim, and J.R.Rhee, " A Multipurpose Magnetometer for Measuring Basic Magnetic Characteristics with a Newly Designed Capacitive Torque Sensor ", Proceedings of INTERmag' 95 in San Antonio, Texas, USA.
- [2] Y.H.Lee, Y.D.Shin, B.H.Huh, K.H.Lee, H.J.Kim, S.H.Han, I.K.Kang, J.R.Rhee, " DC Biased Capacitance Method for Measuring Thin Film Magnetostriction and  $\Delta E$  Effect ", IEEE Trans. Mag. 30(7), 4713-4716 (1994).

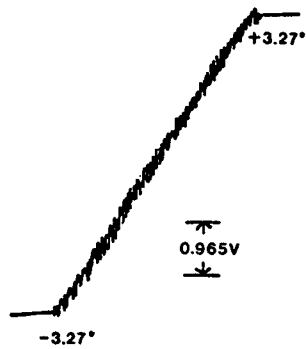


Fig. 1. Output voltage  $V_o$  of TRA bridge as a function of the angle between sensor's electrode and vertical direction.

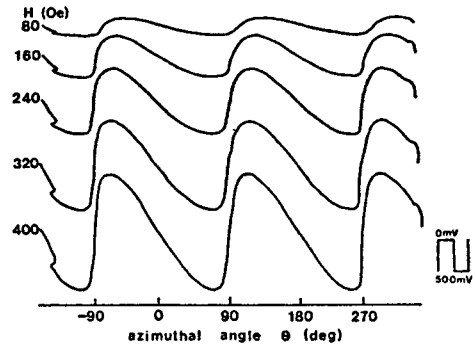


Fig. 3. Anisotropic torque curves of Ni wire sample (0.13mm dia, 8.0mm length).  $V_o = 870 mV$ ,  $\tau_A = 217 nJ$ .

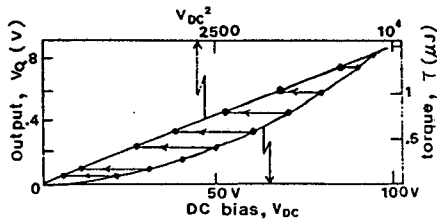


Fig. 2. Output voltage  $V_o$  of the lock-in-amplifier as a function of D.C. bias  $V_{DC}$ .

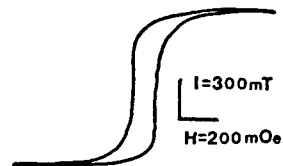


Fig. 4. Hysteresis loop Ni wire sample (0.13mm dia, 8.0mm length).