

새 자성 재료의 기초자기특성 연구 (1) 자성체 기초특성의 새측정법 연구*

이용호, 김인수, 신용돌, 이연숙, 이영희
전북대학교 물리학과

(1991년 9월 13일 받음)

압전 토오크 센서를 사용하는 고감도 자력계를 제작하였다. 미소진폭의 진동자기장을 자화된 시료에 인가할 때 생기는 토오크를 압전소자로 측정하였다. 그 토오크는 시료의 자화에 비례한다. 포화자화의 측정오차는 기준치에 대하여 5% 이내였다.

I. 서론

자성체의 기초특성에는 포화자화, 투자율, 보자력, 자기변형, 자기이방성등이 있다. 이들의 측정법에는 고전적 방법에서 현대화된 방법까지 많은 종류가 있으며 계속 발전되고 있다. 본 저자는 자기적 기초특성에 관한 새로운 고안을 몇가지 발표한 바 있다[1-4]. 본 연구에서는 포화자화, 투자율, 보자력 등을 측정할 수 있는 새로운 자화이력곡선 측정장치에 대하여 기술하고자 한다.

자화곡선 측정의 기본원리에는 전자기유도법과 전자기력법(force method)의 두 가지가 있다. 전자기유도법 중의 대표적인 방법이 진동시료형 자력계 (VSM)로서, 현재 자화측정의 주류를 이루고 있으나 장치가 복잡하고 진동에 약하며 매우 고가이다. 전자기력 법으로는 고전적인 Faraday의 천칭법, Gouy법등[5]이 지금도 쓰이고 있으며 시료가 상당히 커야하고, side force 등의 난점이 있다. 이들은 힘의 측정에 고전적인 천칭을 쓰고 있는데 이 점을 현대화하는 몇가지 고안이 있다. Morais 등[6]은 microphone의 고감도를 이용하였으며 audio phono-cartidge에 쓰이는 Rochelle 염 결정의 매우 큰 압전효과를 이용한 방법[2,7]등도 있다. 본 연구에서는

자성체시료의 자화에 비례하는 토오크를 압전소자로 검출하여 자화곡선을 구하는 실험에 관하여 기술하고자 한다.

II. 원리와 구성

그림 1은 측정의 원리를 설명하고 있다. 구 또는 원판 시료 S는 전자석 M에 의한 균일 자기장 H에 의하여 자화되어 자화량 I를 갖는다. H에 수직하게 놓은 작은 Helmholtz coil F₁, F₂에 교류전류를 흘려 미소 교류자기장 H_a를 시료에 인가한다. I와 H_a에 의하여 시료에는 토오크 τ가 발생하며

$$\tau = -(I \times H_a) v a \quad (1)$$

인 관계가 성립한다. 여기서 v는 시료의 부피이다. 이 τ를 압전소자를 이용한 토오크 센서로 측정하면 (1)식에 의하여 I를 구할수 있다. 감도를 높이기 위하여 교류자기장의 주파수는 압전센서의 공진주파수와 일치시킨다.

그림 2는 본 장치의 전체구성을 설명하고 있다. 발전기 TG에서 발생한 삼각파는 직류증폭기 AC에서 전류 증폭되어 시료 자화용 전자석 M의 자화코일 C₁, C₂에 공급되어 자기장 H를 시료 S에 인가하여 시료를 자화한다. 정현파 발전기 SG에서 발생한 교류신호는 증폭기

*본 연구의 일부는 1990년도 교육부 기초과학 육성 연구비의 지원을 받았음.

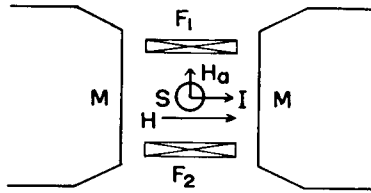


Fig. 1 The principle of magnetization measurement.

M:electromagnet, S:sample, F₁,
F₂:Helmholtz coil for driving a sample.
H_a:oscillation magnetic field produced by F₁, F₂.

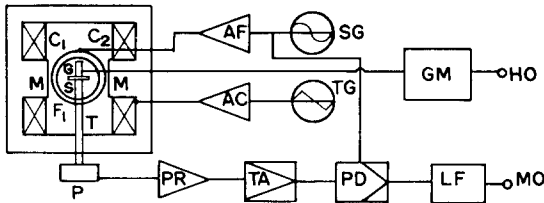


Fig. 2. Block diagram.

P:piezoelectric torque sensor.
SG:audio generator AF:audio amplifier
TG:triangular wave generator
AC:direct current amplifier GM:Gauss meter
PR:preamplified YA:tuned amplifier
PD:phase detector LF:low pass filter

AF로 전류증폭 되어 Helmholtz coil F₁, F₂에 공급되어 자화 방향에 수직인 교류자기장 H_a를 인가하여 시료에 토오크 τ을 발생케한다. 토오크 τ은 연결봉 T에 의하여 압전소자 P에 전달되어 전기 신호로 변환되어 전치 증폭기 PR에 입력되며 다시 동조증폭기 TA에 의하여 협대역증폭되고, 검파기 PD에 의하여 위상검파되어 양극성(bipolar)의 직류전압으로 변환되어 저역통과 여파기 LF에 의하여 고주파 교류성분을 제거한후에 출력단자 MO로 출력되어 오실로스코프와 XY기록계의 Y축에 표시된다.

시료 S 옆에 놓인 Hall 소자에 의하여 측정된 자기장 H의 신호는 가우스미터 GM로 검출되고 그 출력은 단자 HO로 출력되어 표시기의 X축에 표시되어 자화곡선이 얻어진다.

III. 장치 각부분의 설명

1. 전자석 M

시판되는 전자석은 냉각용 fan의 잡음이 커서 압전센서의 동작에 큰 지장이 되어 소형전자석을 제작하였다. 철심재료는 질소분부위기 중에서 800℃의 온도로 24시간 열처리한 규소강관을 주로 사용하였다. pole 직경은 26mm이고 pole 간격은 20mm로 고정하였다. 직경 0.8mm 폴리에스텔 피복선을 660회 감은 원형 코일 2개를 병렬 연결하여 상온에서 2.3Ω의 저항치를 얻었다. 자화전류 I와 발생된 자기장 H 사이의 관계는 400 Oe/A였고, 9A의 전류에 의하여 최대 3600 Oe의 자기장이 얻어졌으며 직선성은 양호하였다. 잔류자기장은 3 Oe 이하였다. 8A로 자화시에는 발열이 심하여 사용시간은 60초로 제한하였으며, 10분의 냉각시간이 필요하였다.

2. Helmholtz coil F₁, F₂

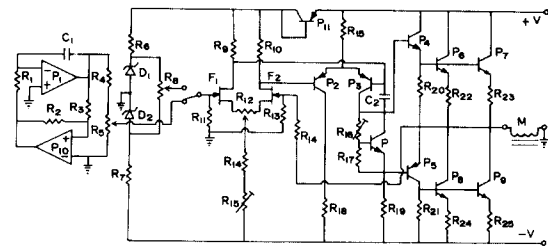
본 시료에서는 주로 평판시료를 사용하였으므로 단면이 16mm×8mm의 4각형 변형 Helmholtz coil을 사용하였다. 교류전압의 최대치는 2V이 이 때 코일중심부의 H_a 최대치의 실측치는 4 Oe였다.

3. 직류 및 교류 자화 전원

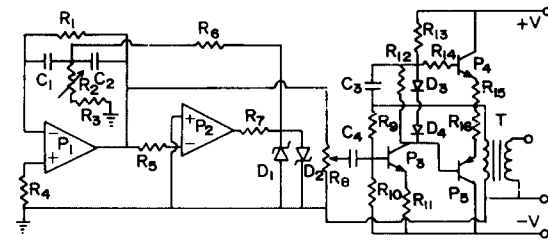
전자석 자화용 양극성 직류전원 AC, 삼각파 발생용 발진기 TG, 톱크 발생용 교류증폭기 AF, 교류발진기 SG의 회로는 그림 3과 같다. 삼각파의 주기는 60초로 하여 측정장치 자체의 hysteresis 효과를 감감시켰으며, 교류 발진기의 주파수는 200~2000 Hz 범위에서 변화시켜 압전센서의 공진주파수(약 405 Hz)에 일치되게 조절하였다. 발열이 큰 전력증폭단의 트랜지스터는 선풍기로 강제공냉하였으며, 최대출력은 ±24 V, 10A였다.

4. 신호 검출계통

압전소자는 phono-catridge에서 얻은 Rochelle 염의 bimorph 형이며, 크기는 폭 4mm, 두께 1.5mm, 길이 17mm이고 토오크에만 응답하게 지지하였다. 압전센서의 출력저항이 매우 크므로 입력저항이 큰 J-FET의 전치 증폭기로 증폭한후에 중심주파수 405 Hz, Q=5.6인 협대역 증폭기를 경유하여 위상검파기의 Y 단자에 입력시켰다. 이 때의 입력 전압 V_y=V_s sin ωt 이며 여기서 V_s는 증폭계통의 종합증폭도와 τ에 비례하는 장치상수이며 ω는 교류발진기 SG의 각속도이다. 참조신호는 F₁, F₂ 코일 구동용 교류전압을 위상 조절회로를 경유하여 위



(a) The circuit of TG and AC.



(b) The circuit of SG and AF.

Fig. 3.

상 검파기의 X단자에 입력시켰으며 그 값 V_x 는 $V_R \sin(\omega t + \phi)$ 이다. 여기서 V_R 은 참조신호의 진폭이며, ϕ 는 V_x 와 V_y 의 위상차이다. ϕ 는 위상조절기에 의하여 0으로 할 수 있으며, 이때 위상검파기의 출력 V_p 는 $V_p = V_x V_y = V_R V_S / 2(1 - \cos 2\omega t)$ 가 되며 저역통과 필터에 의하여 교류성분인 $1/2 V_R V_S \cos 2\omega t$ 는 제거되고 직류성분인 $1/2 V_R V_S$ 만이 출력된다. 이것은 토오크 τ 에 비례한다. V_S 의 교정은 포화자화가 기지인 시료에 의하여 할 수 있다.

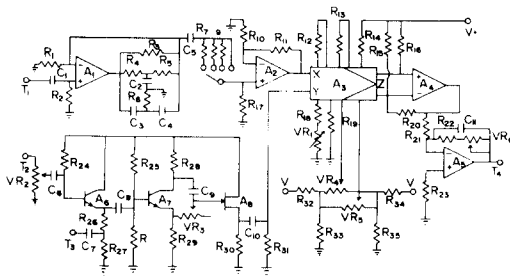


Fig. 4. The circuit of TA, PD and LF.

IV. 실험 및 고찰

본 장치의 성능을 시험하기 위하여 시료는 특성이 공표된 Metglas 2605CO, 2605SC, 2605S2, 2826MB를 선정하여, 시판된 폭 25mm의 리본에서 직경 약 2.8mm의 원판으로 성형하였다. 각 시료의 질량을 분해능 $10 \mu\text{g}$ 의 전자저울로 측정하여, 공표된 밀도에 의하여 부피를 계산하였다. 시료지지봉 T와 시료사이의 연결은 인천동판의 탄력을 이용하였다. 자화이력곡선의 1주기 소인시간을 60초로 했을때의 각시료의 측정결과는 그림 5와 같다. 이때 압전센서의 공진주파수는 405 Hz 였다.

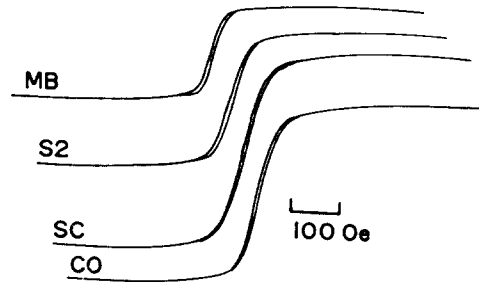


Fig. 5. Some examples of hysteresis curve.

MB:2836MB S2:2605S2 SC:2605S2
CO:2605CO.

XY 기록계에 나타는 이력곡선의 출력전압의 peak to peak 값을 V_{pp} 라 하면 (1)식에 의하여 다음식이 성립된다.

$$V_{pp} = k'' \tau = k' I_s H_a v = k I_s v \quad (2)$$

여기서 k'' , k' , k 는 각각 장치상수이며 I_s 와 V 가 기지인 시료에 의하여 k 를 구할수 있다. 실험결과를 종합하여 표 1을 얻었다. 여기서 V_{pp} 는 XY 기록계의 Y축방향의 길이이다.

Table 1. Published experimental data and our measured values for the samples.

sample unit	Published		measured					
	density g/cc	$4\pi I_s$ Gauss	mass mg	volume 10^{-4} cc	V_{pp} mV	k mV/Gcc	k mean mV/Gcc	$\Delta k/k$ %
2605CO	7.56	16500	1.41	1.87	440	143	149	-4.2
2605S2	7.32	15000	1.04	1.42	330	155	149	+4.2
2605SC	7.18	15400	1.51	2.10	480	148	149	-0.7
2826MB	8.02	8300	1.49	1.86	230	149	149	0

이상의 결과에서 보면 포화자화에 관한 실험치와 공칭치 사이의 오차율은 5% 이내임을 알수 있다. 그러나 이력곡선의 보자력의 값은 모든 시료가 거의 같으며 약 6 Oe정도이며 이것은 과대한 값이다. 그 이유는 자기장 검출소자와 위상검파회로의 time constant 등에 의한 종합적인 장치의 이력 현상이며 앞으로 개선점으로 남아 있다. 그리고 투자율은 시료의 형상에서 오는 반자기장 때문에 매우 작게 나타나고 있다. 이 이유의 규명에는 반자기장 계수를 알고 있는 시료, 즉 구 모양의 시료를 사용하여 자화곡선의 반자기장 보정을 할 문제가 남아 있다.

V. 결론

매우 간편하고 경제적인 방법에 의하여 자화이력곡선의 측정이 가능해 졌으며 감도면에서는 본 장치에 소요되는 시료의 면적이 VSM의 표준시료면적(8mm×8mm)에 비교하여 1/10정도임으로 보아 오히려 기존의 VSM을 능가하고 있다. 포화자화의 측정치의 오차는 5% 정도이

다. 그러나 형상이방성의 교정에 의한 보자력과 투자율의 측정의 문제 및 시료의 온도제어의 기능부가에 의한 큐리온도 측정의 문제가 남아있다.

참 고 문 헌

- [1] Y. H. Lee, IEEE Trans. **Mag-23**, 2131(1987).
- [2] Y. H. Lee, H. J. Kim, T. H. Noh, I. K. Kang, C. S. Kim, IEEE Trans, **Mag-26**, 2055, (1990).
- [3] 이용호, 신용돌, 이영희, 김희중, 강일구, 응용물리 2, 437(1989).
- [4] 이용호, 이연숙, 신용돌, 문기원, 노태환, 김희중, 강일구, 한국자기학회지 1, 30(1990).
- [5] B. D. Cullity, "Intro' to Magnetic Materials", 76, Addison Wesley Co, Reading(1972).
- [6] P. C. Morais, N. M. L. Loche, A. L. Tronconi and K. S. Neto, Rev. Sci. Instr. **56**, 411(1985).
- [7] P. J. Flanders, J. Appl. Phys. **63**, 3940(1988).

Study on Basic Magnetic Characteristics in New Magnetic Materials (1) A New Measurement System for Basic Properties of Magnetic Materials

Yong-Ho Lee, In-Soo Kim, Yong-Dol Shin
Yeon-Suk Lee and Young-Hee Lee
Department of Physics
Jeonbuk National University, Jeonju 560-756

(Received 13 September 1991)

A high sensitive magnetometer using piezoelectric torque sensor was built. The torque produced on the magnetized sample with small oscillating magnetic field was measured by a piezoelectric sensor. The torque is proportional to the magnetization of the sample. Errors of the measurement for saturation magnetization remain less than 5% compared to existing standard values.