

비정질 세선의 인장응력에 따른 교류자기이력 특성측정

조희정·양종만

이화여자대학교 물리학과

손대락

한남대학교 물리학과

김구영

한국표준과학연구원

(1993년 2월 2일 발음, 1993년 3월 3일 최종 수정본 발음)

비정질 세선(amorphous wire)의 인장응력(tensile stress)에 대한 자기적 특성의 변화를 측정하기 위하여 자화 주파수 범위가 1 ~ 20 kHz, 인장응력의 범위가 0 ~ 20 N인 비정질 세선용 교류자기이력곡선특성 측정장치를 제작하였다. 제작된 교류자기이력곡선 측정장치를 이용하여 비정질 세선의 인장응력에 따른 자기적 특성(최대자기유도 B_{max} , 잔류자기유도 B_r , 보자력 H_c 등)을 1%의 정밀도로 측정할 수 있었다.

I. 서 론

비정질 자성재료는 기존의 결정질 자성재료에 비하여 결정구조에서부터 오는 자기이방성(magnetic anisotropy)이 매우 적으며, 자벽의 이동이 용이하다. 결정입계(grain boundary)가 없고, 인장강도가 크며, 비저항이 결정질 금속에 비하여 크기 때문에 와전류가 적고 이로인하여 주파수 특성이 우수하다[1]. 따라서 비정질 합금의 이러한 특성을 이용한 센서 개발에 관하여 많은 연구가 되어 지고 있으며, 이러한 비정질자성재료를 이용한 센서는 기존의 결정자성재료를 이용한 센서에 비하여 동적특성과 선형도를 향상시킬 수 있다[2].

비정질 자성재료중 자기변형이 크고 자기탄성 효과가 큰 특성을 이용하여 각종 역학용 센서와 자장 및 전류센서의 개발에 많이 이용되고 있다. 특히 비정질 세선을 센서에 이용할 경우 비정질 세선에 직접 코일을 권선 할 수 있으므로 센서의 소형화를 도모할 수 있다. 따라서 비정질 세선의 자기적 특성을 연구함으로써 센서의 특성향상을 도모할 수 있으며 새로운 센서의 개발이 가능하다[2, 3]. 본 연구에서는 비정질 세선의 자기탄성효과를 이용한 역학용 센서를 개발하기 위하여, 인장응력에 따른 비정질세선의 교류자기이력특성 측정장치를 제작하였다.

II. 측정장치 제작

비정질 세선은 단면이 원형이고 직경이 $100\mu\text{m}$ 정도이기 때문에 시편을 토로이드 모양으로 제작하는 것이 어렵고, 단일강판철손측정법과 같이 yoke를 사용할 경우 yoke의 면을 직경이 서로다른 비정질 세선에 맞게 가공하여야 되는 불편함이 있다. 또한 위의 2 방법은 비정질 세선에 인장응력을 가하는 장치를 부착하는 것이 어렵다. 측정하고자하는 대부분의 비정질 세선은 직경이 $100\mu\text{m}$ 정도이고 시편의 길이 10 cm 정도로 할 경우 반자장계수(demagnetizing factor)가 10^{-6} 정도로 매우 작다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 yoke를 사용하지 않고 단일 비정질 세선을 솔레노이드에 넣어서 측정하는 방법을 택하여, 인장응력에 따른 비정질 세선의 자기이력특성측정을 용이하게 디자인하였다. 인장응력을 주기위해서는 비정질 세선 맛물림장치(3번)와 연결된 각형의 알루미늄봉(5번)은 지지대(4번)에 의하여 자유스럽게 일차원 운동을 할 수 있게하고, 5번과 6번 사이에 스프링 상수가 1200 N/m인 스프링을 연결하여 나사(7번)를 1회 회전시킬 때 0.61 N의 인장응력을 비정질 세선에 가하도록 하였다. 이와 같이 제작된 측정장치의 총 인장응력 범위는 0 N에서 20 N까지였다.

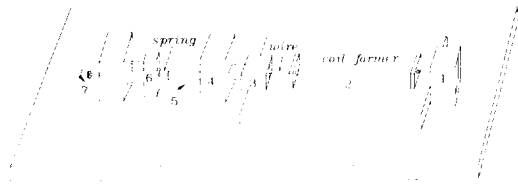


Fig. 1. Schematic diagram of the hysteresis loop measuring apparatus for amorphous wires; 1) and 3):holder for amorphous wire 2): coil former, 4): sliding mechanism to remove the rotation of shaft 5): shaft for applying tensile stress to amorphous wire, 6): guide rail for stretching the spring without rotation of spring wire, 7): bolt for stretching the spring.

자기이력곡선의 측정주파수범위를 센서개발에 많이 사용되는 주파수범위인 1~20 kHz 로 택하였으며, 이 주파수범위에서 특성측정을 하기 위해서는 일차코일의 권선수 (N_1)를 결정하여야 한다. 일차코일에 가하는 평균 전압 (V_1)과 일차코일의 flux linkage 의 관계는

$$V_1 = 4fN_1A_sB_{max} \quad (1)$$

와 같다[4]. 여기서 f 는 자화주파수, A_s 는 시편의 단면적이고, B_{max} 는 측정하고자 하는 시편의 최대자속밀도이다. 이 식으로부터 자화주파수의 범위가 1 kHz~20 kHz에서 사용가능한 일차코일 N_1 의 권선수범위를 결정하였다. 코일포머는 직경이 3 mm이고 길이가 67 mm인 PVC관을 이용하여 N_1 을 750회, 시편의 자속밀도를 측정하기 위한 이차코일 N_2 를 375회 권선하였다.

자기장 H 를 측정하기 위하여 일차코일에 흐르는 전류를 1Ω 저항을 사용하여 전압신호로 변환하였다. 반자장계수가 매우 작기 때문에, 자기장 계산을 위한 유효자기행로 (effective magnetic path length)의 길이를 솔레노이드의 길이로 하였다. 시편의 자속밀도 B 는 이차코일에 유도되는 기전력을 적분하는 방법을 택하였고, 공기자속 (air flux)의 보상방법은 시편이 없는 상태에서 자기장신호의 크기를 조절하여 적분기 다음의 연산증폭기에서 입력하여 출력전압이 영이 되게하였으며, $B-H$ 신호를 측정하기 위한 전자회로도에는 Fig. 2와 같다.

교류자기이력특성을 컴퓨터로 측정하기 위하여 $B-H$ 신호를 transient recorder를 사용하였으며, 디지털 샘플

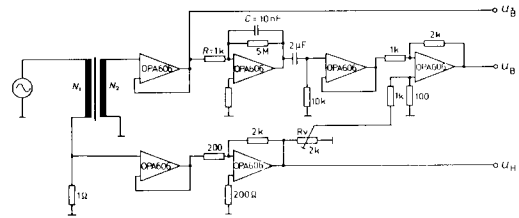


Fig. 2. Electronic circuit diagram for $B-H$ signal processing.

링 방법에 의한 자기이력곡선의 측정오차를 1% 이하로 하기 위하여 [5, 6], 본 연구에서 ADC의 분해능이 12bit, 변환속도 (conversion rate)가 10MHz인 transient recorder (Nikolet 4075)를 사용하였다. 이 경우 자화주파수가 10 kHz일 때 B 와 H 신호를 각각 매 주기당 500번씩 얻을 수 있다. Transient recorder로 digitize한 $B-H$ 신호는 IEEE-488 Bus를 통하여 컴퓨터 (HP9826)로 보낸 후 교류자기이력특성인 보자력 H_c , 잔류자속밀도 B_r , 최대 자기장 H_{max} 및 최대자속밀도 B_{max} 를 계산하였으며, 제작된 교류자기이력곡선 측정장치의 개략도는 Fig. 3과 같다.

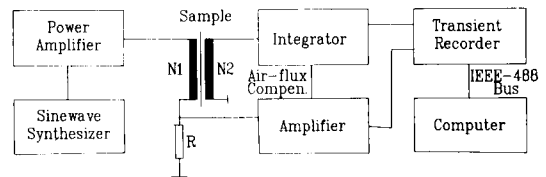


Fig. 3. Block diagram of the ac-hysteresis loop tracer for amorphous wires.

III. 비정질 세선의 자기탄성효과 측정

비정질 세선의 인장응력에 대한 자기이력곡선특성의 변화를 측정하기 위한 시편은 4 종류의 as quenched 비정질 세선 (Unitika Co.)을 사용하였으며 자기변형상수 λ 와 세선의 직경 Φ 는 다음과 같다: AF-10(Fe-Si-B, $\lambda > 0$, $\Phi = 125\mu\text{m}$), Co_{72.5}Si_{12.5}B₁₅ ($\lambda < 0$, $\Phi = 100\mu\text{m}$), AC-20(Co-Fe-Si-B, $\lambda < 0$, $\Phi = 125\mu\text{m}$), DC-2T(Co-Fe-Si-B, $\lambda < 0$, $\Phi = 100\mu\text{m}$)에 대하여 조사하였다.

Fig. 4은 4 종류의 비정질 세선에 대하여 자화주파수

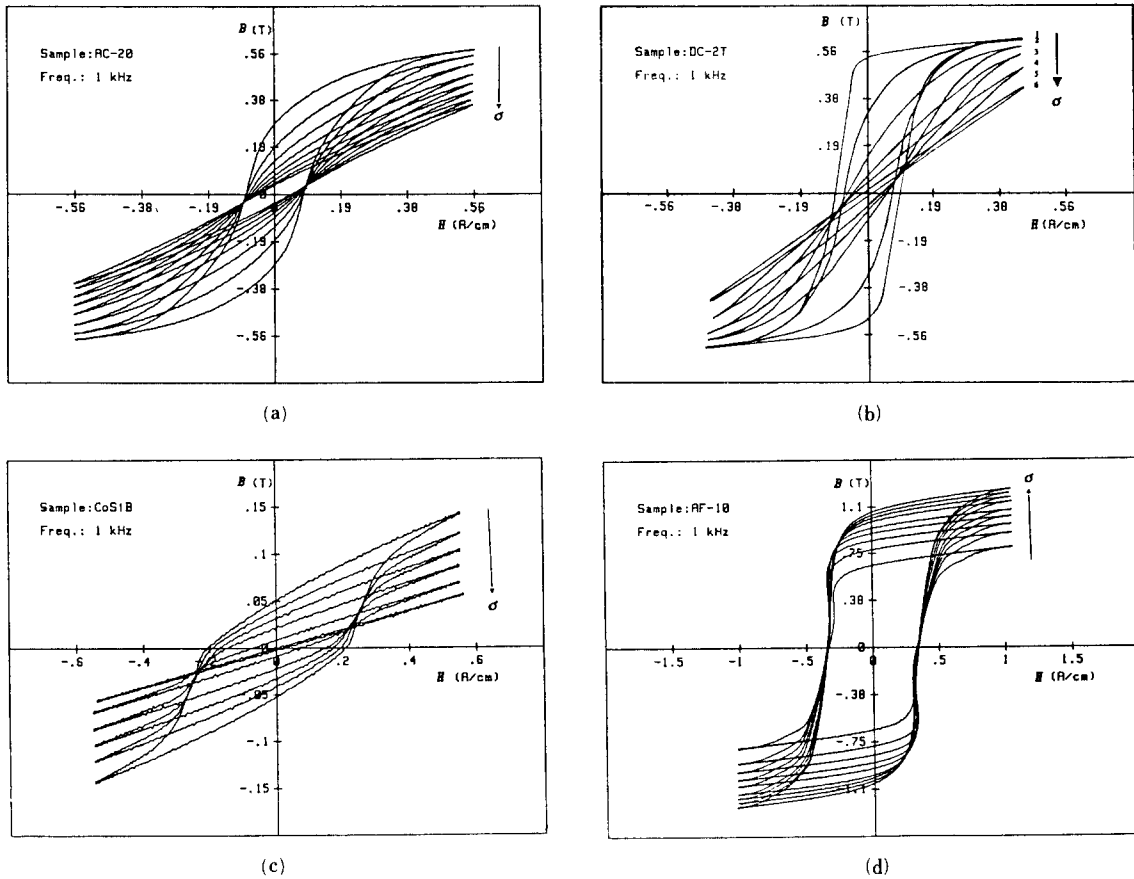


Fig. 4. Hysteresis loop changes under variable tensile stress for as quenched amorphous wires(Unitika Co.):
 a) AC-20 under the tensile stress of $2.5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ steps,
 b) DC-2T under the tensile stress of $4.7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ steps for the curves from 1 to 3, and $7.8 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ steps form 3 to 6,
 c) $\text{Co}_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ under the tensile stress of $1.9 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ steps,
 d) AC-20 under the tensile stress of $6.3 \times 10^6 \text{ N/m}^2$.

1 kHz에서 인장응력을 일정한 간격으로 증가시키면서 자기이력곡선의 변화를 측정한다(→ : 인장응력 증가 방향). 자기변형이 음인 물질은 인장응력이 증가되면 시편의 투자율이 감소하고 같은 크기의 최대자화력에 대하여 최대자기유도가 감소함을 알 수 있으며, 자기변형이 양인 물질은 역으로 인장응력이 증가되면 투자율이 증가하여 최대자기유도가 증가되고 각형비(B_r/B_{max})가 커짐을 알 수 있었다.

Fig. 3-c)의 경우 인장응력이 증가함에 따른 최대자기유도의 감소가 다른 비정질 세선에 비하여 선형성이 우수함을 알 수 있으며, 이 최대자기유도의 감소(ΔB_{max})를 피 측정 물리량으로 할 경우, 음자기변형인 비정질 리본을

이용한 센서[7]와 같은 원리의, 비정질 세선을 이용한 역학용 센서의 개발이 가능함을 알 수 있다.

IV. 결 론

비정질 세선의 인장응력(tensile stress)에 대한 자기적 특성을 측정하기 위하여 자화 주파수 범위가 1~20 kHz, 인장응력의 범위가 0~20 N인 비정질 세선용 교류자기이력곡선 측정장치를 제작하였다. 제작된 교류자기이력곡선 측정장치를 이용하여 비정질 세선의 인장응력에 따른 자기적 특성(잔류자기유도 B_r , 최대자기유도 B_{max} , 보자력 H_c 등)을 1%의 정밀도로 측정할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] R. C. O~Handly, J. Appl. Phys., vol.62, pp. R15(1987).
- [2] Intermag'90 satellite symposium on amorphous magnetic wire & application, London(1990).
- [3] K. Mohri, IEEE Trans. Mag., **MAG-20.**, pp. 942(1984).
- [4] J. K. Watson, Application of magnetism, John Wiley & Son, pp.50(1980).
- [5] 김창석, 손대락, 우병철, 이원창, 자성측정자동화, KSRI-IR-87(1987).
- [6] G. Birkelbach, Reinisch-Westf lischen Technischen Hochschule Aachen, Ph. D. thesis(1985).
- [7] D. Son and J. Sievert, IEEE Trans. Mag., **MAG-26**, pp. 2107(1990).

Measurement of AC Hysteresis Loops under Variable Tensile Stress for Amorphous Wire

H. J. Cho and J. Yang

Department of Physics, Ewha Woman's University

D. Son

Department of Physics, Han Nam University

K. Y. Kim

Korea Research Institute of Standards and Science

(Received 2 February 1993, in final form 3 March 1993)

We have constructed a hysteresis loop tracer in order to measure the magnetic properties of amorphous wires under variable tensile stress. It has a force range of 0 N to 20 N and a magnetizing frequency of 1 kHz to 20 kHz. Using the ac-hysteresis loop tracer, we can measure the magnetic properties(maximum magnetic induction B_{max} , residual magnetic induction B_r , coercive field strength H_c , etc.) of amorphous wires with precision of 1% under variable tensile stresses.