

차동트랜스 코일을 이용한 Soft-Ferrite 분말의 초투자율측정에 관한 연구

A Study for measuring the Intial Permeability of Soft-Ferrite Powder by Using Differential Transformer Coil

전 홍배*, 허 진*, 김 철한*, 사 공건*

*동아대학교 전기전자컴퓨터공학부

Hong-Bae Jun*, Jin Heo*, Chul-Han Kim*, Geon Sa-Gong*

*Dong-A Univ

Abstract

In this study, A set-up for measuring a initial permeability of soft-ferrite powder was developed with a differential transformer coil. To measure a initial permeability of magnetic powder is cumbersome since there are not any measuring equipment and method. A magnetic powder is currently used for a magnetic fluid and microwave absorber materials, and the initial permeability of the magnetic powders is very important to be evaluated a powder for some applications.

Key Words(중요용어) : Differential transformer Coil(차동트랜스 코일), Intial Permeability(초투자율), Magnetic fluid(자기유체), Microwave absorber(전파 흡수체)

고자 한다.

1. 서 론

분말 상태 자성체의 초투자율 측정은 그 동안 측정 방법의 어려움과 분말 상태 자성체의 사용이 극히 제한되어 있어서나 현대에 있어서는 자성 분말 자체가 직접 완제품에 사용되는 자기 유체나 전파 흡수체 등에서 자성 분말의 초투자율 특성 분석이 필요하기 때문에 초투자율의 정확한 측정은 매우 중요하다.

일반적으로 분말 상태 자성체의 초투자율을 측정하기 위해서는 고가의 진동형 시료 자력계(Vibrating Sample Magnetometer)^[1]나 Hysteresis graph를 이용하여 B/H의 기울기를 측정하거나 트로이달 코어(Troidal core)를 사용하여 그 코어 위에 코일을 감고 인덕턴스(Inductance)를 측정하여 코어의 초투자율을 간접적으로 측정하고 있다. 그러나, 위에 기술한 진동형 자력계에 의한 측정 방법은 측정 시간이 장시간 소요될 뿐 아니라 정밀한 측정이 어렵고, 자기 이력 곡선에 의한 측정 방법도 트로이달을 만들기 위해 지거(zigger)를 제작하거나 분말을 압축 성형하여 트로이달 형태로 성형하여 그 위에 코일을 조심스럽게 감아야 하는 어려움이 있다. 위의 두 측정 방법의 공통된 문제점은 분말의 초투자율 측정값이 부정확하며 측정을 위한 준비 및 측정 시간이 매우 많이 소요되고, 또한 연속적인 측정이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 자성분말의 초투자율을 빠르고 연속적으로 측정하기 위한 방법을 제안하

2. 측정원리 및 제작

자성체의 자기적 특성에 관한 측정방법은 진동형 시료 자력계(Vibrating Sample Magnetometer)와 SQUID자력계^[2]의 원리인 전자기 유도 측정방법과 패러데이천칭(Paraday balance)^[3]과 진동 막대 자력계(Vibration reed magnetoometer)^[4]의 원리인 힘에 관한 측정방법 두가지로 분류 할 수 있다. 그러나 이러한 방법들은 장치가 복잡하고 장치가 고가인 경우가 많다. 그러나 본 연구에서는 자성분말의 초투자율을 측정하기 위해 전자기유도법을 이용한 간단한 방법을 제시하고 있다.

일반적인 코일에 유기 되는 유기기전력은 패러데이 법칙(Faraday's law)에 의하여 식 (1)과 같다^[5].

$$emf = -N \frac{d\Phi}{dt} = -NS \frac{dB}{dt} \quad (1)$$

여기서, emf는 유기 기전력, $d\Phi$ 는 자속의 변화량, dt 는 시간의 변화량, B는 자속밀도, 그리고 S는 코일의 단면적이다. 만약, 코일 안에 자성체가 있는 경우에 자속밀도는 식 (2)에 의하여 유기기전력은 증가하게 된다.

$$B = \mu_0 (H + M) = \mu_0 (H + X_m H) \quad (2)$$

여기서 H 는 자계, M 은 자기 쌍극자 모멘트, X_m 은 자화율, 그리고 μ_0 는 공기중의 투자율이다. 그런데, B/H 가 선형적인 관계를 나타낼 때의 비투자율을 초투자율이라 하며 식 (2)는 다음의 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$B = \mu_0 \mu_r H = \mu_0 \mu_i H \quad (3)$$

여기서 μ_r 은 비투자율이고 μ_i 는 초투자율이다. 식 (3)를 이용하면 공기 중에 있는 코일에 발생하는 유기기전력과 자성물질이 들어 있는 코일에 발생하는 유기기전력은 식 (4), (5)로 나타낼 수 있다.

$$emf_{\text{공기}} = -NS \frac{dB}{dt} = -NS \frac{d}{dt} (\mu_0 H) \quad (4)$$

$$emf_{\text{물질}} = -NS \frac{dB}{dt} = -NS \frac{d}{dt} (\mu_0 \mu_i H) \quad (5)$$

여기서 $emf_{\text{공기}}$ 는 공기 중의 코일에 유기 되는 유기기전력이고 $emf_{\text{물질}}$ 는 자성물질이 들어 있는 코일에 발생하는 유기기전력을 나타낸다. 따라서, 초투자율은 식 (6)에 의해서 구할 수 있다.

$$\mu_i = \frac{emf_{\text{물질}}}{emf_{\text{공기}}} \quad (6)$$

그림 1은 초투자율 측정을 위해 제작된 것으로서 초투자율을 측정하기 위한 분말 상태의 자성체가 들어 있는 작은 솔레노이드 코일과 공기중의 초투자율을 측정하기 위한 보상용 솔레노이드 코일을 자속(magnetic flux)을 형성하는 큰 솔레노이드 코일 안에 넣어 자속이 변할 때 작은 솔레노이드 코일과 보상용 솔레노이드 코일에 나타나는 유기기전력의 변화를 이용하여 분말 상태 자성체의 초투자율을 구한다. 초투자율 측정 장치는 자속 공급 코일, 제1 측정 코일 및 제2 측정 코일로 구성되어 있으며, 자속 공급 코일은 초투자율 측정을 위해 필요한 자속을 공급하고 제1 측정 코일은 초투자율을 측정하기 위한 물질이 삽입되어 자속 공급 코일에서 자속이 공급될 때, 이 자속과 측정 물질에 의하여 제1 유기기전력을 발생시킨다. 제2 측정 코일은 제1 측정 코일과 기하학적 치수와 권선수가 같고 제1 측정 코일과 평행하게 위치되어 자속 공급 코일로부터 제1 측정 코일과 동일하게 자속을 공급받는다. 이 때 제2 측정 코일에는 아무런 물질이 삽입되어 있지 않아서 제1 측정 코일에서 발생하는 유기기전력의 기준 전위를 형성한다. 기준 코일은 자

속 공급 코일로부터 자속을 공급받아 공기 중에서 유기기전력을 발생시킨다.

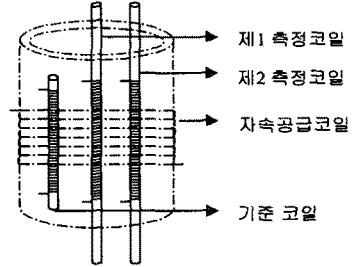


그림 1. 초투자율 측정장치 구조

위에서 언급한 측정값은 교류자장 속에 코일의 권선수와 기하학적 치수에 따라 유기기전력으로 표현되며 반경 R 길이 L 을 가진 솔레노이드 코일의 자기장은 식 (7)과 같이 나타난다.

$$B = \frac{\mu_0 N i}{L} \quad (7)$$

여기서 L 은 인덕턴스, N 은 권선수이다. 정확한 측정을 위해서는 솔레노이드 코일의 중심에 시료가 중심축 상의 가운데에 위치시키기 위해 코일을 수직으로 놓았을 때 시료를 담은 용기를 실로 연결하여 상하 이동이 가능한 구조로 제작하였다. 이러한 형태는 시료를 정확한 위치에 놓이게 할 수 있고 뿐만 아니라 시료 측정을 신속하게 행할 수 있다.

이러한 장치와 더불어 측정할 계측기의 구성은 아래와 같다.

전원부는 자속 공급 코일의 두 개의 단과 연결되어 자속 공급 코일에 전류를 공급하고 제1 유기기전력에서 특정 신호를 검출하기 위한 두 개 이상의 기준 신호를 출력하며, 전체 시스템에 전원을 공급한다.

제1 신호 증폭기는 차동 증폭기로서 한쪽 단이 제1 측정 코일의 다른 한쪽 단과 연결되고, 다른 한쪽 단은 제2 측정 코일의 다른 한쪽 단과 연결되어 제1 측정 코일에서 유기 되는 제1 유기기전력과 제2 측정 코일에서 유기 되는 제2 유기기전력을 입력받아 제1 유기기전력과 제2 유기기전력의 차이에 해당하는 전압을 증폭한다.

제1 신호 검출기는 위상 검파기(Phase sensitive detector)로서 기준 신호를 전원부에서 입력받아 제1 신호 증폭기를 통하여 출력된 신호 중에서 B/H 의 선형적인 부분의 신호와 B/H 의 비선형적인 부분의 신호를 검출한다.

제1 신호 증폭기에서 출력된 신호는 제1 신호 검출기를 거쳐 맥류가 되는데 이 때 제1 신호 증폭기의 제1 기준 신호는 자속 공급 코일에 흘린 전류의 위상과 동일하다. 따라서, 제1 신호 증폭기에서 출력된 신호 중 제1 기준 신호와 동일한 위상의 신호만이 그 크기가 증폭되어 검출된다. 제1 신호 검출기를 통한 맥류 신호는 저역 필터를 거쳐 직류 신호로 변환되고, 신호 변환기를 통하여 아날로그 신호에서 디지털 신호로 변환된 뒤 초투자율 계산기로 입력된다. 이 때, 자성체의 초투자율은 B/H의 선형 부분을 측정하는 것이므로 이를 초과하는 영역에서 형성되는 제1 측정 코일의 유기기전력은 비선형적인 신호 성분을 포함하게 된다. 따라서, 이 비선형적인 영역에서 제1 신호 증폭기가 출력하는 신호는 기준 주파수의 정수배의 주파수 성분이 나오는데 이중 가장 신호의 세기가 큰 제2고조파의 성분을 측정함으로써 비선형 부분을 체크할 수 있다.

즉, 전원부로부터 제1 기준 신호의 주파수의 2배에 해당하는 제2 기준 신호를 제1 신호 검출기에 인가하면 제1 측정 코일에서 출력된 유기기전력의 제2 고조파가 제1 신호 검출기에서 가장 크게 증폭되어 출력되고 저역 통과 필터를 거치면서 직류로 변환한 다음 초투자율 계산기로 출력됨으로써 비선형 부분을 검출할 수 있다.

초투자율을 계산하기 위해서는 식 (6)에 의하여 공기 중에서의 유기기전력을 파악해야 하므로 기준 코일에서 출력된 유기기전력을 제2 신호 검출기에서 선형적인 영역에서의 신호를 검출하고 이를 저역 통과 필터를 통하여 직류로 만든 다음 신호 변환기에서 디지털 신호로 만들고 초투자율 계산기에서 초투자율을 계산한다.

이러한 과정을 통하여 자성체의 초투자율을 손쉽게

계 구할 수 있다.

초투자율 μ_i 의 계산은 식 (6)으로부터 식(8)으로 계산되어 진다.

$$\mu_i = \frac{\text{물체의 단위 부피당 단위권선 전압}}{\text{진공에 대한 단위 부피당 단위권선 전압}}$$

$$= \frac{\rho_1 v L_1 N V_1}{g L N_1 V} \quad (8)$$

여기서, V_1 는 자성물질이 들어 있는 코일에 발생하는 유기기전력, V 는 공기 중에 있는 코일에 발생하는 유기기전력, N_1 는 측정용 코일의 권선수, N 는 보상용 코일의 권선수, L_1 는 측정용 권선의 길이, L 는 보상용 권선의 길이, ρ_1 는 자성체 분말의 밀도, 그리고 v 는 보상용 코일에 대한 부피를 나타낸다.

그림 2는 본 연구의 실시 예에 따른 자성체 이송 장치를 부착한 초투자율 측정 시스템의 블록도이다.

3. 측정 및 고찰

본 연구에서 사용된 시료는 자체 제조한 Ni-Zn 페라이트로서 그림 3에서 나타낸 것처럼 공침법에 의해 제조하였다⁶⁾. 이때 출발원료는 $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ 및 $ZnCl_2$ 를 사용, $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ 의 조성비가 되도록 칭량하여 수용액을 만든 후, 70(°C)로 유지되는 4 neck flask 내에서 교반기로 교반을 하였으며 교반 중에 NaOH를 일정량 적하하여 pH를 조절하여 침전물을 얻었다. 침전이 완료된 후 공기를 주입하여 산화시켰다. 또 침전물 여액 중에 용해되어 있는 Cl^- 이온을 제거하기 위해 증류수로 충분히 세척한 후, 공침물을 70(°C)로 유지되는 건조

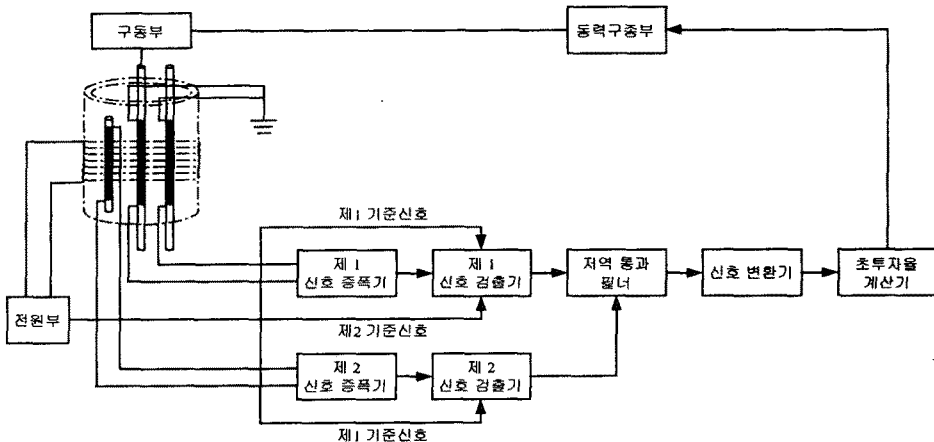


그림 2. 초투자율 측정 시스템의 블록도

기 내에서 24시간 동안 완전히 건조시켰다. 건조된 분말의 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 와 비정질상을 스피넬상(spinel phase)으로 만들기 위해 체 가름을 한 후 $200^\circ\text{C}/\text{hr}$ 의 승온율로 $1,200^\circ\text{C}$ 에서 2시간 동안 열처리하였다.

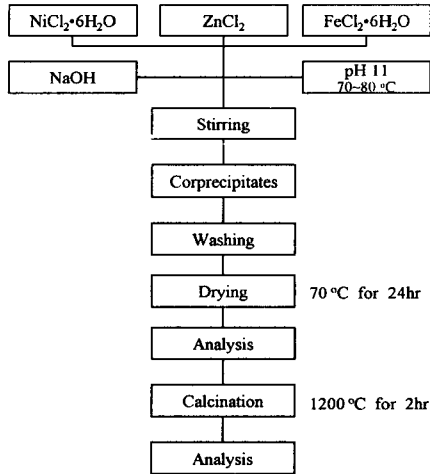


그림 3. Ni-Zn Ferrite의 제조공정

Ni-Zn 페라이트 분말을 규정된 시료를 담은 용기에 질량을 0.1g에서 1.0g까지 0.1g씩 증가시켜 측정하였다. 실험을 10번씩 반복실험을 하여 그 평균값을 측정치로 취하였다. 자성체 분말의 초투자율은 식(8)로 계산하였으며 유기기전력은 10번의 실험치의 평균치이다. Ni-Zn 페라이트는 0.1g 증가 때마다 유기기전력은 약 $240\mu\text{V}$ 정도로 일정하게 증가하였으며 초투자율도 17~18의 일정한 값을 나타내었다. 그림 4는 질량의 증가에 따른 전압의 변화곡선이 선형적임을 나타내고 있다

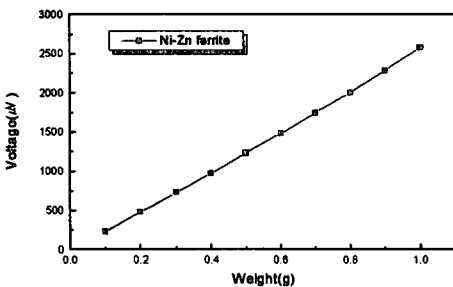


그림 4. 질량의 증가에 따른 유기기전력

그림 5는 일정한 초투자율을 보여주고 있다. 그러나 질량의 변화에 의해서 초투자율이 조금씩 증가

하는 것은 반자장계수^[6]에 의해서 나타나는 것으로 생각된다. 이 문제점을 개선하기 위해서는 일정한 용기에 분말을 담아 같은 행상에서 측정해야 할 것이다. 그리고 일정한 용기에 맞는 보상용 코일을 제작하여 보상해 줌으로써 그 분말의 양에 따른 오차를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

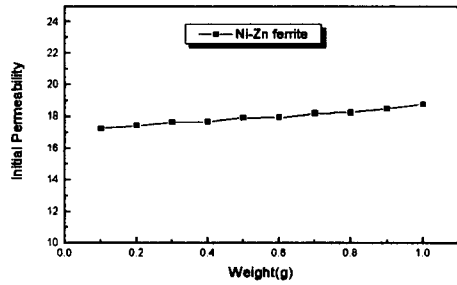


그림 6. 질량의 증가에 따른 초투자율

4. 결 론

본 연구에서는 차동트랜스 코일을 이용한 soft 자성분말의 초투자율 측정기를 제작하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 자성분말의 질량을 일정하게 증가시킬 경우 유기기전력의 측정값들이 선형적임을 확인할 수 있었다.
2. 솔레노이드 코일 속에 보상용 솔레노이드 코일을 위치시켜 보상해 줌으로써 분말상태의 페라이트에 대한 초투자율을 정밀하게 측정할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] S. Foner, Rev. Sci. Instrum. 30, pp. 548, 1959
- [2] J. S. Philo and W. M. Fairbank, Rcv. Sci. Instrum. 48, pp. 1529, 1977.
- [3] R. D. Heyding, J. B. Tailor, and M. L. Hair, Rev. sci, Instrum. 32, pp. 162, 1961.
- [4] H. Zijlstra, Rev. Sci. Instrum. 41, pp. 1241, 1970.
- [5] B. D. Cullity, Introduction to magnetic materials, Addison-Wesley Publishing Company, pp. 27, 1972.
- [6] 김한근, 사공진, "pH변화에 의한 Ni-Zn 페라이트의 자기적 및 전파흡수특성", Vol. 43, No. 8, pp. 1308~1322, 1994.