

## Ni-Zn 페라이트의 첨가제에 따른 특성

안명상, 박효열, 한동희, 안용운\*, 이승관\*, 오영우\*

한국전기연구원 신소재응용그룹, 경남대학교 신소재공학부\*

### Properties of Ni-Zn Ferrites to Additives

M. S. Ahn, H. Y. Park, D. H. Han, Y. W. Ahn\*, S. K. Lee\* and Y. W. Oh\*

KERi, Kyungnam Uni.\*

#### Abstract

첨가제로 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가하고, 소결 온도를 변화시켜 고주파 내역에서 전자기적 특성이 안정적으로 유지될 수 있는 Ni-Zn 페라이트를 제조하고자 하였다. Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가는 액상을 형성하여 소결을 촉진시키며, 0.3 wt% 첨가된 시편에서는 비정상 입자를 성장시켜 높은 전력 손실 특성을 나타내었다. 그러나 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 적절한 첨가는 소결을 촉진시켜 밀도를 증가시키며, 균일한 입자를 형성하여 전력 손실이 감소하였다. Ni-Zn 페라이트에 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가는 공명 주파수 범위의 제어가 가능하며, 소결 촉진 및 밀도의 증가를 가져와 안정적인 재료를 제조할 수 있었다. 투자율의 일정성이 특정 주파수 10MHz 부근에서 급증하면서 급감하는 것은 공명이 생기고, 이러한 현상은 자벽 공명 또는 자벽의 이동에 의해 나타나는 것으로 보여진다.

**Key Words** : Ni-Zn ferrite(니켈-아연 페라이트), 투자율(Permeability), 공진주파수(Resonance frequency), 전력 손실(Power loss), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(산화 제이철)

#### 1. 서 론

페라이트는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 주원료로 하는 산화물 자성 재료로 금속계 자성재료에 비해 전기비저항이 10<sup>4</sup>~10<sup>6</sup> 배 정도 크므로, 고주파 손실이 적어 고주파 영역에서의 자심 재료로 매우 유용하며, 특히, Ni-Zn 페라이트는 MHz 대역에서 사용하기에 적합한 재료로, 다른 페라이트에 비해 고주파 손실이 적어 마그네틱 코어나 전자 회로 내에서의 변압기 및 인덕터 등에 사용되고 있다[1-3].

그러나, 고속 전력선 통신(PLC, Power Line Communication) 등을 위해서는 높은 투자율과 저 손실 자심 재료에서, 고주파 대역에서 안정적인 전자기적 특성을 구현할 수 있는 한 단계 높은 자심 재료를 개발하기 위한 연구가 필요하다[4].

따라서 본 연구에서는 고주파 대역에서 안정적인 특성을 가진 페라이트를 제조하기 위하여, Ni<sub>0.8</sub>Zn<sub>0.2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>를 기본조성으로 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가하여,

미세구조와 전자기적 특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

#### 2. 실험

Ni<sub>0.8</sub>Zn<sub>0.2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 조성의 페라이트를 제조하기 위하여, 99.9 % 이상의 순도를 갖는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO, ZnO를 출발원료로 사용하였고, 24시간 동안 습식 혼합한 후 건조된 분말을 950℃에서 2.5시간 동안 하소하였다.

하소한 시편을 분쇄하고, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 CaO를 각각 0 ~ 1.0 wt%, 0 ~ 0.7 wt%, PVA(Poly Vinyl Alcohol) 수용액을 첨가하여 attrition mill을 이용하여 분쇄하였고, 분무건조기를 통하여 과립화한 후 1.5 ton/cm<sup>2</sup>의 압력으로 toroid 성형체를 제조한 후 전기로에서 1200℃에서 2.5시간 열처리하였다.

하소한 시편과 소결한 시편의 결정상을 분석하기 위하여 X선 회절 분석기(Philips社, X'pert

APD system)를 이용하였고, FEG-SEM(Hitach社, S-4200)을 이용하여 소결체의 미세구조 및 성분을 분석하였고, 소결 시편의 밀도는 아르키메데스법으로 측정하였다.

전자기적 특성을 측정하기 위해, 1, 2차 코일을 각각 5회 권선하여 B-H Analyzer (IWATSU社, SY-8232)를 이용하여 손실 특성을 측정하였고, 투자율은 Impedance Analyzer (HP社, 4294A)를 사용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 950°C에서 하소한 분말의 X-선 회절분석 결과로, 하소공정에서  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 나 2차상의 잔존 없이 모두 스피넬 상을 이루고 있는 것을 확인할 수 있었다.

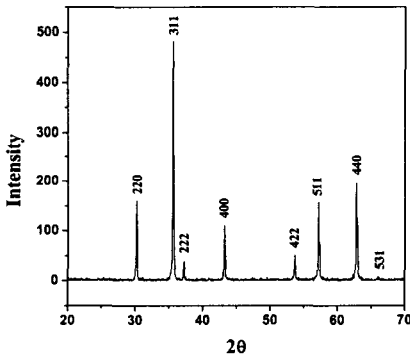


그림 1. 950°C에서 하소한 Ni-Zn 페라이트의 X-선 회절 패턴.

그림 2는  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 의 첨가량에 따른 밀도의 변화를 나타낸 것으로서,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 의 첨가량이 증가함에 따라 소결 밀도도 거의 선형적으로 증가하였다. 0.3 wt%일 때 상대적인 증가율이 높게 나타났는데, 이는 적정량의  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 의 첨가가 소결의 촉진과 입자의 성장을 주도한 것으로 보여진다.

$\text{Bi}_2\text{O}_3$ 의 첨가량에 따른 미세구조의 사진을 그림 3에 나타내었다. 첨가량이 증가할수록 치밀화가 증대되었으며, 0.3 wt%일 때 상대적인 입자성장이 빠르게 증대되면서 약간의 비정상 입자성장을 보여지만, 그 외의 첨가에서는 어느 정도 균일한 입

자의 형상을 보여준다. 또한 그림 2의 소결 밀도의 결과와 비교한다면 치밀화가 증대되면서 입내의 기공 및 입계의 기공이 점차 감소한 것으로 보여진다.

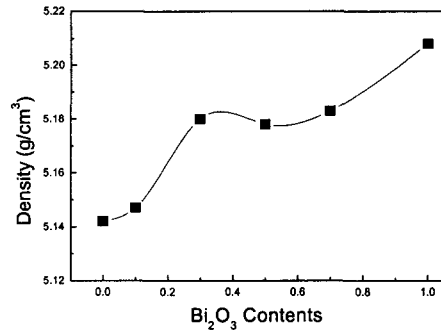


그림 2.  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 의 첨가량에 따른 소결밀도의 변화.

$\text{Bi}_2\text{O}_3$ 의 첨가가 소결 조제로서의 역할로 치밀화는 증대시키지만, 입자성장에 주도적인 역할은 아닌 것으로 보여진다.

그림 4는  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 의 첨가량에 따른 투자율 변화와 주파수 특성을 나타낸 것으로서,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 의 첨가량이 증가함에 따라 투자율도 선형적으로 증가함을 보여주고, 1.0 wt% 첨가된 경우 134의 최고 값을 나타냈었다. 주파수가 높아짐에 따라 10 MHz까지는  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 의 첨가량이 클수록 투자율 값도 높았지만, 20 MHz 이상의 영역에서는  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 의 첨가량이 클수록 투자율의 기울기는 급격하게 증가하다가 급격하게 감소함을 보여준다.

이는 금속 자성체에 교류 자계를 인가하면 도전성 때문에 과전류에 의한 손실이 발생하고, 표피효과에 의해서 자심의 유효 단면적이 감소한다. 따라서 투자율은 감소하게 되지만, 페라이트는 일반적으로 비저항이 높기 때문에 영향을 받기 어렵고, 고주파까지 일정한 투자율과 낮은 손실을 유지할 수가 있다. 그러나 이 투자율의 일정성은 페라이트 물성에 관한 특정 주파수 부근에서 변화하여 그림 4처럼 손실이 급증하면서 급감한다.

이러한 현상은 자벽의 이동속도나 자화 회전속도는 유한하기 때문에 10MHz대에서 공명이 생기고 또한 그보다 높은 주파수에서는 자계의 변화에 따라 갈 수 없기 때문에 자화에 기여할 수 없게

되어 투자율이 저하되는데, 이와 같은 고주파 자화에 동반하는 현상은 자기 완화나 자기공명에 의해 생기는 것으로 알려져 있다. 자기 공명에는 자벽 공명, 회전 자화 공명, 자기 여효, 자벽의 이동 등에 의해서 나타나는 것으로 보여진다[5].

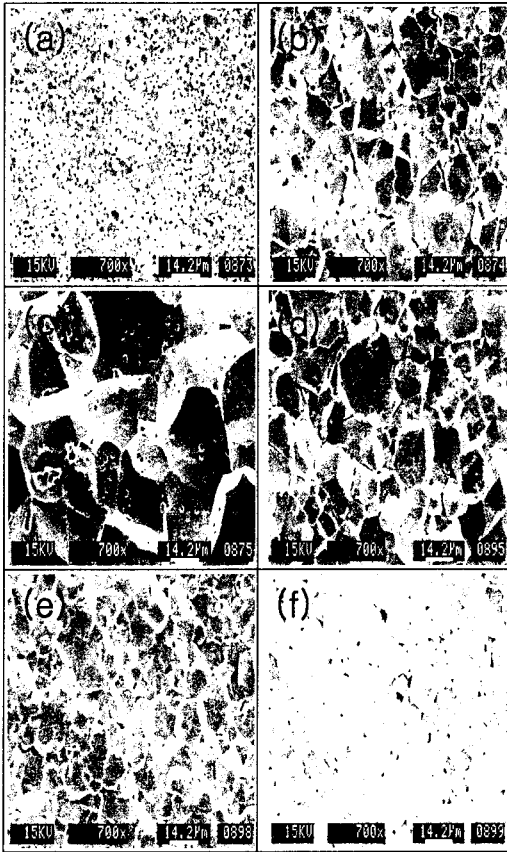


그림 3. Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가량에 따른 미세구조의 변화.  
(a) 0.0 wt%, (b) 0.1 wt%, (c) 0.3 wt%,  
(d) 0.5 wt%, (e) 0.7 wt%, (f) 1.0 wt%

그림 5는 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가량에 따른 전력 손실을 나타낸 것이다. Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가량 증가에 따라 손실은 증가하여 0.3 wt%에서 최대 손실을 나타냈었고, 그 이상에서는 손실이 다시 감소하여 1.0 wt% 이상에서는 큰 변화가 없는 것이 관찰된다.

페라이트 코어에서 전력 손실은 일반적으로 이력 손실과 와전류 손실의 합으로 아래의 식으로 나타낸다[6].

$$P_L = P_h + P_e = K_h B^2 f + K_e S B^2 f^2 / \rho$$

여기에서,  $P_L$  = Power loss

$P_h$  = hysteresis loss

$P_e$  = eddy current loss

$B$  = magnetic flux density

$K$  = a constant depending on the shape of the component

$S$  = cross sectional area of the grain

$f$  = operating frequency

$\rho$  = resistivity 이다.

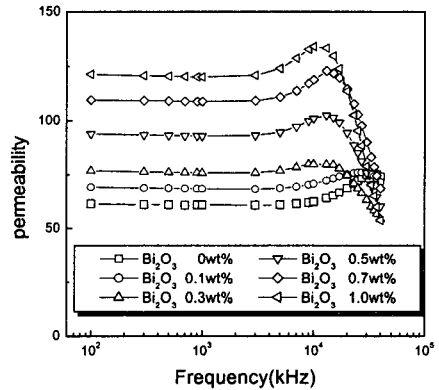


그림 4. Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가량에 따른 투자율 변화와 주파수 특성.

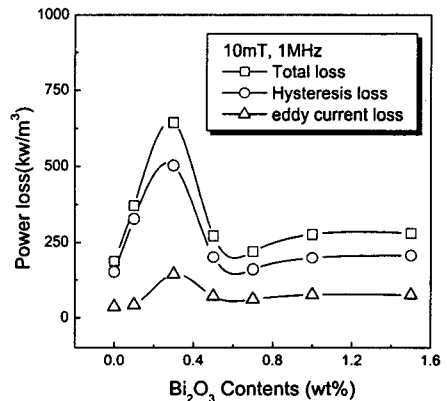


그림 5. Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가량에 따른 전력 손실.

히스테리시스 손실은 결정의 구조결함이나 내부 응력 등이 적은 균질한 결정조직이 바람직한데, 0.3 wt% 부근의 조성에서 손실 급증은 비정상 입자성장에서 기인하는 것으로 여겨며, 0.1과 0.5 wt%에서는 미세구조에서 잘 판단되어지지는 않지만, 약간의 비정상 입자 성장이 그 원인인 것 같다.

와전류 손실은 자화를 방해하려 하는 와전류가 흐르려고 하기 때문인데, 이는 비정상 입자성장으로 인한 표면적의 감소로 입계의 비저항층이 줄어들어서 생기는 원인으로 파악된다.

$\text{Bi}_2\text{O}_3$ 는 소결 과정에서 액상을 형성하여 소결을 촉진시켜 첨가하지 않은 조성의 시편보다 높은 투자율을 가지지만, 그림 3의 미세구조에서 관찰되듯이 0.3 wt%의  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  첨가량에서는 입계에 균일하게 분포하지 못하고 부분적으로 존재하여 불규칙 입자 성장을 유발함으로써 고립기공과 같은 결함을 발생시켜 순수한 조성의 시편보다 높은 손실을 갖게 된 것으로 보여진다.

자벽 이동을 방해하는 다른 요인이 없다면 작은 자계에서 자벽이 이동하여 용이하게 자화 에너지를 저하시킨다. 그러나, 일반적으로 입계, 기공, 석출 불순물, 내부 응력 등은 자벽의 이동을 방해하는데, 이것을 자벽의 피닝(pinning)이라고 한다. 연질 페라이트의 투자율 범위의 자화 변화는 이 자벽 이동이 큰 역할을 하고 있다.

자계를 인가하면 자벽은 피닝 근처에서 핀 멈춤된 부분은 고정되며, 그 이외의 곳은 자계에 의해서 부풀거나 줄어들거나 하여 진동한다. 이 이상의 큰 자계가 걸리면, 자벽은 핀 멈춤의 위치에서 이동하여 크게 진동한다. 전자가 가역 자화 범위이고, 후자는 비가역 자화 범위이다. 이러한 투자율은 자화의 방향을 고정하는 주요인자인 자왜 정수와 결정자기이방성 상수와 반비례 관계에 있다.

#### 4. 결 론

고주파 대역에서 안정적인 전자기적 특성을 구현하는 페라이트 코어를 개발하기 위해서 첨가제를 변화시켜 미세구조와 전자기적 특성을 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. Ni-Zn 페라이트에서  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 는 액상을 형성하여 소결을 촉진시키며, 0.3 wt% 첨가된 시편에서는 비정상 입자를 성장시켜 높은 전력 손실 특성을 나타내었다.

2. 그러나  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 의 적절한 첨가는 소결을 촉진시켜 밀도를 증가시키며, 균일한 입자를 형성하여 전력 손실이 감소하였다.

3. Ni-Zn 페라이트에  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 의 첨가는 공명주파수 범위의 제어가 가능하며, 소결 촉진 및 밀도의 증가를 가져와 안정적인 재료를 제조할 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] F.G. Brockman and K.E. Mattesson, "Ni-Zn ferrite effects of composition on magnetic properties of a nickel-zinc-(cobalt) ferrites", J. Am Ceram. Soc., Vol.83, No.9, p. 517, 1970.
- [2] 강제석 외, "Ni-Zn 페라이트의 자기특성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 4권, 3호, p. 211, 1991.
- [3] 양계준, 박용관, "연자성재료의 기술현황과 연구동향", 전기전자재료학회논문지, 9권, 1호, p. 76, 1996.
- [4] 오영우, 김종령, 김현식, 이해연, 송재성, " $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 와 CaO 첨가가 Ni-Zn ferrite의 자기적 특성에 미치는 영향", 2001 한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문집, p.77, 2001.
- [5] 윤상욱, 이형직, 윤기현, 정형진., "자성재료세라믹스", 반도체출판사, 1996.
- [6] E. Otsuki, S. Yamada, T. Otsuki, K. Shoji and T. Sato, J. Appl. Phys., Vol.69, pp. 5942-5943, 1991.