

Co 치환에 따른 Ni-Zn Ferrites의 자기적 특성

박효열, 안명상, 안용운*, 이승관*, 오영우*

한국전기연구원 신소재응용그룹, 경남대학교 신소재공학부*

Substitution of Co on Magnetic Properties of Ni-Zn Ferrites

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

KERi, Kyungnam Uni.*

Abstract

전자기기의 발달과 더불어 정보통신분야의 발달로 고주파 대역에서 우수하고 안정적인 Ni-Zn 페라이트를 제조하기 위해, Ni(니켈)의 일부를 코발트(Co)로 치환하여 결정자기이방성 상수 값을 증가시켜, 공명 주파수를 고주파 대역으로 높이고자 하였다. Co 함량이 증가함에 따라 투자율은 감소하는데, 이는 결정자기이방성 상수를 크게 하여 공명 주파수를 높이는 결과를 보였으며, $x = 0.05$ 에서 투자율 75, 공명 주파수 20 MHz의 특성을 나타내었다.

Key Words : Ni-Zn ferrite(니켈-아연 페라이트), 투자율(Permeability), 공명 주파수(Resonance frequency), 전력 손실(Power loss)

1. 서 론

고주파 손실이 적어 고주파 영역에서의 자심 재료로 각광받고 있는 Ni-Zn 페라이트는 MHz 대역에서 사용하기에 적합한 재료로, 금속계 자성재료에 비해 전기비저항 높아 주파수에 비례하고, 전기비저항에 반비례하는 와전류 손실을 줄일 수 있기 때문에, 마그네틱 코어나 전자 회로 내에서의 변압기 및 인덕터 등에 유용하게 사용되고 있다[1,2].

그러나, 전자산업의 발전에 기인하여 점점 고용량, 고주파대에 적용되는 우수한 특성의 재료 개발의 요구가 증가하고 있으며, 고주파 대역에서 안정적인 전자기적 특성 및 우수한 안정성을 갖춘 재료를 개발하기 위해서는 각종 첨가제들의 영향을 고찰할 필요가 있다[3,4].

20 MHz대역에서도 투자율과 주파수 특성 등의 전자기적 성질이 안정적으로 유지되며, 전력손실로 인한 열적 손실에 안정적인 재료를 제조하기 위하여, $Ni_{0.8-x}Zn_{0.2}Co_xFe_2O_{4+δ}$ 를 기본조성으로 선택하고, 고주파 특성을 향상시키는 Co의 몰비를 변화

시킴에 따른 자기이방성 변화가 자심 재료의 전자기적 특성에 어떠한 영향을 미치는지 고찰하였다.

2. 실험

$Ni_{0.8-x}Zn_{0.2}Co_xFe_2O_{4+δ}$ 조성의 페라이트를 제조하기 위하여, 99.9 % 이상의 순도를 갖는 Fe_2O_3 , NiO, ZnO, Co_3O_4 를 출발원료로 사용하였고, Co mole 비를 $x=0.0 \sim 0.1$ 로 변화시켜 24시간 동안 습식 혼합한 후 건조된 분말을 $950^\circ C$ 에서 2.5시간 동안 하소하였다.

하소한 시편을 분쇄한 후 수용액 상태의 PVA(Poly Vinyl Alcohol)를 첨가하여 attrition mill을 이용하여 분쇄하였고, 분무건조기를 통하여 과립화한 후 1.5 ton/cm^2 의 압력으로 toroid 성형체를 제조한 후 전기로에서 $1200^\circ C$ 에서 2.5시간 열처리하였다.

소결 시편의 밀도는 아르키메데스법으로 측정하였으며, 하소한 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 분석하였다.

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 측정하였으며, 포화자화값은 Vibrating Sample Magnetometer (RIKEN DENSHI社, EMT50-15)를 이용하여 5 kOe에서 자화를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 950°C에서 하소한 분말의 X-선 회절분석 결과로, 하소공정에서 α-Fe₂O₃나 2차상의 잔존 없이 모두 스피넬 상을 이루고 있는 것을 확인할 수 있었다.

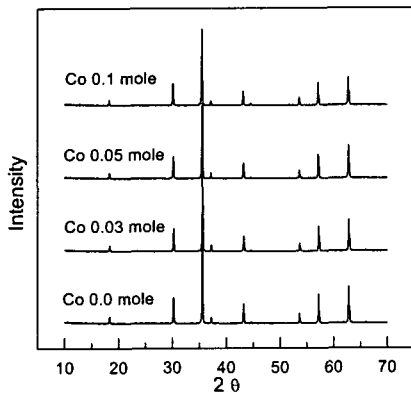


그림 1. Ni_{0.8-x}Zn_{0.2}Co_xFe₂O₄의 Co 첨가량에 따른 X-선 회절분석 결과.

그림 2는 Co₃O₄의 첨가량에 따른 밀도의 변화를 나타낸 것으로써, Co₃O₄의 첨가량이 증가함에 따라 소결 밀도에는 큰 영향이 없었으며, x=0.03일 때 가장 낮은 소결 밀도를 보였다.

Co₃O₄의 첨가량에 따른 미세구조의 사진을 그림 3에 나타내었다. Co 함량이 증가하더라도 소결 밀도는 5.07 ~ 5.09 g/cm³으로 변화가 거의 없으며

미세구조에서 관찰되는 것과 같이 결정 입자 크기도 일정하였다.

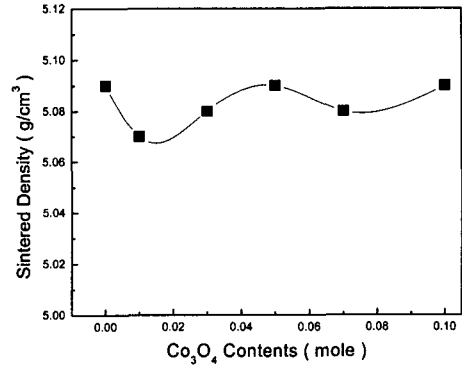


그림 2. Co₃O₄의 첨가량에 따른 소결 밀도의 변화.

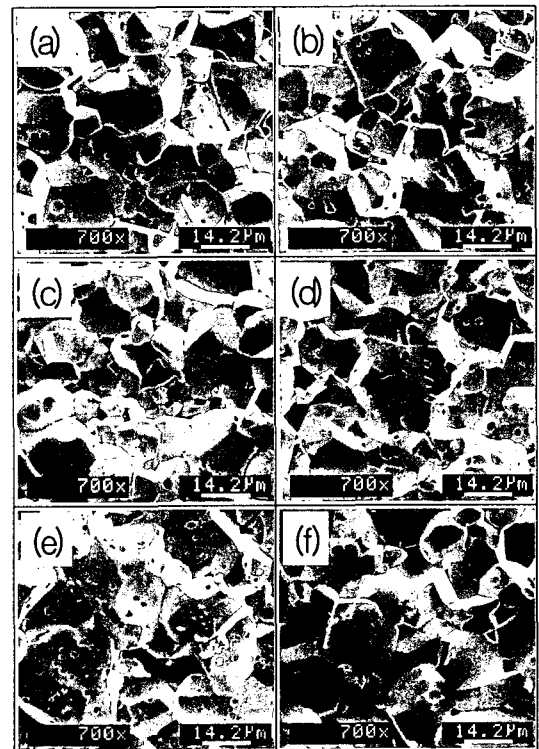


그림 3. Co 첨가량에 따른 미세구조 변화 (a) x=0.0, (b) x=0.01, (c) x=0.03, (d) x=0.05, (e) x=0.07, (f) x=0.1

그림 4는 Co_3O_4 의 첨가량에 따른 투자율 변화와 주파수 특성을 나타낸 것으로써, Co_3O_4 의 첨가량이 증가함에 따라 투자율은 반비례적으로 감소함을 보여주고 있으며, $x=0.03$ 까지는 10MHz 정도에서 공명현상이 나타나지만, $x=0.05$ 이상에서는 공명현상 없이 투자율 값이 일정함을 보이고 있다.

이는 그림 2~4의 결과를 종합해볼 때, Co의 치환 효과가 밀도나 미세구조와 같은 페라이트의 구조적 특성에는 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있기 때문에, Co의 첨가량에 따른 투자율 변화는 소결 밀도와 입자크기 등에 의한 외인적 특성(extrinsic properties) 보다는 내인적 특성(intrinsic properties)으로 밖에 설명할 수 없다.

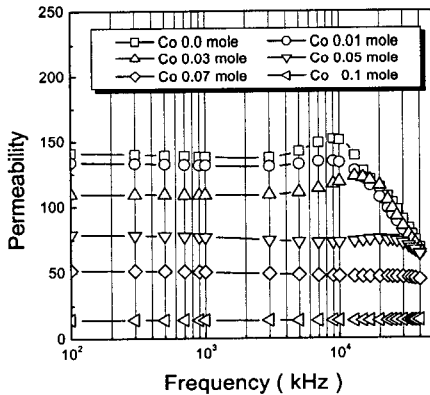


그림 4. Co_3O_4 의 첨가량에 따른 투자율 변화와 주파수 특성.

내인적 특성은 조직의 변화에 민감하게 의존하는 특성인데, spin-spin, spin-궤도간의 상호 관계에 기인하며, 물질의 기초적 자기 특성을 결정지으며, 조성의 변화와 첨가물을 이용하여 결정된다. 이런 예로는 결정자기 이방성, 자기 비틀림(magnetostriction), 포화자화, Curie 온도, 고투자율의 온도 의존성, 자기 여효(disaccommodation) 등이 있다[5].

포화자속밀도는 투자율에 영향을 미치는데, 초투자율은 포화자속밀도의 제곱에 비례하고, 결정자기

이방성 상수와 자왜 상수에 반비례한다[6].

$$\mu_i \propto \frac{M_s^2}{aK_1 + b\lambda\sigma}$$

여기에서, μ_i : initial permeability

M_s : saturation magnetization

K_1 : magnetocrystalline anisotropy

λ : magnetostriction coefficient

σ : internal stress

a, b : a constant이다.

자계를 인가하면 자벽은 피닝 근처에서 편 멈춘 부분은 고정되며, 그 이외의 곳은 자계에 의해서 부풀거나 줄어들거나 하여 진동한다. 이 이상의 큰 자계가 걸리면, 자벽은 편 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[7].

그림 5는 Co 치환량에 따른 포화자속밀도 변화와 투자율 변화를 나타낸 것이다. Co의 치환량이 증가할수록 포화자속밀도는 증가하고 투자율은 감소하는 경향을 보이고 있다.

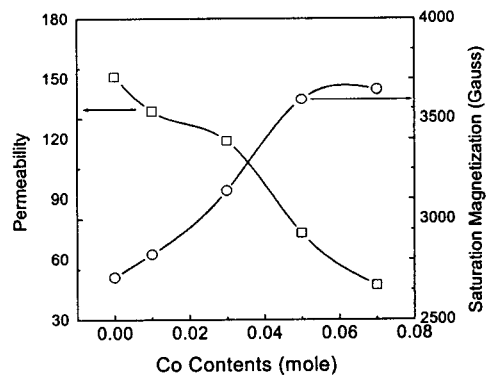


그림 5. Co 첨가량에 따른 포화자속밀도와 투자율 변화

투자율의 Domain의 회전에 의한 기여분(μ_{rot})과

Domain wall 운동으로 인한 기여분(μ_w)은 모두 포화자화 값의 자속에 비례하지만, 포화자속밀도 (M_s)보다는 내부 응력, 자벽 에너지, 결정자기이방성이 주요 원인으로 생각된다.

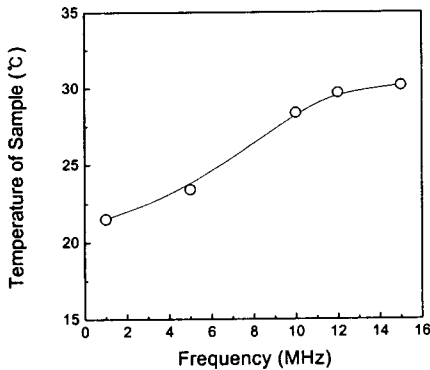


그림 6. $x=0.05$ 조성일 때의 발열거동.

페라이트 코어는 상용 주파수가 고주파로 이동함에 따라 와전류 손실의 증가에 의한 열이 발생하여 일정온도 이상으로 코어의 온도가 상승하면 자기적 성질을 잃게되는 현상이 발생하기 때문에 코어의 발열 온도 내에서 자기적 성질을 유지하는 것이 중요하다. 그림 6은 20°C, 10V의 출력전압 하에서 주파수에 따른 코어 표면의 발열거동 측정 결과를 나타낸 것으로 15 MHz의 주파수에서 30°C 까지 상승하였으므로, 열적으로 안정한 것으로 보여진다.

4. 결론

$Ni_{0.8-x}Zn_{0.2}Co_xFe_2O_6$ 의 조성 페라이트의 미세구조와 전자기적 특성을 고찰할 결과 다음과 같다.

1. Co의 첨가는 결정 입자 크기와 같은 구조적 특성에는 영향을 거의 미치지 않지만, 내재적인 전자기적 특성에 영향을 미친다.
2. Co 함량이 증가함에 따라 투자율은 감소하는데, 이는 결정자기이방성 상수를 크게 하여 공명 주파수를 높이는 결과를 나타내었다.

3. Co의 함량을 증가시키면 투자율은 다소 감소하지만 공명 주파수가 고주파대역으로 이동하여 $x = 0.05$ 에서 투자율 75, 공명 주파수 20 MHz의 특성을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] S. Chikazumi, "Physics of Magnetism", John Wiley & Sons, 1964.
- [2] H. Igarashi et al., "Effects of porosity and grain size on the magnetic properties of Ni-Zn ferrite" J. Am. Ceram. Soc. 60, 1-2, 51-54, 1977.
- [3] 오영우, 이선학, 이해연, 김현식, "첨가제 변화에 따른 $Ni_{0.8}Zn_{0.2}Fe_2O_4$ 의 미세구조와 자기적 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 5호, p. 406, 2002.
- [4] 오영우, 이해연, 김현식, "Blocking filter용 자심 재료의 전자기 특성 및 신호 감쇄율", 전기전자재료학회논문지, Vol. 16, No. 6, p. 490, 2003.
- [5] 양계준, 박용관, "연자성재료의 기술 현황과 연구 동향", 전기전자재료학회지, Vol. 9, No. 1, pp.76-92, 1996.
- [6] 윤상옥, 이형직, 윤기현, 정형진 "자성재료세라믹스", 반도체출판사, 1996.
- [7] 윤상옥, 이형직, 윤기현, 정형진., "자성재료세라믹스", 반도체출판사, 1996.