

제조 공정 Parameter에 따른 NiCuZn Ferrite의 투자율과 Q_{max} 주파수 변화

신재영 · 박지호 · 박진채 · 한중수 · 송병무

쌍용중앙연구소

305-345, 대전광역시 유성구 신성동 100

(1997년 1월 20일 받음, 1997년 2월 17일 최종수정본 받음)

적층형 chip inductor 소재인 NiCuZn ferrite의 제조 공정 조건 및 조성을 선정하였다. NiCuZn ferrite의 NiO 함량이 증가할 수록 저온 소결에 필요한 Fe_2O_3 결핍량은 점차 증가하였고, NiO 함량과 Co_3O_4 첨가량을 변화하여 투자율을 12~562 범위에서 제어할 수 있었다. NiCuZn ferrite의 투자율이 562에서 60으로 변화함에 따라서 Q_{max} 주파수는 3 MHz에서 50 MHz 범위로 제어할 수 있었다. 이때 Q_{max} 주파수(Y)와 투자율(X)은 $\log Y = 4.2 - 1.4 \log X$ 의 상관관계를 나타내었다.

I. 서 론

적층형 chip inductor는 ferrite green sheet에 내부 전극을 인쇄한 후 이를 적층 및 소결하여 제조하기 때문에 ferrite 내부에 전극이 권선되어 있는 구조를 갖는다. 적층형 chip inductor에 사용되는 내부 전극은 일반적으로 100% Ag paste가 사용되는데 이는 다른 전극 재료에 비하여 값이 저렴하기 때문에 원가 절감이 가능하고, 전기비저항이 낮아 품질 계수 Q 값이 높은 특성이 있기 때문이다[1]. Ag 전극을 내부 전극으로 사용하기 위해서는 Ag의 용융점인 960 °C보다 낮은 온도에서 소결이 가능한 ferrite 소재의 개발이 선행되어야 한다. 적층형 chip inductor는 ferrite 소재와 Ag 전극을 동시 소결하여 제조하기 때문에 Ag 전극의 확산에 의한 특성 저하를 피하기 위하여 Ag의 용융 온도보다 낮은 900 °C에서 행하는 것이 일반적이다. 따라서 chip inductor 개발에는 저온 소결형 ferrite 소재 개발이 필수적이다.

적층형 chip inductor 소재로는 MHz 대역에서 자기 특성이 우수하고 저온 소결이 가능한 NiCuZn ferrite가 이용되고 있다[1, 2]. 앞선 연구자들[3~5]은 저온 소결형 NiCuZn ferrite의 최적 CuO 및 Fe_2O_3 함량 선정, Ni/Zn비에 따른 전자기적 특성 변화, 소결 온도 변화, 자기완화 현상 등 주로 NiCuZn ferrite의 소결 및 자기 현상에 대하여 주로 연구하였기 때문에 저온 소결형 NiCuZn ferrite의 투자율 제어 방안과 인덕터 소재 선정 등 실제로 적층형 chip inductor 개발에 응용할 수 있는 연구 결과는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 적층형 chip inductor용 저온 소결 소재를 개발하기 위하여 900 °C 이하에서 소결하였을때 고밀도가 얻어지는 NiCuZn ferrite의 조성 및 미분쇄 공정 조

건을 선정하였고, 조성 변화에 따른 전자기적 특성 변화를 고찰하였다. 미분쇄 공정은 분쇄 효과가 뛰어난 attrition mill을 사용하였고 미분쇄 공정에서 발생하는 iron pick-up 현상을 고려하여 저온 소결이 가능한 출발 원료의 Fe_2O_3 결핍량을 선정하였다. 그리고 NiO, ZnO, Co_3O_4 함량 변화에 따른 투자율 및 Q_{max} 주파수 변화를 고찰하여 인덕터에 응용 가능한 소재를 선정하고자 하였다.

II. 실험방법

1. 시편의 제조

Ferrite 소재의 밀도 및 전자기적 특성을 평가하기 위하여 토로이드 시편을 제조하였다. 실험에 사용된 조성은 $(Ni_yCu_{0.2}Zn_{0.8-y}O)_{1+x}(Fe_2O_3)_{1-x}$ 이고, Fe_2O_3 결핍량(x)은 0.025~0.045, NiO 함량(y)은 0.1~0.45로 변화시켰다. 먼저 시약급인 Fe_2O_3 , NiO, CuO, ZnO를 ball mill로 24시간 혼합한 후 700 °C, 2시간 하소하고 attritor로 미분쇄하였다. 미분쇄한 분말에 Co_3O_4 를 무게비로 0~9%를 첨가하고 500 kg/cm²의 성형압을 가하여 외경 14.55 mm, 내경 9.0 mm인 토로이드 성형체를 제조한 후 900 °C, 2시간 소결하여 시편을 제조하였다. 이때 attrition mill 조건은 무게비로 분말 : 물 : ball = 1 : 1.3 : 11 그리고 분쇄 속도는 400 rpm, 분쇄 시간은 160~280 분으로 하였다.

2. 특성 평가

Attrition milling 후 제조한 ferrite 미분말의 평균 입경은 particle size analyzer (Malvern사)로 측정하였다. 토로이드 소결 시편의 밀도는 포수 무게(W), 건조 무게(D), 현수 무게(S)를 소수점 4째자리까지 측정하

여 식 (1)에 의하여 계산하였다[6]. 이때 조건별로 5개의 시편을 측정하고 평균값을 취하였다.

$$\text{density (g/cm}^3\text{)} = \frac{D}{W-S} \quad (1)$$

소결체의 전자기적 특성은 impedance analyzer (HP 4194A)를 이용하여 주파수 변화에 따른 시편의 투자율과 Q 값을 1 MHz~100 MHz 범위에서 측정하였다. 초 투자율은 100 kHz에서 측정하였고, 식 (2)에 의하여 계산하였다[7].

$$\mu = \frac{L}{0.4 \cdot \pi \cdot N^2} \sum \frac{I_e}{A_e} \quad (2)$$

여기서 A_e : Effective area (cm^2), I_e : Effective length (cm), L : Inductance (μH), N : Number of turns 이다.

III. 결과 및 고찰

1. 저온 소결형 NiCuZn ferrite 소재 개발

Chip inductor가 사용되는 주파수 영역은 수 MHz~수십 MHz 대역으로써 이러한 주파수 대역에서는 공명주파수가 높은 NiZn ferrite가 사용된다. NiZn ferrite를 chip inductor 소재로 사용하기 위해서는 900 °C 이하에서 소결하였을때 밀도가 높은 저온 소결형으로 개발되어야 한다. 치밀한 NiZn ferrite 소결체를 제조하기 위해서는 일반적으로 1100 °C 이상의 소결 온도가 필요하기 때문에 소결 온도를 낮추고자 CuO 성분을 첨가한다. 따라서 NiCuZn ferrite의 최적 CuO 함량을 정하는 것이 중요하다.

NiCuZn ferrite에서 CuO 함량이 증가하면 확산을 촉진시켜 NiCuZn ferrite의 소결 밀도가 점차 증가하지만, 전기비저항은 감소하여 손실이 증가하기 때문에 최적 CuO 함량은 약 10 몰%로 알려져 있다[3, 5]. 따라서 본 연구에서는 앞선 연구 결과[5]를 참조하여 저온 소결형이며 고투자율 조성인 $(\text{Ni}_{0.2}\text{Cu}_{0.2}\text{Zn}_{0.6}\text{O})_{1+x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1-x}$ 로 결정하고 미분쇄 공정을 선정하기 위한 실험을 진행하였다. 이때 Fe_2O_3 결핍량, x는 0.025~0.04로 변화시켜 최적의 Fe_2O_3 결핍량을 선정하고자 하였다. 미분쇄 시간이 증가할수록 iron pick-up량이 증가하기 때문에 분쇄 시간을 결정한 후에 Fe_2O_3 결핍량을 결정하였다.

최적 분쇄 시간을 알아보기 위하여 하소 분말을 160~

280 분으로 변화시키면서 미분쇄하였고, 분쇄 시간에 따른 분말의 평균 입경을 측정하여 Fig. 1에 결과를 나타내었다. 이때 사용한 조성은 $(\text{Ni}_{0.2}\text{Cu}_{0.2}\text{Zn}_{0.6}\text{O})_{1.03}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{0.97}$ 이었다. 분쇄 시간이 증가함에 따라서 분체의 평균 입경이 감소하고 있으며 240 분 분쇄하였을 때는 0.87 μm 의 평균 입경을 나타내었다. 그러나 280 분 분쇄한 분체의 평균 입경이 240 분 분쇄한 경우와 동일하게 0.87 μm 이어서 최적 분쇄 시간은 240 분임을 알 수 있었다. 따라서 이후의 실험은 분쇄 시간을 240 분으로 일정하게 한 후에 실험을 진행하였다.

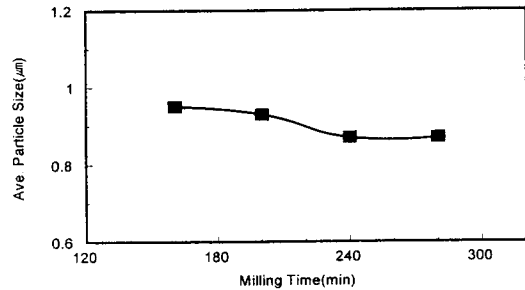


Fig. 1. Change of particle size with milling time for the calcined powder.

저온 소결에 요구되는 최적의 Fe_2O_3 결핍량을 결정하고자 $(\text{Ni}_{0.2}\text{Cu}_{0.2}\text{Zn}_{0.6}\text{O})_{1+x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1-x}$ 에서 x를 0.025~0.04로 변화시킨 NiCuZn ferrite의 밀도 및 투자율 변화를 측정하였고 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

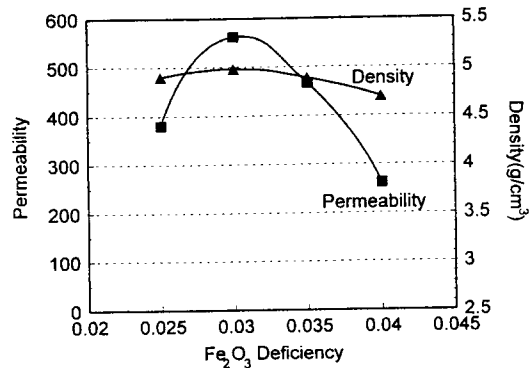


Fig. 2. Changes of density and permeability with varying Fe_2O_3 deficiency(x) in the $(\text{Ni}_{0.2}\text{Cu}_{0.2}\text{Zn}_{0.6}\text{O})_{1+x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1-x}$ system.

밀도가 증가하면 투자율이 증가하고 있으며, 출발 원료의 Fe_2O_3 결핍량이 0.03일때 투자율 및 밀도가 최대값을 보이고 있어 이를 최적 조건이라 판단하였다. 앞선 연구자[5]는 분쇄 시간과 출발 원료의 Fe_2O_3 결핍량을 변화시킨 NiCuZn ferrite의 투자율 특성을 검토한 결과 분쇄 시간에 관계없이 Fe_2O_3 결핍량이 0.015인 경우가 최적 조건임을 제시하였다. 이 결과는 미분쇄를 ball mill로 한 경우이기 때문에 본 실험에서 사용한 attrition mill 경우와는 다른 Fe_2O_3 결핍량이 최적 조건으로 제시되었다고 판단된다.

출발 원료의 Fe_2O_3 결핍량을 결정할 때 고려해야 할 것은 미분쇄 공정에서 발생하는 iron pick-up 현상이다. 분쇄 공정시 분쇄 media가 마모되어 생성된 철분말은 소결 과정 중에 Fe_2O_3 로 변하기 때문에 NiCuZn ferrite의 전체 Fe_2O_3 양을 변화시킨다. 따라서 출발 원료의 Fe_2O_3 결핍량을 결정할 때 미분쇄 공정에서 발생하는 iron pick-up량을 고려하여야 한다. 미분쇄 공정시 발생하는 iron pick-up량이 출발 원료의 조성에 어떠한 변화를 미치는지를 알아보고자 분쇄 공정 전·후에 발생한 ball 감량을 환산하여 분쇄 후의 조성을 계산하였다. 그 결과를 Table I에 나타내었다. 최적 조건인 Fe_2O_3 결핍량이 0.03인 경우 출발 원료는 Fe_2O_3 몰비가 0.97였으나 미분쇄 공정 후에는 몰비가 0.982로 변화되었다. 즉, 저온 소결이 되기 위해서는 0.02 정도의 Fe_2O_3 가 결핍된 상태이어야 함을 알 수 있었다.

Table I. Composition difference between the starting materials and the attrition-milled powder. [composition : $(Ni_{0.2}Cu_{0.2}Zn_{0.6}O)_{1.03}(Fe_2O_3)_{0.97}$]

| | Starting materials (mole ratio) | Attrition-milled powder (mole ratio) |
|-----------|------------------------------------|---|
| Fe_2O_3 | 0.970 | 0.982 |
| NiO | 0.206 | 0.204 |
| CuO | 0.206 | 0.204 |
| ZnO | 0.618 | 0.610 |

Shu 등[8]은 $(Ni_{0.35}Zn_{0.65})_{1-x}Fe_{2+x}O_4$ 인 NiZn ferrite를 소결 분위기(산소, 공기, 질소)와 Fe_2O_3 함량을 변화시키며 소결한 결과 질소 분위기에서 소결하였을때 그리고 동일한 소결분위기더라도 Fe_2O_3 가 결핍된 조성에서 소결 밀도가 증가하였기 때문에 NiZn ferrite의 소결은 oxygen vacancy에 의하여 진행된다고 결론내렸다. 그리고 $x = -0.02$ 일 때 최대 투자율이 나타난다고 보고하였다. 본 연구에서도 Shu의 결과[8]와 동일하게 Fe_2

O_3 가 0.02 결핍된 조성에서 소결이 촉진되는 경향을 나타내었다.

2. NiCuZn ferrite의 투자율과 Q_{max} 주파수

고용량 인덕터는 저주파 대역에서 Q 값이 높고, 저용량 인덕터는 고주파 대역에서 Q 값이 높은 소재가 사용되기 때문에 인덕터 소재는 주파수 특성을 고려하여 설계하여야 한다. 인덕터 소재로 사용되는 ferrite의 공명주파수 및 Q_{max} 주파수 등의 특성은 투자율과 관계가 있기 때문에 NiCuZn ferrite의 투자율 제어 방안을 연구해야 한다.

NiO 함량을 변화시킨 NiCuZn ferrite의 투자율 및 밀도 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 이때 CuO 함량과 Fe_2O_3 결핍량은 각각 0.2와 0.03으로 일정하게 유지하며 실험을 진행하였다. NiO 함량이 0.2(약 10 몰%)인 조성, 즉 ZnO 함량이 0.6인 조성에서 투자율이 최대이며 562의 값을 나타내었다.

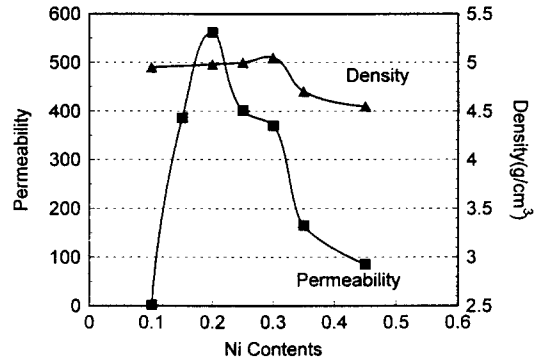


Fig. 3. Changes of density and permeability with varying Ni(y) in the $(Ni_yCu_{0.2}Zn_{0.8-y}O)_{1.03}(Fe_2O_3)_{0.97}$ system.

앞선 연구 결과[5]에 의하면 $(Ni_yCu_{0.2}Zn_{0.8-y}O)_{1.02}(Fe_2O_3)_{0.98}$ 의 NiO 함량에 따른 투자율을 측정된 결과 $y = 0.2$ 인 조성에서 최대의 투자율을 나타낸다고 보고하였다. 일반적으로 고투자율이 얻어지는 NiZn ferrite의 조성 범위는 NiO : 0.3~0.4, ZnO : 0.6~0.7이며, Fig. 3의 결과는 ZnO : 0.6인 조성에서 투자율이 최대이어서 동일한 경향을 나타내었다. 밀도가 5.0 g/cm³ 이상 즉, 저온 소결이 가능한 조성 범위는 NiO 함량이 0.2~0.3이었고 이때의 투자율은 562~370이었다. 그러나 Fig. 3에 나타난 것과 같이 NiO 함량이 0.35 이상인 조성은 밀도가 급격히 감소하는 특성을 나타내었다. NiO 함량이 0.35 이상인 NiCuZn ferrite의 소결 밀도를 증가시키기 위하여

NiO 함량과 Fe₂O₃ 결핍량을 변화시킨 NiCuZn ferrite 를 제조하고 그 특성을 알아보았다. 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

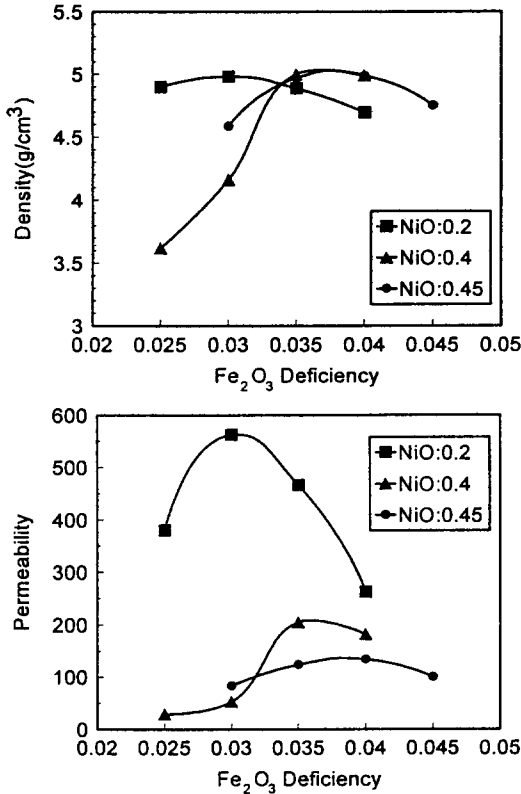


Fig. 4. Changes of density and permeability with varying Fe₂O₃ deficiency in the (Ni_yCu_{0.2}Zn_{0.8-y}O)_{1+x} (Fe₂O₃)_{1-x} system.

NiCuZn ferrite의 NiO 함량에 따라서 최대 밀도가 얻어지는 최적의 Fe₂O₃ 결핍량이 존재함을 알 수 있었다. NiO 함량이 0.2인 조성은 Fe₂O₃ 결핍량이 0.03일 때, NiO 함량이 0.4인 조성은 Fe₂O₃ 결핍량이 0.035일 때, NiO 함량이 0.45인 조성은 Fe₂O₃ 결핍량이 0.04일 때 소결 밀도가 가장 높은 5.0 g/cm³ 이상의 값을 나타내었다. Fig. 4의 결과를 Fig. 3의 결과와 종합하면 NiO 함량이 0.2~0.3인 조성은 출발 원료의 Fe₂O₃ 결핍량을 0.03으로, NiO 함량이 0.35~0.4인 조성은 Fe₂O₃ 결핍량을 0.035, NiO 함량이 0.45인 조성은 Fe₂O₃ 결핍량을 0.04로 조절해야만 저온 소결이 가능한 NiCuZn ferrite 를 제조할 수 있음을 알 수 있다. NiO 함량에 따라서

NiCuZn ferrite의 최적 Fe₂O₃ 결핍량이 달라지는 현상은 NiZn ferrite의 NiO 함량이 증가할 수록 치밀화에 필요한 oxygen vacancy 농도가 증가하기 때문이라고 판단된다. Table II에 저온 소결이 가능한 NiCuZn ferrite의 NiO 함량에 따른 Fe₂O₃ 결핍량과 이때의 투자율 변화를 나타내었다.

Table II. Variation of permeability and the optimum Fe₂O₃ deficiency (x) with Ni(y) in (Ni_yCu_{0.2}Zn_{0.8-y}O)_{1+x} (Fe₂O₃)_{1-x} system.

| Ni contents (y) | Fe ₂ O ₃ deficiency (x) | Permeability |
|-----------------|---|--------------|
| 0.2~0.3 | 0.03 | 562~370 |
| 0.4 | 0.035 | 205 |
| 0.45 | 0.04 | 133 |

Table II의 결과로부터 NiCuZn ferrite의 NiO 함량을 0.2~0.45로 변화시켜 투자율을 134~562까지 조절할 수 있음을 알 수 있다. 이와 같이 NiO 함량을 변화시킨 NiCuZn ferrite의 주파수 특성을 알아보려고 1 MHz~100 MHz 범위에서의 투자율을 측정하였다. Fig. 5에 NiCuZn ferrite 투자율의 주파수 의존성을 나타내었다.

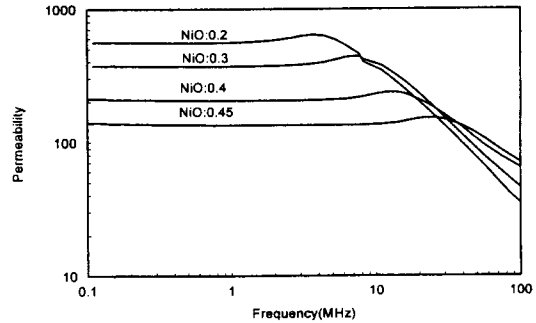


Fig. 5. The frequency dependency of permeability with varying NiO contents in the (Ni_yCu_{0.2}Zn_{0.8-y}O)_{1+x} (Fe₂O₃)_{1-x} system.

투자율이 급격히 감소하는 공명주파수는 NiO 함량이 증가할 수록 점차 증가하는 경향이 있어 NiO 함량이 많을 수록 고주파 특성이 향상됨을 알 수 있었다. 이와 같은 이유는 NiZn ferrite에서 NiO 함량이 증가할 수록 결정 자기 이방성 계수가 증가하여 자연 공명주파수를 증가시

키기 때문이다[9]. Fig. 5에 나타난 NiCuZn ferrite 중 고주파 특성이 제일 우수한 조성은 투자율 134인 조성, 즉 NiO 함량이 0.45인 $(Ni_{0.45}Cu_{0.2}Zn_{0.35}O)_{1.04}(Fe_2O_3)_{0.96}$ 으로 약 15 MHz까지 투자율이 변하지 않는 특성을 나타내었다. NiCuZn ferrite의 고주파 특성 향상을 위해서는 투자율을 더욱 감소시켜야 하기 때문에 저투자율 첨가제인 Co_3O_4 를 첨가하여 특성을 검토하였다. 이때 Co_3O_4 는 attrition mill 후에 무게비로 0~9% 첨가하였다.

Fig. 6에 Co_3O_4 첨가량에 따른 NiCuZn ferrite의 밀도 및 투자율 변화를 나타내었다. Co_3O_4 함량이 증가할수록 투자율은 감소하는 경향을 나타내는 반면에 밀도는 큰 변화 없이 4.95~5.03 g/cm³ 정도로 일정하여 NiCuZn ferrite의 투자율을 제어하는데 Co_3O_4 첨가는 매우 효과적임을 알 수 있었다. 이때 투자율은 NiO 함량과 Co_3O_4 첨가량을 조절함에 따라서 12~562 범위 내에서 제어가 가능하였다. Co_3O_4 가 증가할수록 투자율

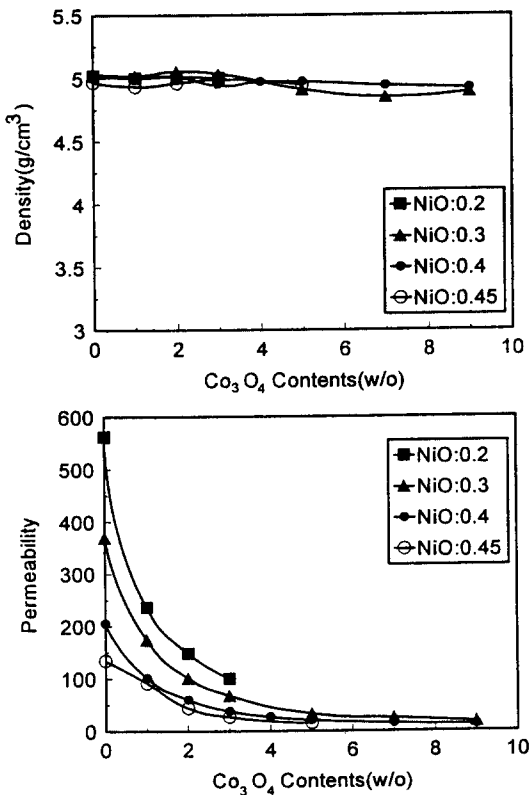


Fig. 6. Changes of density and permeability with varying Co_3O_4 contents in the $(Ni_yCu_{0.2}Zn_{0.8-y}O)_{1+x}(Fe_2O_3)_{1-x}$ system.

이 감소하는 이유는 Co^{2+} 가 자기이방성 계수를 증가시켜 공명주파수를 증가시키기 때문이다[10].

Fig. 6에 나타낸 저온 소결형 NiCuZn ferrite의 투자율과 Q_{max} 주파수 그리고 공명주파수 (μ_{max} 주파수)와의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. 투자율이 감소할수록 Q 값이 최대가 얻어지는 Q_{max} 주파수와 공명주파수가 감소하고 있으며, Q_{max} 주파수는 공명주파수보다 낮은 주파수에 존재하였다. Fig. 6의 결과로부터 NiCuZn ferrite의 투자율을 약 560에서 60으로 변화함에 따라서 Q_{max} 주파수를 3 MHz에서 50 MHz 범위로 제어할 수 있었다. Q_{max} 주파수 (Y)와 투자율 (X)은 $\log Y = 4.2 - 1.4 \log X$ 의 관계를 나타내었으며 이때의 상관관계계수 (r^2)는 0.973으로 비교적 높은 값을 나타내었다.

인덕터가 사용되는 주파수는 용량에 따라서 달라지는데 용량이 증가할수록 저주파 대역에서 Q 값이 높도록 설계되어 있다. 따라서 인덕터를 제조하기 위해서는 사용 주파수에서 소재의 Q 값이 최대가 되도록 설계되어야 한다. Fig. 7의 결과로부터 사용 주파수에 맞는 인덕터 소재를 NiCuZn ferrite의 투자율로 선정할 수 있었다. 예를 들어 25 MHz와 10 MHz에서 Q 값이 높은 인덕터를 제조하기 위해서는 투자율이 각각 100과 190 정도인 소재를 사용하여야 한다. Fig. 6과 Fig. 7의 결과는 chip inductor 소재를 선정할 수 있는 참고 자료로 사용될 수 있으리라 판단된다.

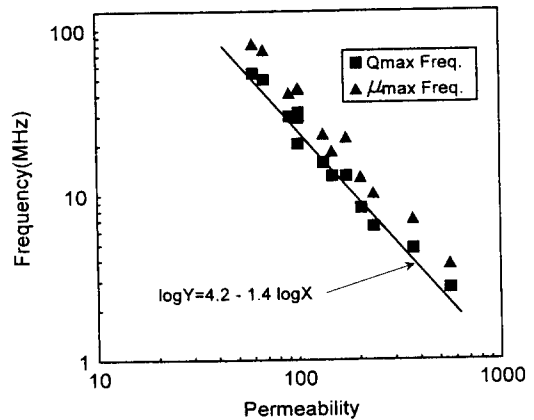


Fig. 7. Relationship between the maximum frequency of Q and μ with permeability of NiCuZn ferrites.

IV. 결 론

본 연구에서는 적층형 chip inductor 소재를 개발하기

위하여 NiCuZn ferrite의 저온 소결 조건과 조성 변화에 따른 전자기적 특성을 검토하였고, 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) $(\text{Ni}_y\text{Cu}_{0.2}\text{Zn}_{0.8-y}\text{O})_{1+x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1-x}$ 인 NiCuZn ferrite의 NiO 함량(y)이 0.2에서 0.45로 증가할 수록 저온 소결에 필요한 Fe_2O_3 결핍량(x)은 0.03에서 0.04로 점차 증가하였다.
- 2) NiCuZn ferrite의 NiO 함량을 0.2~0.45, Co_3O_4 첨가량을 0~9 w/o로 첨가하여 투자율을 12~562 범위에서 제어할 수 있었다.
- 3) NiCuZn ferrite의 Q_{\max} 주파수는 투자율과 반비례 관계에 있으며, Q_{\max} 주파수(Y)와 투자율(X)의 관계는 $\log Y = 4.2 - 1.4 \log X$ 의 상관관계를 나타내었다.

참고 문헌

- [1] T. Nomura and A. Nakano, Ferrites : Proceedings of The 6th International Conference on Ferrites (ICF6), 1198 (1992).
- [2] H. Monoi, A. Nakano, T. Suzuki and T. Nomura, Ferrites : Proceedings of The 6th International Conference on Ferrites (ICF6), 1202 (1992).
- [3] J. H. Nam, H. H. Jung, J. Y. Shin and J. H. Oh, Proceedings of The 3rd International Symposium on Physics of Magnetic Materials, 436 (1995).
- [4] 류병환, 김선희, 최경숙, 고재천, 한국자기학회지, **6**(6), 937 (1995).
- [5] 남중희, 정현학, 신재영, 오재희, 한국자기학회지, **5**(3), 191 (1995).
- [6] ASTM C20-80a, Am. Soc. Testing and Materials (1981).
- [7] A. Goldman, Modern Ferrite Technology, Van Nostrand Reinhold, (1990) pp. 345~375.
- [8] W. B. Shu, C. J. Chen, C. D. Wu and W. C. Chang, Proceedings of The 6th International Conference on Ferrites (ICF6), 1229 (1992).
- [9] A. B. V. Groenou, J. A. Schulkes and D. A. Annis, J. Appl. Phys., **38**(3), 1133 (1967).
- [10] A. B. V. Groenou, P. F. Branger and A. L. Stuyts, Spinel Ferrites, Vol. 3, Material Science Engineering, (1968) pp. 317~392.

The Variation of Permeability and Q_{\max} Frequency with Processing Parameters in NiCuZn Ferrites

J. Y. Shin, J. H. Park, J. C. Park, J. S. Hahn, and B. M. Song

Ssangyong Research Center

305-345, P. O. Box 12, Yuseong, Daejeon

(Received 20 January 1997, in final form 17 February 1997)

Composition and process conditions for low temperature sintered NiCuZn ferrites were investigated, so as to fabricate multilayered chip inductor. The Fe_2O_3 deficiency for low temperature sintering was decreased with NiO contents of NiCuZn ferrites. The permeability of NiCuZn ferrites can be controlled in the range of 12~562 with the variation of NiO and Co_3O_4 contents. The Q_{\max} frequency of NiCuZn ferrites was decreased from 50 MHz to 3 MHz linearly with permeability increase from 60 to 560. The relation between the Q_{\max} frequency(Y) and permeability(X) of NiCuZn ferrites was expressed with the following empirical equation, $\log Y = 4.2 - 1.4 \log X$.