

소결온도 변화에 따른 NiCuZn 페라이트의 전자파 흡수특성

박찬규, 이영구, 류현욱*, 이상록*
 동국산업주식회사, 동아대학교 화학공학과*

Electromagnetic Wave Absorption Properties of NiCuZn Ferrite
 by the Sintering Temperature

Chan-Kyu Park, Young-Goo Lee, Hyun-Wook Ryu*, Sang-Rok Lee*
 Dongkuk Industries Co., Ltd., Dept. of Chem. Eng., Dong-A Univ.*

서론

전자정보통신기술의 발달에 따라 각종 전기 및 전자기기의 사용이 증가하고 있다. 이는 인간의 생활을 더욱 편리하고 윤택하게 하고 있는 반면, 이로 인한 각종 전자파의 폐해가 발생하고 있다. 이와 같은 전자파장해(EMI ; Electromagnetic Interference) 및 전자파양립성(EMC ; Electromagnetic Compatibility)에 대한 방지대책으로서 전자파흡수(Electromagnetic Absorption) 또는 전자파차폐(Electromagnetic Shielding)에 대한 기술이 사회적으로 큰 관심을 끌고 있고 관련법규에 대한 제개정이 뒤따랐다.^{1), 2)}

전자파흡수 및 차폐를 위한 재료 중 자성손실형 재료에서 가장 보편적으로 사용되는 대표적인 자성손실형 재료로서 페라이트가 있다. 본 연구에서는 비교적 높은 투자율 및 전기 비저항을 가지고, 대기분위기에서 손쉽게 소결할 수 있는 NiCuZn계 페라이트를 사용하여 소결온도의 변화에 따른 페라이트의 전자기적 특성변화를 고찰함으로써 자기 손실을 향상시킬 수 있는 조건에 대하여 검토하였다.

이론

전자파 흡수재료로는 대부분 산화물 자성재료의 소결체나 그것을 분말로 만들어 지지 재료와 혼합한 것을 사용한다. 이에 사용되는 대표적인 자성손실형 전자파 흡수재료인 페라이트는 산화철을 주성분으로 하여 다양한 금속화합물과의 결합으로 형성된 산화물 자성재료로서 $M \cdot Fe_2O_4$ 의 조성식으로 나타내며, 대표적인 금속화합물(M)로는 Mn, Zn, Mg, Cu, Ni, Co 등의 2가 금속이온이 단독 또는 복합의 형태로 사용된다. NiZn계 페라이트는 비교적 높은 투자율 및 전기비저항을 가지며 대기 중에서 소결할 수 있는 장점을 가진 전자파 흡수재료이다. 또한 NiCuZn계 페라이트는 소결조제로서 Cu가 첨가되어 NiZn계 페라이트에 비해 낮은 온도에서 소결이 가능하며 고주파대역에서 우수한 자기적 특성을 갖는다.³⁾

자성재료의 전자파 손실은 재료에 작용하는 자장 및 주파수에 의하여 결정되며 페라이트 내부의 공극 및 결정립의 형태에 따라 자기적 특성이 결정될 수 있다. 소결체 결정 내의 기공은 소결밀도를 저하시키고 입계 간의 자벽이동이나 자화회전을 방해하는 반자계 효과(Demagnetic effect)를 유발하여 투자율 저하의 원인이 된다.⁴⁾ 그러므로 소결조건을 제어하여 소결체의 소결 상태를 개선함으로써 전자파 흡수능의 향상이 가능하다.

실험

Fe_2O_3 49.0 mol%, NiO 9.0 mol%, CuO 8.0 mol%, ZnO 34.0 mol%의 화학적 조성비에 따라 혼합한 원료를 900℃의 온도에서 90분 동안 하소하여 자연냉각한 후, 혼합원료와 직경 8 mm의 쇠볼을 1:5의 무게비로 혼합하고 진동밀로서 30분간 고속 건식분쇄하여 평균 입자크기 1.12 μm 의 페라이트를 제조하였다. 이 분말을 X-선 회절분석(Rigaku D/MAX

2000)하여 스피넬 구조를 관찰함으로써 페라이트화 되었음을 확인하였다.

제조한 페라이트 분말을 5 wt%의 PVA 수용액을 첨가하여 과립화한 후, 제작한 금형을 사용하여 1.5 tons/cm²의 성형압에 의해 톨로이드형 시편을 제작하였다. 성형한 시편을 1060, 1080, 1100, 1120℃의 최종온도 조건에서 150분간 유지하는 소결 스케줄에 따라 각각 소결하였다. 성형체의 미세구조를 분석하여 소결 상태를 확인하기 위하여 주사전자현미경(JEOL JSM- 5410)을 사용하였다. 제작한 톨로이드형 시편은 네트워크 분석기(HP 8753D)에 연결하여 재료정수를 측정함으로써 페라이트의 전자기적 특성을 검토하였다. 이상과 같은 NiCuZn 페라이트의 실험과정을 그림 1에 나타내었다.

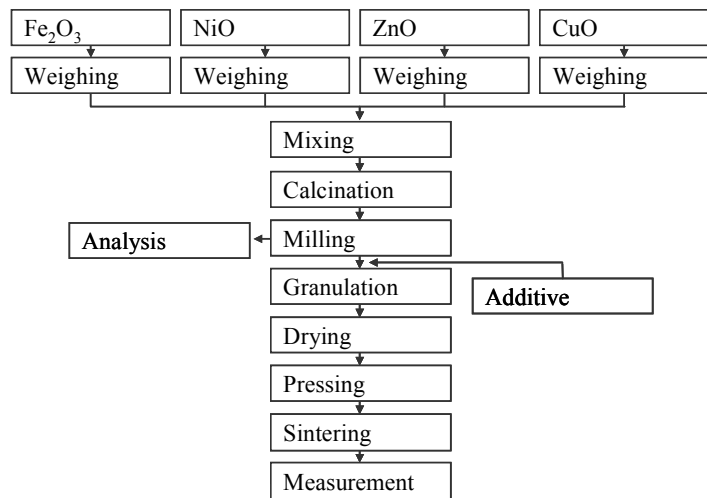


Fig. 1. Procedure of preparation for the NiCuZn ferrite.

결과 및 토론

1. 결정구조 및 소결상태

제조한 분말을 900℃의 온도에서 하소하기 전 및 후를 X-선 회절분석하여 결정구조를 확인하여 그림 2에 나타내었다. 이 결과 명확한 스피넬 구조를 확인함으로써 페라이트화 되었음을 확인하였다. 일반적으로 NiCuZn 페라이트는 500~750℃에서 반응이 시작되어 스피넬 구조를 가지는 (Zn, Ni, Cu)Fe₂O₄의 결정상이 형성되기 시작한다. 그림 2(a)의 하소 전 원료혼합물의 결정구조가 900℃에서 하소한 후 그림 2(b)와 같이 스피넬 단일 구조로 변화됨을 보여 고용화된 것을 확인하였다.

소결체의 소결상태를 확인하기 위하여 주사전자현미경으로 측정된 결과를 그림 3에 나타내었다. 소결체의 미세구조는 전자와 흡수성능을 평가하는 항목인 투자율, 유전율 등에 큰 영향을 미친다. 소결온도를 1060℃로 소결한 경우 결정립 사이의 기공이 존재함을 확인하였다. 이와 같은 기공은 결정립간을 이격시켜 반자계 효과를 일으킬 것으로 예측되었

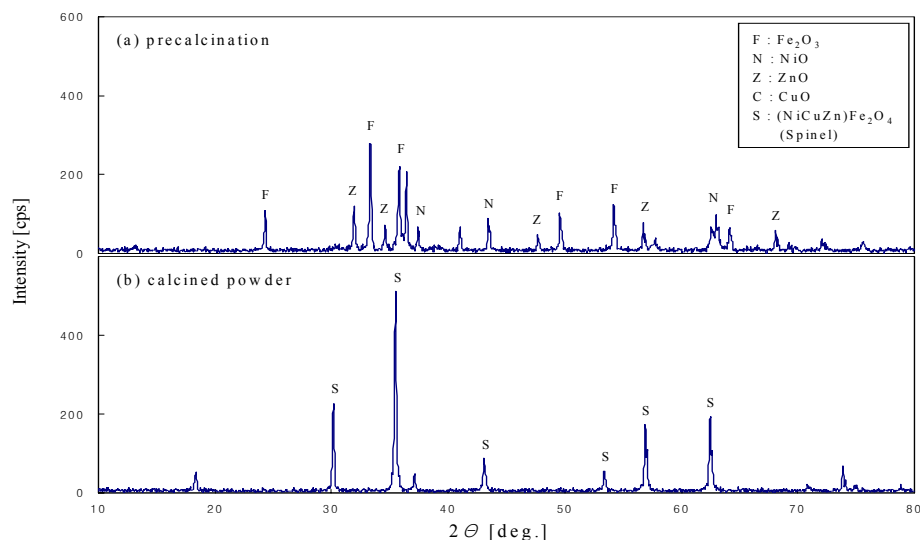


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of NiCuZn ferrite.

다. 1080℃의 소결체는 결정립 내의 내부기공의 수가 감소하였고 결정립의 크기가 약 5~10 μm 로 측정되었다. 일반적으로 결정립의 크기가 증가함에 따라 투자율은 증가하나 약 10 μm 이상의 크기에서는 결정립 내의 내부기공의 발생에 의하여 투자율이 감소하는 것으로 보고되었다.⁵⁾ 1100℃ 및 1120℃의 소결체에서는 결정립의 크기가 증가하는 것이 관찰되었다.

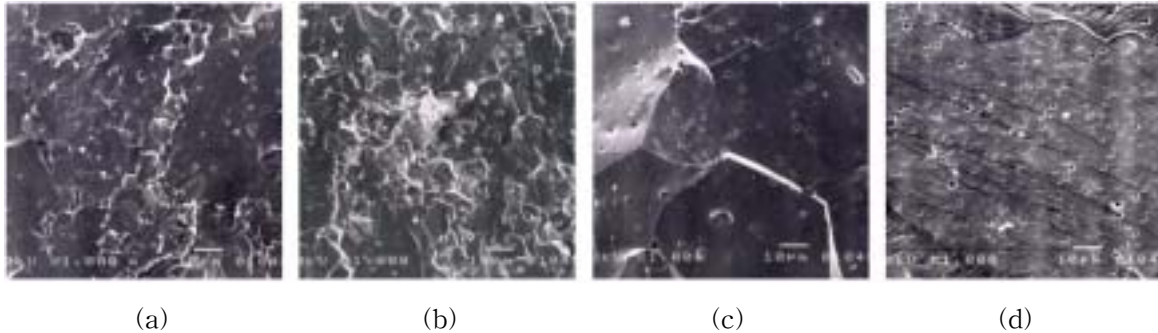


Fig. 3. SEM images of NiCuZn ferrites according to sintering temperature.
; (a) 1060℃, (b) 1080℃, (c) 1100℃, (d) 1120℃

2. 재료정수의 주파수 의존특성

소결한 톨로이드형 시편을 사용하여 네트워크 분석기를 통하여 투자율 및 유전율의 주파수 의존특성을 측정하였다. 그림 4는 0.1~100 MHz 대역에서 소결온도 변화에 따른 투자율의 주파수 의존특성을 실수부(μ') 및 허수부(μ'')로서 나타낸 것이고, 그림 5는 0.1~100 GHz의 주파수 대역의 경우를 나타낸 것이다. 그림 4에서 알 수 있는 투자율 실수부의 초기값(μ_0)은 페라이트의 전자파 흡수성능을 결정함에 있어 중요한 값으로서 1080℃에서 소결한 경우 2200 이상으로 가장 크게 측정되어 우수한 흡수능을 가질 것으로 예측되었다. 실수부와 허수부의 값을 비교하여 허수부의 값이 큰 주파수 대역은 전자파의 흡수가 진행되는 대역으로서 1080℃의 경우 그 대역이 2.2 MHz ~ 70 GHz로서 가장 넓은 주파수 대역에서 전자파 흡수가 가능하였다.

그림 6은 유전율의 주파수 의존특성을 나타낸 것이며, 이상과 같이 측정된 투자율 및 유전율은 페라이트의 전자파 흡수특성을 나타내는 중요한 특성으로서 다음의 식으로부터 손실계수를 구하여 페라이트의 전자파 흡수성능을 평가할 수 있다.⁶⁾

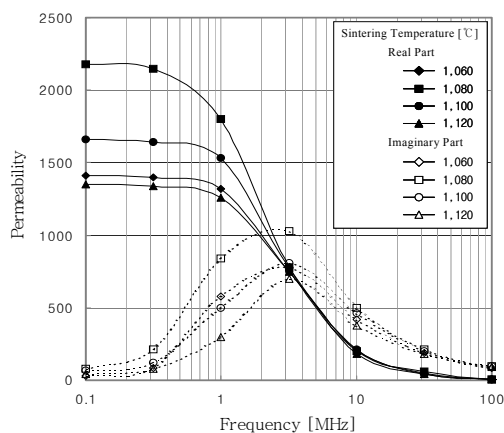


Fig. 4. Frequency dependence of permeability by the sintering temperature. (0.1 ~ 100 MHz)

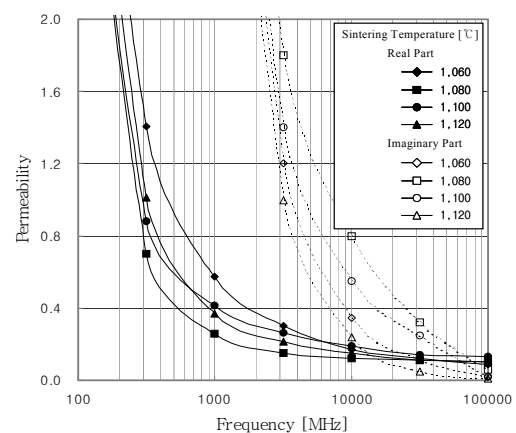


Fig. 5. Frequency dependence of permeability by the sintering temperature. (0.1 ~ 100 GHz)

$$Z = \sqrt{\mu_r/\epsilon_r} \times \tanh(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\mu_r \epsilon_r})$$

$$\text{Reflection Loss [dB]} = -20 \log |(Z-1)/(Z+1)|$$

여기서 μ_r 는 복소비투자율(μ/μ_0), ϵ_r 는 복소비유전율(ϵ/ϵ_0), λ 는 입사한 평면파의 파장이다. 이 식으로부터 구한 소결온도에 따른 손실계수의 주파수 의존특성을 0.1~1000 MHz 대역에서 그림 7에 나타내었다. 그 결과 1080°C에서 소결한 경우 약 300 MHz 부근의 대역에서 95% 이상의 전자파 흡수가 진행되는 -16 dB 이하의 손실계수가 존재하였다.

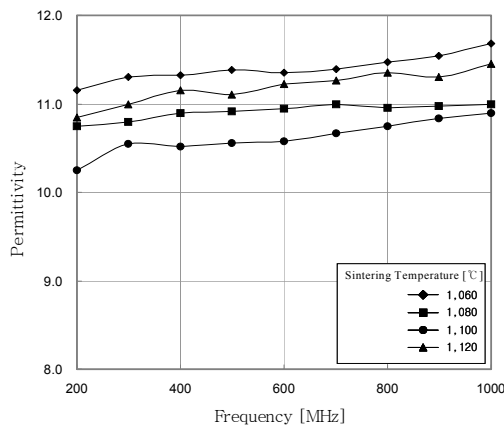


Fig. 6. Frequency dependence of permittivity by the sintering temperature. (200~1000 MHz)

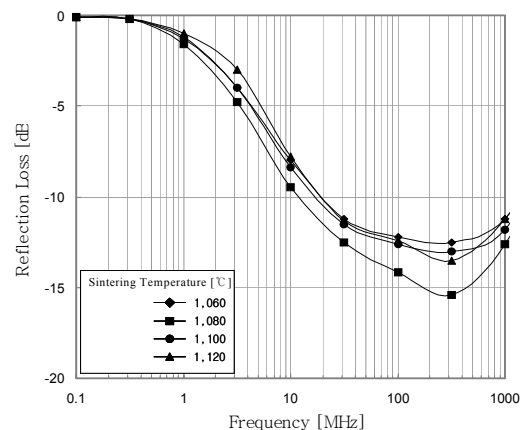


Fig. 7. Frequency dependence of reflection loss by the sintering temperature. (0.1~1000 MHz)

결론

전자파 흡수용 재료로 사용되는 NiCuZn 페라이트를 제조함에 있어서 보다 우수한 전자파 흡수특성을 얻기 위하여 소결온도 변화에 따른 자기적 특성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 결정립의 크기는 배합한 원료를 900°C에서 하소하여 제조한 페라이트를 성형, 1080°C에서 소결한 시편의 소결상태를 관찰한 결과 5~10 μm 로서 최적의 상태를 보였다.
2. 초기투자율의 값은 소결온도가 1080°C인 경우 2200 이상으로 가장 크게 측정되었으며, 전자파 흡수가 진행될 수 있는 주파수 대역이 가장 넓게 분포하였다.
3. 손실계수는 1080°C에서 소결한 경우 약 300 MHz 부근의 대역에서 -16 dB 이하로 측정되어 95% 이상의 전자파 흡수능이 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. 清水康敬, 杉浦行, 石野建, 電磁波の吸収と遮蔽, 日経技術図書株式会社, (1989)
2. 강근덕, 새로운 전자파 장애관련 기준 제/개정, 전파진흥지, 11 (1996)
3. 平賀貞太郎 外, 電子材料シリーズ フェライト, 丸善株式会社, 100 (1987)
4. 近角總信, 太田恵造, 安達健五, 津屋昇, 石川義和, 磁性体ハンドブック, 朝倉, (1987)
5. H. Igarshi and K. Okazaki, Effect of porosity and grain size on the magnetic properties of NiZn ferrite, *J. American Ceramic Society*, 60(1), 51, (1977)
6. H.M. Musal, Jr. and D.C. Smith, Universal Design Chart for Specular Absorbers, *IEEE Transactions on Magnetics*, 26(5), 1462 (1990)