
NiCuZn 페라이트의 조성 및 소결조건에 따른 전자파흡수 특성에 관한 연구

이영구* · 박찬규* · 이문수**

A Study on the Electromagnetic Wave Absorption Properties
by the Composition Ratio and Sintering Condition of NiCuZn Ferrite

Young-goo Lee*, Chan-kyu Park*, Mun-soo Lee**

요 약

정보통신기술의 발달과 전자기기의 사용량 증가에 따른 전자파장애의 발생이 점차 사회 문제화되면서 그 대책이 요구됨에 따라 전자파흡수체에 대한 관심도 증가되고 있는데 본 연구에서는 전자파흡수체로 알려진 NiCuZn 페라이트의 조성비 및 소결온도 변화에 따른 복소유전율과 복소투자율의 주파수 의존 특성을 알아보고 전자파 흡수성능에 대한 영향을 조사하였다. NiCuZn 페라이트의 조성 중 Fe₂O₃ 및 ZnO를 각각 49.0, 34.0 mol%로 고정하고 NiO 및 CuO의 구성비를 변화시켜 측정한 결과 NiO의 구성비가 8.5~9.5 mol%의 범위에서, 소결온도는 1080°C에서 초투자율 및 유전율이 크고 loss tangent(= $\mu r''/\mu r'$)가 약 2 MHz~9.5 GHz 주파수 대역에서 1 이상을 보이며 전자파흡수 성능이 가장 우수하게 나타났다.

ABSTRACT

With the development of electromagnetic communication technology and increased use of electromagnetic wave, the countermeasure of EMI(Electromagnetic Interference) becomes more important socially, and interest for the electromagnetic wave absorber has also increased.

In this paper, we have studied characteristics of frequency dependency on complex permittivity and complex permeability according to the changes of composition rate and sintering temperature of NiCuZn ferrite also known as electromagnetic wave absorber and further looked into effect of electromagnetic wave absorption properties.

From the measurement where the composition of Fe₂O₃ and ZnO of NiCuZn ferrite was fixed at 49 and 34 mol% respectively while composition of NiO and CuO has been varied at each test, we found out that initial permeability and permittivity were high and the absorbing ability of electromagnetic wave recorded best with loss tangent($\mu r''/\mu r'$) displays more than 1 within the frequency band of 2MHz~9.5MHz when the composition ratio of NiO was ranged around 8.5~9.5 mol% and the sintering temperature was 1,080°C.

키워드

electromagnetic wave absorber, NiCuZn Ferrite, loss tangent, relative complex permeability

* 동국산업주식회사
접수일자 : 2001. 10. 5

** 경상대학교 전자공학과

1. 서론

정보통신기술의 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 전자과장해(EMI ; Electromagnetic Interference) 및 전자과양립성(EMC ; Electro magnetic Compatibility)에 대한 방지대책으로서 전자파흡수(Electromagnetic Absorption) 또는 전자파차폐(Electromagnetic Shielding)에 대한 기술이 사회적으로 큰 관심을 끌고 있다.[1], [2]

전자파흡수재료는 도전손실형, 유전손실형 및 자성손실형 전자파흡수재료로 크게 분류할 수 있으며 대표적인 자성손실형 전자파흡수재료로서 페라이트가 있다.[3] 특히 NiZn계 페라이트는 비교적 높은 투자율 및 전기비저항을 가지며 대기 중에서 소결할 수 있는 장점을 가진 전자파흡수재료이다. 또한 NiCuZn계 페라이트는 소결조제로서 CuO가 첨가되어 NiZn계 페라이트에 비해 낮은 온도에서 소결이 가능하며 고주파대역에서 우수한 자기적 특성을 갖는다.[4]

Spinel상을 갖는 페라이트의 자기적 특성을 나타내는 인자로서 초기투자율이 있다. 초기투자율은 자기이방성 상수, 자왜상수, 내부응력 및 미세조직 등의 인자에 의하여 제어되며 페라이트의 조성에 따라 크게 영향을 받는다. 특히 Ni의 함량은 자왜상수에 영향을 주어 초기투자율을 변화시킨다. 그러므로 조성의 변화에 의하여 초기투자율을 조절할 수 있다.[5]

본 연구에서는 자성손실형 전자파흡수재료로 알려진 NiCuZn 페라이트의 조성 및 소결온도 등을 변화시켜 제조하고 투과반사법에 의하여 자기적 특성에 대한 영향을 검토함으로써 광대역 전자파흡수체에 사용 가능한 소재로서의 특성을 검토하였다.

II. 실험방법

페라이트 분말을 구성하는 분말상의 원료를 준비하여 Table 1의 조성에 따라 칭량한 후 배합하였다. 배합한 원료는 진동밀을 사용하여 30분 동안 고속 혼합하였다. 혼합된 시료를 900℃에서 90분 동안 하소하고 냉각한 후, 하소분말과 직경 8φ의 쇠볼을 1:5의 무게

비로 혼합하고 진동밀로서 고속 건식분쇄하여 평균입자크기를 1.1~1.2 μm로서 제조하였다.

표 1. 시료의 제조조건.

Table 1 Condition of preparation.

No.	Composition [mol%]				Temperature of Preparation [°C]	
	Fe ₂ O ₃	NiO	CuO	ZnO	Calcination	Sintering
1-1	49.0	8.0	9.0	34.0	900	1060
1-2						1080
1-3						1100
1-4						1120
2-1	49.0	8.5	8.5	34.0	900	1060
2-2						1080
2-3						1100
2-4						1120
3-1	49.0	9.0	8.0	34.0	900	1060
3-2						1080
3-3						1100
3-4						1120
4-1	49.0	9.5	7.5	34.0	900	1060
4-2						1080
4-3						1100
4-4						1120
5-1	49.0	10.0	7.0	34.0	900	1060
5-2						1080
5-3						1100
5-4						1120

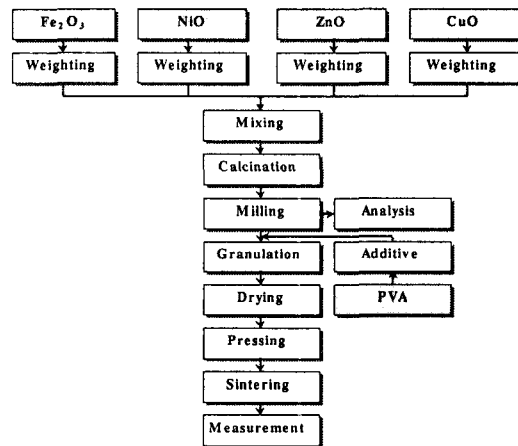


그림 1. NiCuZn 페라이트의 제조공정.

Fig. 1 Procedure of preparation for the NiCuZn ferrite.

하소분말을 5 wt% PVA 수용액을 결합제로 첨가하고 과립화한 후 제작한 금형을 사용하여 toroidal형 시편을 성형하였다. 성형한 시편을 대기중에서 Table 1의 소결조건으로 각각 2.5 시간씩 유지하여 소결함으로써 외경 7mm, 내경 3mm, 높이 5mm의 toroidal형

시편을 제조하였다. 그림 1은 이상과 같은 전파흡수체용 NiCuZn 페라이트의 제조공정을 나타낸 것이다.

하소분말과 소결분말의 페라이트화를 확인하기 위하여 X-선 회절분석(Rigaku D/MAX2000)하여 spinel 구조를 확인하였고, 주사전자현미경(JEOL JSM-5410)을 사용하여 소결체 표면의 미세조직을 관찰하였다. 복소투자율 및 복소유전율 등 페라이트의 전자파특성의 측정은 Network Analyser(Wilton 360B)를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

3-1 X-선 회절 및 주사전자현미경 분석

제조한 전파흡수체용 NiCuZn 페라이트의 반응성을 확인하기 위하여 900℃에서 하소한 페라이트 하소분말을 X-선 회절분석 하였다. 분석결과 spinel 구조가 관찰되어 페라이트화가 진행되었음을 확인하였고, 그 결과를 그림 2에 나타내었다.

소결조건에 의한 소결체 표면의 미세조직 변화는 전파흡수체의 흡수능을 평가하는 변수인 투자율, 유전율 등에 큰 영향을 미친다. 그러므로 소결체의 입자표면을 확인하기 위하여 주사전자현미경 사진을 측정하였다. 그 결과, 소결체 표면에 분포한 입자의 상태가 고르게 성장하여 규칙적으로 분포함으로써 입계간의 기공발생이 최소화한 경우(a)와 불규칙적인 성장에 의하여 기공의 발생이 증가한 경우(b)가 관찰되었다. 소결체의 입자 사이에 생성된 기공은 소결밀도를 저하시키고 입계간의 자벽이동이나 자화회전을 방해하는 반

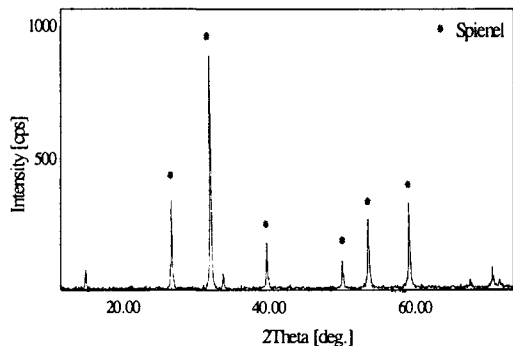


그림 2. NiCuZn 페라이트의 X-선 회절분석.
Fig. 2 X-ray diffraction patterns of NiCuZn ferrite.

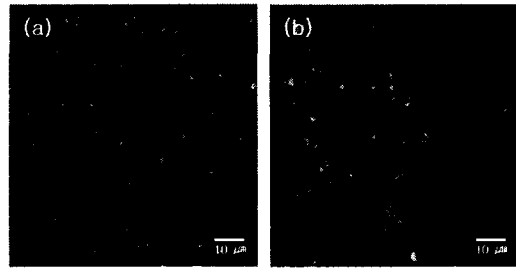


그림 3. NiCuZn 페라이트의 주사전자현미경 사진.
Fig. 3 SEM images of NiCuZn ferrite.

자계효과(demagnetic effect)를 유발하여 투자율을 저하시키는 원인이 된다. 그러므로 입자가 규칙적으로 성장하여 기공의 발생이 최소화된 경우 향상된 투자율이 측정되었다.[6]

3-2 페라이트의 제조조건에 따른 복소투자율 및 복소유전율의 주파수 의존특성

NiCuZn 페라이트의 조성비에 따른 주파수 의존특성을 검토하기 위하여 구성성분 중 Fe₂O₃ 및 ZnO를 각각 49.0, 34.0 mol%로 고정하고 NiO 및 CuO의 첨가비를 변화시켜 조성비가 다른 하소분말을 제조한 후 성형, 소성하여 시편을 제작하였다. 이 시편으로부터 복소투자율을 측정하여 0.1~100 MHz의 주파수대역의 결과를 그림 4에 나타내었고, 100 MHz~10 GHz의 주파수대역에서의 결과를 그림 5에 나타내었다. 여기

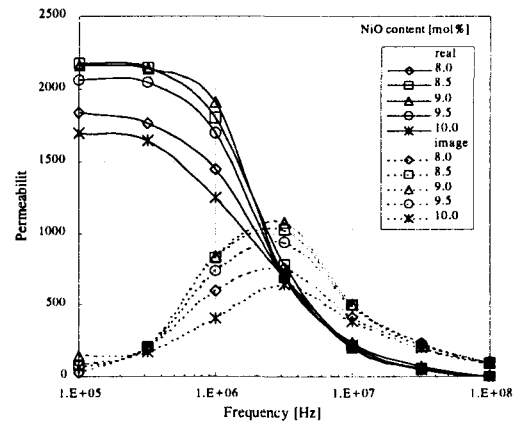


그림 4. 조성비에 따른 투자율의 주파수 의존성.
(0.1MHz~100MHz)
Fig. 4 Frequency dependence of permeability by the NiO content.

서 실선이 실수부(μ')를, 점선이 허수부(μ'')를 의미한다. 이 결과로부터 NiO의 구성성분비가 8.5~9.5 mol%의 범위에서 초기투자율 및 허수부의 값이 큰 것으로 나타났고 허수부의 값이 실수부 보다 큰 주파수 대역이 넓게 측정되었다. 소결온도에 따른 주파수의 존특성을 검토하기 위하여 NiO의 조성비가 8.5 mol%인 시편을 1060, 1080, 1100, 1120 °C의 소결온도로 변화시키며 복소투자율을 측정하여 그 결과를 그림 6 및 그림 7에 나타내었다. 여기서 1080°C의 경우 가장 큰 초기투자율 및 허수부의 값이 측정되었다.

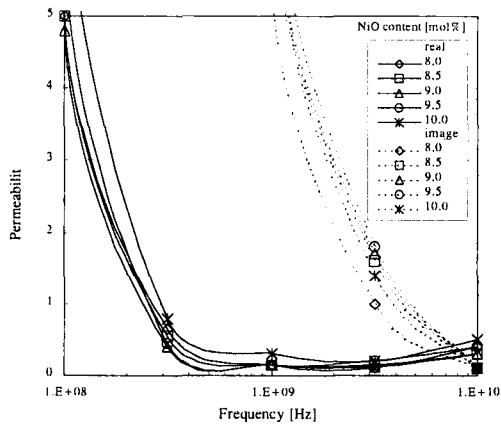


그림 5. 조성비에 따른 투자율의 주파수 의존성. (100MHz~10GHz)
Fig. 5 Frequency dependence of permeability by the NiO content.

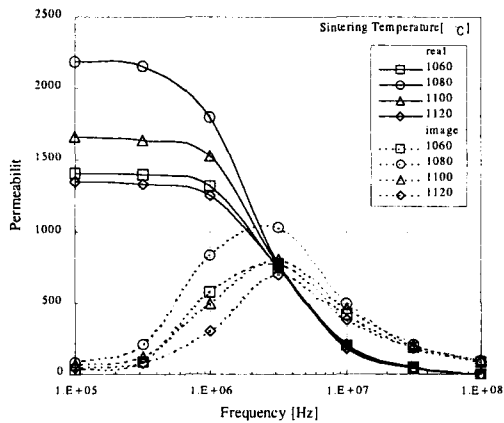


그림 6. 소결온도에 따른 투자율의 주파수 의존성. (0.1MHz~100MHz)
Fig. 6 Frequency dependence of permeability by the sintering temperature.

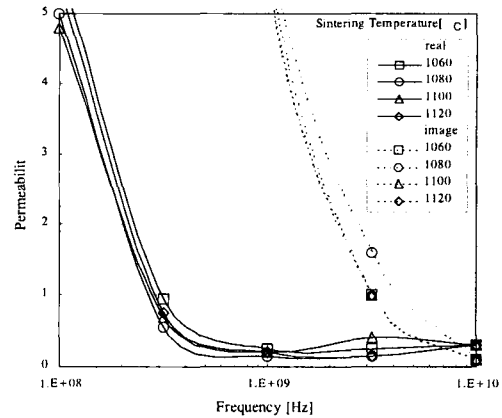


그림 7. 소결온도에 따른 투자율의 주파수 의존성. (100MHz~10GHz)
Fig. 7 Frequency dependence of permeability by the sintering temperature.

Snoek에 의한 실험결과와 같이 Spinel 구조를 가지는 페라이트는 초기투자율이 커질 경우 공진 주파수가 낮은 쪽으로 이동하게 됨으로서 낮은 주파수대역에서 주파수 분산이 일어나기 시작하여 보다 넓은 대역에서의 전자파 흡수가 가능함을 알 수 있다.[7]

그림 8은 200 MHz~1 GHz의 주파수 대역에서 NiO의 구성성분비에 따른 복소유전율의 실수부에 대한 주파수 의존성을 나타낸 것이다. NiO의 구성비가 8.5~9.5 mol%의 경우가 유전율의 실수부 값이 높은

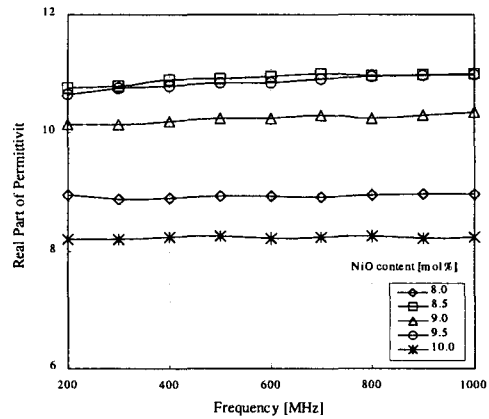


그림 8. 조성비에 따른 유전율의 주파수 의존성. (200MHz~1GHz)
Fig. 8 Frequency dependence of permittivity by the NiO content.

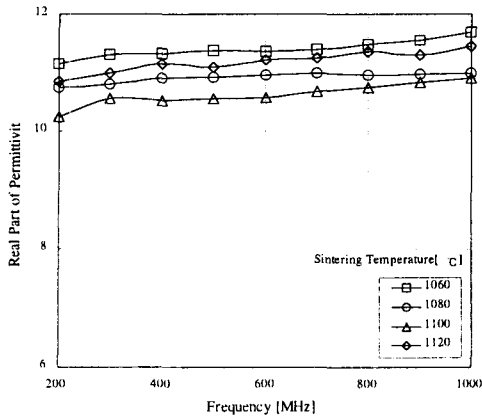


그림 9. 소결온도에 따른 유전율의 주파수 의존성.
(200MHz~1GHz)
Fig. 9 Frequency dependence of permittivity by the Sintering Temperature.

것으로 나타나 복소투자율의 경향과 유사함을 알 수 있다. 그리고 그림 9에 동일한 주파수대역에서 소결온도에 따른 유전율의 주파수 의존성을 나타내었다. 여기서 허수부는 0.5 미만의 작은 값으로 측정되었으며 유전율의 실수부는 투자율에 비해 소결온도에 민감하게 변하지 않는 것으로 나타났다.

3-3 페라이트의 주파수 대역에 따른 자기손실 및 전자파 흡수특성

페라이트에 교류자계를 인가할 경우 낮은 주파수에서는 페라이트의 자벽의 이동 속도나 자화회전 속도가 변화되는 자장을 따라가지만 주파수가 증가하게 되면 자계의 변화에 자벽의 이동이 따라가지 못해 투자율이 저하되면서 공진에 의한 손실이 발생하게 된다. 즉, 자계 H 와 자속밀도 B 와의 사이에 δ 만큼의 위상이 늦어지게 됨으로 $\mu = B/H = |\mu|e^{-i} = \mu' - i\mu''$ 이 되며 자기손실은 $\tan \delta = \mu''/\mu'$ (loss tangent)로 표시할 수 있다. 따라서 투자율의 허수부는 자성손실의 정도를 나타내며 투자율의 허수부가 실수부 보다 큰 주파수 대역, 즉 loss tangent의 값이 1 이상인 주파수 대역에서 전자파 흡수가 진행됨을 알 수 있다.

투자율의 측정 결과로부터 실수부와 허수부의 값을 비교하여 전자파 흡수의 정도를 검토하기 위하여 허수부와 실수부의 비를 loss tangent로 나타내었다. 그림

10은 1 MHz~10 GHz의 주파수대역에서 NiO의 구성 성분비에 따른 투자율 측정결과에 의한 loss tangent를 나타낸 것으로 4 MHz~9 GHz의 대역에서 공통적으로 1 이상의 loss tangent 값이 얻어졌고 NiO의 구성 성분비가 9.0 mol%의 경우 loss tangent 값이 1 이상인 주파수 대역이 1.7 MHz~9.6 GHz로서 가장 광대역하게 나타났다. 그리고 200~600 MHz의 주파수 대역에서 가장 큰 값이 측정되었는데 9.0 mol%의 경우 90으로서 가장 높은 loss tangent 값을 나타내었다. 그림 11은 소결온도 변화에 따른 복소투자율

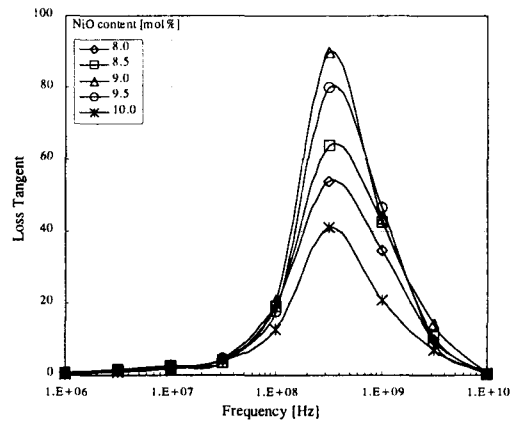


그림 10. 조성비에 따른 loss tangent의 주파수 의존성.
Fig. 10 Frequency dependence of loss tangent by the NiO content.

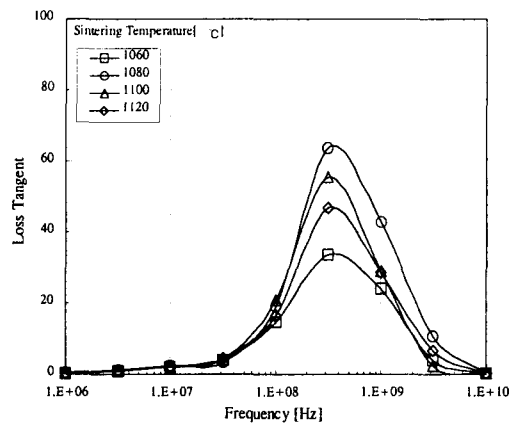


그림 11. 소결온도에 따른 loss tangent의 주파수 의존성.
Fig. 11 Frequency dependence of loss tangent by the sintering temperature.

측정결과에 의한 loss tangent의 변화이다. 여기서 1 이상의 loss tangent 값을 가지는 범위는 공통적으로 4 MHz~6.5 GHz의 주파수 대역이고 200~600 MHz의 대역에서 가장 큰 값을 가지는 것으로 측정되었다. 특히 1080°C의 온도에서 소결한 경우 1 이상의 loss tangent 값을 가지는 대역이 2.1 MHz~9.5 GHz로서 전자파 흡수가 진행되는 주파수 대역이 가장 넓게 나타났고 최대값은 63.4로서 측정되었다.

이와 같이 넓은 주파수 대역에서 자기손실을 갖는 페라이트의 특성은 광대역 전자파흡수체를 설계, 제작하는데 사용되는 소재로서 요구되는 중요한 특성이다. 측정된 복소투자율 및 복소유전율로부터 전자파 손실 계수를 구하여 전자파흡수체용 NiCuZn 페라이트의 전자파흡수능을 다음의 식으로부터 평가할 수 있다.[8], [9]

$$Z = \sqrt{\mu_r/\epsilon_r} \times \tanh(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\mu_r \epsilon_r}) \quad (1)$$

$$S = (Z - 1)/(Z + 1) \quad (2)$$

$$\text{Reflection Loss [dB]} = -20 \log |S| \quad (3)$$

이 식은 두께 d의 판상 전자파흡수체를 금속판 위에 올려놓은 경우, 평면파의 수직 입사에 대한 파동 임피던스 Z를 진공중의 평면파 임피던스로 규격화하여 식 (1)과 같이 나타내며 식 (2)로서 구해지는 반사계수 S로부터 전자파감쇠성능을 식 (3)과 같이 구할 수 있다. 여기서, μ_r 는 상대복소비투자율(μ/μ_0), ϵ_r 는 상대복소비유전율(ϵ/ϵ_0), λ 는 입사한 평면파의 파장이다.

그림 12 및 그림 13은 각각 조성비 및 소결온도에

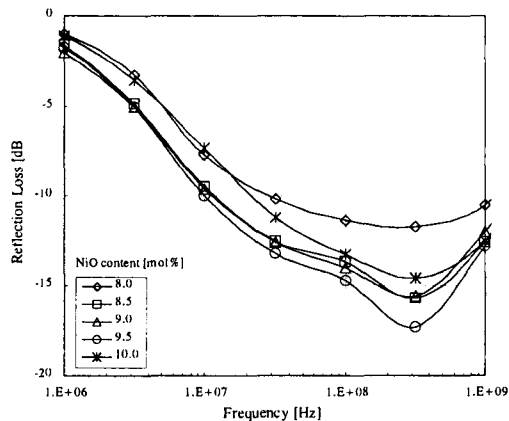


그림 12. 조성비에 따른 전자파감쇠량의 주파수 의존성. (1MHz~1GHz)
Fig. 12 Frequency dependence of reflection loss by the NiO content.

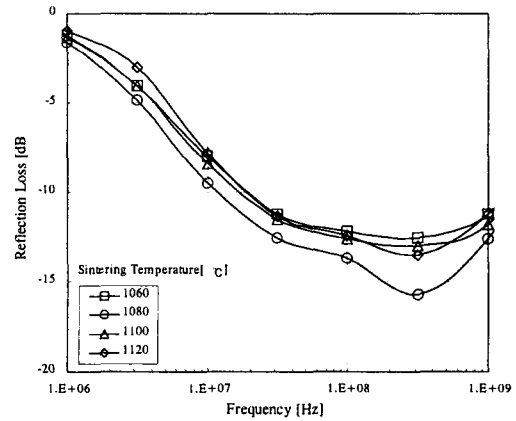


그림 13. 소결온도에 따른 전자파감쇠량의 주파수 의존성. (1MHz~1GHz)
Fig. 13 Frequency dependence of reflection loss by the sintering temperature.

따른 페라이트 시편의 s-parameter를 측정하여 1MHz~1GHz의 주파수대역에서의 전자파감쇠량을 식 (3)을 도입해 구한 결과이다. 투자율 및 loss tangent가 큰 조성에서 전자파 흡수성능이 우수하게 나타났으나 loss tangent와 반사감쇠계수의 경향이 일치하지 않는 경우는 정합두께(matching thickness)가 고려되지 않고 시편의 두께를 5mm로 고정하여 측정하였기 때문이다.

시편의 두께가 5mm일 경우 NiO의 구성성분비에 따른 전자파감쇠량은 200~500 MHz의 주파수 대역에서 가장 우수한 감쇠특성을 나타내었고 특히 NiO의 구성성분비가 9.5 mol%의 경우 가장 우수하였다. 또한 소결온도에 따른 영향으로는 1080°C의 소결온도에서 가장 우수한 감쇠특성을 보였다.

IV. 결론

전자파흡수체용 NiCuZn 페라이트의 제조조건으로 구성성분비 및 소결온도에 따른 전자파 손실특성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. NiCuZn 페라이트의 복소투자율에 대한 영향으로서 Fe²⁺O³ 및 ZnO를 각각 49.0, 34.0 mol%로 고정한 후 NiO 및 CuO의 구성성분비 및 소결온도를 변화시킨 결과, NiO의 구성비 8.5~9.5 mol%의 범위 및 1080°C

의 소결온도에서 초기투자율(μ_i) 및 허수부(μ'')의 값이 가장 크게 나타났다.

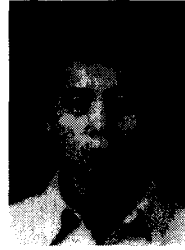
2. 전자파 손실특성을 나타내는 loss tangent가 1 이상의 값을 가짐으로서 전자파 손실이 발생하는 주파수 대역은 NiO의 구성비 9.0 mol%, 소결온도 1080°C의 경우 1.7 MHz~9.6GHz의 대역에서 전자파 손실이 발생하여 가장 광대역화 된 조건으로 판명되었다.

3. NiCuZn 페라이트의 유전율(ϵ')은 동일한 소결 온도에서 투자율(μ')과 비례적으로 변화하는 경향을 보이지만 동일 조성에서 소결온도에 따른 투자율 변화가 큰 반면 유전율 변화는 크지 않았다.

4. 페라이트의 제조조건을 적절히 제어함으로써 넓은 주파수 대역에서의 자기손실을 유발할 수 있었는데, 이는 광대역 전파흡수체의 설계, 제작에 중요한 소재로서 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 김동일, 박종구, 정세모, 이영구, "원추절단형 페라이트 전파흡수체의 최적설계 및 제작에 관한 연구", 한국해양정보통신학회, 제4권 제4호, 721, 2000
- [2] 清水康敬, 杉浦行, 石野建, "電磁波の吸収と遮蔽", 日經技術圖書株式會社, 1989
- [3] 김동일, 전상엽, "EMI/EMC 대책용 광대역화 전파흡수체의 개발에 관한 연구", 한국향해학회지, 제15권 제4호, 13, 1991
- [4] 平賀貞太郎 外, "電子材料シリーズ フェライト", 丸善株式會社, 100, 1987
- [5] 近角總信, 太田惠造, 安達健五, 津屋昇, 石川義和, "磁性體ハンドブック", 朝倉, 1987
- [6] Lionel M. Levinson, "Electronic Ceramics", Marcel Dekker Inc., 159, 1987
- [7] J.Smit and H.P.J. Wijn, "Ferrites", Philips' Tech. Library, 268, 1965
- [8] H.M. Musal, Jr. and D.C. Smith, "Universal Design Chart for Specular Absorbers", IEEE Transactions on Magnetics, 26, 5, 1462, 1990
- [9] Y.Naito and K. Suetake, "Application of Ferrite to Electromagnetic Wave Absorber and Its Characteristics", IEEE Trans. on MTT, 19, 1, 65, 1971

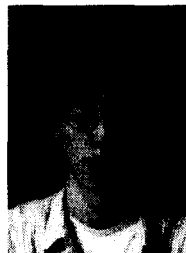


이영구(Young-Goo Lee)

1984년 2월 한남대학교 물리학과 졸업(이학사)
1986년 8월 숭실대학 대학원 물리학과 졸업(이학석사)
1995년 3월~현재 경상대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정
현재 동국산업(주) 신소재사업부

근무

관심분야 : 마이크로웨이브용 자성재료 및 수동소자, 페라이트 전파흡수체 설계 및 제작

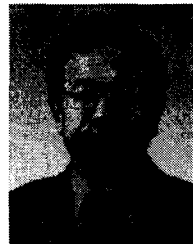


박찬규(Chan-Kyu Park)

1997년 2월 동아대학교 화학공학과 졸업(이학사)
1999년 2월 동아대학교 대학원 화학공학과 졸업(이학석사)
1999년 3월~현재 동아대학교 화학공학과 박사과정

현재 동국산업(주) 신소재사업부 근무

관심분야 : 마이크로웨이브용 자성재료, 자성분체 특성제어기술



이문수(Mun-Soo Lee)

1970년 2월 한국항공대학교 항공통신 공학과(공학사)
1980년 2월 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)
1984년 8월 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학박사)

1981년 3월~1986년 2월 제주대학교 통신공학과 부교수
1986년 8월~1987년 8월 미국 COMSAT 연구소 연구원
1986년 3월~현재 경상대학교 공과대학 전자공학과 교수

1997년 9월~1999년 8월 경상대학교 부설 정보통신 연구센터 소장

1998년 8월~2000년 7월 영남 지부 전자과학회 지부장
관심분야 : 이동통신, 마이크로파, 안테나 GIS 등