

비화학양론적 조성이 니켈-아연 페라이트의 전파흡수특성에 미치는 영향

조성백 · 오재희

인하대학교 무기재료공학과

인천시 남구 용현동 253

(1994년 11월 19일 받음)

비화학양론 조성의 니켈-아연 페라이트 소결체 시편에서 투자율과 유전율을 체계적으로 변화시킴에 따라 전파흡수특성에 미치는 영향을 조사하였다. $(\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{O})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$ 시편은 일반적인 세라믹 제조공정에 의해 제조하였다. 본 연구에서는 니켈-아연 페라이트에서 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 함량을 변화시킴에 따라 복소투자율과 복소유전율의 조절 방안을 조사하였다. 철과잉량의 효과는 유전상수 증가였으며 철결핍량의 효과는 μ'' 감소이었다. 니켈-아연 페라이트에서 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 함량 변화에 따라 정합주파수와 정합두께 조절이 가능함을 제시하였다.

I. 서 론

EMI/EMC에 대한 문제의 중요성은 전기/전자 기기의 사용증대, 통신산업의 발달과 더불어 필연적으로 수반된다. 최근 일반가정의 가전제품과 같은 소비용품 으로부터 산업, 군사, 우주, 항공분야에 이르기까지 여러가지 전자파 장애(EMI)현상이 나타나고 있다[1]. 이러한 전자파 장애에 대한 대책으로는 송, 수신방법의 개선등이 검토되고 있으나 근본적 대책으로는 전파흡수체로 불필요한 전자파를 흡수하여 열에너지로 변환시켜 반사파가 발생하지 않도록 하는 것이다.

Ferrite 전파흡수체는 고주파에서의 자벽공명 및 자연공명 현상에 기인하는 자기손실을 이용한 것으로 두께가 얇고 동작주파수 범위가 넓은 장점이 있어 T.V. ghost 방지, radar 및 antenna의 허상방지, 전파암실 등으로 이용되고 있다[2]. Ferrite 전파흡수체는 구성조건에 따라 소결형과 복합형으로 나눌 수 있으며 소결형 ferrite 전파흡수체인 경우 일반적으로 수십 MHz에서 수백 MHz의 주파수범위에서 흡수특성이 우수하다[3].

소결형 페라이트 전파흡수체는 일반적으로 니켈-아연 페라이트가 VHF/UHF 영역에서 전파흡수체로 널리 이용되고 있다. 소결형 페라이트 전파흡수체의 전파흡수특성은 페라이트의 조성, 미세구조 등에 의하여 변화한다고 알려져있다[4, 5]. 우수한 특성을 가지는 페라이트 흡수체를 제조하기 위하여 미세구조, 화학성분들의 투자율의 존성에 대하여 많은 연구가 행해져왔다. 페라이트 시편의 두께, 무반사 주파수와 같은 소결형 페라이트의 전파흡수특성은 투자율과 유전율에 의해서 결정된다.

본 연구에서는 Ni-Zn ferrite 소결체에서 투자율과 유

전율을 체계적으로 변화시킴에 따라 전파흡수특성에 미치는 영향을 조사하였다. 투자율 및 유전율을 변화시키는 방안으로 비화학 양론조성에서 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 함량을 변화시켰다. 동일조성에서 산화철 함량을 변화시킴에 따라 무반사 주파수 및 정합두께를 조절할 수 있음을 제시하였다.

II. 실험방법

Ni-Zn ferrite 소결체 시편의 제조과정은 다음과 같다. 페라이트 분말 합성에 사용된 출발원료는 시약급(99.9% 이상)의 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, NiO, ZnO이다. 비화학양론적 조성에서 철결핍 및 철과잉량이 복소투자율 및 복소유전율의 주파수분산 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 $(\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{O})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$ 의 조성을 택하여 x ($x = -0.15, -0.1, -0.05, 0, 0.05, 0.1, 0.15$)를 변화시켰다.

위와같이 혼합된 원료분말을 폴리에틸렌 용기에 넣고 불밀에서 12시간 혼합하였다. 혼합분말을 110 °C에서 24시간 건조한 다음 알루미늄 유발을 사용하여 분쇄하고 공기 분위기하에서 5 °C/min의 승온속도로 가열한 다음 900 °C에서 2시간동안 하소하였다. 하소된 분말을 알루미늄 유발에서 1시간동안 재분쇄하여 약 1 μm 크기의 페라이트 분말을 제조하였다. 제조된 페라이트 분말에 바인더를 3 wt% 정도 첨가한 후 내경 3 mm 외경 9 mm인 toroidal mold에 충전시킨후 80 MPa의 압력으로 성형체를 제조하였다. 바인더를 제거하기 위하여 산소가스를 흘려주며 600 °C에서 3시간동안 유지한 후 1250 °C에서 2시간 동안 소결하여 Ni-Zn ferrite 시편을 제조하였다. 소결한 시편을 내경 3 mm 외경 7 mm가 되게 가공하였다.

제조한 페라이트 시편의 재료정수를 구하기 위하여 Network analyser(HP 8720B)와 Co-axial type의 7 mm air line을 이용하여 130 MHz-1000 MHz 영역에서 S-parameter를 측정하고 S-parameter에 의하여 복소투자율과 복소유전율을 계산하였다. 또한 측정된 재료정수로 부터 시편의 반사감쇠량을 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

X-선 회절분석 결과 스피넬상만 관찰되고 α -Fe₂O₃ peak은 탐지하기 어려웠다. 그러나 이것만으로 철결핍이나 과잉의 조성에서 이차상의 존재를 배제할 수는 없다. 따라서 정성적으로 철부족이나 과잉의 상태를 확인하기 위하여 소결시편의 밀도를 측정하였다. 일반적으로 철결핍인 시편은 입자내부에 미세한 기공들이 분산되어있고 철과잉인 시편에서는 입자경계에 큰 기공들이 존재하기 때문에 최종밀도는 철과잉 조성보다 철결핍 조성의 시편이 높다고 보고되었다[6]. 본 실험에서의 결과도 Fig. 1과 같이 동일한 경향을 나타내므로 정성적으로라도 철과잉 및 철결핍을 확인할 수 있었다.

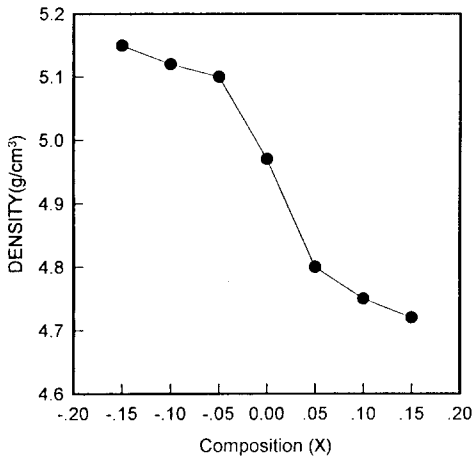


Fig. 1. Sintered density of $(\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{O})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$ specimens.

Fig. 2는 $(\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{O})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$ 시편에서 화학양론 조성($x = 0$)의 복소투자율과 유전상수의 분산특성을 나타내었다. 투자율은 전형적인 고손실 스펙트럼을 나타내고 있다. μ_r'' 이 μ_r' 보다 훨씬 커므로 공명주파수 이후의 영역이라 판단되며 μ_r' , μ_r'' 모두 주파수 증가에 따라 감소하였다. ϵ_r' 은 전 주파수 영역에서 약 11정도로 거

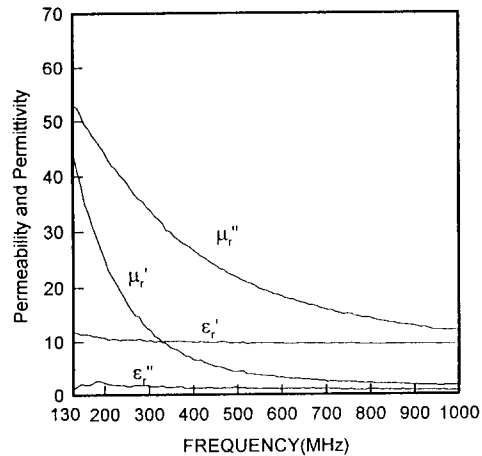
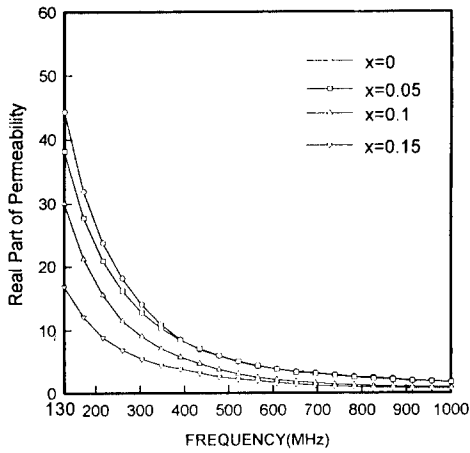


Fig. 2. Material constants vs frequency spectra observed in $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ specimen.

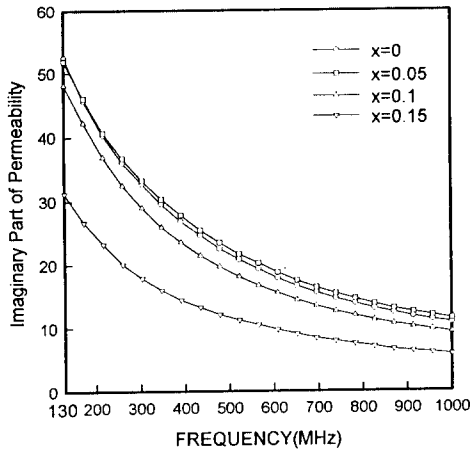
의 일정한 값을 보이고 있으며 ϵ_r'' 은 거의 무시할 정도의 작은 값을 가지고 있었다.

철과잉량과 철결핍량 변화에 따른 재료정수 변화를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 철과잉량의 경우 화학양론 조성($x = 0$)의 시편에 비해 μ_r' 및 ϵ_r' 모두 x 의 증가에 따라 현저한 변화를 나타내고 있다. 특히 유전율은 철과잉량이 커짐에 따라 ϵ_r' 의 증가가 더욱 현저하다. Fig. 3(a) 및 Fig. 3(b)에서 볼 수 있는 바와같이 μ_r' 및 μ_r'' 은 모두 철과잉량이 증가함에 따라 특히 저주파대역에서 급격히 감소하였다. $x = 0$ 인 경우 μ_r' 은 130 MHz에서 45의 값을 갖으나 $x = 0.15$ 로 증가하면 14로 감소하고 있다. μ_r'' 역시 $x = 0$ 인 경우 130 MHz에서 53근처의 값을 갖으나 $x = 0.15$ 시편에서는 31정도의 낮은 값을 갖는다. 반면 유전율은 철과잉량 증가에 따라 정반대의 특성을 보이고 있다. 그 중에서도 특히 ϵ_r' 의 증가가 더욱 현저하다. Fig. 3(c)에서 보는바와 같이 $x = 0$ 의 경우 ϵ_r' 은 약 11의 값을 가지나 $x = 0.1$ 로 증가하면 ϵ_r' 은 약 30으로 증가한다. $x = 0.15$ 로 증가하면 약 35정도로 $x = 0$ 인 시편보다는 3배이상 큰 ϵ_r' 을 나타내고 있다. 이러한 현상은 화학양론 조성의 페라이트에 과잉의 α -Fe₂O₃을 첨가하면 과잉 Fe가 Fe⁺² 이온으로 스피넬격자에 고용되기 때문에 전기전도도가 증가하고 따라서 유전상수가 커진다고 판단된다.

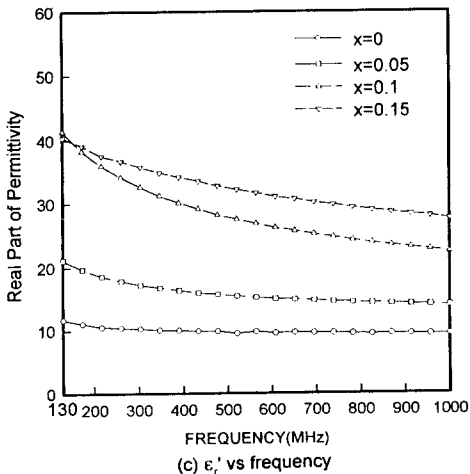
철결핍량의 경우 μ_r' 및 μ_r'' 은 모두 철결핍량이 커짐에 따라 급격히 감소하였다. μ_r' 은 $x = 0$ 인 경우 130 MHz에서 45의 값을 가지나 $x = -0.15$ 로 되면 25로 감소하



(a) μ_r' vs frequency

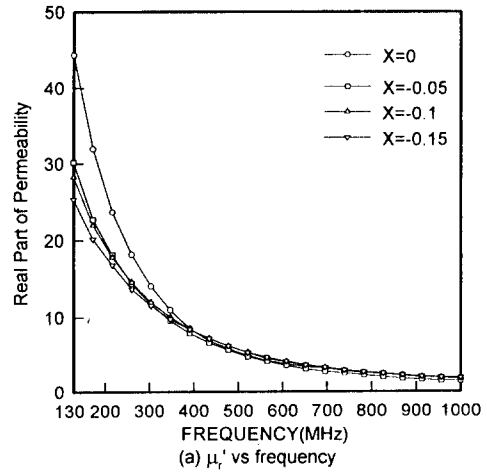


(b) μ_r'' vs frequency

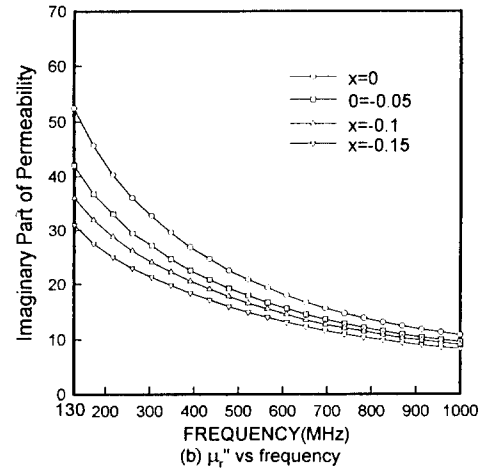


(c) ϵ_r' vs frequency

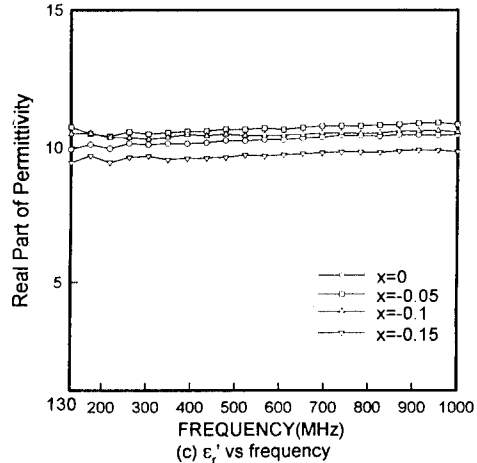
Fig. 3. Material constants vs frequency spectra observed in $(\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{O})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$ specimens.



(a) μ_r' vs frequency



(b) μ_r'' vs frequency



(c) ϵ_r' vs frequency

Fig. 4. Material constants vs frequency spectra observed in $(\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{O})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$ specimens.

며 주파수 증가에 따른 감소기울기도 철과잉량의 경우와 유사한 경향을 가진다. 철결핍량 증가에 따라 가장 현저

한 변화를 나타내는 것은 μ_r' 이다.

철과잉량의 경우와는 달리 μ_r' 값은 측정주파수 전 영역에서 철결핍량이 증가함에 따라 감소함을 보이고 있다. 철과잉량의 경우와는 달리 철결핍량의 변화는 ϵ_r' 에는 미소하게 영향을 미침을 알 수 있다.

측정한 재료정수(μ_r, ϵ_r)로 부터 계산한 전파흡수량(반사감쇠량)을 Fig. 5에 나타내었다. 최대흡수능(최소 반사감쇠량)을 가진 특정 주파수는 x 가 증가 할 수록 낮은 주파수로 이동(690 MHz $x = -0.15$, 140 MHz $x = 0.15$)하며 흡수체의 두께는 양론조성($x = 0$)에서 최소값을 가지며 철과잉 및 철결핍 조성으로 이동함에 따라 증가하였다.

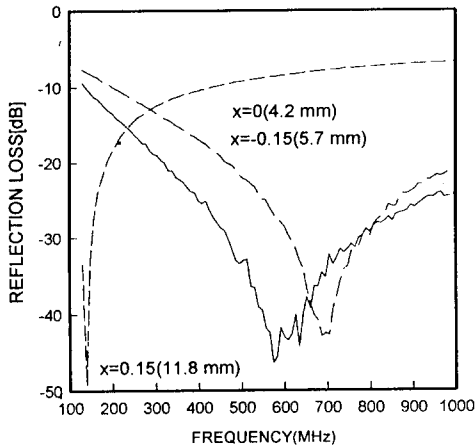


Fig. 5. Microwave absorption of $(\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{O})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$ specimens with maximum attenuation.

이상의 결과로 부터 Ni-Zn ferrite에서 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 첨가량을 변화시킴으로서 ferrite 시편의 재료정수 및 전파흡수특성(정합주파수, 두께)을 제어할 수 있음을 확인하였으며, 특히 철과잉량인 경우는 ϵ_r' 을 증가시키는데 효과적임을 알 수 있으며 철결핍량은 μ_r' 을 감소시키는데 효과적임을 알 수 있다.

도체판에 부착된 단층형 전파흡수체에 있어서 무반사 조건은 복소투자율과 복소유전율의 적절한 조합에 의해 얻어질 수 있으며 아래의 식으로 나타내어진다.

$$\sqrt{\mu_r/\epsilon_r} \tanh [j(2\pi d/\lambda) \sqrt{\mu_r/\epsilon_r}] = 1 \quad (1)$$

여기서 d 는 흡수체의 두께, λ 는 파장이다

높은 자기손실(μ_r'')과 낮은 유전손실을 가진 흡수

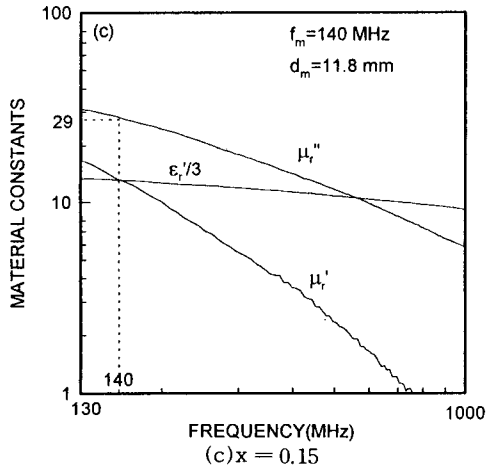
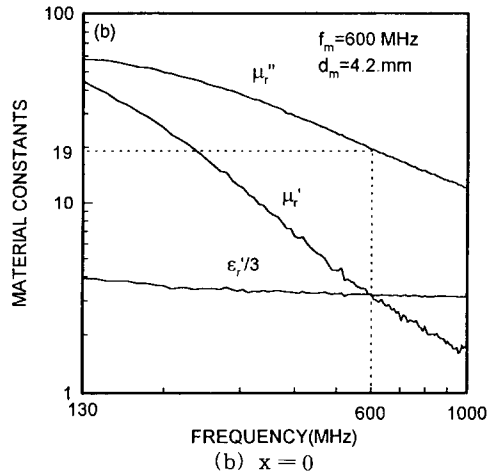
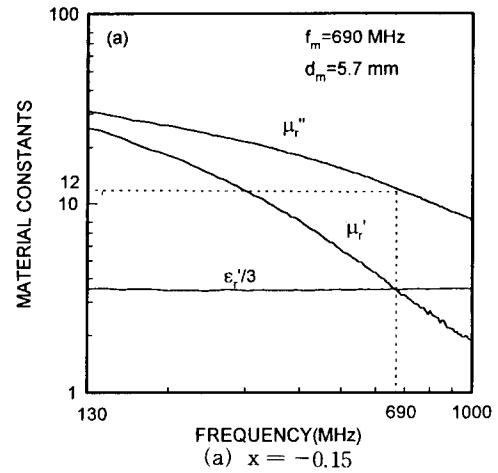


Fig. 6. Theoretical estimation of zero-reflection frequency and absorber thickness in the $(\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{O})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$ specimens.

체에 있어서 무반사 조건의 요구사항은 아래와 같이 단순한 관계식으로 나타낼 수 있다[7].

$$d/\lambda = 1/(2\mu_r') \quad (2-1)$$

$$\epsilon_r' = 3\mu_r' \quad (2-2)$$

첫번째식으로 부터 흡수체의 두께는 μ_r' 에 반비례하여 결정되며 두번째 식은 무반사 조건을 만족할 때의 ϵ_r' 과 μ_r' 의 관계를 나타내고 있다. 본 연구에서 식(2)는 전파 흡수특성을 결정하는데 효과적으로 사용되어진다.

철과잉 및 철결핍 조성의 시편에서 투자율 및 유전율의 변화가 정합주파수 및 정합두께에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. Fig. 6은 (2-1)과 (2-2)식의 근사해를 이용하여 f_m 과 d_m 을 나타낸 것이다. 화학양론적 조성($x=0$) 시편의 경우 f_m 은 600 MHz이고 d_m 은 4.2 mm로 계산되어진다. $x=0.15$ 로 철과잉량이 증가하면 f_m 은 저주파 대역(140 MHz)으로 이동하고 d_m 은 11.8 mm로 증가하였다. 이와같이 x 가 증가할수록 f_m 이 저주파 대역으로 이동하는 것은 μ_r' 의 감소와 ϵ_r' 의 증가에 기인한다. Fig. 3에서 나타난 바와같이 x 가 증가할 수록 μ_r' 은 현저히 감소하고 ϵ_r' 은 3배이상 증가하였다. 따라서 $\epsilon_r' = 3\mu_r'$ 이 성립하는 주파수는 점차 저주파 대역으로 이동함을 알 수 있다. 정합주파수에서 μ_r' 값이 x 가 증가함에 따라 커지거나 비슷한 점으로 보아 철과잉량이 커짐에 따라 d_m 이 감소하는 것은 주파수 감소에 따른 파장의 증가에 기인한다고 판단된다.

$x = -0.15$ 로 철결핍량이 커지면 f_m 은 고주파 대역(690 MHz)로 이동하고 d_m 도 5.7 mm로 증가하였다. 그러나 f_m 의 변화폭이 철과잉량의 경우에 비해 적은것은 x 변화량에 따른 ϵ_r' 값이 Fig. 4(c)에 볼 수 있는 바와같이 미소하게 변화하였기 때문이다. 또한 d_m 의 증가는 철결핍량이 커짐에 따라 μ_r' 의 현저한 감소와 주파수 증가에 따른 파장의 감소로 인하여 나타나는 현상으로 판단된다.

x 변화에 따른 정합주파수와 정합두께를 정리하여 Fig. 7에 나타내었다. 정합두께는 흡수하는 파장에 비례하기 때문에 일반적으로 정합주파수가 낮으면 정합두께는 증가하게 된다. 철과잉의 경우 이러한 거동을 하는데 반하여 철결핍의 경우는 정합두께 증가에 따라 정합주파수도 증가함을 보이고 있다. 이러한 결과는 철결핍량이 커짐에 따라 ϵ_r' 값은 변화가 없는데 반해 μ_r' 의 현저한 감소에 기인한다고 판단된다. 위의 결과로 부터 화학 양론적 조성인 Ni-Zn ferrite에 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 첨가량을 변화시킴에 따라 정합주파수는 140 MHz - 690 MHz 범위에서 정합두께는 4.2 mm - 11.8 mm 범위에서 제어가 가능함을 알 수

있었다.

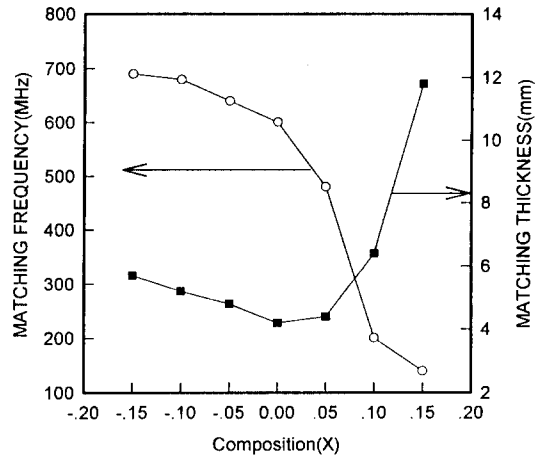


Fig. 7. Relationship between $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ contents and matching frequency or matching thickness in the $(\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{O})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$ specimens.

IV. 결 론

Ni-Zn ferrite 소결체에서 철과잉량과 철결핍량을 변화시킴에 따라 투자율과 유전율을 microwave영역에서 효과적으로 조절할 수 있었다. 철과잉량의 경우 유전상수의 증가가 현저하였으며, 철결핍량은 μ_r' 감소가 특징이었다. 비화학 양론 조성에서 철과잉, 또는 철결핍량을 변화함에 따라 정합주파수는 140 MHz - 690 MHz 범위에서 정합두께는 4.2 mm - 11.8 mm 범위에서 제어가 가능함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] G. J. Yin and S. B. Liao, IEEE Trans. Magn, **27**(6), 5459(1991).
- [2] 三浦太郎, フェライト 電波吸収體, シ-エム社, 東京, pp117-118(1984).
- [3] Y. Naito and K. Suetake, IEEE Trans. MTT, **19**(1), 65(1971).
- [4] H. T. Hahn, J. Appl. Phys, **69**(8), 6192(1991).
- [5] H. T. Hahn, J. Appl. Phys, **69**(8), 6195(1991).
- [6] P. Reijnen, Sci of Ceramics, **4**, 169(1968).
- [7] K. Akita, Ferrites. Proc. ICF, 885(1980).

The Effect of Non-stoichiometry on the Microwave Absorbing Properties of Ni-Zn Ferrites.

S. B. Cho and J. H. Oh

Department of Ceramic Engineering, Inha University

(Received 19 November 1994)

The systematic variation of complex permeability and complex permittivity and their relationship with microwave absorbing properties are investigated in sintered Ni-Zn ferrites of non-stoichiometric composition. The specimens of $(\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{O})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$ spinels were prepared by a conventional ceramic processing technique. In the present study, complex permeability and permittivity can be controlled by the variation of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ contents in the spinel lattice. The primary effect of the excess $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ is to increase the dielectric constant, while the notable decrease of magnetic loss is observed in the iron-deficient ferrites. The results suggest that the matching frequency and matching thickness could be controlled by the variation of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ contents in the Ni-Zn ferrite.