

Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} · Fe₂O₄ (X=Cu, Mg, Mn)-Rubber Composite의 전파흡수특성에 관한 연구

임희대 · 윤국태 · 이찬규

창원대학교 금속재료공학과

Electromagnetic Wave Absorbing Properties of Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} · Fe₂O₄ (X=Cu, Mg, Mn)-Rubber Composite

H. D. Im, K. T. Youn, C. G. Lee

Department of Metallurgy and Materials Science, Changwon National University,
9 Sarim-Dong, Chang-won, Kyungnam 641-773

(1999년 9월 13일 받음, 1999년 10월 28일 최종수정본 받음)

초 록 Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} · Fe₂O₄의 조성에서 X를 각각 Cu, Mg, Mn으로 치환시켜 치환원소에 따른 결정구조와 형상, 입도 및 자기적 성질을 비교 분석하였고, Network Analyzer를 이용하여 Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} · Fe₂O₄-Rubber Composite의 재료정수 및 전파흡수특성에 대하여 비교 조사하였다. 치환원소에 관계없이 동일한 결정구조와 형상 및 입도를 나타냈고, VSM 분석결과 치환원소에 관계없이 동일한 자화값을 가지며, Mg로 치환된 경우 가장 큰 보자력과 자기이력손실을 나타냈다. 또한 Mn으로 치환된 경우 가장 높은 유전손실(ϵ''/ϵ')을, Cu로 치환된 경우에는 가장 큰 자기손실(μ''/μ')을 나타냈다. 4mm의 두께로 제조한 Composite에서 Mn으로 치환한 시료가 9GHz에서 -40dB 이상의 가장 우수한 전파흡수 특성을 나타내었으며, 8mm의 두께로 제조한 Composite에서는 Mg로 치환된 시료가 2GHz에서 -40dB 이상의 가장 우수한 전파흡수특성을 나타내었다.

Abstract Electromagnetic wave absorbing properties of the Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} · Fe₂O₄, where X was replaced by substitution elements Cu, Mg, Mn, have been studied. The structure, shape, size and magnetic properties of the Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} · Fe₂O₄ were analyzed by XRD, SEM, VSM. The relative complex permittivity, permeability, and electromagnetic wave absorbing properties were measured by Network Analyzer. The structure, shape, size and magnetization value of the Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} · Fe₂O₄ were found to be similar in spite of substitution elements. The coercive force and hysteresis loss showed maximum value when Mg was substituted for X. The dielectric loss(ϵ''/ϵ') was found to be maximum value when Mn was substituted for X. Also the magnetic loss(μ''/μ') was found to be maximum with Cu substitution. The electromagnetic wave absorbing property of the Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-Mn_{0.1} · Fe₂O₄-Rubber composite with 4mm thickness was excellent as over -40dB at 9GHz, and the Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-Mg_{0.1} · Fe₂O₄-Rubber composite with 8mm thickness was over -40dB at 2GHz. Those composites also showed superior microwave absorbing properties.

1. 서 론

최근 전자통신 기술의 발전은 전자기기의 이용확대와 다양화를 가져옴과 동시에 전파환경을 현저하게 악화시키고 있다. 이러한 전파환경의 악화는 고층빌딩 등에 의한 TV 전파의 수신장애, 교량 및 철교 등에 의한 선박용 레이다의 허상, 각종 산업현장에서의 전자장비 사용시 오동작을 초래하거나 인체에 해를 미치는 등 여러 가지 전자파장해(EMI) 현상을 일으키고 있다.^{1~3)}

이에 따라 전파를 사용할 때, 신뢰성을 높이기 위하여 필요한 전파의 반사방지 등은 물론 전파공해를 방지할 수 있는 방안이 요구되고 있다. 이에 대한 대책으로 송·수신 방법의 개선 등이 검토되고 있지만 근본적 대책으로는 전파 흡수특성을 갖고 있는 재료로 피복시켜 외부에서 들어오는 전파를 흡수하여 반사 자체를 없애는 전파흡수체의 사용이

좋은 방법의 하나이다.

이와 같은 목적으로 연구 개발되고 있는 전파흡수체로는 Carbon을 이용한 도전손실형, 강유전체의 유전손실을 이용한 유전손실형, 자성손실재인 Ferrite를 사용한 공진형 전파흡수체로 나눌 수 있다. 전파흡수체의 성능은 정합주파수, 정합두께 및 대역폭 등으로 평가되며, Ferrite는 특정 주파수에서 복소투자율, 복소유전율 및 두께를 조절함으로써 전파흡수특성을 제어할 수 있으며, 이와 같은 전파흡수 특성을 나타내기 위해서는 복소투자율과 복소유전율의 손실을 나타내는 허수부를 크게 하여야만 하고, 이러한 특성은 Ferrite의 조성 및 밀접한 관계가 있다. Ferrite는 일반적으로 VHF/UHF대역과 같은 주파수 대역에서 우수한 전파흡수특성을 갖는 소결형과 GHz대역에서 우수한 특성을 나타내는 Ferrite 분말지지재 복합형으로 나눌 수 있는데⁴⁾, 특히 복합형은 제조가 간단하고 특성이 우수하여 다양하게

연구되고 있다.

전파흡수체로 많이 사용되고 있는 Soft-Ferrite는 32개의 산소이온과 24개의 전이원소가 Spinel 구조를 이루고 있으며, 산소를 매개로 전이원소들의 초교환상호작용에 의하여 페리자성을 가지게 된다. 이와 같은 Spinel의 구조에서 서로 역방향 스핀을 가지는 8면체와 4면체에 전이원소를 어떤 종류로 사용하느냐에 따라 전자기적 특성이 달라지게 되며, 또한 전이 원소를 몇 개의 복합형으로 사용할 경우 조성에 따라서 전자기적 특성이 변하게 된다.

Spinel 구조를 가지는 Fe₂O₄의 조성에 Ni와 Zn을 첨가할 경우, Ni는 Ni²⁺의 형태로 Fe³⁺와 함께 8면체 위치를 차지하며, Zn의 경우 Zn²⁺의 형태로 4면체 위치를 차지하게 되어 전자기적 특성을 변화시키게 된다. 이와 같이 8면체 및 4면체를 차지하는 제 2의 치환원소 및 조성의 영향에 대해 Ni-Zn · Ferrite 및 Mn-Zn · Ferrite를 이용하여 많은 연구가 진행되고 있으나, 아직까지 제 3의 치환원소에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 GHz대역에서 우수한 전파흡수특성을 갖는 것⁵⁾으로 알려진 Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe₂O₄의 spinel 구조 중 주로 4면체 위치를 차지하는 Zn²⁺의 일부를 제 3의 치환원소인 Cu²⁺, Mg²⁺, Mn²⁺로 각각 치환하여 이에 따른 전자기적 특성 및 전파흡수특성의 변화에 대하여 조사하고자 하였다.

2. 이론적 배경

단층형 Ferrite 전파흡수체는 Ferrite 복합체가 완전도체인 금속판에 코팅된 구조이다.⁶⁾ 이와 같은 전파흡수체 표면에서의 규격화 입력임피던스(Z_{in}) 및 반사계수(Γ)는 아래 식으로 주어진다.

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right) \quad (1)$$

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - 1}{Z_{in} + 1} \quad (2)$$

- 여기서 Z_{in} : 규격화 입력임피던스
- μ_r : 복소투자율 (μ'_r - jμ''_r)
- ε_r : 복소유전율 (ε'_r - jε''_r)
- d : 흡수체두께
- λ : 자유공간에서의 파장
- Γ : 반사계수

금속판에 코팅된 Ferrite 복합체가 무반사조건을 만족하기 위한 규격화 입력임피던스는

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right) = 1 \quad (3)$$

인 경우이다. 식 (3)의 정합조건을 만족시키기 위해서 μ'_r, μ''_r, ε'_r, ε''_r, λ, d의 6가지 변수의 적절한 조합이 이루어져야 하며, 전파흡수체의 설계 및 제조에 있어서 이들 변수를 제어하는 것이 가장 중요하다.

자유공간과 재료의 경계면에서의 반사감쇠량 (Reflection loss)은 Z_{in}의 함수로서 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며,⁷⁾ 측정된 복소투자율과 복소유전율로부터 반사감쇠량을 계산할 수 있다.

$$\text{Reflection loss [dB]} = 20 \log \left| \frac{Z_{in} - 1}{Z_{in} + 1} \right| \quad (4)$$

3. 실험 방법

본 실험에서는 출발원료로 고순도의 Fe₂O₃, NiO, ZnO, MgO, CuO 및 MnCO₃의 분말을 사용하여 Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} · Fe₂O₄ (X=Cu, Mg, Mn)의 조성을 갖도록 평량하였다. 각 원료는 평량한 후 10시간 동안 불밀링하고, 전기오븐을 이용하여 100℃에서 24시간 동안 충분히 건조하였다. 복합형 등방성 Ferrite를 제조하기 위해 가장 보편적인 방법인 전식법을 사용하였는데, 건조된 분말을 박스형 전기로를 사용하여 1100℃에서 2시간 동안 열처리하여 Ni_{0.5}-X_{0.1}-Zn_{0.4} · Fe₂O₄를 합성하였다. 표 1에 제작된 시료의 조성을 나타내었다.

Table 1. Composition of Samples.

Substitution element	Composition
X	Ni _{0.5} -Zn _{0.4} -X _{0.1} · Fe ₂ O ₄
Cu	Ni _{0.5} -Zn _{0.4} -Cu _{0.1} · Fe ₂ O ₄
Mg	Ni _{0.5} -Zn _{0.4} -Mg _{0.1} · Fe ₂ O ₄
Mn	Ni _{0.5} -Zn _{0.4} -Mn _{0.1} · Fe ₂ O ₄

Composite로 제작하기 위해 제조된 Ferrite와 Rubber를 4 : 1의 중량 비로 혼합한 후, 200Kg/cm²의 압력을 가하여 내경 3.05mm, 외경 6.95mm, 두께가 각각 4, 8mm의 동축형 Composite시편을 제작하였다.

열처리된 Ferrite powder의 미세 조직을 관찰하기 위하여 SEM (Scanning Electron Microscopy) 분석을 하였고, 결정구조해석을 위해 PHILIPS사의 XRD (X-Ray Diffraction)를 이용하여 분석을 행했으며, 자기적 특성을 평가하기 위하여 VSM (Vibrating Sample Magnetometer) 분석을 수행하였다. 그리고 Rubber와 혼합하여 제작한 Ferrite-Rubber Composite의 전자기적 특성 및 전파흡수특성을 Network Analyzer을 이용하여 복소유전율 (ε'_r, ε''_r), 복소투자율 (μ'_r, μ''_r) 및 반사손실 (Reflection Loss)을 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 합성된 powder 분석

제조된 Ferrite 분말의 특성을 평가하기 위해 XRD, SEM 및 VSM 분석을 행하였다. 그림 1은 1100℃에서 2시간동안 열처리한 Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} · Fe₂O₄의 XRD분석결과이다. 일반적으로 Mg · Ferrite의 경우 800℃이상에서 Spinel화가 일어나고, Ni-Zn · Ferrite의 경우에는 900℃이상에서 일어난다. 그러나 Cu가 치환되면 800℃에서도

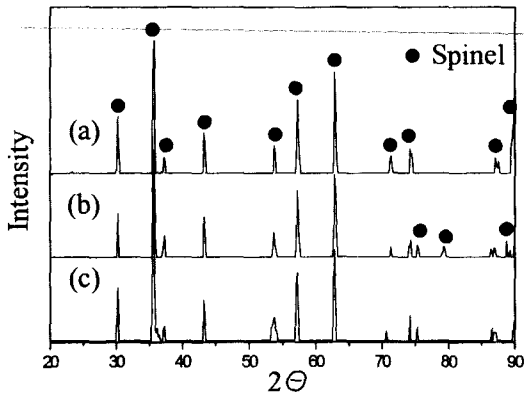


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of $Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} \cdot Fe_2O_4$: (a) $X = Cu$, (b) $X = Mg$, (c) $X = Mn$.

Spinel화가 일어나기도 하며, Mn-Zn·Ferrite의 경우에는 800~1200°C에서 Spinel화가 일어난다고 보고되어 있다.^{8~10)} 따라서 본 실험에서 이들의 조건을 완전하게 만족하는 온도인 1100°C에서 열처리함으로써 완전하게 Spinel 구조를 가지는 시료를 제조하고자 하였는데, 그림 1의 결과에서 보듯이 모든 상이 완전한 Spinel 구조를 형성한 것을 알 수 있다.

그림 2는 1100°C에서 2시간 동안 열처리한 후의 합성된 분말의 형상과 입경을 관찰하기 위하여 측정된 SEM 분석결과이다. 전체적으로 약 0.5~1.5 μm 의 평균입경을 나타내며 열처리하는 동안 소결은 진행되지 않았음을 알 수 있다. Ferrite 복합재가 전파흡수체용으로 사용시 Ferrite의 분말 크기에 따라 전파흡수능에 영향을 미친다는 보고^{11,12)}가 있으며, 일반적으로 GHz대의 전파흡수체로 사용 가능한 Ferrite 분말의 입자크기는 1~5 μm ¹³⁾ 이내로 알려져 있는데, 본 실험에서 제조된 Ferrite 분말은 위의 조건을 충분히 만족하면서, Spinel의 전형적인 특징인 구형을 이루고 있음을 볼 수 있다. 또한 치환된 원소에 관계없이 동일한 입경을 가지는 것을 알 수 있다.

그림 3은 1100°C에서 2시간 동안 열처리한 후, 합성된 분말의 자기적 성질을 관찰하기 위하여 측정된 VSM (Vibrating Sample Magnetometer) 분석결과이다. Ferrite는 자화값에 따라 자기공명 주파수영역이 달라지는데, 위의 결과에서 치환된 원소에 관계없이 동일한 $2.812 \times 10^{-3} emu$ 의 자화 (Magnetization) 값을 가지므로, 유사한 주파수 대역에서 자기 공명이 발생하리라 예상할 수 있다. 보자력 (Coercive Force)의 경우 치환원소에 따라 다르게 나타나는데 Cu로 치환된 경우 15.194Oe의 값을 가지며, Mg로 치환된 경우에 58.70e의 가장 높은 값을, 또한, Mn으로 치환된 경우에는 10.26Oe의 가장 낮은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 자기이력곡선의 면적에 상당하는 자기이력손실은 면적이 커질수록 증가하는데, Mg로 치환된 경우 가장 큰 면적을 가지므로 자기이력손실이 클 것이라는 것을 예상할 수 있다.

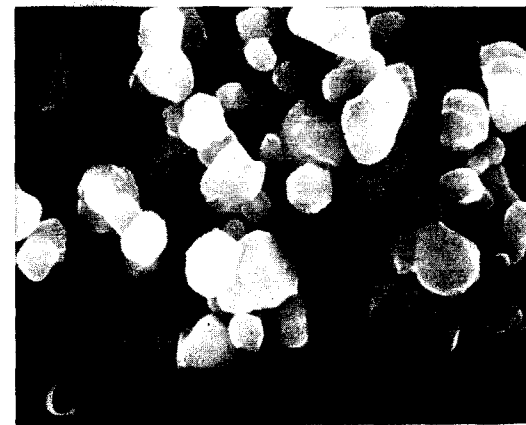
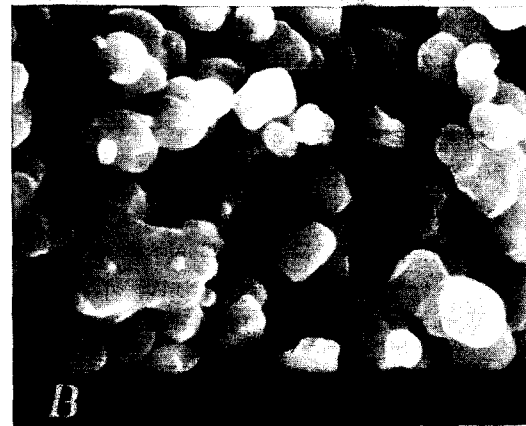


Fig. 2. SEM micrographs of $Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} \cdot Fe_2O_4$: (a) $X = Cu$, (b) $X = Mg$, (c) $X = Mn$.

4.2 $Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} \cdot Fe_2O_4$ ($X = Cu, Mg, Mn$)-Rubber Composite의 재료정수와 전파흡수특성

제조된 $Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} \cdot Fe_2O_4$ 의 전자기적 특성을 파악하기 위하여 복소유전율과 복소투자율을 측정하였다. 그림 4(a), (b)는 $Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} \cdot Fe_2O_4$ -Rubber Composite의 복소유전율의 주파수 의존성을 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 유전율의 실수항을 나타내는 ϵ' 값을 측정된 결과로, Cu로 치환된 경우 주파수 변화에 따른 ϵ' 값이 4.2~6.5의 값을 가지며, Mg로 치환된 경우에는 8.3~5.5의 값을, Mn으로 치환된 경우에는 2.4~0.5 사이의 값을 가지면서 모두 지수적으로 감소함을 알 수 있다. 또한, 그림 4(b)

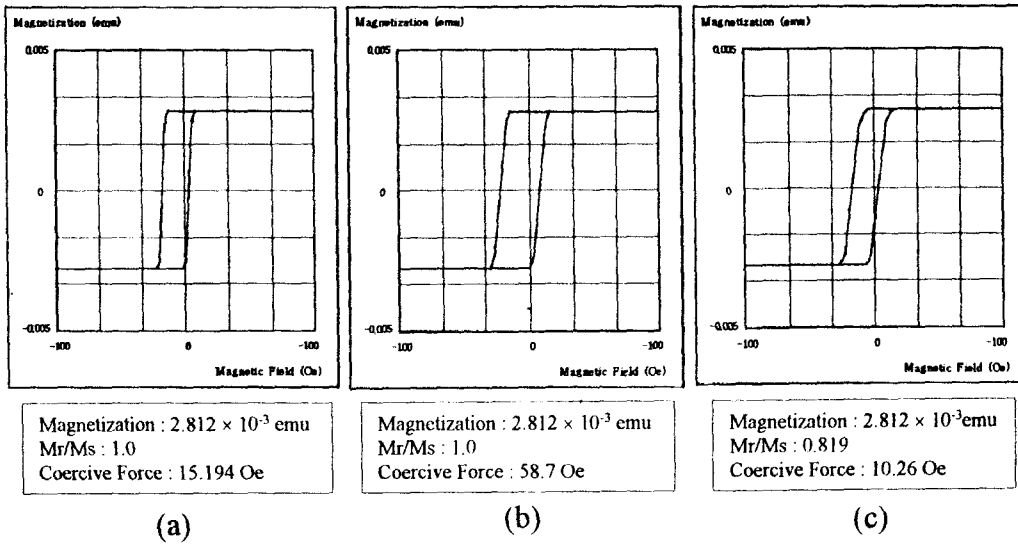


Fig. 3. VSM analysis of $Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} \cdot Fe_2O_4$: (a) X = Cu, (b) X = Mg, (c) X = Mn.

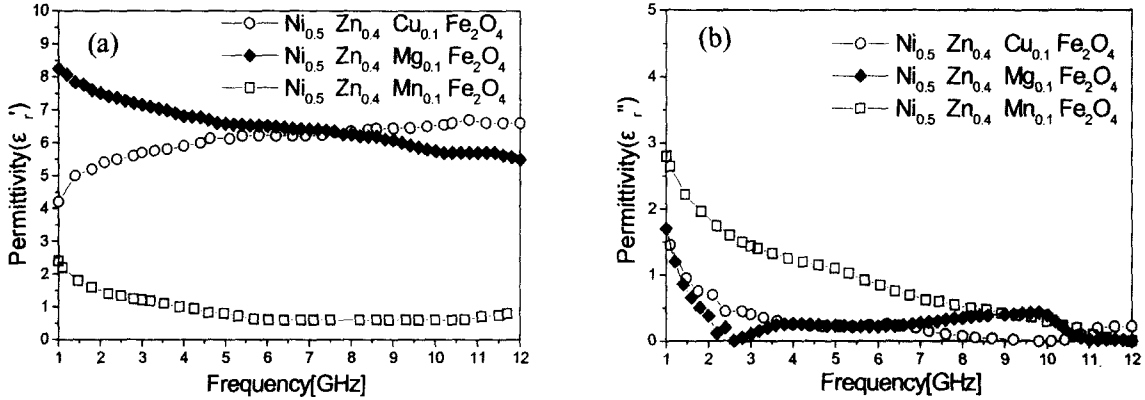


Fig. 4. Real and imaginary parts of permittivity for $Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} \cdot Fe_2O_4$: (a) real, (b) imaginary.

는 유전율의 손실부분을 나타내는 ϵ'' 의 값을 측정할 결과로, Cu로 치환된 경우 1.5~0.3, Mg치환의 경우 1.7~0.1, Mn으로 치환된 경우에는 2.7~0.1 정도의 값을 가지면서 지수적으로 감소함을 알 수 있다.

그림 4(a),(b)의 결과에서, Cu와 Mg로 치환된 경우 유전율의 실수항인 ϵ' 의 값이 비교적 높으며 손실부분인 ϵ'' 의 값이 매우 적으므로 유전손실(ϵ''/ϵ')이 작음을 알 수 있다. 또한 Mn의 경우 낮은 ϵ' 의 값과 높은 ϵ'' 값을 가지므로 유전손실이 큼을 알 수 있다.

그림 5(a),(b)는 $Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} \cdot Fe_2O_4$ 의 복소투자율의 주파수 의존성을 나타낸 것이다. 그림 5(a)에 나타낸 바와 같이 투자율의 실수항을 나타내는 μ' 은 4GHz이하에서 Cu로 치환된 경우 3.1~1.1, Mg로 치환된 경우 2.6~1.0, 그리고 Mn으로 치환된 경우에는 가장 낮은 2.3~1.0의 값을 가진다. 전체적으로 주파수에 대하여 지수적으로 감소하며, 4GHz 이상에서 의미를 가지지 않는 1이하의 값을 나타냄을 알 수 있다.

그림 5(b)에 나타낸 바와 같이 자기적 손실을 나타내는 투자율의 허수항 μ'' 은 Cu로 치환된 경우 6GHz이하에서 3~1의 값을, 그 이상에서 1이하의 값을 갖고, Mg로 치환

된 경우에는 4 GHz이하에서 2.6~1의 값을, 그 이상에서는 1이하의 값을 가진다. 또한 Mn으로 치환된 경우 약 5GHz이하에서 2.8~1의 값을, 그 이상에서 1이하의 값을 가지는 것을 알 수 있다. Ferrite는 공명현상이 발생하면 μ' 이 감소하고 μ'' 은 특정주파수에서 최대값을 가진 후 주파수가 증가함에 따라 감소하는데,¹⁴⁾ 본 실험에서 측정된 1~12GHz 대역은 공명을 지난 후의 영역에서 측정된 값으로, 전체적으로 μ' , μ'' 의 값이 주파수가 증가함에 따라 지수적으로 감소하는 상태임을 알 수 있다.

Ferrite에 의한 전파흡수체는 근본적으로 Ferrite의 자기 손실항인 $\tan \delta (= \mu''/\mu')$ 에 기인하는 것이기 때문에 복소투자율의 허수부가 실수부보다 큰 영역에서 전파흡수체로서 동작할 수 있다.¹⁵⁾ 위의 결과에서 각 치환원소에 상관 없이 전체적으로 5GHz이하의 주파수에서 실수항인 μ' 보다 μ'' 값이 크므로 자기손실에 의한 전파흡수체로서의 사용이 가능함을 알 수 있으며, 특히 Cu로 치환된 경우 다른 것에 비해 큰 μ'' 값을 나타내므로 자기손실이 크게 지배할 것이라는 것을 예측할 수 있다.

그림 6(a),(b)는 제조된 $Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} \cdot Fe_2O_4$ -Rubber Composite를 이용하여 4mm 및 8mm 두께로 제조한

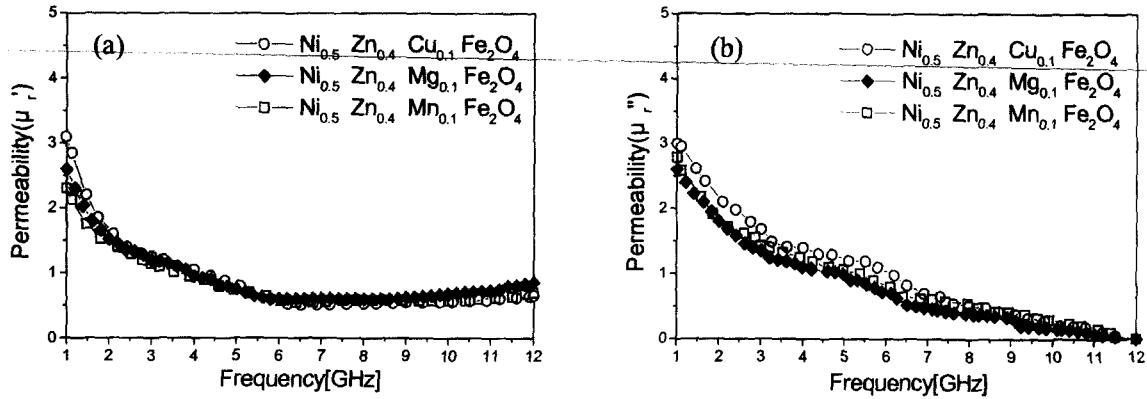


Fig. 5. Real and imaginary parts of permeability for $Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} \cdot Fe_2O_4$: (a) real, (b) imaginary.

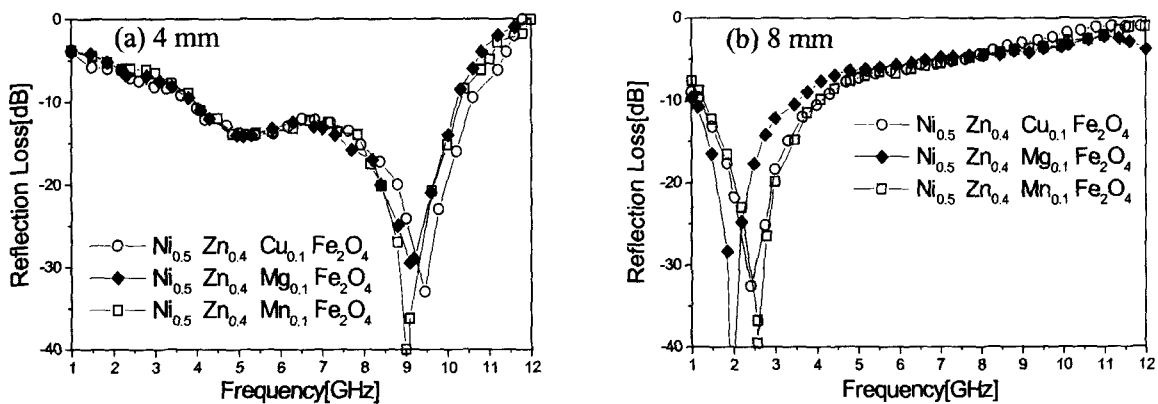


Fig. 6. The microwave absorbing characteristics of $Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} \cdot Fe_2O_4$ -Rubber composite absorbers: (a) 4mm thickness, (b) 8mm thickness.

시료의 주파수에 따른 반사손실 (Reflection Loss) 을 측정 한 것이다. 그림 6(a) 는 4mm 두께로 제조한 Composite 의 Reflection Loss 를 나타낸 결과이다. Cu로 치환된 Composite 의 경우 8.9~10GHz 대역에서 실용 가능한 -20dB 이상의 반사손실을 가지며, 9.4GHz에서 약 -33dB 의 최대 반사손실을 가진다. 또한 Mg로 치환된 Composite 는 8.4~9.6GHz 대역에서 -20dB 이상의 반사손실을 가지 며, 9.1GHz에서 -30dB 의 최대 반사손실을 가지는 것을 알 수 있다. Mn으로 치환된 Composite 는 8.4~9.65GHz 대역에서 -20dB 이상의 반사손실을, 9.0GHz에서 -40dB 이상의 최대 반사손실을 가진다.

전체적으로 4mm 두께로 제조된 Composite 는 치환된 조성에 관계없이 우수한 전파흡수특성을 갖는다. 특히 Cu 의 경우 Mg와 Mn에 비해서 정합주파수가 고주파영역에 있는데, 이것은 Cu의 μ_r' 이 다른 원소들로 치환된 경우에 비해 큰 값을 가지기 때문이라고 생각된다. Mn의 경우 가 장 우수한 반사손실을 가지는데, 이것은 ϵ_r' 의 측정결과에서 알 수 있듯이 다른 원소들로 치환된 경우에 비해 큰 유전손 실 (ϵ_r''/ϵ_r') 을 갖기 때문으로 생각된다.

그림 6(b) 는 8mm 두께로 제조한 Composite 의 반사손 실을 측정한 결과이다. Cu로 치환된 Composite 는 2.0~ 2.9GHz 대역에서 -20dB 이상의 반사손실을 가지며, 2.4GHz에서 -32dB 의 최대 반사손실을 가진다. Mg로 치 환된 경우 1.6~2.4GHz 대역에서 -20dB 이상의 반사손실

을 가지며, 2GHz에서 약 -40dB 이상의 최대 반사손실을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 Mn으로 치환된 Composite 는 2.1~3GHz 대역에서 -20dB 이상의 반사손실을 가지며, 2.6GHz에서 -40dB 의 최대 반사손실을 가지는 것을 알 수 있다.

전체적으로 8mm 두께로 제조된 Composite 는 4mm와 마찬가지로 치환된 조성에 관계없이 우수한 전파흡수특성 을 갖는다. 특히 Mg의 경우 Cu와 Mn에 비해서 정합주파 수가 저주파영역에 있으며, 가장 우수한 반사손실을 가지는 것을 알 수 있다. 이것은 앞의 VSM 결과에서 알 수 있듯이 가장 큰 자기이력곡선의 면적을 갖는 것으로 인한 자기이력 손실이 크게 영향을 미친것으로 생각된다.

정합형 전파흡수체에서는 흡수체 두께가 시편의 파장의 1/4(Quarter wavelength) 일 때 최대 흡수능이 일어나며 $|\epsilon_r| > |\mu_r|$ 인 경우 흡수체의 정합두께는 식 (5) 의 관계로 표시된다.⁽⁶⁾

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{4(\sqrt{\mu_r \epsilon_r})'} \tag{5}$$

여기서, $(\sqrt{\mu_r \epsilon_r})'$ 은 $(\sqrt{\mu_r \epsilon_r})$ 의 실수 항을 의미한다. ϵ_r' 이 커질수록 d/λ 값은 작아지므로 박형 전파흡수체의 제 조가 가능하며, 특히 Mg로 치환된 경우에 가장 높은 ϵ_r' 값을 가지는데 그림 6(a) 에서 4mm의 경우 8.4~9.6GHz 에서 정합조건을 나타내며 다른 치환 원소들과 비교해보면

더 높은 주파수영역에서 박형이 가능하다는 것을 알 수 있다. 8mm의 경우에도 마찬가지로 저주파영역으로 갈수록 정합두께를 두껍게 해야한다는 것을 생각하면, 다른 치환원소들에 비해서 동일한 8mm의 두께로 저주파영역에서 박형의 전파흡수체의 제조가 가능하다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

$Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-X_{0.1} \cdot Fe_2O_4$ 의 조성에서 X를 각각 Cu, Mg, Mn으로 치환시켜, 치환원소에 따른 전파흡수특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전식법으로 1100°C에서 2시간 열처리하여 제조한 Ferrite는 치환원소에 관계없이 모두 완전한 Spinel구조를 이루었다. 입자들의 형상은 치환원소에 관계없이 구형에 가까운 형태로, 0.5~1.5 μ m의 크기를 가지며 GHz대역의 전파흡수체로서의 사용이 가능함을 확인했다.

2) 세 가지 조성의 Ferrite가 동일한 자화값 (2.182 $\times 10^{-3}$ emu)을 가졌으며, 보자력은 Mg로 치환하였을 때 58.70e로 가장 높은 값을 나타내었고, 이것이 자기이력손실을 크게하여 우수한 반사손실을 얻을 수 있었다.

3) Network Analyzer을 이용하여 재료정수를 측정된 결과, Mn으로 치환된 경우 낮은 ϵ_r' 값과 높은 ϵ_r'' 값을 가짐으로써 가장 높은 유전손실 (ϵ_r''/ϵ_r')을 나타내었고, 또한 Cu로 치환하였을 때 낮은 μ_r' 값과 높은 μ_r'' 값을 갖게 되어 가장 높은 자기손실 (μ_r''/μ_r')을 나타냄을 알 수 있었다.

4) 각각 4mm, 8mm로 제조된 Ferrite-Rubber Composite의 반사손실 (Reflection Loss)을 측정된 결과, 4mm두께에서는 치환원소에 따라 Cu치환의 경우 8.9~10GHz, Mg와 Mn치환의 경우 8.4~9.6GHz대역에서 실용 가능한 -20dB 이상의 우수한 특성을 나타내었으며, 특히 Mn으로 치환된 경우에는 9GHz에서 -40dB 이상의 가장 우수한 흡수특성을 나타내었다. 또한 8mm 두께에서는, Cu치환의 경우 2.0~2.9GHz, Mg치환의 경우 1.6~2.

4GHz, Mn치환의 경우에는 2.1~3GHz 대역에서 실용 가능한 -20dB 이상의 전파흡수특성을 만족하였으며, Mg로 치환된 $Ni_{0.5}-Zn_{0.4}-Mg_{0.1} \cdot Fe_2O_4$ 이 2GHz에서 -40dB 이상의 가장 우수한 전파흡수특성을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. NEC Technical Report, 37 (1984).
2. 電子部品, 4 (1989).
3. 김태수, 산업기술정보원, pp. 3, (1991).
4. Y. Naito, K. Suetake, IEEE Trans. MTT, **19**(1), 65 (1971).
5. 조성백, 오재희, 요업학회지, **32**(1), 25 (1995).
6. 內藤喜誌, 末武國弘, 藤原英二, 左藤正明, 電子通信學會論文誌, **52-B**(1), 26 (1969).
7. 乾哲司, エレクトロニクセラミクス, 冬號, 18 (1985).
8. 최윤호, 신명승, 한승기, 한영호, 요업학회지, **43**(6), 561 (1997).
9. 고상기, 김병호, 김경용, 요업학회지, **34**(10), 1074 (1997).
10. 김성재, 정명득, 백종규, 요업학회지, **32**(1), 1 (1995).
11. 石野建, 橋本康雄, 化學と工業, **28**(9), 114 (1875).
12. M.T. Johnson, E.G. Visser, IEEE Trans. Magn., **26**, 1987 (1990).
13. 柳田博明 外 増補 ニューセラミックスの發展, pp. 85, 化學工業社, (1980).
14. J. Smit, H. P. J. Wijn, Philip's Technical Library, 268 (1959).
15. Y. Hashimoto, 日本應用磁氣學會誌, **6**(3), 175 (1983).
16. M.B. Amin, J.R. James, Radio Electro Eng., **51**(5), 209 (1981).