

---

# 복합형 등방성 Ferrite-Rubber Composite의 전자파 흡수특성에 관한 연구

김동일\*, 박연준\*, 김하근\*, 사공 건\*\*

## A Study on Electromagnetic Wave Absorbing Properties of Complex Isotropic Ferrite-Rubber Composite

Dong Il Kim\*, Youn Joon Park\*, Ha Guen Kim\*, Guen Sa-Gong\*\*

### Abstract

This paper describes the characteristics of the complex isotropic ferrite-rubber composite for a super wideband electromagnetic absorber in RF-A-PF type, which can be used for an anechoic chamber, wall material to prevent TV ghost, etc. The  $Ni_x-A_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$  ferrite powder has been fabricated. Using this, then,  $[Ni_x-A_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4]$ -Rubber composite for RF-layer in the RF-A-PF type absorber has been fabricated and its characteristics has been analyzed.

As a result, it has been shown that the  $[Ni_x-A_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4]$ -Rubber composite has excellent electromagnetic wave absorbing properties.

### I. 서 론

산화물 자성체인 Ferrite는 Hard와 Soft로 크게 대별할 수 있다. 육방정계의 결정구조를 가지면서 육각판상의 입자형태를 가지는 Hard-Ferrite는 영구자석으로 많이 사용되고 있으며, 그 대표적인 예

가 Sr-Ferrite이다.

이와는 달리 spinel 형태의 결정구조를 가지면서 구상의 입자형태를 가지는 Soft-Ferrite는 전자석으로 많이 사용되고 있으며, Mn-Zn 및 Ni-Zn Ferrite를 예로 들 수 있다<sup>1)</sup>. 특히, Transformer Core의 관점에서 본 Soft-Ferrite는 철심에 비하여

---

\* 한국해양대학교

\*\* 동아대학교

※ 본 연구는 1997년도 한국과학재단의 특정기초과제(과제번호 : 97-01-01-04-01-2)의 연구지원에 의하여 이루어졌음.

접수일자 : 1999년 2월 13일

고유저항이 커서 고주파에서의 Eddy-Current Loss가 적다는 장점을 가지므로 고주파용 자심재료로 많이 사용되고 있다. 그러나 이와같은 Soft-Ferrite도 특정 주파수 대역에서 공명손실에 의한 자기적 손실이 큰 성질을 가지고 있으며, 이러한 특성을 이용하는 것이 전파흡수체이다.

입사한 전파의 반사를 최대한 줄이면서 흡수된 전파에너지를 열에너지로 변환시키는 작용을 하는 전파흡수체는 도전손실을 이용하는 카본, 자성공명손실을 이용하는 페라이트 및 유전손실을 이용하는 강유전체로 대별할 수 있으며, 주로 페라이트를 이용한 전파흡수체가 많이 사용되고 있다<sup>2)</sup>.

스피넬 결정구조를 가지는 Soft-Ferrite는 고주파 자계에 대하여 자벽공명, 회전자화공명 및 페리자성공명을 나타내며, 이들에 의하여 전파에너지의 손실이 발생된다<sup>3)</sup>. 일반적으로 Soft-Ferrite가 고주파 자심재료로 사용되는 주파수 영역은 자벽공명이 발생하는 주파수보다 낮은 영역이며, 자벽공명이 발생하는 주파수 영역은 Soft-Ferrite의 Grain Size와 연관이 있다.

이러한 Soft-Ferrite 전파흡수체의 전파흡수특성은 반사감쇠량, 정합주파수, 정합두께 및 비대역폭등으로 평가되며, 이와같은 특성은 Soft-Ferrite의 전자기적 특성(복소유전율, 복소투자율, 자화, 보자력 등)과 밀접한 관련이 있다.

Soft-Ferrite는 32개의 산소이온과 24개의 2가 전이원소가 Spinel구조라 불리는 결정형태를 이루고 있으며, 산소를 매개로한 2가 전이원소들의 초교환 상호작용에 의하여 자성을 가지게 된다<sup>4)</sup>. 따라서 Soft-Ferrite는 2가 전이원소로 어떤 종류를 사용하느냐에 따라서 전자기적 특성이 달라지며, 또한 2가 전이원소를 몇가지의 복합형으로 사용할 경우, 조성에 따라서 전자기적 특성이 변하게 된다. 또한 Ferrite는 Grain Size, Grain Wall Size, Domain Size, Domain Wall Size 및 Grain의 상태가 전자기적 특성에 영향을 미치므로, 제조조건(소결온도, 소결시간, 소결분위기 등)에 따라서도 전자기적 특성이 변하게 된다.

이와같은 Soft-Ferrite 전파흡수체는 주로 타일형이 많이 연구되었으며, 7.5[GHz]이상의 주파수 영역에서 정합두께가 두껍고, 비대역폭이 좁다는 문제점의 해결을 위하여 Carbon-Ferrite-Rubber 혼합

체가 연구되면서 Composite에 대한 연구가 시작되었다<sup>5)</sup>.

그러나, Ferrite-Rubber 또는 Ferrite-Polymer Composite는 사용가능한 Ferrite, Rubber 및 Polymer의 종류가 다양하며 또한, 배합조건의 변화도 다양하므로 기초적인 연구가 많이 이루어져야만 한다.

따라서 본 논문에서는 전자기로부터 방사되는 전자파를 측정하기 위한 전파무향실이나, 건물벽면에서 반사되는 TV전자파를 막기 위한 벽재로서 활용이 가능한 RF-A-PF형 초광대역 전파흡수체<sup>6-8)</sup>의 RF층용 Composite를 개발하기 위하여  $Ni_x-A_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$  복합형 등방성 페라이트를 제조하고, 이로부터  $[Ni_x-A_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4]$ -Rubber Composite를 제작한 후 이의 전파흡수특성에 관하여 연구하였다.

## II. Ferrite의 합성과 Composite의 제작

본 연구에서는 복합형 등방성 Ferrite를 가장 보편화된 합성방법인 건식법으로 제작하였으며, 출발 원료로는 시약급  $Fe_2O_3$ , NiO, ZnO, MgO, CuO 및  $MnCO_3 \cdot 0.5H_2O$  분말상을 사용하였다.

각 시료의 조성비는 표 1과 같으며, 조성에 따라 시료를 전자저울에서 칭량·혼합한 후 10시간 동안 Ball Mill하고, 진공오븐에서 24시간 동안 충분히 건조하였다. 건조된 혼합상 Powder를 알루미늄질 크루시블에 담아 Fig. 2와 같은 온도조건으로 Calcination하였으며, Calcination후 약간의 응집된 덩어리는 유발에서 약하게 분쇄한 후 분석용 Ferrite Powder로 사용하였다.

또한 제조된 Ferrite Powder로부터 Composite를 제작하기 위하여 Silicon Rubber를 사용하였으며, Rubber : Ferrite = 1 : 4의 중량비로 칭량하여 혼합한 후, 200Kg/cm<sup>2</sup>의 압력을 가하여 내경 3.05 mm, 외경 6.95 mm, 두께 4 mm 및 내경 3.05 mm, 외경 6.95 mm, 두께 8 mm의 원통형 Composite시편을 제작하였다.

## III. 특성분석

제조된 Ferrite Powder 및 Composite의 특성측정은 XRD를 통하여 Calcination된 Ferrite Powder의

Table 1. Composition Ratios of Complex Isotropic Ferrite.

A : Mn			A : Mg			A : Cu		
시편명	x	1-x-0.1	시편명	x	1-x-0.1	시편명	x	1-x-0.1
Mn36a4	0.3	0.6	Mg36a4	0.3	0.6	Cu36a4	0.3	0.6
Mn45a4	0.4	0.5	Mg45a4	0.4	0.5	Cu45a4	0.4	0.5
Mn54a4	0.5	0.4	Mg54a4	0.5	0.4	Cu54a4	0.5	0.4
Mn63a4	0.6	0.3	Mg63a4	0.6	0.3	Cu63a4	0.6	0.3

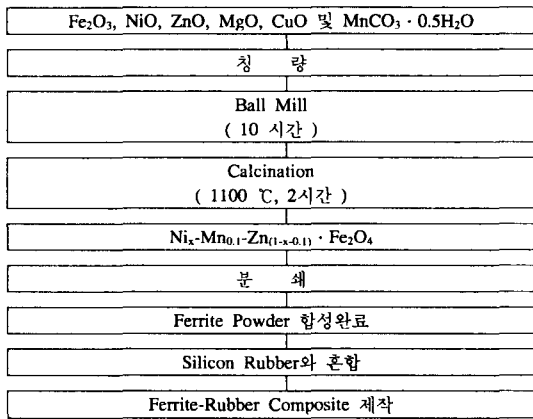


Fig. 1. Manufacturing Process of Samples.

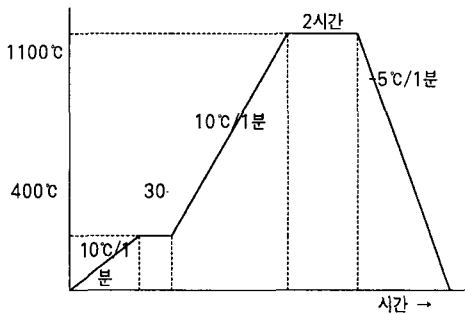


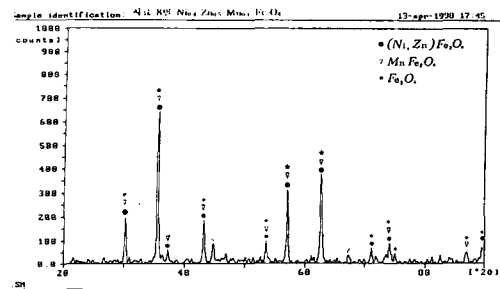
Fig. 2. Temperature Process for Calcination.

결정구조상태를 분석하고, SEM을 통하여 Grain 형상 및 Grain Size를 분석하였으며, VSM을 통하여 합성된 Ferrite Powder의 M-H 특성을 분석하고, Network Analyzer를 통하여  $\epsilon_r'$ ,  $\epsilon_r''$ ,  $\mu_r'$ ,  $\mu_r''$  및 Reflection Loss를 측정하였다.

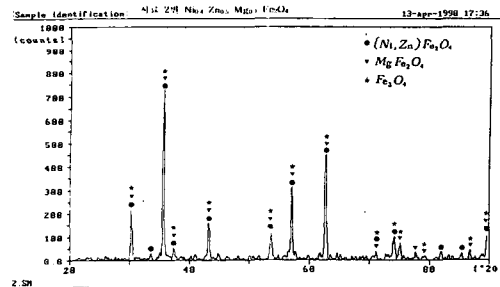
(1) XRD 분석

제조된 Ferrite Powder의 결정구조를 파악하기 위하여 XRD 분석을 하였다.

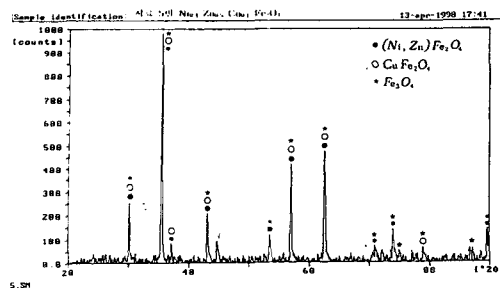
Fig. 3의 (a), (b), (c)에 나타난 X선회절패턴에서 보듯이, 제조된 Ferrite Powder에 대한 XRD 회절상은 Spinel 구조로 알려져 있는<sup>9)</sup>  $(Ni \cdot Zn) \cdot Fe_2O_4$ ,  $A \cdot Fe_2O_4$ ,  $Fe_3O_4$ 의 Peak를 모두 가지고 있는 것으로 나타났으므로, 제조된 각각의 Ferrite Powder는 목표로 하는 복합형 Ni-A-Zn Ferrite의 Spinel 결정구조를 가짐을 예측할 수 있다<sup>10)</sup>.



(a) XRD Pattern of  $Ni_{0.4}-Mn_{0.1}-Zn_{0.5} \cdot Fe_2O_4$ .



(b) XRD Pattern of  $Ni_{0.4}-Mg_{0.1}-Zn_{0.5} \cdot Fe_2O_4$ .



(c) XRD Pattern of  $Ni_{0.4}-Cu_{0.1}-Zn_{0.5} \cdot Fe_2O_4$ .

Fig. 3. XRD Patterns of  $Ni_{0.4}-A_{0.1}-Zn_{0.5} \cdot Fe_2O_4$ .

(2) XRD 분석

제조된 Soft-Ferrite Powder들의 Grain 형상, Grain

Size, Grain과 Domain과의 관계를 알아보기 위하여 XRD 분석을 하였다.

Fig. 4의 (a), (b), (c)에 나타난 바와같이, 제조된 Grain들은 대부분 Spinel-Ferrite가 가지는 형상인 구상임을 알 수 있으며, Grain size는 1  $\mu\text{m}$ 보다 작은 Sub-micrometer size임을 알 수 있다. Grain과 Domain의 상호관계에서, Grain의 size가 대단히 커지면 자기적 내부에너지를 낮추기 위하여 Grain은 몇 개의 Domain으로 분할된다고 알려져 있다<sup>11)</sup>. 일반적인 Domain 1개의 Size는 약 10  $\mu\text{m}$ 정도로서, 제조된 Grain의 size가 10  $\mu\text{m}$ 보다 큰 경우에는 Grain이 2개의 Domain으로 분할된다. 그러나 본 연구에서 Calcination에 의하여 제조된 Soft-Ferrite Powder들의 Grain Size는 Sub-micrometer이므로, Single Grain이 Single Domain의 상태임을 알 수 있다. Grain 형상은 육방정계 Ferrite가 육각판상을 가지는 것과는 달리 구상에 가까운 형상들을 가지므로서 전형적인 Spinel Ferrite의 Grain 형상들임을 알 수 있다.

### (3) VSM 분석

전파흡수체에 입사된 전파의 전자기적 에너지를 열에너지로 변환시키는 기능은 Ferrite에 의한 것이다. 즉, Composite에 사용되는 Ferrite Powder의 자기적 특성은 Composite 전체의 전파흡수특성을 결정하게 되므로, 제조된 Ferrite Powder들의 자기적 특성을 알아보기 위하여 VSM 분석을 수행하였다.

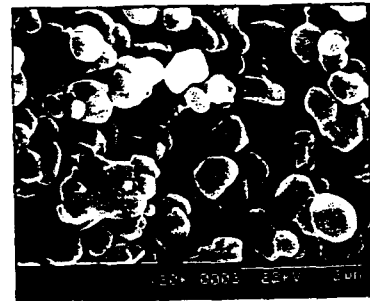
Fig. 5에 나타난 바와같이, 제조된 Soft-Ferrite Powder의 자화(Magnetization)값은 A가 Mn, Mg, Cu 모두의 경우에 있어서 Ni의 함량변화와는 무관하게  $2.81 \times 10^3$  emu의 동일한 값을 가짐을 알 수 있었다. 이것은 사용된 Mn, Mg, Cu가 모두 2가 원소로서 최외각 전자수가 같으며, 현재 이들이 동일한 결정구조의 조건하에 놓여 있으므로 나타나는 현상으로 판단된다. 또한, A가 Mn, Mg, Cu인 경우에 대한 보자력(Coercive Force)은  $\text{Cu} < \text{Mn} < \text{Mg}$ 의 순으로 나타났다.

### (4) 복소유전율 및 복소투자율 분석

제조된 Ferrite Powder들의 전자기적 특성을 파악하기 위하여 제작된 Composite의 복소유전율과 복소투자율을 측정하였다.



(a) SEM Pattern of  $\text{Ni}_{0.4}\text{-Mn}_{0.1}\text{-Zn}_{0.5} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ .



(b) SEM Pattern of  $\text{Ni}_{0.4}\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{0.5} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ .

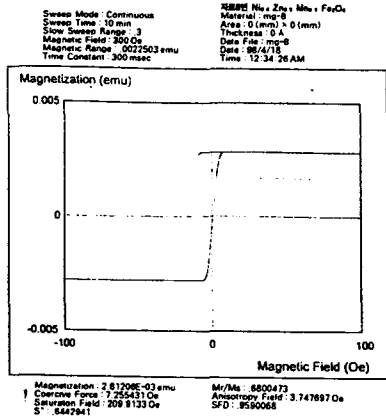


(c) SEM Pattern of  $\text{Ni}_{0.4}\text{-Cu}_{0.1}\text{-Zn}_{0.5} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ .

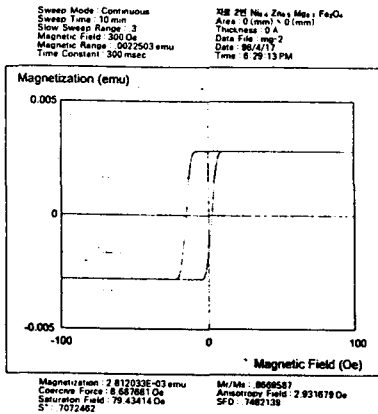
Fig. 4. SEM Patterns of  $\text{Ni}_{0.4}\text{-A}_{0.1}\text{-Zn}_{0.5} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ .

유전적 성질을 나타내는  $\epsilon_r'$ 은 Ni의 mole 함량에 관계없이 약 6정도의 값을 가졌으며, 그 실험 데이터중의 하나를 Fig. 6에 나타내었다. 이것은 Composite를 제조할 때 사용된 Silicon Rubber의 영향이 큰 것으로 판단이 된다.

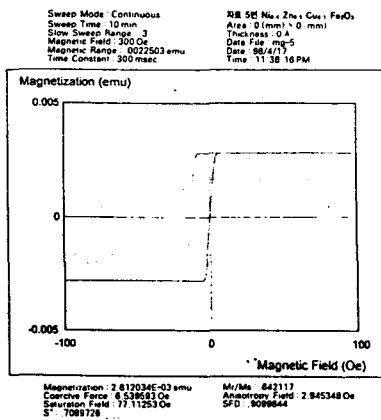
유전손실을 나타내는  $\epsilon_r''$ 은 Ni의 함량에 관계없이 측정주파수 범위내에서 1이하의 값을 가졌으며, 그 실험 데이터중의 하나를 Fig. 7에 나타내었다.



(a) VSM Pattern of  $Ni_{0.4}-Mn_{0.1}-Zn_{0.5} \cdot Fe_2O_4$ .



(b) VSM Pattern of  $Ni_{0.4}-Mg_{0.1}-Zn_{0.5} \cdot Fe_2O_4$ .



(c) VSM Pattern of  $Ni_{0.4}-Cu_{0.1}-Zn_{0.5} \cdot Fe_2O_4$ .

Fig. 5. VSM Patterns of  $Ni_{0.4}-A_{0.1}-Zn_{0.5} \cdot Fe_2O_4$ .

이로부터 측정주파수 전체영역에서 유전손실이 대단히 적게 될 것임을 예측할 수 있었다.

자기적 성질을 나타내는  $\mu_r'$ 은 Ni의 함량이 증가할수록 저주파영역에서 값이 큼을 알 수 있었으며, 주파수에 대하여 지수적으로 감소하여 4.4~5 GHz범위에서 1이하로 됨을 알 수 있었다. 그 실험 데이터중의 하나를 Fig. 8에 나타내었다.

자기적 손실을 나타내는  $\mu_r''$ 은 Ni의 함량이 0.3인 경우에는 2 GHz이상에서 1 이하로서 자기적 손실이 적음을 알 수 있었으며, 그 실험 데이터중의 하나를 Fig. 9에 나타내었다. 이로부터 전파흡수특

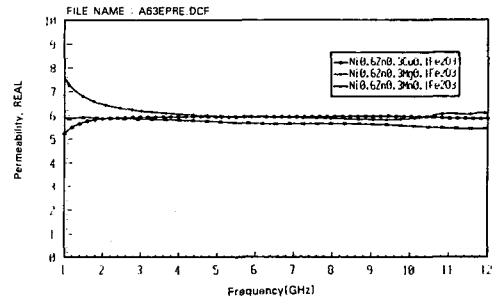


Fig. 6.  $\epsilon_r'$  Pattern of  $Ni_{0.6}-A_{0.1}-Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$ .

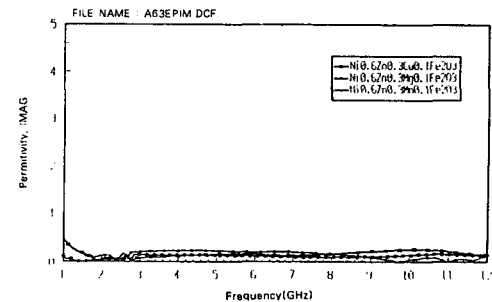


Fig. 7.  $\epsilon_r''$  Pattern of  $Ni_{0.6}-A_{0.1}-Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$ .

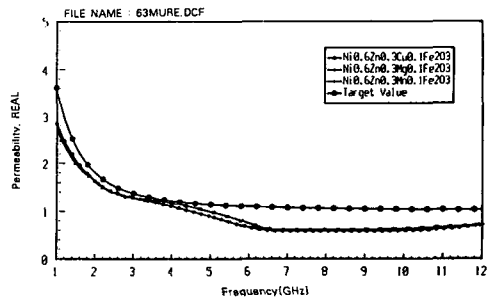


Fig. 8.  $\mu_r'$  Pattern of  $Ni_{0.6}-A_{0.1}-Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$ .

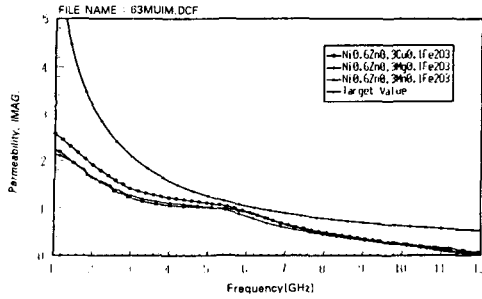
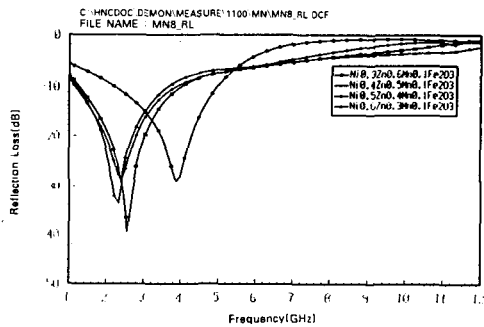


Fig. 9.  $\mu_r''$  Pattern of  $Ni_{0.6}A_{0.1}Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$ .

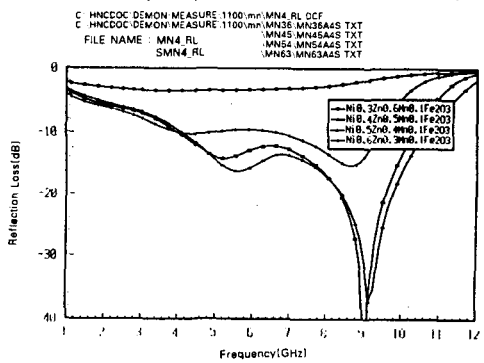
성이 떨어질 것을 예측할 수 있었다. 그러나 Ni의 함량이 0.6인 경우에는 5 GHz까지 1 이상의 값을 가지므로 전파흡수특성이 양호할 것으로 예측할 수 있었다.

(5) Reflection Loss

Fig. 10, Fig. 11 및 Fig. 12는 제조된 Ferrite

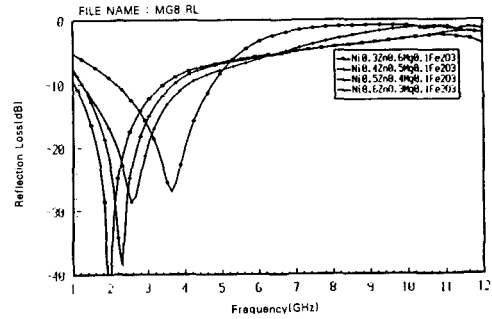


(a) Reflection Loss Pattern of Composite Using  $Ni_x-Mn_{0.1}Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$  (Thickness 4 mm).

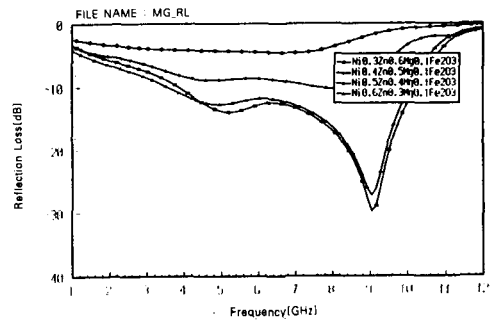


(b) Reflection Loss Pattern of Composite Using  $Ni_x-Mn_{0.1}Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$  (Thickness 8 mm).

Fig. 10. Reflection Loss Pattern of Composite Using  $Ni_x-Mn_{0.1}Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$ .



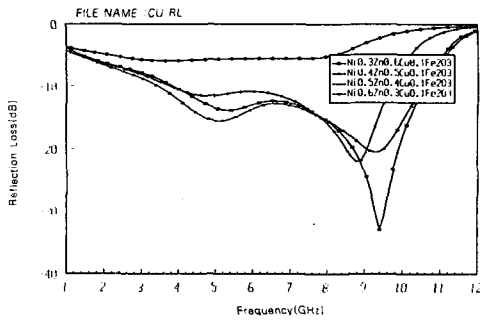
(a) Reflection Loss Pattern of Composite Using  $Ni_x-Mg_{0.1}Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$  (Thickness 4 mm).



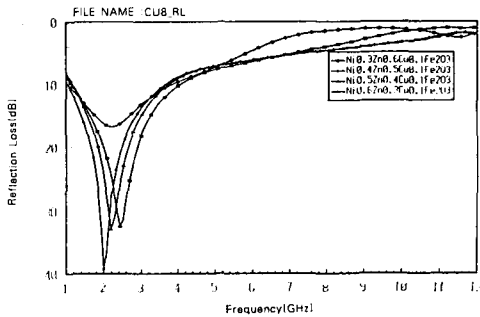
(b) Reflection Loss Pattern of Composite Using  $Ni_x-Mg_{0.1}Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$  (Thickness 8 mm).

Fig. 11. Reflection Loss Pattern of Composite Using  $Ni_x-Mg_{0.1}Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$ .

Powder와 Silicon Rubber를 이용하여 제작한 두께 4 mm 및 8 mm Composite의 Reflection Loss를 측정하였다. 4 mm의 경우, A의 종류에 관계없이 Ni의 함량이 0.3인 Composite는 반사손실이 적어 전파흡수특성이 좋지 않음을 알 수 있었으며, Ni의 함량이 0.5와 0.6인 경우 정합주파수가 약 9 GHz, 20 dB이상의 반사감쇠량을 가지는 대역폭이 약 1.3 GHz의 우수한 전파흡수특성을 가짐을 알 수 있었다. 또한 8 mm의 경우, A가 Mn 및 Mg의 경우는 4 mm에서는 흡수특성이 좋지 못하였던 Ni함량 0.3인 재료가 약 3~4 GHz에서 26 dB정도의 반사감쇠량을 가지며 전파흡수특성이 개선되었음을 알 수 있었으며, Ni의 함량이 0.4~0.6 모두 2~3 GHz의 주파수 대역에서 우수한 전파흡수특성을 보였다.



(a) Reflection Loss Pattern of Composite Using  $Ni_x-Cu_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$  (Thickness 4 mm).



(b) Reflection Loss Pattern of Composite Using  $Ni_x-Cu_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$  (Thickness 8 mm).

Fig. 12. Reflection Loss Pattern of Composite Using  $Ni_x-Cu_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$ .

#### IV. 결론

이상의 연구를 통하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1) Forming을 하지 않은 상태로 1100 °C, 2 시간 Calcination한  $Ni_x-A_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$  Ferrite Powder의 XRD분석 결과, 복합형의 Spinel구조를 가짐을 알 수 있었다.
- (2) 성장촉진제를 첨가하지 않은 상태로 1100 °C, 2 시간 Calcination한  $Ni_x-A_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$  Powder들의 Grain Size는 1  $\mu m$ 이하의 Sub-micrometer size이며, Single Grain-Single Domain의 상태임을 알 수 있었다.
- (3) 제조된  $Ni_x-A_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$  Ferrite Powder들의 자화값은 A가 Mn, Mg, Cu인 경우 보

두 Ni의 함량변화와는 무관하게  $2.81 \times 10^3$  emu의 동일한 값을 가짐을 알 수 있었다.

- (4) 제조된  $Ni_x-A_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$  Ferrite Powder들은, A가 Mn, Mg, Cu인 경우에 대한 보자력(Coercive Force)이  $Cu < Mn < Mg$ 의 순으로 나타났다.
- (5) A의 종류에 관계없이 Ni의 함량이 0.3이며 두께 4 mm의 Composite는 반사손실이 적어 전파흡수특성이 좋지 않음을 알 수 있었으며, Ni의 함량이 0.5와 0.6인 경우는 모두 정합주파수가 약 9 GHz, 20 dB 이상의 반사손실량을 가지며 대역폭이 약 1.3 GHz의 우수한 전파흡수특성을 가짐을 알 수 있었다. 또한 8 mm의 경우 4 mm인 경우보다 전파흡수특성이 개선되었으며, A의 성분에 무관하게 Ni의 함이 0.4~0.6 모두 정합주파수가 약 2~3 GHz 대역으로 낮아지며, 우수한 전파흡수특성을 가짐을 알 수 있었다.
- (6) 이로부터 Sub-micrometer Grain Size의  $Ni_x-A_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$  Ferrite Powder를 이용하는 Composite에서 두께 4 mm인 경우에는 A의 성분에 무관하게 Ni의 함량을 0.5~0.6, 두께 8 mm인 경우에는 A의 성분에 무관하게 0.4~0.6으로 하면 양호한 전파흡수특성을 가지는 Ferrite-Rubber Composite를 구현할 수 있다는 것을 알았다.

#### 참고문헌

- [1] 윤상욱의 3인, 자성재료세라믹스, 반도출판사, pp. 1~8(1996)
- [2] 内藤喜之, 電波吸收體, 才-ム社, pp. 53~57(1987)
- [3] 윤상욱의 3인, 자성재료세라믹스, 반도출판사, pp. 36~37(1996)
- [4] 김병호의 1인, 페라이트, 청문각, pp. 16~17(1995)
- [5] 김동일, 정세모 외, “카이본-페라이트 전파흡수체의 특성”, 대한전자공학회 논문지, 제26권 제1호, pp. 92~97(1989. 11).
- [6] 김동일, “전파무향실용 RF-A-PF형 초광대역

전파흡수체의 설계·제작 및 특성평가에 관한 연구”, 한국과 학재단 1997년도 특정연구 중간보고서, pp. 1~3(1998)

- [7] 内藤喜之·水本哲弥·脇田雄一 “フェライト係電波吸收體の經濟的廣大域化[Ⅱ]( 30~1500 MHz 以上 )”, 電子情報通信學會, EMCJ 91-36, pp. 39~46(1991, 10)
- [8] 内藤喜之·水本哲弥·脇田雄一 “フェライト係電波吸收體の經濟的廣大域化( 30~1500 MHz 以上 )”, 電子情報通信學會, EMCJ91-40, pp. 13~18(1991, 4)
- [9] 윤상옥외 3인, 자성재료세라믹스, 반도출판사, pp. 14~17(1996)
- [10] 김광윤외 9인, 자성재료학, 반도출판사, pp. 246~249(1993)
- [11] 윤상옥외 3인, 자성재료세라믹스, 반도출판사, pp. 28(1996)



김 동 일(Dong Il Kim)

1975년 2월 한국해양대학교 항해학과 졸업(공학사)

1977년 2월 한국해양대학교 대학원 전파공학전공(공학석사)

1984년 3월 일본 동경공업대학원 전기전자공학과(공학박사)

1975년 3월~1993년 9월 한국해양대학교 조교~부교수

1993년 10월~현재 한국해양대학교 전파공학과 교수

1990년 3월 10일 산학협동상 대상 수상

1993년 12월 11일 한국전자과학기술회 학술상 수상

1995년 4월 21일 과학기술진흥 대통령 표창 수상

1998년 9월 30일 한국항해학회 우수논문상 수상

\* 주관심분야 : 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파흡수체의 개발, EMI/EMC 대책 등



박 연 준(Youn Joon Park)

1987년 2월 동아대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사)

1989년 2월 동아대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1996년 3월~현재 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과(박사과정)



김 하 근(Ha Guen Kim)

1998년 3월 한국해양대학교 공과대학 전파공학과 졸업(공학사)

현재 : 한국해양대학교 대학원 전파공학과(석사과정)



사공 건(Guen Sa-Gong)

1969년 2월 영남대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사)

1974년 2월 영남대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사)

1986년 12월 Golden State Univ. 전기전자공학(공학박사)

1996년 8월 영남대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1979년~현재 동아대학교 공과대학 전기공학과 교수

\* 주 관심분야 : 전파흡수체재료, 압전재료 등 전자재료분야