

# Ni<sub>0.5</sub>-A<sub>0.1</sub>-Zn<sub>0.4</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Ferrite-Rubber Composite의 Ferrite 함량에 따른 전파흡수특성에 관한 연구

박연준\* · 김동일\*\*

\*중소기업 이업종 기술연구조합, \*\*한국해양대학교 전파공학과

A Study on Electromagnetic Wave Absorbing Properties of Ni<sub>0.5</sub>-A<sub>0.1</sub>-Zn<sub>0.4</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Ferrite-Rubber Composite by the variation of using amount of Ferrite

Youn Joon Park\* · Dong Il Kim\*\*

\*Small & Medium Industrial Technology Research Association, \*\*Korea Maritime University,

E-mail : smitra@chollian.net

## 요약문

본 연구에서는 전파흡수체용 Ferrite-Rubber Composite에서 Ferrite의 함량과 Composite의 전파흡수특성과의 상관관계에 관하여 알아보았다. 이때 Ferrite는 스피넬 구조의 형성과 결정입의 비교적 큰 성장을 위하여 1200 °C에서 2시간 열처리하여 제조한 시료를 사용하였다. 1200 °C에서 열처리된 Ferrite를 사용한 Composite는 Ferrite 함량이 52 wt.%에서 57 wt.%로 증가하면 정합주파수는 변화는 없으며, 반사감쇠량이 증대되며, 62 wt.%인 경우, 정합주파수의 이동현상이 발생됨을 알 수 있었다.

이로부터 전파흡수체용 Ferrite-Rubber Composite에서 Ferrite 함량을 제어함으로써 Composite의 전파흡수특성을 제어하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

## Abstract

In this paper, we studied the relation between using amount of Ferrite and electromagnetic wave absorbing properties of ferrite-rubber composite. The variation of using amount of Ferrite have been 52 wt.% ~ 62 wt.%.

As a result, it has been shown that the electromagnetic wave absorbing properties of ferrite-rubber composite are related to the using amount of Ferrite in composite. And, we can control electromagnetic wave absorbing properties of ferrite-rubber composite by the control of using amount of Ferrite.

## 1. 서론

초창기에 연구가 이루어진 Ni-Zn 및 Mn-Zn계 Ferrite 전파흡수체는 주로 타일형의 것이었으며<sup>1),2),3),4)</sup>, 이것은 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 주파수대역폭이 30 ~ 400 MHz 정도로 좁기 때문에 전파무향실용등으로 사용하기에는 제한이 있었다. 반면, 전자통신기술의 발달과 전자기기의 다양화로 전자파환경은 날로 악화되고 있으며, 주파수대역도 수십 GHz로 높아지고 있는 실정이다.

건물벽면의 반사전파에 의한 TV Ghost장해, 교

량 및 철교등에 의한 선박용 레이다의 허상, 각종 전자기기등에서 발생하는 유해한 전자파가 기기 상호간의 동작을 방해하거나 인체에 해를 미치는 등, 여러 가지 전자파장해(EMI)현상이 수십 MHz 대역에서 수십 GHz대역에 걸쳐서 발생되고 있다. 이에 대한 문제의 심각성을 고려하여 기술선진국에서는 각종 법규로 EMI/EMC에 대한 규제를 강화하고 있는 실정이다. 그러나, 이러한 EMI/EMC 대책과 관련된 EMI측정용 전파무향실의 경우 기존의 주파수대역이 30 MHz ~ 1 GHz 이었으나, 향후 30 MHz ~ 40 GHz 영역까지 확장될 것으로 전망되고 있다. 그리고 ANSI 및 FCC등의 규격에서 요구하는 30 MHz ~ 1 GHz를 흡수하기 위해서 현재 카본스티를 등의 피라밋형 유전체 전파흡수체로 적층한 것을 사용하고 있는 실정으

로서, 이는 내부유효공간의 확보가 충분치 못하여 더욱 새로운 전파흡수체의 개발이 요구되고 있다.

이와같은 전파흡수체의 기본 소재로는 자성재료, 유전재료 및 도전재료등이 있으며, 현재 자성재료인 Ferrite가 주로 사용되고 있다. 이중에서 소결형 Ferrite 전파흡수체는 MHz 주파수대역에서 사용되고 있으며, Carbon 및 Rubber와 혼합한 Composite형 Ferrite 전파흡수체<sup>5),6),7),8)</sup>는 GHz 주파수대역에서 작동되고 있다. 이와같은 Ferrite를 사용한 Composite형 전파흡수체의 전파흡수특성은 반사감쇠량, 정합주파수, 정합두께 및 비대역폭등으로 특성을 평가하고 있으며, Ferrite의 화학조성, Grain-Domain 상태 및 Ferrite-Rubber 혼합비율등에 의한 전자기적 특성(복소유전율, 복소투자율, 고유저항, 자화, 보자력 등)과 밀접한 관련이 있다. 이중에서 Ferrite-Rubber의 혼합비율과 전파흡수특성의 변화에 대해서는 연구가 거의 이루어지지 않은 상태이며, 일본의 石野 健<sup>9)</sup>이 Ferrite의 함량이 많아질수록 정합주파수는 변하지 않으면서 복소투자율이 높아진다고 보고한바 있다.

따라서, 본 연구에서는 전파흡수체용 Ferrite-Rubber Composite에서 사용되는 Ferrite의 함량이 전파흡수특성에 미치는 영향에 관하여 알아보았다.

본 연구에 사용된 Ferrite는 Ni<sub>0.5</sub>-A<sub>0.1</sub>-Zn<sub>0.4</sub>·Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 화학조성을 가지는 시료를 1200 °C에서 2시간 열처리하여 제조하였다. 제조된 Ferrite Powder는 XRD로 미세구조를 분석하였으며, VSM으로 Ferrite Powder의 자기적 특성을 분석하였다. 그리고 Composite에서 Ferrite의 함량을 52wt.% ~ 62wt.%로 변화시키면서 Composite를 제작한 후 Network Analyzer에서 반사감쇠량을 측정하였다. 이렇게 측정된 Data로부터 Ni<sub>0.5</sub>-A<sub>0.1</sub>-Zn<sub>0.4</sub>·Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 복합형 등방성 Ferrite의 함량과 전파흡수특성과의 상관관계를 알아보았다.

## II. Ferrite Powder의 합성과 Composite제작

본 연구에서는 복합형 등방성 Ferrite를 가장 보편화된 합성방법인 건식법으로 제작하였으며, 출발원료로는 시약급 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO, MgO, CuO, ZnO 및 MnCO<sub>3</sub>·0.5H<sub>2</sub>O 분말상을 사용하였다.

각 시료의 조성은 Table 1과 같다. 조성에 따라 전자저울에서 평량·혼합된 시료는 10시간 동안 Ball Mill한 후, 진공오븐에서 24 hr동안 충분히 건조하였다. 건조된 혼합상 Powder는 알루미늄질 크루시블에 담아 Fig. 2와 같은 온도조건으로 열처리하였으며, 열처리후 약간의 응집된 덩어리는 유발에서 약하게 분쇄한 후 분석용으로 사용하였다. 또한 제조된 Ferrite Powder를 Silicon Rubber와 4:1의 중량비로, Composite에서 Ferrite의 함량은 52wt.% ~ 62wt.%로 칭량하여 혼합하였으며, Ferrite-Rubber 혼합체는 200 Kg/cm<sup>2</sup>의 압력을

가하여 내경 3.05 mm, 외경 6.95 mm, 높이 4 mm 및 내경 3.05 mm, 외경 6.95 mm, 높이 8 mm의 원통형 Composite시편을 제작하였다.

Table 1. Composition Ratios of Ferrite

Sample	A	화학조성
A-Mn	Mn	Ni <sub>0.5</sub> -Mn <sub>0.1</sub> -Zn <sub>0.4</sub> ·Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
A-Mg	Mg	Ni <sub>0.5</sub> -Mg <sub>0.1</sub> -Zn <sub>0.4</sub> ·Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
A-Cu	Cu	Ni <sub>0.5</sub> -Cu <sub>0.1</sub> -Zn <sub>0.4</sub> ·Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>

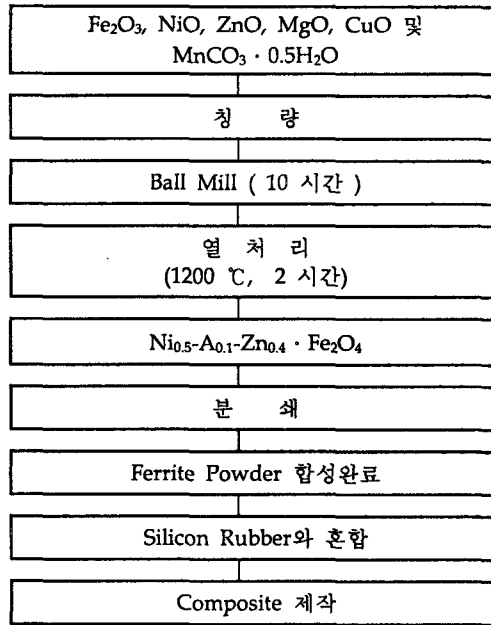


Fig. 1. Manufacturing Process of Samples

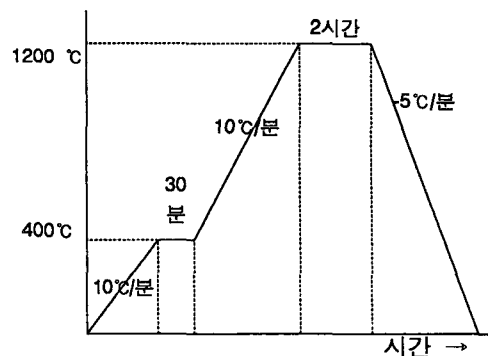


Fig. 2. Heat-Treatment Process

### III. 특성분석

제조된 Ferrite Powder 및 Composite의 특성측정은 XRD를 통하여 열처리된 Ferrite Powder의 결정구조상태를 분석하고, VSM을 통하여 자기적 특성을 분석하였으며, Network Analyzer에서 반사 감쇠량을 측정하였다.

#### 3.1 X.R.D. 분석

1200 °C에서 2시간 열처리하여 제조된 Ferrite Powder의 XRD분석 결과의 일례를 Fig 3.에서 Fig 5.에 나타내었다. X선회절패턴에서 보듯이, 제조된 Ferrite Powder는 목표로 하는 복합형 Ni-A-Zn Ferrite의 Spinel 결정구조<sup>8)</sup>를 가짐을 알 수 있다.

특히, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 단일상 Peak가 일부 존재함을 알 수 있으나 Peak의 크기는 상대적으로 약함을 알 수 있으며, 이로부터 사용된 Fe가 대부분 Ferrite로 반응하였음을 알 수 있다.

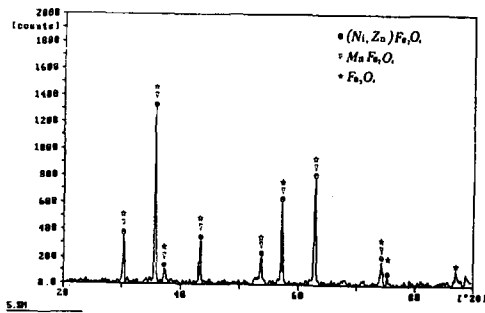


Fig. 3. XRD Pattern of Ni<sub>0.5</sub>-Mn<sub>0.1</sub>-Zn<sub>0.4</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Heat-Treated at 1200 °C

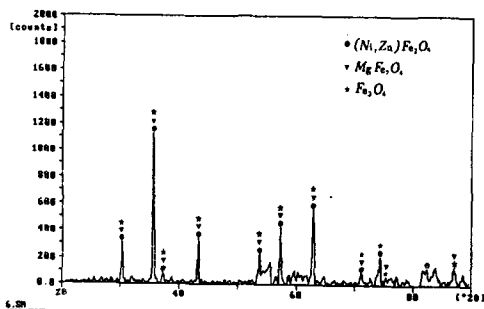


Fig. 4. XRD Pattern of Ni<sub>0.5</sub>-Mg<sub>0.1</sub>-Zn<sub>0.4</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Heat-Treated at 1200 °C

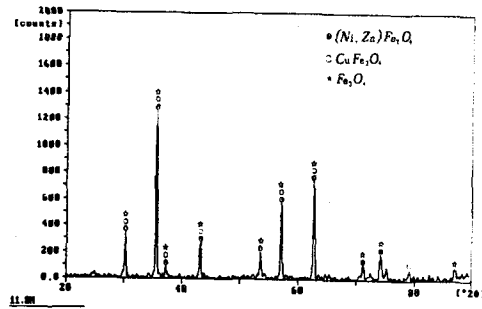


Fig. 5. XRD Pattern of Ni<sub>0.5</sub>-Cu<sub>0.1</sub>-Zn<sub>0.4</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Heat-Treated at 1200 °C

#### 3.2 VSM 분석

페라이트의 자성손실을 주로 이용하는 전파흡수체에서는 입사된 전파의 전자기적 에너지를 열 에너지로 변환시키는 기능을 페라이트가 한다. 즉, Composite에 사용되는 Ferrite Powder의 자기적 특성은 Composite 전체의 전파흡수특성을 결정하게 되므로, 제조된 Ferrite Powder의 자기적 특성을 VSM(Vibrating Sample Magnetometer)을 사용하여 측정하였다. 특히, M-H Curve 특성에서 자화(Magnetization)와 보자력(Coercive Force)을 통하여 Ferrite Powder의 자기적 특성을 확인하였다.

1200 °C에서 2시간 열처리하여 제조된 Ferrite Powder의 자기적 특성을 파악하기 위하여 VSM 분석을 수행한 결과를 Fig. 6.에서 Fig. 8.에 나타내었다.

A에 무관하게 자화(Magnetization)는 Mn, Mg, Cu 모두에 대하여  $2.81 \times 10^{-3}$  emu의 동일한 값을 가짐을 알 수 있다. 이것은 Mn, Mg, Cu가 모두 2가 전이원소로서 최외각 전자수가 같으며, 현재 이들이 동일한 결정구조의 조건하에 놓여 있으므로 나타나는 현상이라고 생각된다.

반면, 보자력(Coercive Force)은 A가 Mn인 경우는 9.6 Oe, Mg인 경우는 7.57 Oe, Cu인 경우는 9.45 Oe로서 A에 따라서 달라짐을 알 수 있다. 이것은 동일한 Spinel 결정구조하에서 Mn, Mg, Cu의 원자반경이 다르며, 이로부터 초교환상호작용력이 달라져서 나타나는 현상이라고 생각된다.

이러한 결과로부터 사용되는 A에 따라서 M-H Curve상의 곡선면적이 달라짐을 알 수 있으며, 곡선의 내부면적이 자기적 손실을 나타내는 양이란 사실에 주목하면 Mn과 Cu가 사용된 Ferrite는 전파흡수특성이 양호하고 상대적으로 Mg가 사용된 Ferrite는 전파흡수특성이 떨어질 것으로 예측할 수 있다.

3.3 반사감쇠량 측정

石野 健은 Ferrite-Rubber Composite에서 Ferrite의 함량이 증가할 때, 정합주파수는 변하지 않으면서 복소투자율이 커진다고 보고하였다. Fig. 9의 A가 Cu인 4 mm Sample의 경우, Ferrite 함량이 52 wt.%에서 57 wt.%로 증가하면 약 5.5 GHz에서 1차 정합과 약 9 GHz에서 2차 정합이 이루어지고, Ferrite의 함량증가에 따라 정합주파수는 변화가 없으면서 반사감쇠량이 증대되어 石野 健의 보고와 일치하는 결과가 나타남을 알 수 있다. 그러나, Ferrite의 함량이 62 wt.%인 경우, 1차 정합주파수는 약 4 GHz로 저주파측으로 이동하며, 2차 정합주파수는 약 10 GHz로 고주파측으로 이동하는 Frequency-Shift현상이 발생됨과 동시에 광대역화 특성이 나타남을 알 수 있다. 또한 Ferrite 함량이 52 및 57 wt.%인 경우와는 달리, 1차 정합주파수에 대한 반사감쇠량이 2차 정합주파수의 값보다 커지는 현상이 발생하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 Ferrite의 함량이 많아질수록 Composite의 전파흡수특성이 소결체쪽으로 가깝게 나타나는 결과라고 생각된다.

이와같은 정합주파수의 Shift현상은 Composite의 두께가 8 mm인 경우도 4 mm인 경우와 유사한 경향을 보임을 알 수 있다.

이러한 결과로부터 Composite형 전파흡수체는 Ferrite의 함량을 제어함으로써 전파흡수특성을 제어하는 것이 가능함을 알 수 있다.

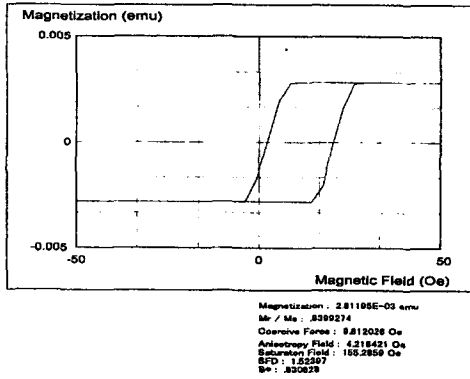


Fig. 6. VSM of  $Ni_{0.5}Mn_{0.1}Zn_{0.4} \cdot Fe_2O_4$  Heat-Treated at 1200 °C

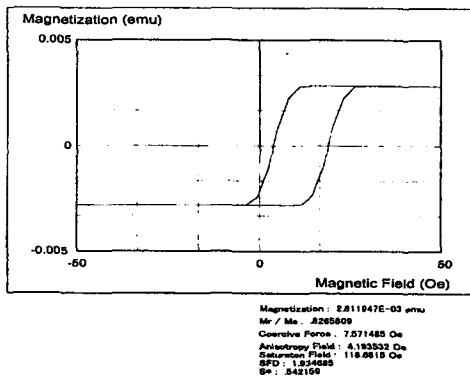


Fig. 7. VSM of  $Ni_{0.5}Mg_{0.1}Zn_{0.4} \cdot Fe_2O_4$  Heat-Treated at 1200 °C

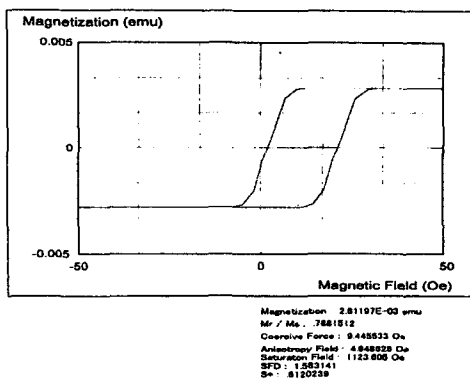


Fig. 8. VSM of  $Ni_{0.5}Cu_{0.1}Zn_{0.4} \cdot Fe_2O_4$  Heat-Treated at 1200 °C

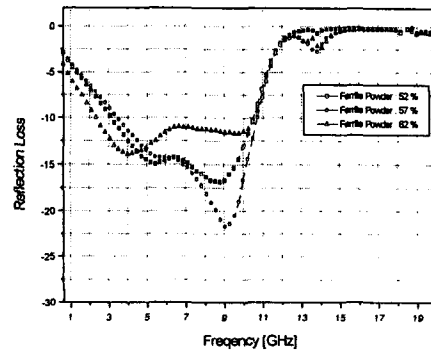


Fig. 9. Reflection Loss Pattern of 4 mm Composite Sample Using  $Ni_{0.5}Cu_{0.1}Zn_{0.4} \cdot Fe_2O_4$  Heat-Treated at 1200 °C

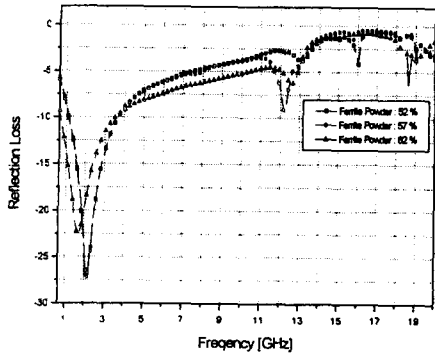


Fig. 10. Reflection Loss Pattern of 8 mm Composite Sample Using  $Ni_{0.5}Cu_{0.1}Zn_{0.4} \cdot Fe_2O_4$  Heat-Treated at  $1200\text{ }^{\circ}C$

#### IV. 결 론

이상의 연구를 통하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1)  $1200\text{ }^{\circ}C$ 에서 열처리한 Ferrite Powder는 XRD 분석결과 복합형의 Spinel구조를 가짐을 알 수 있었다.
- (2)  $1200\text{ }^{\circ}C$ 에서 2시간 열처리하여 제조된 Ferrite Powder는 A에 무관하게  $2.81 \times 10^{-3}$  emu의 동일한 자화(Magnetization)값을 가짐을 알 수 있었다.
- (3) 보자력(Coercive Force)은 A가 Mn인 경우 10.26 Oe, Mg인 경우 7.57 Oe, Cu인 경우 9.45 Oe로서 사용되는 원소에 따라서 달라짐을 알 수 있었다.
- (4) Ferrite 함량이 52 wt.%에서 57 wt.%로 증가하면 정합주파수는 변화는 없으며, 반사감쇠량이 증대됨을 알 수 있었다.
- (5) Ferrite의 함량이 62 wt.%인 경우, 1차 정합주파수는 약 4 GHz로 저주파측으로 이동하며, 2차 정합주파수는 약 10 GHz로 고주파측으로 이동하는 Frequency-Shift현상이 발생됨과 동시에 광대역화 특성이 나타남을 알 수 있었다. 또한 Ferrite 함량이 52 및 57 wt.%인 경우와는 달리, 1차 정합주파수에 대한 반사감쇠량이 2차 정합주파수의 값보다 커지는 현상이 발생되는 것을 알 수 있었다.
- (6) 이러한 결과로부터 Composite형 전파흡수체는 Ferrite의 함량을 제어함으로써 전파흡수

특성을 제어하는 것이 가능함을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 内藤, 他: "フェライト電波吸収体の普遍的特性特性圖", 日本電子情報通信學會 論文誌, EMCJ 88-12, pp27~34(1988. 5. 20)
- [2] Y. Naito., "フェライト吸收壁の電波吸收特性について", 信學論B, Vol.52-B, No.1, pp.26~30. 1969.
- [3] Y. Naito., "フェライト吸收壁の厚さについて", 電通論, Vol.52-B, No.1, 1969.
- [4] 末武, "各種フェライト(燒結形)の電波吸收特性", 信學論, マクロ波研資, 1968.
- [5] 末武, "ゴム狀フェライトの電波吸收特性", 信學論, マクロ波研資, 1968.
- [6] Suetake, "Radio Wave Absorption Characteristics of Rubber Ferrites", Joint conv. Rec. Electrical and Electronics Engineers of Japan, pp.1304, 1968.
- [7] Y. Naito., "カーボンゴムのマイクロ波特性とその應用", 信學技報, MW72-8, pp.1~10, 1972.
- [8] Y. Naito., "電波吸收体 ゴムフェライトへのカーボンが効果", 信學論, J69-c, No.3
- [9] 石野 健, 橋本康雄, "ニューセラミックスの發展", pp.91~92, 1985