

## Ferrite 함량변화에 대한 $Ni_{0.5}-A_{0.1}-Zn_{0.4} \cdot Fe_2O_4$ Ferrite-Rubber Composite의 전파흡수특성

### Electromagnetic Wave Absorbing Properties of $Ni_{0.5}-A_{0.1}-Zn_{0.4} \cdot Fe_2O_4$ Ferrite-Rubber Composite with amounts of a Ferrite

박연준\*, 신광호\*\*, 허진\*\*\*, 사공건\*\*\*

\*(주)세라그린, \*\*경성대 정보과학부, \*\*\*동아대 전기전자컴퓨터공학부,

Y.J. Park\*, K.H. Shin\*\*, J. Heo\*\*\*, G. Sa-Gong\*\*\*

\*Ceragreen Co. Ltd., \*\*Kyungseung Univ., \*\*\*Dong-A Univ.,

#### Abstract

In this paper, we have studied about electromagnetic wave absorbing properties of ferrite-rubber composite with a variation of ferrite. Amounts of ferrite in a composite absorber were changed from 52 wt.% to 62 wt.%.

As a result, it has been shown that the electromagnetic wave absorbing properties of ferrite-rubber composite are related to the amount of ferrite in composite absorber. As a summary, it could be controled the electromagnetic wave absorbing property of ferrite-rubber composite by changing some kinds of annex A and amount of ferrite.

**Key Words(중요용어)** : Ferrite, Composite absorber, Reflection Loss, Microwave Absorber, EMI

#### 1. 서론

건물벽면의 반사전파에 의한 TV Ghost장해, 교량 및 철교 등에 의한 선박용 레이다의 허상, 각종 전자기기 등에서 발생하는 유해한 전자파가 기기상호간의 동작을 방해하거나 인체에 해를 미치는 등, 여러 가지 전자과장해(EMI)현상이 수십 MHz대역에서 수십 GHz대역에 걸쳐서 발생하고 있다. 이에 대한 문제의 심각성을 고려하

여 기술선진국에서는 각종 법규로 EMI/EMC에 대한 규제를 강화하고 있는 실정이다. 그러나, 이러한 EMI/EMC대책과 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 카본스티롤 등의 피라밋형 유전체 전파흡수체로 적층한 것을 사용하고 있는 실정으로서, 이는 내부유효공간의 확보가 충분치 못하여 더욱 새로운 전파흡수체의 개발이 요구되고 있다.

초창기에 연구가 이루어진 Ni-Zn 및 Mn-Zn계 Ferrite 전파흡수체는 주로 타일형의 것이었으며<sup>1-4)</sup>, 이것은 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 주파수대역폭이 30~ 400 MHz 정도로 좁기 때문에 전파무향실용 등으로 사용하기에는 제한이 있

\* (주)세라그린

경남 밀양시 하남읍 양동리 179-4 Fax: 055-391-1010,

E-mail : ceragreen@hanmir.com

\*\* 경성대학교 정보과학부

\*\*\* 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부

었다. 반면, 전자통신기술의 발달과 전자기기의 다양화로 전자파환경은 날로 악화되고 있으며, 주파수대역도 수십 GHz로 높아지고 있는 실정이다.

이와 같은 전파흡수체의 기본 소재로는 자성재료, 유전재료 및 도전재료 등이 있으며, 현재 자성재료인 Ferrite가 주로 사용되고 있다. 이 중에서 소결형 Ferrite 전파흡수체는 MHz 주파수대역에서 사용되고 있으며, Carbon 및 Rubber와 혼합한 Composite형 Ferrite 전파흡수체<sup>5-8)</sup>는 GHz 주파수대역에 사용되고 있다. 이와 같은 Ferrite를 사용한 Composite형 전파흡수체의 전파흡수특성은 반사감쇠량, 정합주파수, 정합두께 및 비대역폭 등으로 특성을 평가하고 있으며, Ferrite의 화학조성, Grain-Domain 상태 및 Ferrite-Rubber 혼합비율 등에 의한 전자기적 특성(복소유전율, 복소투자율, 고유저항, 자화, 보자력 등)과 밀접한 관련이 있다. 이 중에서 Ferrite-Rubber의 혼합비율과 전파흡수특성의 변화에 대해서는 연구가 미흡한 상태이며, 일본의 石野 健<sup>9)</sup>이 Ferrite의 함량이 많아질수록 정합주파수는 변하지 않으면서 복소투자율이 높아진다고 보고한 바 있다.

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

본 연구에 사용된 Ferrite는  $Ni_{0.5}-A_{0.1}-Zn_{0.4} \cdot Fe_2O_4$  화학조성을 가지는 시료를 1200℃에서 2시간 열처리하여 제조하였다. 제조된 Ferrite 분말은 XRD로 미세구조를 분석하였으며, VSM으로 Ferrite 분말의 자기적 특성을 분석하였다. 그리고 Composite에서 Ferrite의 함량을 52wt.%~62wt.%로 변화시키면서 Composite를 제작한 후 Network Analyzer에서 반사감쇠량을 측정하였다. 이렇게 측정된 Data로부터  $Ni_{0.5}-A_{0.1}-Zn_{0.4} \cdot Fe_2O_4$  복합형 등방성 Ferrite의 함량과 전파흡수특성과의 상관관계를 알아보았다.

## 2. Ferrite 분말의 합성과 Composite제작

본 연구에서는 복합형 등방성 Ferrite를 가장 보편화된 합성방법인 건식법으로 제작하였으며, 출발원료로는 시약급  $Fe_2O_3$ , NiO, MgO, CuO,

ZnO 및  $MnCO_3 \cdot 0.5H_2O$  분말상을 사용하였다. 각 시료의 조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Composition Ratios of Ferrite

| Sample | A  | 화학조성                                       |
|--------|----|--|
| A-Mn   | Mn | $Ni_{0.5}-Mn_{0.1}-Zn_{0.4} \cdot Fe_2O_4$ |
| A-Mg   | Mg | $Ni_{0.5}-Mg_{0.1}-Zn_{0.4} \cdot Fe_2O_4$ |
| A-Cu   | Cu | $Ni_{0.5}-Cu_{0.1}-Zn_{0.4} \cdot Fe_2O_4$ |

조성에 따라 전자저울에서 평량·혼합된 시료는 10시간 동안 Ball Mill한 후, 진공오븐에서 24 hr 동안 충분히 건조하였다. 건조된 혼합상 분말은 알루미늄 나질 크루시블에 담아 Fig. 2와 같은 온도조건으로 열처리하였으며, 열처리 후 약간의 응집된 덩어리는 유발에서 약하게 분쇄한 후 분석용으로 사용하였다. 또한 제조된 Ferrite 분말을 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.

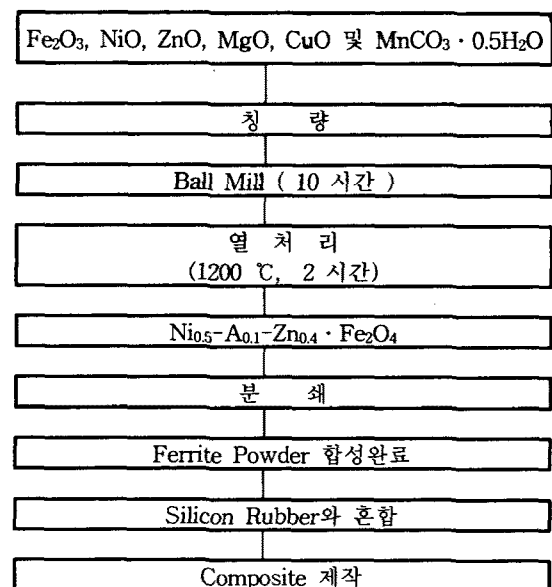


Fig. 1. Manufacturing Process of Samples

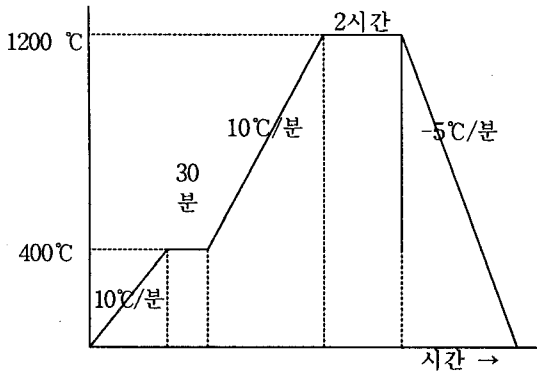


Fig. 2. Heat-Treatment Process

### 3. 특성분석

제조된 Ferrite 분말 및 Composite의 특성측정은 XRD를 통하여 열처리된 Ferrite 분말의 결정구조상태를 분석하고, VSM을 통하여 자기적 특성을 분석하였으며, Network Analyzer에서 반사감쇠량을 측정하였다.

#### 3.1 X.R.D. 분석

1200 °C에서 2시간 열처리하여 제조된 Ferrite 분말의 XRD분석 결과의 일례를 Fig 3.에서 Fig 5.에 나타내었다. X선회절패턴에서 보듯이, 제조된 Ferrite 분말은 얻고자 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.

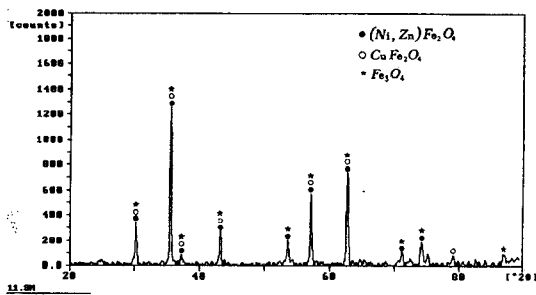


Fig. 3. XRD Patterns of Ni<sub>0.5</sub>-Cu<sub>0.1</sub>-Zn<sub>0.4</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Heat-Treated at 1200 °C

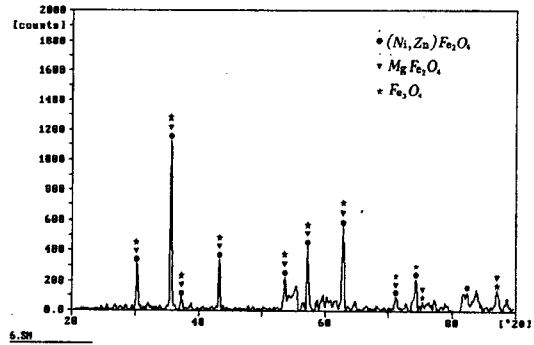


Fig. 4. XRD Patterns of Ni<sub>0.5</sub>-Mg<sub>0.1</sub>-Zn<sub>0.4</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Heat-Treated at 1200 °C

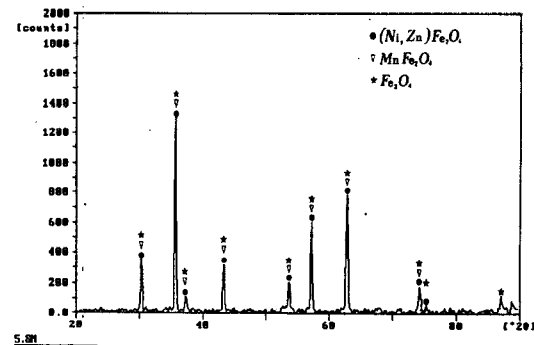


Fig. 5. XRD Patterns of Ni<sub>0.5</sub>-Mn<sub>0.1</sub>-Zn<sub>0.4</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Heat-Treated at 1200 °C

#### 3.2 VSM 분석

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

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

그림에서 첨가물 A의 종류에 무관하게 자화 (Magnetization)의 크기는 Mn, Mg, Cu 모두  $2.81 \times 10^{-3}$  emu의 동일한 값을 가짐을 알 수 있다. 이것은 Mn, Mg, Cu가 모두 2가 천이원소로서 최외각 전자수가 같으며, 현재 이들이 동일한 결정구조의 조건 하에 놓여 있으므로 나타나는 현상이라고 생각된다.

반면, 보자력(Coercive Force)은 A가 Mn인 경우 9.61 Oe, Mg인 경우 7.57 Oe, Cu인 경우는 9.45 Oe로서 A의 종류에 따라서 조금 달라짐을 알 수 있다. 이것은 동일한 Spinel 결정구조 하에서 Mn, Mg, Cu의 원자반경이 다르며, 이로부터 초교환상호작용력이 달라져서 나타나는 현상이라고 생각된다.

이러한 결과로부터 사용된 A의 종류에 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.

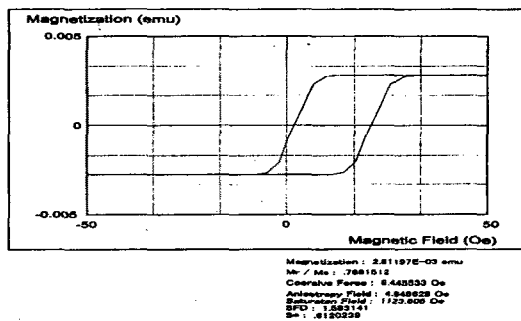


Fig. 6. VSM of  $\text{Ni}_{0.5}\text{-Cu}_{0.1}\text{-Zn}_{0.4} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$  Heat-Treated at  $1200^\circ\text{C}$

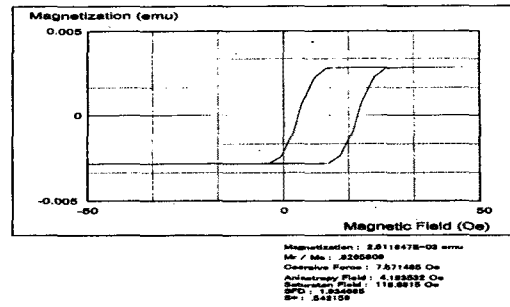


Fig. 7. VSM of  $\text{Ni}_{0.5}\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{0.4} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$  Heat-Treated at  $1200^\circ\text{C}$

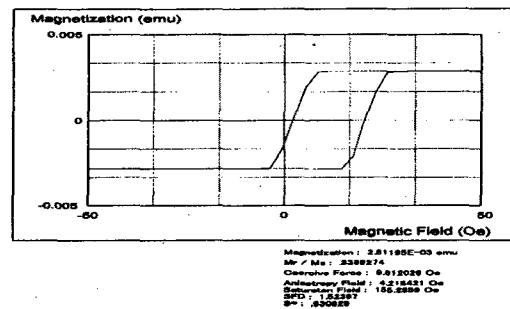


Fig. 8. VSM of  $\text{Ni}_{0.5}\text{-Mn}_{0.1}\text{-Zn}_{0.4} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$  Heat-Treated at  $1200^\circ\text{C}$

### 3.3 반사감쇠량

石野 健은 Ferrite-Rubber Composite에서 Ferrite의 함량이 증가할 때, 정합주파수는 변하지 않으면서 복소투자율이 커진다고 보고하였다. Fig. 9.에서 보듯이 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 있었다. 이와 같은 결과는 8 mm Sample의 경우에도 동일하였다.

그러나 Ferrite 함량이 62wt%인 경우, 정합주파수와 정합주파수에서의 반사감쇠량이 변화함을 알 수 있었다. 4mm의 경우, 52~57wt%보다 낮은 약 4GHz에서 1차 정합이 이루어지며 2차 정합주파수는 구분하기 어려움을 알 수 있었다.

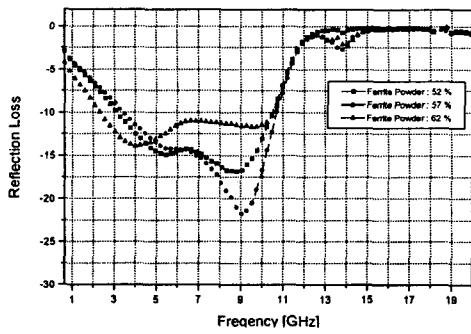


Fig. 9. Reflection Loss Patterns of 4 mm Composite Sample Using  $\text{Ni}_{0.5}\text{-Cu}_{0.1}\text{-Zn}_{0.4}\text{-Fe}_2\text{O}_4$  Heat-Treated at 1200 °C

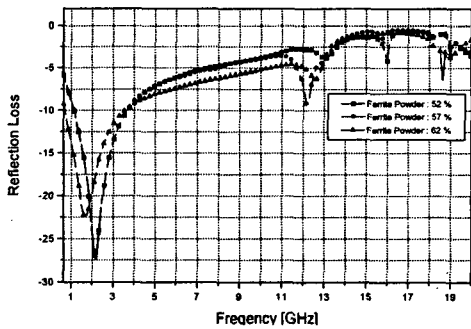


Fig. 10. Reflection Loss Patterns of 8 mm Composite Sample Using  $\text{Ni}_{0.5}\text{-Cu}_{0.1}\text{-Zn}_{0.4}\text{-Fe}_2\text{O}_4$  Heat-Treated at 1200 °C

8mm의 경우도, 정합주파수가 약 1.5 GHz로 낮아짐을 알 수 있었다. 이로부터, Ferrite-Rubber Composite에서 Ferrite가 일정량 이상으로 혼합되면 정합주파수가 낮아짐을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

전파흡수체용 Ferrite-Rubber Composite에서 사용되는 Ferrite의 함량이 전파흡수특성에 미치는 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 1200°C에서 열처리한 Ferrite 분말은 XRD 분석결과 복합형의 Spinel구조를 가짐을 알 수 있었다.

- (2) 1200°C에서 2시간 열처리하여 제조된 Ferrite 분말은 첨가물 A에 무관하게  $2.81 \times 10^{-3}$  emu의 동일한 자화값을 가짐을 알 수 있었다.
- (3) 보자력은 첨가물 A가 Mn인 경우는 9.61 Oe, Mg인 경우는 7.57 Oe, Cu인 경우는 9.45Oe로서 사용되는 원소에 따라서 달라짐을 알 수 있었다.
- (4) Ferrite 함량이 52 wt.%에서 57 wt.%로 증가하면 정합주파수의 변화는 없었으며, 반사감쇠량이 증대되어 石野 健의 보고와 일치함을 확인하였다.
- (5) Ferrite 함량이 62 wt.%의 경우, 정합주파수가 52~57 wt.%인 경우에 비하여 낮아짐을 알 수 있었으며, 이로부터 石野 健의 보고와는 달리 Ferrite함량을 조절하여 정합주파수를 제어할 수 있다는 것을 새롭게 확인 할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1]. 内藤, 他: "フェライト電波吸收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의 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)의 電波吸收特性", 信學論, マトクロ波研資, 1968.
- [5]. 末武, "ゴム狀 フェライト의 電波吸收特性", 信學論, マトクロ波研資, 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가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의 發展", pp.91~92, 1985