

## $Ni_{0.6}-Cu_{0.1}-Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$ Ferrite-Rubber Composite의 카본 첨가효과

### A Study on Electromagnetic Wave Absorbing Properties of $Ni_{0.6}-Cu_{0.1}-Zn_{0.4} \cdot Fe_2O_4$ Ferrite-Rubber Composite by Addition of Carbon

박연준\* · 사공 건\*\*  
(Youn Joon Park\* · Geon Sa-Gong\*\*)

#### Abstract

In this paper, we studied the relation between addition of carbon and electromagnetic wave absorbing properties of ferrite-rubber composite. The ratio of carbon was 7 wt.%.

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

**Key Words(중요용어) :** Ferrite, Composite, electromagnetic wave, Absorber, EMI/EMC

#### 1. 서 론

산화물 자성체의 일종인 페라이트(Ferrite)가 필립스에서 개발된 이래, 페라이트의 제조법과 응용에 대한 많은 연구가 행하여 졌다.

초창기의 페라이트 제조법은 산화물을 사용하는 건식법(분말야금법)에 의하여 대부분 수행되었지만, 현재 반응성이 뛰어나고 자기적 특성이 우수한 다른 방법의 페라이트 제조법들이 많이 보고되고 있다<sup>1,2)</sup>. 특히, 고주파 영역에 대해서 고유저항이 높은 특성을 나타내는 등방성 페라이트는 저손실을 가진다는 장점 때문에 페라이트의 고주파 영역에서의 응용에

관하여 주목을 많이 끌었으며, 관련된 많은 연구가 행하여지고 있다<sup>3,4)</sup>. 현재 페라이트를 주로 사용하고 있는 전파흡수체는, 2차대전시 적의 레이더(Radar)로부터 아군의 비행기와 잠수함 등을 보호하기 위하여 연구되었으며, 당시의 주재료는 카본이었다. 그러나, Y. Naito등이<sup>5),6),7)</sup> 페라이트의 고주파 영역에서의 투자율분산관계에 주목하여 페라이트를 전파흡수체로 사용하여본 결과, 광범위한 주파수영역에서 페라이트가 우수한 전파흡수특성을 가짐을 보고하였으며, 이외에도 강유전체의 유전율의 고주파 영역에서의 주파수분산관계를 이용한 극박형 전파흡수체에 대하여도 보고가 있었다.

그러나 카본, 강유전체 그리고 페라이트를 이용한 전파흡수체 등에 있어서, 페라이트를 사용한 전파흡수체는 7.5 GHz이하의 주파수영역에서는 특성이 카본이나 강유전체에 비하여 우수하지만, 7.5 GHz이상의 주파수 영역에서는 정합두께가 두껍고 비대역폭이 좁다는 단점이 이후에 밝혀지면서 이를 해결하기 위한 방안의 한가지로 고무-페라이트, 고무-페라이트-카본 컴포지트(composite) 등이 연구되

\*중소기업 이업종 기술연구조합

(부산시 해운대구 반여1동 Fax: 051-531-2655,

E-mail : smitra.@chollian.net)

\*\*동아대학교 전기공학과

(부산시 사하구 하단2동 Fax: 051-200-7743,

E-mail : gsagong.@mail.donga.ac.kr)

었다<sup>8),9)</sup>. 또한 등방성 페라이트를 이용한 전파흡수체는 군사용 레이더 주파수영역과 유사한 주파수대역에 있어서는 복소투자를 허수부의 현저한 감소때문에 전파흡수특성이 급격히 떨어지게 되는 것이 단점으로 지목되어, 이를 해결하기 위하여 등방성 페라이트의 정합주파수를 높이려는 연구도 많이 행하여졌다. 그리고, 이에 부응하는 재료로 페록스프라나(Ferroxplana)가 주목을 끌게 되었다<sup>10)</sup>.

스피넬형의 등방성 페라이트가 C축에 대하여 자기이방성을 가지는데 비하여, 페록스프라나는 [111]면에 대해서 자기이방성을 가지므로 페록스프라나는 등방성 페라이트에 비하여 낮은 자기이방성에너지를 가지게 된다<sup>11)</sup>. 또한 자외(Magnetostriction)가 적으므로 높은 정합주파수를 가질 수 있다는 것이 발견되었다.

그러나, 이와같은 많은 페라이트 전파흡수체의 연구에도 불구하고 페라이트를 이용한 전파흡수체의 두께는 여전히 두꺼운 실정이며, 이를 해결하기 위해서는 미시적 관점의 재료공학적 측면과 거시적 관점의 전파흡수특성의 연계 등, 새로운 시도가 필요한 실정이다. 그러므로 본 연구는 전파흡수체의 특성개선을 시도하기 위한 기초연구의 일환으로, Y. Naito등이 보고한 Ferrite-Rubber Composite에서의 카본첨가효과를 열처리 온도가 1200 °C인 Ferrite를 사용한 Composite를 대상으로 연구하여 보았다.

## 2. 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, CuO 및 ZnO 분말상을 사용하였다.

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 57wt.%로, 여기에 카본분말을 첨가하지 않은 경우와 7 wt.%를 첨가한 경우에 대하여 각각 칭량·혼합하였으며, 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.

## 3. 특성분석

제조된 Ferrite Powder와 Silicon Rubber를 혼합하여 제작한 Composite 및 여기에 카본을 7 wt.% 첨가한 Composite에 대한 특성은 Network Analyzer에서 재료정수  $\epsilon_r'$ ,  $\epsilon_r''$ ,  $\mu_r'$ ,  $\mu_r''$  와 반사감쇠량을 각각 측정함으로써 카본첨가효과를 분석하였다.

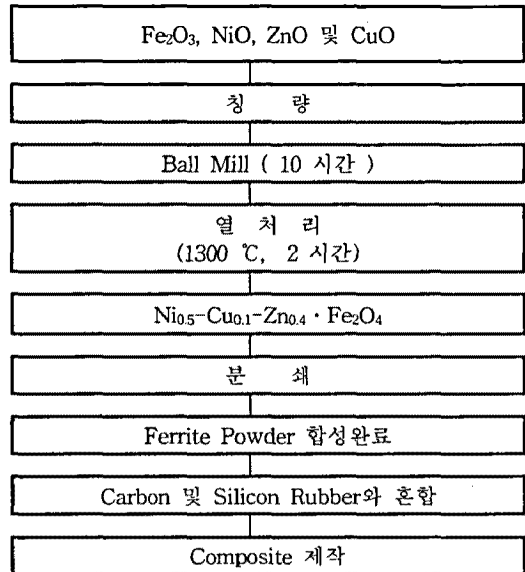


Fig. 1. Manufacturing Process of Samples

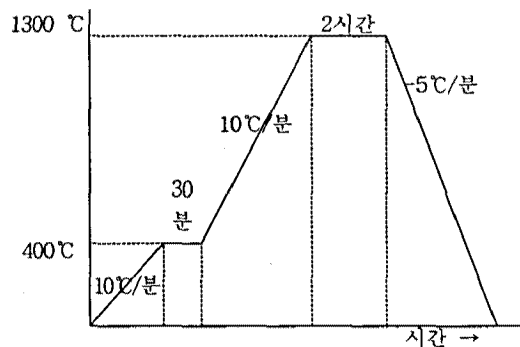


Fig. 2. Heat-Treatment Process

### 3.1 Ferrite-Rubber Composite의 재료정수측정

제조된 Ferrite Powder를 Silicon Rubber와 4:1의 비율로 혼합한 Composite의  $\epsilon_r'$ ,  $\epsilon_r''$ ,  $\mu_r'$ ,  $\mu_r''$  재료정수 측정결과를 Fig 3.에서 Fig 6.에 나타내었다. Fig 3. 및 Fig 4.에서 보듯이  $\epsilon_r'$ 은 주파수의 증가에 대하여 지수적으로 감소하고, 10~14 GHz에서 바운딩을 보인다. 그리고 유전손실을 나타내는  $\epsilon_r''$ 도 지수적으로 감소하며, 12~15 GHz범위에서 바운딩 현상이 존재함을 알 수 있다.

Fig 5. 및 Fig 6.에서 보듯이  $\mu_r'$ 은 주파수의 증가에 대하여 지수적으로 감소함을 알 수 있다. 그러나  $\mu_r''$ 은 저주파 대역에서 완화현상으로 보이는 1차 바운딩이 보이며, 12~20 GHz에서 역시 완화현상으로 보이는 2차 바운딩이 발생함을 알 수 있다. 여기에 부분적으로 존재하는 리플은 측정시의 오차에 의한 것으로 판단된다.

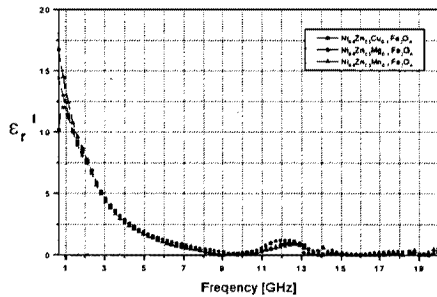


Fig. 3. Permittivity Real Part of  $Ni_{0.6} \cdot Cu_{0.1} \cdot Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$

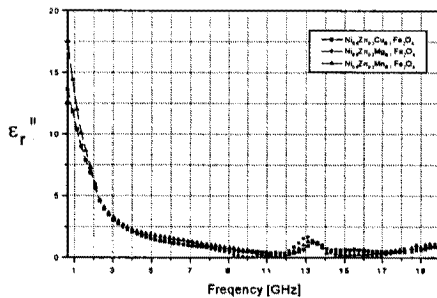


Fig. 4. Permittivity Imaginary Part of  $Ni_{0.6} \cdot A_{0.1} \cdot Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$

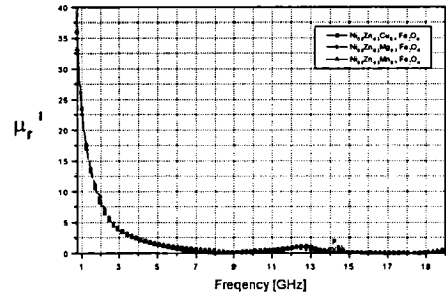


Fig. 5. Permeability Real Part of  $Ni_{0.6} \cdot A_{0.1} \cdot Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$

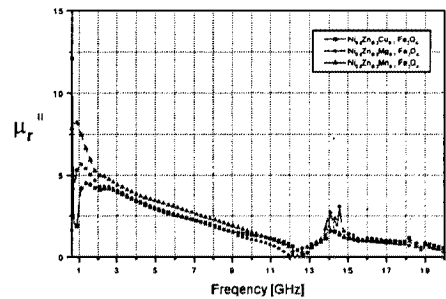


Fig. 6. Permeability Imaginary Part of  $Ni_{0.6} \cdot A_{0.1} \cdot Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$

### 3.2 Ferrite-Carbon-Rubber Composite의 재료정수측정

제조된 Ferrite Powder를 Silicon Rubber와 4:1의 비율로 혼합하고, 여기에 7 wt.%의 카본분말을 첨가한 Composite의  $\epsilon_r'$ ,  $\epsilon_r''$ ,  $\mu_r'$ ,  $\mu_r''$  재료정수 측정결과를 Fig 7.에서 Fig 10.에 나타내었다.

Fig 7. 및 Fig 8.에서 알 수 있듯이  $\epsilon_r'$ 은 지수적으로 감소하면서 카본이 첨가되지 않은 경우와는 다르게 5.5~17 GHz에서 2차례의 대단히 폭이 넓은 바운딩을 보인다. 그리고 유전손실을 나타내는  $\epsilon_r''$ 도 지수적으로 감소하며, 카본이 첨가되지 않은 경우와 달리 13~17 GHz범위에서 미약한 바운딩을 보인다. 이로부터 카본의 첨가가 컴포지트의 복소유전율  $\epsilon_r'$  및  $\epsilon_r''$ 에 막대한 영향을 미침을 확인할 수 있다.

Fig 9. 및 Fig 10.에서 보듯이  $\mu_r'$ 은 카본이 첨가

되지 않은 경우와는 달리 주파수의 증가에 대하여 2차래의 바운딩이 합쳐져 바운딩 폭이 대단히 넓어진 1차래의 바운딩만이 보인다. 그리고,  $\mu_r''$ 은 주파수의 증가에 대하여 약 1 GHz와 12~15 GHz범위에서 2차래의 명확한 바운딩이 존재함을 알 수 있다. 또한,  $\mu_r'$ 과  $\mu_r''$ 의 곡선을 겹쳐서 비교시 저주파측과 고주파측에 1, 2차의 완화현상이 존재하는 것을 알 수 있다.

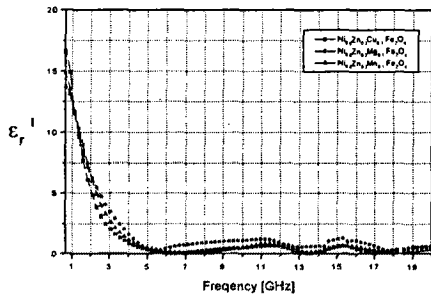


Fig. 7. Permittivity Real Part of  $Ni_{0.6} \cdot A_{0.1} \cdot Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$

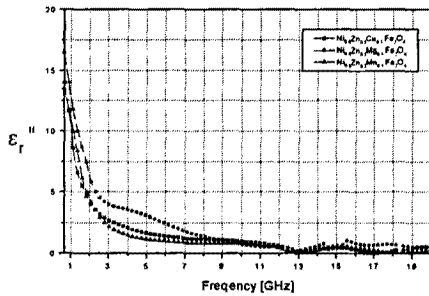


Fig. 8. Permittivity Imaginary Part of  $Ni_{0.6} \cdot A_{0.1} \cdot Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$

### 3.3 반사감쇠량 측정

Y. Naito등은 Ferrite-Rubber Composite에 카본을 첨가하면 전파흡수체의 비대역폭이 증가하며, 두께를 줄일 수 있다고 보고하였다. Fig 11. 및 Fig 12.에서 보듯이 4mm 두께의 Sample인 경우 카본을 첨가하면, 카본을 첨가하지 않은 경우에 비하여 약 3.5 GHz의 Low측과 약 17.5 GHz의 High측에 2개의 정

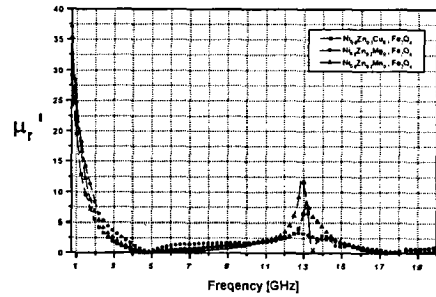


Fig. 9. Permeability Real Part of  $Ni_{0.6} \cdot A_{0.1} \cdot Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$

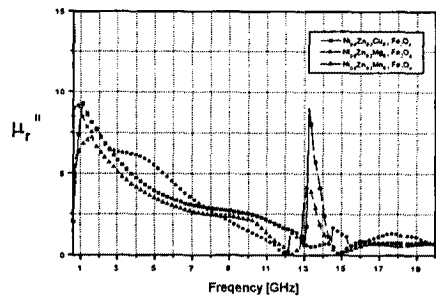


Fig. 9. Permeability Imaginary Part of  $Ni_{0.6} \cdot A_{0.1} \cdot Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$

합주파수가 뚜렷하게 형성됨을 알 수 있다. 특히, 카본 첨가시 Low 정합주파수가 약 8 GHz에서 3.5 GHz의 저주파측으로 대단히 크게 이동함을 알 수 있다. 그러나 Naito의 보고와는 달리, 카본을 첨가하지 않은 경우에 비하여 저주파측의 정함에 대한 비대역폭은 오히려 감소하는 경향을 보였다. 즉, 광대역화 경향이 카본을 첨가함으로써 오히려 없어짐을 알 수 있으며, 이로부터 광대역화의 관점에서는 카본의 첨가가 오히려 악영향을 미침을 알 수 있었다.

두께가 8 mm인 경우는 Low 정합주파수의 저주파측으로의 이동이 4 mm인 경우에 비하여 경미함을 알 수 있다. 또한 4 mm인 경우와는 달리 Low 정합주파수측의 반사감쇠량이 High 정합주파수측보다 크게 나타났으며, 약 15 GHz에서 High 정합주파수가 이루어짐을 알 수 있다. 특히 High 정합주파수측 반사감쇠량은 크지 않으며, 이로부터 8 mm인 경우 카본의 첨가는 반사감쇠량의 관점에서 큰 작용을 하지

못함을 알 수 있다.

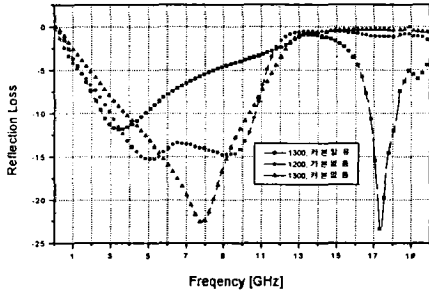


Fig. 11. Reflection Loss of  $\text{Ni}_{0.6} \cdot \text{Cu}_{0.1} \cdot \text{Zn}_{0.3} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$  4 mm

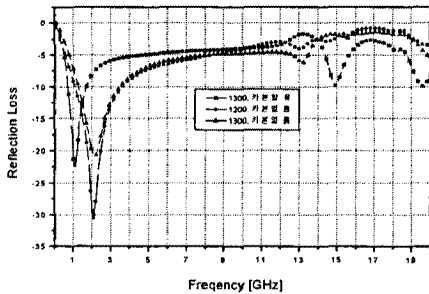


Fig. 12. Reflection Loss of  $\text{Ni}_{0.6} \cdot \text{Cu}_{0.1} \cdot \text{Zn}_{0.3} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$  8 mm

#### IV. 결 론

이상의 연구를 통하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 카본 미첨가시  $\epsilon_r'$ 은 주파수에 대하여 지수적으로 감소하고, 10~14 GHz에서 바운딩을 보였다. 그리고 유전손실을 나타내는  $\epsilon_r''$ 도 지수적으로 감소하며, 12~15 GHz범위에서 바운딩 현상이 존재함을 알 수 있었다.
- (2) 카본 미첨가시  $\mu_r'$ 은 주파수의 증가에 대하여 지수적으로 감소하였다. 그러나  $\mu_r''$ 은 저주파 대역에서 완화현상으로 보이는 1차 바운딩이 보

이며, 12~20 GHz에서 2차 바운딩이 발생하였다.

- (3) 카본첨가시  $\epsilon_r'$ 은 지수적으로 감소하면서 카본이 첨가되지 않은 경우와는 다르게 5.5~17 GHz에서 2차례의 대단히 폭이 넓은 바운딩을 보였다. 그리고 유전손실을 나타내는  $\epsilon_r''$ 도 지수적으로 감소하며, 카본이 첨가되지 않은 경우와 달리 13~17 GHz범위에서 미약한 바운딩을 보였다. 이로부터 카본의 첨가가 컴포지트의 복소유전율  $\epsilon_r'$  및  $\epsilon_r''$ 에 막대한 영향을 미침을 확인하였다.
- (4) 카본첨가시  $\mu_r'$ 은 주파수의 증가에 대하여 2차례의 바운딩이 합쳐져 바운딩 폭이 대단히 넓어진 1차례의 바운딩만을 보였다. 그리고,  $\mu_r''$ 은 약 1 GHz와 12~15 GHz범위에서 2차례의 명확한 바운딩을 보였으며, 1, 2차의 완화현상이 존재하는 것을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1]. T. Yamaguchi, "Effect of Powder Parameter on Grain Growth in Mn-Zn Ferrite ", J. Amer. Ceram. Soc., Vol.47, No.3, pp.131, 1964.
- [2]. R. Morineau and Paulus, "Chart of  $\text{PO}_2$  Versus Temperature and Oxidation Degree for Mn-Zn Ferrite in the Composition Range.", IEEE. Trans. MAG., Vol.11, No.5, pp.1312, 1975.
- [3]. 변수일, "석유증발 건조방법에 의한 Mn-Zn 페라이트 제조개발에 관한 연구", Korea. Ceram. Soc., Vol.16, No.2, pp.69, 1979.
- [4]. T. Takada and M. Kiyama, "Precipitation of Ferrites by Wet method", Proc. Lst Conf. on Ferrites, pp.969, 1970.
- [5]. 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.
- [6]. 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.
- [7]. 末武, "各種 フェライト(燒結形)の電波吸收特性", 信學論, マトクロ波研資, 1968.
- [8]. 末武, "ゴム狀 フェライトの電波吸收特性", 信學

論, マトクロ波研資, 1968.

- [9]. Suetake, "Radio Wave Absorption Characteristics of Rubber Ferrites", Joint conv. Rec. Electrical and Electronics Engineers of Japan, pp.1304, 1968.
- [10]. G. H. Jonker, H. P. Wijn, P. B. Braun, "Ferroxplana, Hexagona Ferromagnetic Iron - Oxide compounds for Very HighFrequencies", Philips. Tech. Rev., 18, pp.145~180, 1956.
- [11]. T. M. Perekalina, V. A. SIZOV, "Helicoidal Spin Ordering in the Hexagona ferrites ( $\text{Sr}_{0.8}\text{Ba}_{0.2}$ ) $_2\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ ", Soviet Phys. JETP, 25, pp.266-269, 1967.