

전파흡수체용 Rubber-Ferrite Composite에 관한 연구

김동일** · 박연준* · 박재석*

A Study on Rubber-Ferrite Composite for Electromagnetic Absorber

Dong Il Kim** · Youn Joon Park* · Jae Suck Park*

< 목 차 >

Abstract

I. 서 론

II. 전파흡수체와 광대역화

III. 실험방법

IV. 결과 및 고찰

V. 결 론

참고문헌

Abstract

To realize the RF layer of Rubber Ferrite-Air-Solid Ferrite(RF-A-F) that proposed by Y. Naito, it is tried to grasp the formulation of composition by varying the ratio of mole and element of Complex Isotropic Ferrite $Ni_x - A_{0.1} - Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$.

As a result, it was found that the characteristics of the electromagnetic wave absorber constructed by the selected formulation of composition in RF-A-F type were improved.

1. 서 론

산화물 자성체의 일종인 Ferrite가 Phillips사에서 개발된 이래 Ferrite의 응용에 대한 많은 연구가 행하여 졌다. 특히 고주파영역에서 고유저항이 높은 특성을 나타내는 등방성 Ferrite는 저손실을 가진다는 장점때문에 고주파영역의 응용에 관하여 주목을 끌고 있다.

현재 Ferrite를 주로 사용하고 있는 전파흡수체는 2차대전시 적의 Radar로부터 아군의 비행기와 잠수함을 보호하기 위하여 연구되었으며, 당시의 주 재료는 Carbon이었다. 그러나 Y. Naito등이 Ferrite의 고주파영역에서의 투자율 분산관계에 주

목하여 Ferrite를 전파흡수체로 사용하여 본 결과, 광범위한 주파수 영역에서 Ferrite가 우수한 전파흡수특성을 가짐을 보고하였으며¹⁾, 이외에도 강유전체 유전율의 고주파영역에서의 주파수 분산관계를 이용한 극박형 전파흡수체에 대하여도 보고가 있었다. 그러나 Ferrite를 이용한 전파흡수체는 7.5[GHz]이하의 주파수 영역에서는 특성이 Carbon이나 강유전체에 비하여 우수하지만, 7.5[GHz]이상의 주파수 영역에서는 정합두께가 두껍고, 비대역폭이 좁다는 단점이 이후에 밝혀져 이를 해결하기 위한 방안으로 Carbon-Ferrite-Rubber Composite가 연구되었다²⁾.

그러나 대부분의 전파흡수체는 모든 주파수영역

* 한국해양대학교 전자통신공학과

** 한국해양대학교 전파공학과

의 전파를 전부 흡수할 수 있는 것이 아니고 특정 주파수의 전파에 대해서만 그 성능을 발휘하는 것이 일반적이다. 비록 넓은 주파수범위에서 흡수능이 양호한 전파흡수체가 있다고 하더라도 그 두께가 너무 두꺼워서 실용성에는 문제가 있다.

특히, 레이더 허상방지용 전파흡수체등은 그 시공성 및 자체 중량을 고려할 때, X-Band용의 경우 두께 1.5[mm] 미만의 박층 쉬트(Thin-layered sheet) 형 및 도료형(Paint Type)이면서 광대역특성이 요망되고 있다.

이러한 광대역화의 문제를 해결하기 위하여 Y. Naito 등은 Rubber Ferrite - Air - Solid Ferrite (RF-A-F)의 다층구조에 의한 광대역화를 제안한 바 있으며, 이때 광대역화를 위한 RF층이 가져야 할 특성을 가정하였다.³⁾⁴⁾

따라서, 본 연구에서는 $Ni_x-A_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$ 복합형 등방성 Ferrite의 사용원소와 mole비를 변화시키면서 Y. Naito등이 가정한 RF층의 특성에 근접하는 Ferrite의 조성식을 파악하고자 하였으며, 근접된 조성식을 이용한 Ferrite로서 RF-A-F구조의 전파흡수체를 구성하여 단층 Solid Ferrite 전파흡수체의 특성향상을 추구하였다.

2. 전파흡수체

2.1 전파흡수체의 종류

2.1.1 이용 가능 주파수 범위에 따른 분류

2.1.1.1 N형 전파흡수체 : 일정한 주파수 범위에서만 흡수능을 가지는 전파흡수체로서, TV 허상방지, Radar 허상방지, 전자레인지 누설전파방지, 안테나 특성의 개선 및 전자파회로소자 등에 이용되고 있다.

2.1.1.2 W형 전파흡수체 : 특정 주파수 이상의 범위에서 양호한 흡수특성을 가지는 전파흡수체로서, 전파암실 등에 이용되고 있다.

2.1.2 사용 재료에 의한 분류

용용 대상	사용 재료에 따른 전파흡수체
TV 허상대책용	· Solid Type 페라이트 전파흡수체 · 콘크리트 페라이트 복합 흡수체 · 고무 페라이트계 전파흡수체
RADAR 허상대책용	· 고무, 탄소계 전파흡수체 · 금속섬유, 페라이트 다층 전파흡수체 · 도료계, FRP계 전파흡수체
전파암실용	· Solid Type 페라이트 전파흡수체 · 페라이트, 탄소계 다층형 전파흡수체 · 탄소계 피라밋형 전파흡수체

2.2 전파흡수 이론

두께 d의 전파흡수체를 판상으로 놓은 경우, 평면파의 수직입사에 대한 파동임피던스 Z는 진공중의 평면파 파동임피던스로 규격화하면 식(1)과 같이 주어진다.

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

여기서, λ : 입사한 평면파의 진공중의 파장

ϵ_r : 비유전율 (ϵ/ϵ_0)

μ_r : 비투자율 (μ/μ_0)

이며, 반사계수 S와의 관계는

$$S = \frac{z-1}{z+1} \quad (2)$$

이고, 완전한 전파흡수체로 되기 위한 조건은 S=0, 즉 z가 1이 되는 것이며, 이 경우 전파흡수체의 완전정합 조건식은 다음과 같다.

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

즉, 전파흡수체는 식(3)을 만족하도록 설계하여야 한다.

2.3 전파흡수체 광대역화

전파흡수체는 Reflection Loss[dB]와 20[dB]이상의 감쇠를 일으키는 대역폭으로서 그 특성을 평가한다. 일반적으로 전파흡수체는 Reflection Loss가 크면서 대역폭이 넓은 것이 요망된다. Y. Naito 등은 전파흡수체의 광대역화를 위하여 Rubber Ferrite-Air(Dielectrics)-Solid Ferrite의 RF-A-F 방식으로 전파흡수체의 광대역화를 추구하였으며, 이때 광대역화를 달성하기 위하여 다음의 조건을 가정하였다.

표 1. 단층 소결 Ferrite 전파흡수체의 특성향상 및 광대역화를 위한 가정

	K	f_r [MHz]	ϵ
소결 Ferrite	2500	2.5	14
Rubber Ferrite	10.5	575	11-j1

여기서, K는 초투자율, f_r 은 원화주파수, ϵ 은 유전율이며 K 및 f_r 과 복소투자율과의 관계를 나타내는 Y. Naito 주파수 분산식은 다음과 같다.

$$\mu_r = 1 + \frac{K}{1 + j \frac{f}{f_r}} \quad (4)$$

Y. Naito 등은 위에서 가정된 재료정수값을 사용하여 RF-A-F구조에 대한 전파흡수특성을 Rubber Ferrite와 소결 Ferrite의 두께를 고정시키고 Air 층의 두께를 변화시키면서, Reflection Loss를 시뮬레이션한 결과, 소결 Ferrite만을 사용한 경우에 대하여 비약적인 전파흡수특성의 향상과 광대역화를 달성할 수 있었다. 그러나, 실측결과는 실험에 사용한 Ferrite의 특성이 광대역화를 위하여 시뮬레이션시 가정한 특성을 가지지 못함으로 인하여 양호한 특성을 얻지는 못하였다.

그러므로, 본 연구에서는 Y. Naito 등이 전파흡수체의 특성향상 및 광대역화를 위하여 제안한 RF-A-F구조의 RF층에 근접하는 특성을 나타낼 수 있는 Ferrite의 조성식을 파악하고자 하였다.

또한 파악된 Ferrite의 조성식을 이용하여 RF층을 형성한 RF-A-F구조에 대한 Reflection Loss 및 대역폭을 단층 Solid Ferrite의 특성과 비교함으로써 전파흡수특성의 향상을 추구하고자 하였다.

3. 실험방법

3.1 Ferrite합성 및 Composite 제작

본 연구에서 복합형 등방성 Ferrite는 건식법으로 제작하였으며⁵⁾, 출발원료로는 시약급 Fe_2O_3 , NiO, ZnO, MgO, CuO 및 $MnCO_3 \cdot 0.5H_2O$ Powder를 사용하였다.

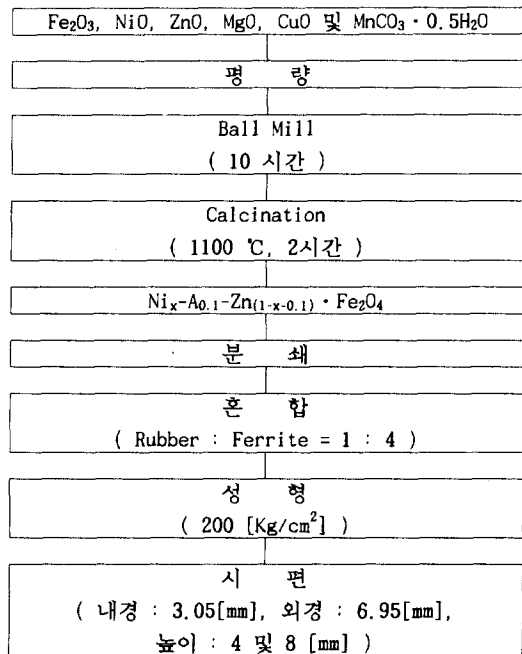


그림 1. 시편 제조 과정

각 시료의 조성비는 표 2와 같으며, 조성에 따라 시료를 평량·혼합한 후 10시간 동안 Ball Mill하고, 이를 알루미늄질 크루시블에 담아 그림 2와 같은 온도조건으로 Calcination하였으며, Calcination후 약간의 응집된 덩어리는 유발에서 약하게 분쇄한

μ_r' , μ_r'' 의 특성이 표 1에서 가정된 값에 근접 하면서 ϵ_r' , ϵ_r'' 이 가정된 값에 근접하는 시편의 특성곡선을 그림 5, 6에 나타내었다. 이로부터 표 1.에서 가정한 고무 Ferrite에 근접하는 시편은 Cu54a($\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.4}\text{Cu}_{0.1} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$)임을 알 수 있었다.

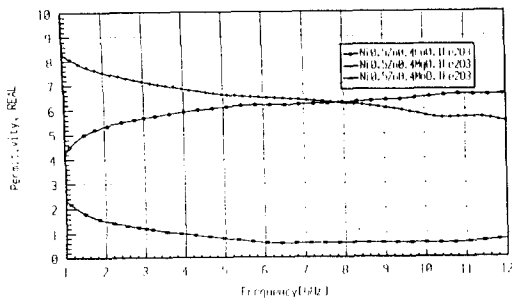


그림 5. 표 1의 ϵ_r' 에 근접하는 실측값

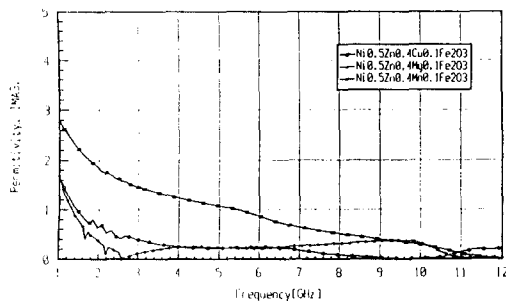


그림 6. 표 1의 ϵ_r'' 에 근접하는 실측값

4.2 RF-A-F Reflection Loss

그림 7은 파악된 Cu54a를 이용하여 4[mm], 5[mm], 8[mm] 및 10[mm]의 시편을 만든 후 4[mm] 단층 소결 Ferrite와 Reflection Loss를 측정하여 비교한 것이다.

여기서 알 수 있듯이, 근접조성식으로 파악된 Cu54a Ferrite를 이용한 RF-A-F구조는 단층 소결 Ferrite에 비하여 Reflection Loss 특성의 향상과 광대역화가 이루어짐을 알 수 있다.

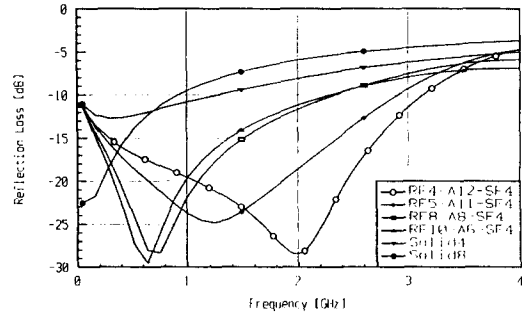


그림 7. 근접조성식을 이용한 RF-A-F구조의 Reflection Loss [dB]

4.3 단층 Rubber-Ferrite Composite의 Reflection Loss

표 2의 각 조성으로 얻어진 Ferrite를 이용하여 Rubber Ferrite를 제작한 후, Reflection Loss를 측정하였다.

각 원소에 대하여 x를 0.3에서 0.6까지 변화시킨 결과, Mn54a4 및 Mn63a4 등 Mn이 복합된 단층 Rubber Ferrite의 경우, X-Band에서 특성이 우수하게 나타났으며, Cu54a4 > Mg54a4 > Mg63a4 > Cu45a4 순으로 X-Band에서 양호하게 사용할 수 있는 전파흡수체 Composite용 Ferrite의 조성을 발견할 수 있었다. 대부분의 Reflection Loss는 x가 0.4에서 0.6사이가 좋은 특성을 나타내었으며, x가 0.3부근인 경우에는 특성이 좋지 못하였다.

그림 8, 9 및 10은 A가 Cu, Mn 및 Mg인 경우 조성의 변화에 대한 Rubber-Ferrite Composite의 Reflection Loss를 측정된 것이다.

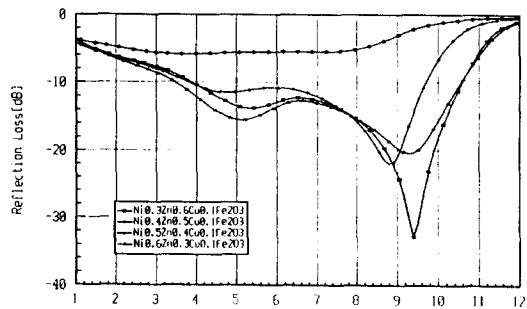


그림 8. $\text{Ni}_x\text{-Cu}_{0.1}\text{-Zn}_{(1-x-0.1)} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ 의 Reflection Loss

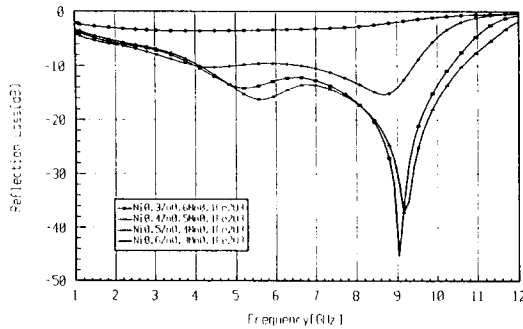


그림 9. $Ni_x-Mn_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$ 의 Reflection Loss

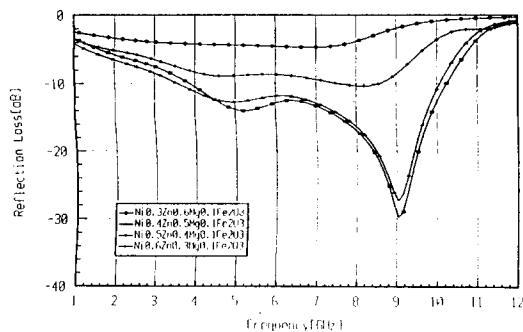


그림 10. $Ni_x-Mg_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$ 의 Reflection Loss

5. 결론

이상의 연구를 통하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) 단층 소결 Ferrite의 Reflection Loss 및 대역폭 향상을 위하여 Y. Naito등이 가정한 RF-A-F구조의 Rubber Ferrite의 특성에 근접하는 Ferrite를 $Ni_x-A_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$ 복합형 등방성 Ferrite로서 알아본 결과, $Ni_{0.5}Zn_{0.4}Cu_{0.1} \cdot Fe_2O_4$ 가 근접함을 파악할 수 있었다.

(2) 파악된 근접 조성 $Ni_{0.5}Zn_{0.4}Cu_{0.1} \cdot Fe_2O_4$ Ferrite를 이용하여 RF-A-F구조를 형성하고 전파흡수특성을 측정된 결과, 단층 소결 Ferrite에 비하여 Reflection Loss 및 대역폭이 향상됨을 알 수 있었다.

(3) $Ni_x-A_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$ 복합형 등방성 Ferrite의 적정 조성식은 A가 Cu, Mn 및 Mg를 사용하면서 x를 0.3에서 0.6까지 변화시켜 본 결과, x가 0.4에서 0.6의 범위에서 전파흡수특성이 양호함을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- 1) 内藤, 他 : “フェライト吸収壁の電波吸収特性”, 日本電子通信學會 論文誌 B, 52~B, 1, 26~30(1969-1)
- 2) 김동일, 정세모 외, “카아본-페라이트 전파흡수체의 특성”, 대한전자공학회 논문지, 제26권 제1호, pp. 92~97(1989. 11).
- 3) 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(1991, 10)
- 4) 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(1991, 4)
- 5) 김동일, “전자레인지 및 RAM용 MgMnZnFe₂O₄자성 재료 개발”, CONY산업주식회사 위탁 연구과제 최종보고서(1991.11).
- 6) H. Brian Sequeria, “Extracting μ_r and ϵ_r of Solid from One - Port Phasor Network Analyzer Measurements”, Martin Marietta Laboratories(1989).