

옷을 지지재로 사용한 페인트형 MnZn와 NiZn 페라이트 전자파 흡수체 특성의 비교연구

김동일*, 최정현**, 최동한**, 정재현**, 김기만**

A Study on Comparison of Painted Type MnZn and NiZn Ferrite EM Absorber's Characteristics Using Natural Lacquer as a Binder

Dong Il Kim, Dong Han Choi, Ki Man Kim, Jeong Hyun Choi, Jae Hyun Jeong

Abstract : A silicone rubber and a chloride polyethylene(CPE) have been generally used for the development of high-performance composite ElectroMagnetic(EM) wave absorbers. In this study, the EM wave absorption abilities for natural lacquer which is newly suggested in this study as a binder for composite EM wave absorbers were investigated to develop an improved EM wave absorbers. In addition, MnZn and NiZn ferrite composite EM wave absorbers mixed with the natural lacquer were prepared and their absorption ability was also investigated. MnZn and NiZn ferrite composite EM wave absorbers which employ the natural lacquer as a binder showed an improved EM wave absorption characteristics in comparison with the conventional binder such as a silicone rubber and a chloride polyethylene(CPE). The matching frequency and the absorption ability of EM wave absorbers mixed with natural lacquer can be controlled by the change of the absorber's thickness.

Key words : Composite electromagnetic wave absorber, Natural lacquer, Silicone rubber, CPE, MnZn and NiZn ferrite.

1. 서 론

다양한 전자기기의 개발이 현대인이 매우 편리한 생활을 누리는데 크게 기여하고 있음은 누구나 인지하고 있는 사실이다. 그러나 이와 같은 문명의 혜택은 과거에는 예상치 못한 새로운 문제를 제시하고 있다. 예를 들어 전자 기기에서 발생하는 전자파로 인한 기기 상호간의 전자파 간섭에

의한 컴퓨터의 오동작, 항해하는 선박에서 만들어 내는 전자파가 해상의 교량 등에 부딪혀 생기는 허상으로 인한 사고 위험의 증가, 그리고 최근에 휴대전화의 사용이 급증하면서 많은 사람들의 관심을 모으고 있는 휴대전화 사용으로 인한 인체의 유해성 여부 논란 등을 들 수 있다¹⁾²⁾.

전자파 흡수체는 전파를 흡수하여 열에너지로 변환하는 특성을 갖는 재료를 이용하여 불필요한

* 한국해양대학교 전파공학과

** 한국해양대학교 대학원

전자파를 흡수하여 반사파가 생기지 않도록 하는 재료이다. 전파흡수 재료를 크게 나누면 도전손실 재료, 유전손실재료, 자성손실재료로 분류할 수 있고 이 중에서 자성손실재료는 일반적으로 산화물 자성재료인 페라이트(Ferrite)가 사용되고 있다[3].

페라이트 전자파 흡수체는 원하는 형상을 유지하기 위해 지지재(binder)와 함께 가공되고 있으며 지지재로 고무, CPE (Chloride polyethylene), Silicone rubber 등이 널리 사용되고 있다. 그러나 최근 본 연구실의 연구를 통하여 우리나라에서 전통공예품의 장식에 유약으로 사용되어 오던 옷이 전자파 흡수능을 갖는다는 사실이 밝혀졌다. 따라서 본 연구에서는 지금까지 페라이트 전자파 흡수체에 대표적인 지지재로 사용되어 오던 CPE, 그리고 Silicone rubber와 본 연구에서 새롭게 제안하는 옷이 갖고있는 전자파 흡수능을 비교하고 또한 이들과 MnZn와 NiZn 페라이트를 혼합한 전자파 흡수체를 제작하여 그 특성을 조사하고 옷을 지지재로 이용한 전파흡수체의 두께에 따른 흡수능을 조사하였다. 특히, 본 연구에서는 복합형 전자파 흡수체에 요구되는 광대역 특성을 갖는 전자파 흡수체의 개발을 위한 대안으로서 옷을 지지재로 하는 MnZn와 NiZn 페라이트 전자파 흡수체의 가능성을 제시하고자 한다.

2. 옷의 특징

옷은 수 천년 동안 동양에서 전해져 내려오는 도료로서 미술공예품이나 칠기뿐만 아니라 식기, 가구, 장호 등에 사용되고 있다. 이 천연도료의 도장법은 효소반응으로 경화되기 때문에 일반도료와는 다른 경화 메카니즘을 가지고 있다. 이러한 효소의 작용 때문에 도막의 건조 시 온도와 습도의 조건이 중요하다. 옷의 효소는 0 ℃이하의 저온에서는 반응이 늦어지고 50 ℃이상의 고온이 되면 활성을 잃어버리는 특징을 가지고 있다. 그러므로 도막의 건조 시 적절한 온도와 습도를 유지하는 것이 무엇보다도 중요하다^[8].

전통적으로 사용되고 있는 옷은 여러 가지 구성 성분과 특징을 가지고 있다. 이미 알려진 바와 같이 옷의 구성 성분은 테이블 1에서처럼 우리시율이

60~65 %의 함유량을 가지고 있으며 그 외에도 고무질(다당류), 함유질소(단당백), 락카아제(효소), 그리고 물이 각각 소량 함유되어있다[8]. 옷의 결합구조는 벤젠구조를 가지고 원적외선이 방출된다고 보고되고 있다.

Table 1 The Composition of Oriental Natural Lacquer

Composition	Concentration(%)	MW(g/mole)
Urushiol	60~65	320
Gummy substance	5~7	22000
Nitrogen compounds	2~3	8000
Laccase	0.2~0.9	120000
Water	25~30	18

3. 전자파 흡수능 측정

전자파 흡수능 측정을 위해 펀치를 이용하여 내경 3.05 mm, 외경 6.95 mm의 토로이드형상을 갖게 하였다. 그림 1과 2는 본 실험에서 반사계수와 투자율 측정을 위해 사용한 Network Analyzer와 Sample Holder의 실제 사진과 도면을 나타낸 것이다.

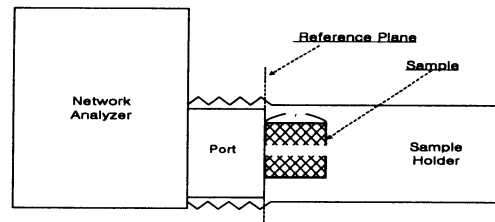
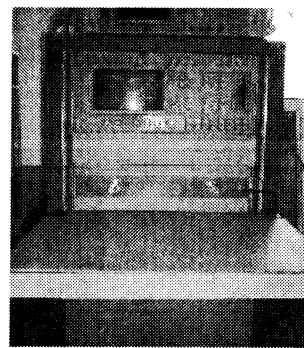


Fig. 1 Reflection coefficient measurement system of sample.

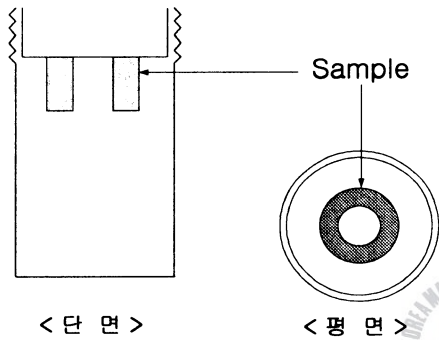
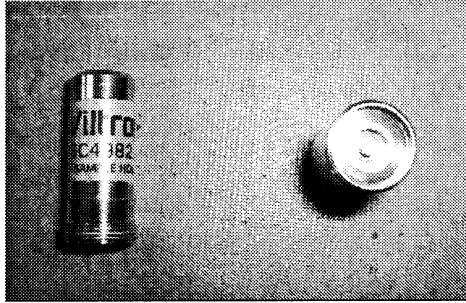


Fig. 2 Sample holder's structure in which a sample is inserted.

샘플(Sample)들의 전자파 흡수능을 측정하기 위해서 그림 2에 나타낸 샘플 홀더(Sample Holder)에 순수 지지재의 샘플을 삽입하고 그림 1의 Network Analyzer에 밀착 고정시킨 다음 One-Port Method 방법으로 반사계수를 측정하였다.

각 샘플의 재료정수를 측정하기 위해 그림 2에서와 같이 샘플의 길이가 $l=3$ mm, $2l=6$ mm인 샘플을 샘플 홀더에 삽입한 후, 각각의 반사계수 (S_{3mm} , S_{6mm})를 측정한다. 측정된 반사계수를 식 (1)과 (2)에 대입하여 재료정수(비유전율, 비투자율)를 계산한다^{[6]-[7]}. 재료정수는 측정된 반사계수 데이터를 Matlab 프로그램으로 계산하였다.

$$\epsilon_r = -j \frac{C}{2\pi f} \frac{\frac{1}{l} \tanh^{-1} \sqrt{\frac{2Z_1 - Z_2}{Z_2}}}{Z_1 \sqrt{\frac{Z_2}{2Z_1 - Z_2}}} \quad (1)$$

$$\mu_r = -j \frac{C}{2\pi f} \frac{1}{l} Z_1 \sqrt{\frac{Z_2}{2Z_1 - Z_2}} \tanh^{-1} \sqrt{\frac{2Z_1 - Z_2}{Z_2}} \quad (2)$$

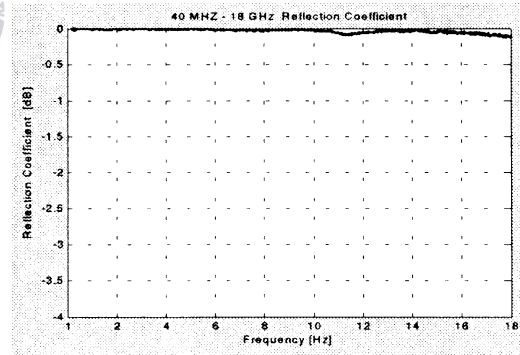
여기서,

$$Z_1 = Z(l) = \frac{1 + S_{3mm}}{1 - S_{3mm}}$$

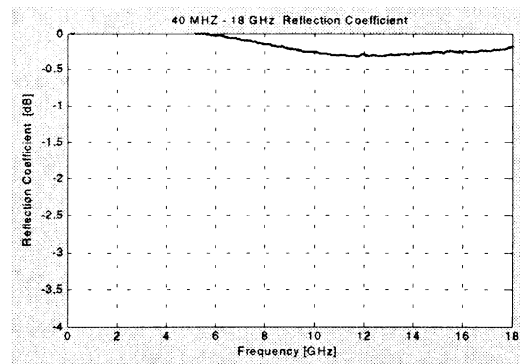
$$Z_2 = Z(2l) = \frac{1 + S_{6mm}}{1 - S_{6mm}}$$

4. 측정결과

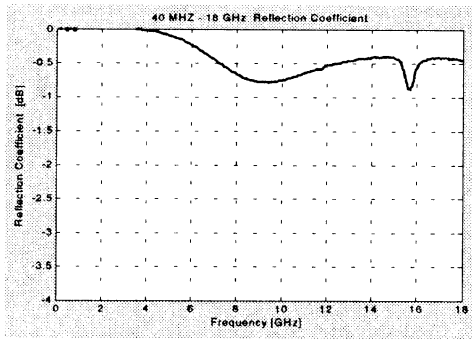
지지재 자체가 갖고 있는 전자파 흡수능을 조사하기 위하여 페라이트가 혼합되지 않은 각각 5 mm의 CPE와 실리콘 고무, 그리고 옷의 전자파 흡수능을 측정하고 이를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에 나타낸 바와 같이 CPE는 흡수능이 거의 없고 실리콘 고무 그리고 옷은 10 GHz 부근에서 각각 약 0.3 dB와 0.8 dB의 전자파 흡수능을 나타내고 있다.



(a) Purity CPE's reflection coefficient



(b) Purity Silicone's reflection coefficient

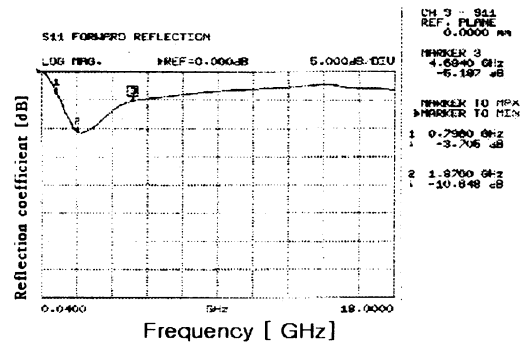


(c) Purity Natural Lacquer's reflection coefficient

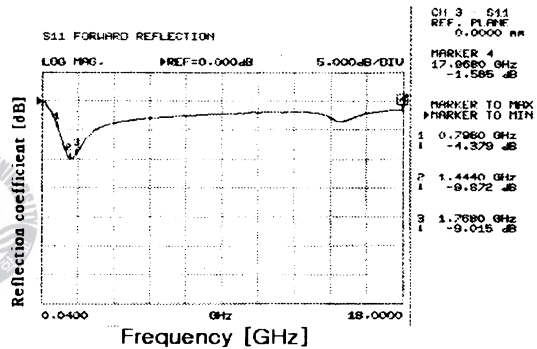
Fig. 3 Reflection coefficient as a function of frequency for (a) CPE, (b) Silicone rubber, and (c) natural lacquer with a thickness of 5 mm.

그림 4는 지지재를 각각 CPE, Silicone 그리고 옷으로 하고 여기에 MnZn 페라이트를 혼합하여 3 mm의 두께를 갖는 전자파 흡수체를 제작한 후 이들의 전자파 흡수능을 측정한 그림이다. 일반적으로 광대역 특성은 전파흡수체로서의 성능을 나타내는 주요 인자로 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 그림 4에 나타낸 바와 같이 5 dB 이상의 전파흡수능을 나타내는 주파수는 약 (a) 1 GHz ~ 4.7 GHz, (b) 1 GHz ~ 3GHz, (c) 2 GHz ~ 12 GHz로 CPE와 실리콘 고무를 사용한 MnZn 페라이트 전파흡수체에 비하여 옷을 지지재로 사용한 전파흡수체가 광대역에서 우수한 전자파 흡수능을 나타냄을 알 수 있다. 또한 각각의 정합 주파수인 (a) 1.8 GHz에서 -10.6 dB, (b) 1.4 GHz에서 -9.8 dB, (c) 10.5 GHz에서 -21.7 dB로 옷을 지지재로 이용한 MnZn 페라이트 전파흡수체가 가장 우수한 전자파흡수능을 나타내고 있다.

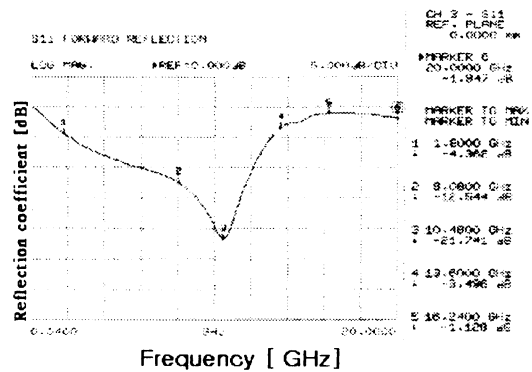
페라이트를 자성손실재로 하는 전자파 흡수체의 흡수능은 자성손실 $\tan\delta = (\mu''/\mu')$ 과 매우 밀접한 관계가 있으며 자성손실재는 $\tan\delta > 1$ 일 때 즉 투자율의 허수부가 실수부 보다 큰 영역에서 우수한 흡수능을 나타낸다고 보고되고 있다^[5]. 따라서 그림 5에는 주파수를 함수로 하는 투자율을 조사하여 나타내었다. 그림 5에서 $\tan\delta = 1$ 을 나타내는 주파수가 1 GHz 부근임을 볼 때 본 연구에서 제작한 시편 모두 이 사실과 잘 일치하고 있음을 알



(a) Reflection coefficient of mixed MnZn ferrite absorber with CPE.



(b) Reflection coefficient of mixed MnZn ferrite absorber with silicone rubber.



(c) Reflection coefficient of mixed MnZn ferrite absorber with natural lacquer.

Fig. 4 Reflectivity as a function of frequency for a MnZn ferrite electromagnetic wave absorber with a thickness of 3 mm mixed with (a) CPE, (b) Silicone rubber, and (c) natural lacquer.

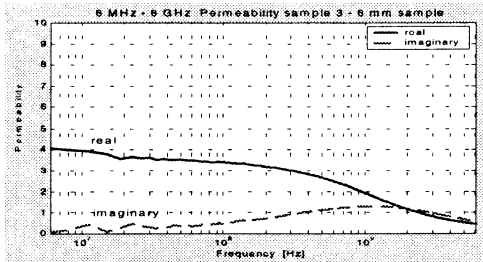
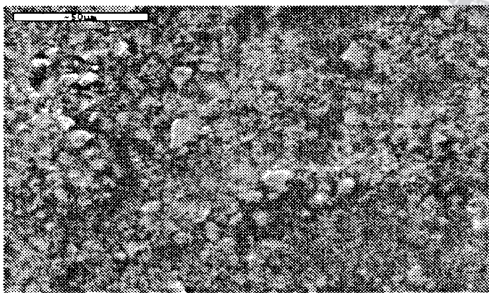


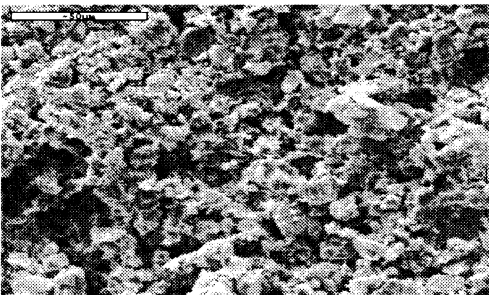
Fig. 5 Complex permeability as a function of frequency for samples mixed with natural lacquer



(a) MnZn ferrite mixed with CPE.



(b) MnZn ferrite mixed with silicone rubber.



(c) MnZn ferrite mixed with natural lacquer.

Fig. 6 Surface photographs of specimens based on (a) CPE, (b) silicone rubber, and (c) natural lacquer, respectively.

수 있다. 그림 6은 CPE, 실리콘 고무, 옷을 각각 지지재로 하는 MnZn 페라이트 전자파 흡수체의 표면을 전자현미경(SEM)을 통하여 관찰한 사진으로 이들 모든 지지재가 공극(空隙)을 만들지 않고 MnZn 페라이트와 잘 혼합되어 있음을 보여주고 있다.

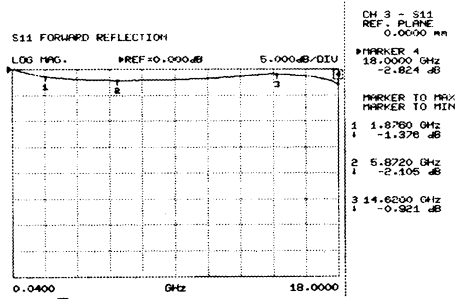
한편 페라이트 전자파 흡수체의 전자파 흡수능은 표면의 구조에도 깊은 관계가 있으며 같은 페라이트 조성을 갖는 시편일지라도 표면구조의 변화에 의해 정합주파수가 변화하는 것으로 보고되고 있다^[3]. 그림 6의 SEM 사진을 통하여 알 수 있는 바와 같이 옷을 지지재로 한 시편이 CPE와 실리콘 고무를 지지재로 한 시편보다 거친 표면구조를 갖고 있다는 것을 알 수 있다.

이와 같은 사실은 전자파 흡수체에 요구되는 중요한 특성 중에 하나인 광대역 특성을 갖는 전자파 흡수체의 개발에 있어 지금까지는 주로 페라이트의 조성에 관한 연구를 중심으로 이루어져 왔으나 다양한 지지재의 개발을 통한 광대역 전자파 흡수체의 개발이라는 측면에서 매우 중요한 결과라 여겨진다.

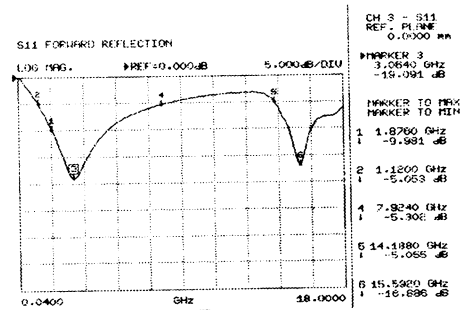
5. 옷을 혼합한 MnZn와 NiZn 페라이트 흡수체의 두께에 따른 흡수능 비교

앞의 연구에서 우리는 기존의 지지재로 주로 사용되어 오던 실리콘 고무나 CPE를 지지재로 사용한 전자파흡수체보다 옷을 지지재로 사용한 전자파흡수체의 전자파흡수능이 더 우수하다는 것을 확인하였다. 따라서 그림 7과 그림 8에 옷을 지지재로 사용한 MnZn와 NiZn 전자파흡수체 샘플의 두께를 1mm~6mm 까지 범위로 6 종류의 전자파 흡수체를 제작하고 흡수능을 조사하여 Table 2에 나타내었다.

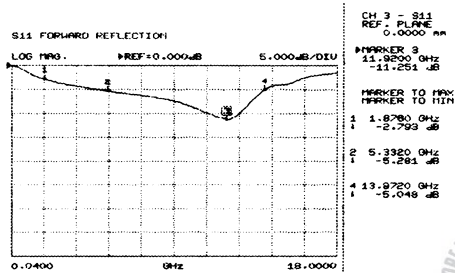
그림에서 보는 것과 같이 두께가 증가할수록 흡수능은 향상되고 정합주파수는 이동하며 정합주파수에서의 MnZn의 흡수능이 NiZn보다 우수함을 알 수 있다. 따라서, 자성손실체인 MnZn와 NiZn 페라이트의 조성변화나 첨가제의 변화 없이도 바인더로 옷을 사용하여 흡수체의 두께를 제어함으로써 정합주파수와 전자파흡수능을 제어할 수 있다.



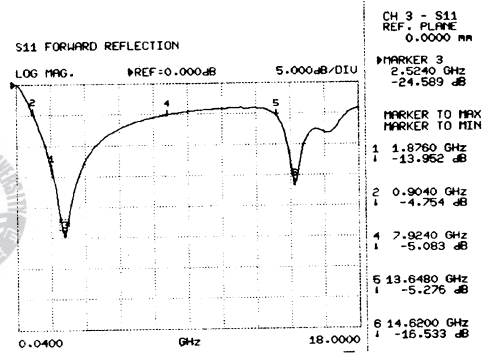
(a) MnZn ferrite Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 1 mm



(e) MnZn ferrite Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 5 mm

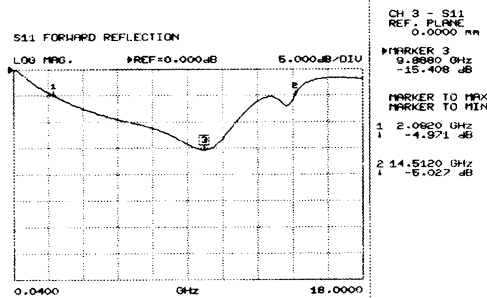


(b) MnZn ferrite Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 2 mm

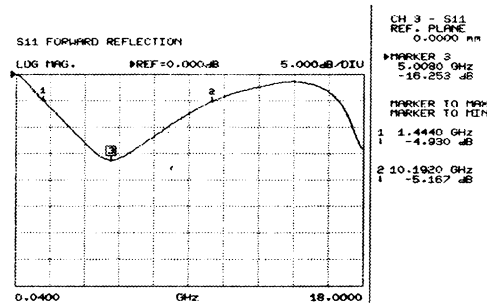


(f) MnZn ferrite Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 6 mm

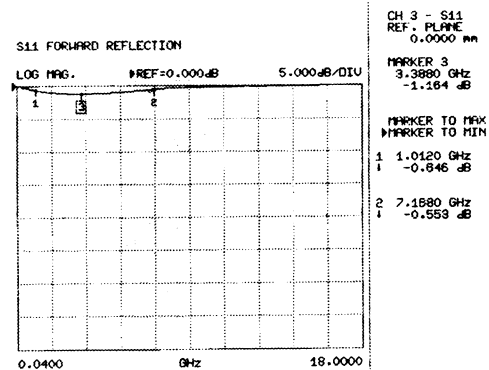
Fig. 7 Reflection coefficient of MnZn ferrite electromagnetic absorbers mixed natural lacquer with various thickness



(c) MnZn ferrite Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 3 mm

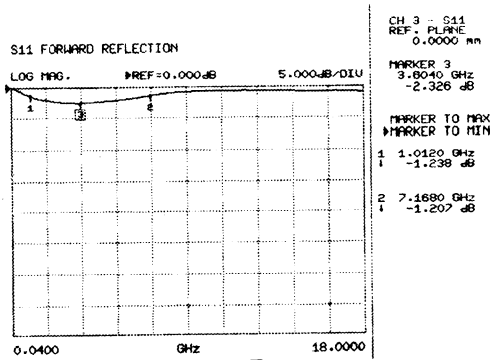


(d) MnZn ferrite Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 4 mm

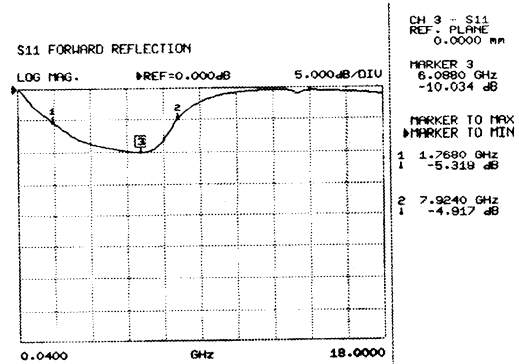


(a) NiZn ferrite Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 1 mm

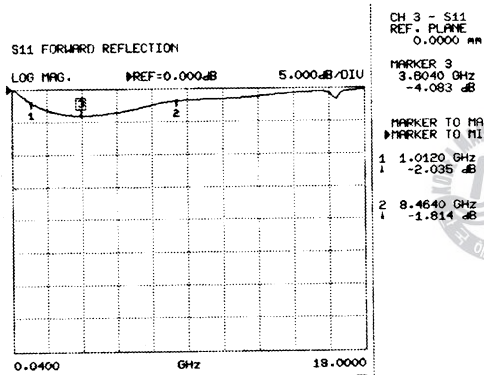
옷을 지지재로 사용한 페인트형 MnZn와 NiZn 페라이트 전자파 흡수체 특성의 비교연구



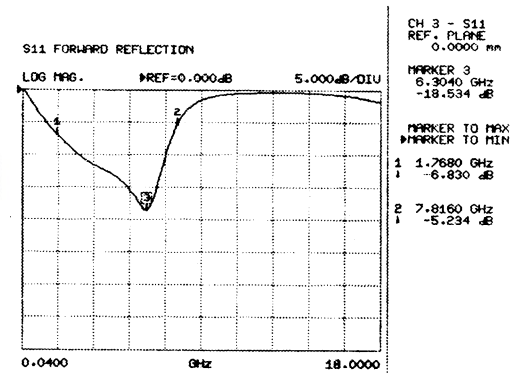
(b) NiZn ferrite Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 2 mm



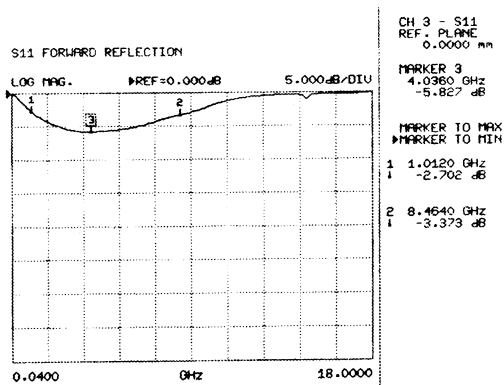
(e) NiZn ferrite Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 5 mm



(c) NiZn ferrite Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 3 mm



(f) NiZn ferrite Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 6 mm



(d) NiZn ferrite Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 4 mm

Fig. 8 Reflection coefficient of NiZn ferrite electromagnetic absorbers with various thickness mixed natural lacquer

Table 2 두께에 따른 MnZn와 NiZn의 흡수능 비교

	MnZn + 옷		NiZn + 옷	
	정합주파수 [GHz]	흡수능 [dB]	정합주파수 [GHz]	흡수능 [dB]
1mm	18.0	2.8	3.3	1.2
2mm	11.9	11.2	3.6	2.3
3mm	9.6	12.9	3.6	4.1
4mm	4.7	14.7	4.0	5.8
5mm	3.1	19.1	6.1	10.0
6mm	2.5	24.6	6.3	18.5

6. 결 론

본 연구는 고성능 광대역 복합형 전자파 흡수체를 개발하기 위해 지금까지 지지재로 주로 사용되어 오던 실리콘 고무 및 CPE 그리고 본 연구에서 새롭게 제안하는 전통 옷칠에서 사용되어 오던 옷에 대한 전자파 흡수능을 조사하였다. 지지재 자체가 갖고 있는 전자파 흡수능은 실리콘 고무나 CPE에 비해 옷이 더 우수하다는 것을 알았다. 또한 이들 지지재와 MnZn와 NiZn 페라이트를 혼합한 전자파 흡수체를 제작하여 이들의 전자파 흡수능을 조사한 결과 옷을 지지재로 한 MnZn와 NiZn 페라이트 복합형 전자파 흡수체의 전자파 흡수능이 CPE와 실리콘 고무를 지지재로한 전자파 흡수체에 비하여 우수한 전파흡수특성 갖는다는 것을 알았고 옷의 두께 변화에 따라 정합주파수와 전파흡수능이 변하며 MnZn의 흡수능이 NiZn보다 우수함을 알았다.

향후과제로는 복합형 전자파 흡수체의 광대역화를 위해 페라이트 조성의 변화에 의한 연구뿐만 아니라 옷의 조성변화에 따른 다양한 연구를 통하여 광대역 전파흡수체를 개발하고자한다.

후 기

이 논문은 2004년도 학술진흥재단(KRF-2003-005-D0005)의 지원에 의한 연구 결과임

참고문헌

- [1] 山下博司, 小野信幸, 橋本康雄, 石野乾, 井上光雄, 秋田慶一, "テレビゴースト防止を目的とした建材用吸収壁", 日本電子通信學會論文誌, Vol. J16-B, No. 8. pp. 729~736, 1978.
- [2] 橋本康雄, 石野乾, 栗原弘, "TV ゴースト防止用フェライト電波吸収體", EMCJ88-6, pp. 37-44, 1988.
- [3] Y. Kotsuka, "Ferrite Electromagnetic Wave Absorber", 日本應用磁氣學會誌, Vol. 21, No. 10, pp. 1159-1166, 1997.
- [4] 홍진후, 박미영, 김현경, 김양배, 최형기 "자의선 경화형 아크릴 모노머에 의해 개질된 옷칠의 물성" J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 11, No 6, October 2000, 693-696
- [5] 김동일, 박연준, 김하근, 사공 건, "복합형 등방성 Ferrite-Rubber Composite의 전자파 흡수 특성에 관한 연구", 한국해양정보통신학회논문지, 제3권 제1호, pp. 35~42, 1999.
- [6] 박연준, 김동일, "Ni-Mn-Zn Spinel Ferrite-Rubber Composite의 전파흡수특성에 관한 연구", 한국항해학회지, 제23권 제1호, pp.15~22, 1999.
- [7] Dong Il Kim, Jae Young Bae, June Young Son, Young Soo Won, Jae Man Song, "A Study on Fabrication and Evaluation of Ferrite Electromagnetic Wave Absorber", Journal of The Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol. 1, No.1, pp. 95-99, 2001.
- [8] Y. Hashimoto, "The application of ferrite as an absorber", Jap. J. Appl. Phys., Vol. 6, No. 3, pp. 175-177, 1983.