

옷을 지지재로 사용한 복합형 전자파 흡수체의 흡수 특성에 관한 연구

최동한

한국해양대학교 전파공학과

E-mail : livedong@hanmail.net

A Study on Composite EM Absorber's Absorption Characteristics Using Natural Lacquer by Binder

Dong Han Choi

Department of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University

요 약

고성능 복합형 전자파 흡수체를 개발하기 위해 종래에는 지지재로서 주로 Silicone 고무나 CPE가 사용되어 왔다. 본 연구에서는 전통 공예에서 사용되어 오던 옷에 대한 전자파 흡수능을 조사하고 이를 지지재로 사용하여 MnZn 페라이트와 배합하여 전자파 흡수체를 제작한 경우의 전자파 흡수능을 조사하고, 흡수체의 두께에 따른 흡수능을 조사하였다. 옷을 지지재로 한 MnZn 페라이트 복합형 전자파 흡수체는 CPE나 Silicone 고무를 지지재로 한 전자파 흡수체에 비하여 우수한 전파흡수특성 나타내었으며, 옷의 두께 변화에 따라 정합주파수와 전파흡수능이 변화함을 알았다.

Abstract

Generally, a silicone rubber and a chloride polyethylene(CPE) have been used for the development of high-performance composite EM(ElectroMagnetic) wave absorber. 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 absorber were investigated to develop an improved EM wave absorber. In addition, MnZn ferrite composite EM wave absorber mixed with the natural lacquer were prepared and their absorption ability was also investigated. MnZn ferrite composite EM wave absorber which employs 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 absorber mixed with natural lacquer can be controled the change of the thickness of them.

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

I. 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 있다[1]-[2].

전자파 흡수체는 전파를 흡수하여 열에너지로 변환하는 특성을 갖는 재료를 이용하여 불필요한 전자파를 흡수하여 반사파가 생기지 않도록 하는 재료이다. 전파흡수 재료를 크게 나누면 도전손실재료, 유전손실재료, 자성손실재료로 분류할 수 있고 이 중에서 자성손실재료는 일반적으로 산화물 자성재료인 페라이트(Ferrite)가 사용되고 있다[3].

페라이트 전자파 흡수체는 소결형과 지지재(Binder)에 적정 비율의 페라이트를 혼합한 복합형(Composite)이 많이 사용되고 있으나, 복합형 전자파 흡수체는 사용 주파수 대역이 좁고 전파 흡수능이 낮아 이에 대한 개선이 필요하다. 복합형 페라이트 전자파 흡수체는 원하는 형상을 유지하기 위해 지지재와 함께 가공되고 있으며 지지재로 고무, CPE (Chloride polyethylene), Silicone rubber 등이 널리 사용되고 있다. 그러나 최근 본 연구실의 연구를 통하여 우리나라 등에서 전통공예품의 장식에 유약으로 사용되어 오던 옷이 전자파 흡수능을 갖는다는 사실이 밝혀졌다. 이는 전자파 흡수체의 전자파 흡수능을 개선하기 위해 이루어지고 있는 많은 연구 중 현재 가장 활발히 이루어지고 있는 페라이트의 조성변화에 의한 특성의 개선과 아울러 지지재를 이용한 특성의 개선에 관한 연구 또한 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다. 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 MnZn 페라이트를 혼합한 전파 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 MnZn 페라이트 전자파 흡수체의 가능성을 제시하고자 한다.

II. 전자파 흡수능 측정

전자파 흡수능 측정을 위해 편치를 이용하여 내경 3.05 mm, 외경 6.95 mm의 토로이드형상을 갖게 하였다. 그림 1과 2는 본 실험에서 반사계수와 투과율 측정을 위해 사용한 Network Analyzer와 Sample Holder의 실제 사진과 도면을 나타낸 것이다. 샘플(지지재)들의 전자파 흡수능을 측정하기 위해서 그림 2에 나타낸 샘플 홀더(Holder)에 순수 지지재의 샘플(Sample)을 삽입하고 그림 1의 Network Analyzer에 밀착 고정시킨 다음 One-Port Method 방법으로 반사계수를 측정하였다.

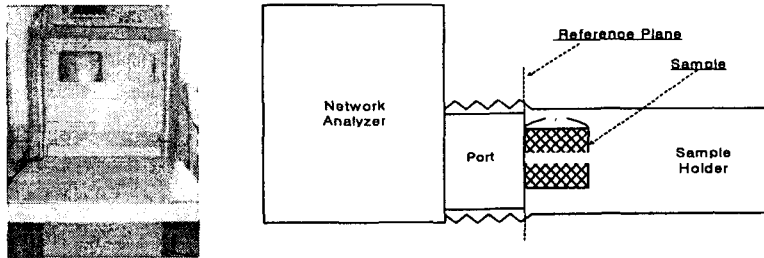


그림 1. 샘플의 반사계수 측정 시스템

Fig. 1 Reflection coefficient measurement system of sample.

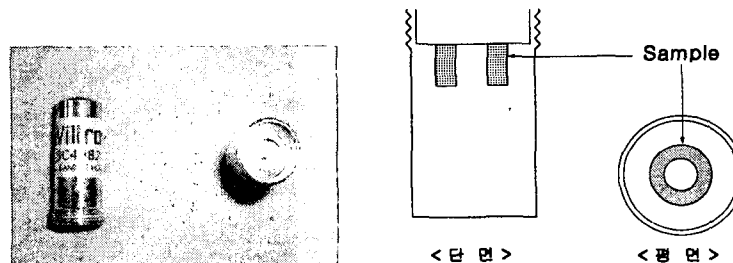


그림 2. 샘플이 삽입된 샘플홀더의 구조

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

각 샘플의 재료정수를 측정하기 위해 그림 2에서와 같이 샘플의 길이가 $l=3\text{ mm}$, $2l=6\text{ mm}$ 인 샘플(Sample)을 Sample Holder에 삽입한 후, 각각의 반사계수(S_{3mm} , S_{10mm})를 측정한다. 측정된 반사계수를 식 (1)과 (2)에 대입하여 재료정수(비유전율, 비투자율)를 계산한다[6]-[7]. 재료정수는 측정된 반사계수 데이터를 Matlab 프로그램으로 계산하였다.

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

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

여기서,

$$Z_1 = Z(l) = \frac{1 + S_{3mm}}{1 - S_{3mm}} \quad Z_2 = Z(2l) = \frac{1 + S_{6mm}}{1 - S_{6mm}}$$

III. 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.

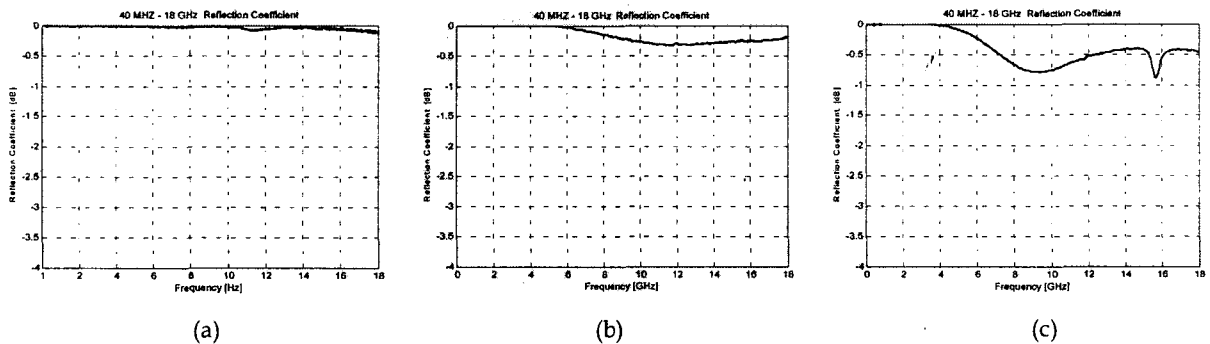


그림 3. (a) CPE, (b) 실리콘 고무, 그리고 (c) 옷에 대한 주파수를 함수로 하는 반사계수

- (a) 두께가 5 mm인 순수 CPE의 반사계수
- (b) 두께가 5 mm인 순수 Silicone의 반사계수
- (c) 두께가 5 mm인 순수 옷의 반사계수

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.

- (a) Purity CPE's reflection coefficient that thickness is 5 mm.
- (b) Purity Silicone's reflection coefficient that thickness is 5 mm.
- (c) Purity Natural Lacquer's reflection coefficient that thickness is 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 GHz 로 CPE와 실리콘 고무를 사용한 MnZn 페라이트 전파흡수체에 비하여 옷을 지지재로 사용한 전파흡수체가 광대역에서 우수한 전파 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 전파흡수능을 나타내고 있다.

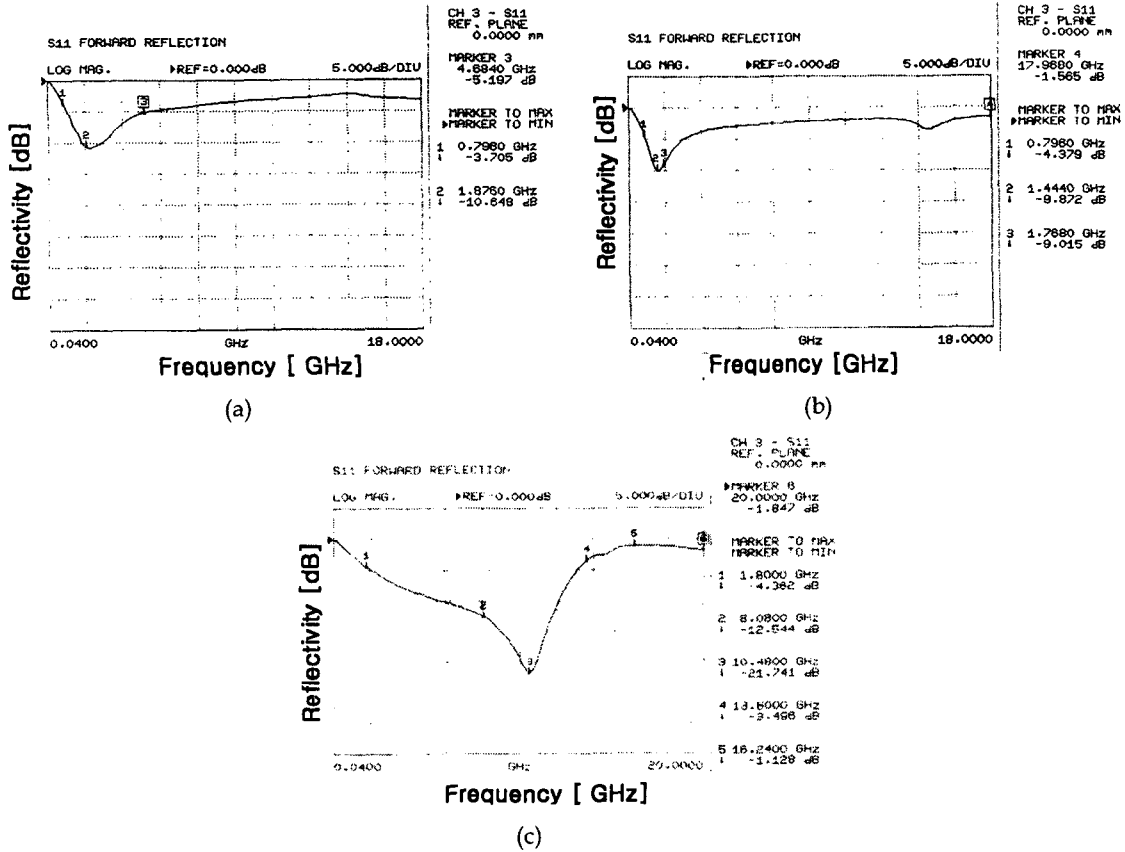


그림 4. 지지재를 (a) CPE, (b) 실리콘 고무, (c) 옷으로 하는 두께 3 mm인 MnZn 페라이트 전자파 흡수체의 주파수를 함수로 하는 반사계수
 (a) CPE와 혼합된 MnZn Ferrite 흡수체의 반사계수
 (b) 실리콘 고무와 혼합된 MnZn Ferrite 흡수체의 반사계수
 (c) 옷과 혼합된 MnZn Ferrite 흡수체의 반사계수

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.
 (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.

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 이들 시편에 대해서 주파수를 함수로 하는 투자율을 조사하여 나타내었다.

그림 5에 보인 바와 같이 세 시편 모두 $\tan \delta = 1$ 을 나타내는 주파수가 1 GHz 부근임을 볼 때 본 연구에서 제작한 시편 모두 이 사실과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그림 6은 CPE, 실리콘 고무, 옷을 각각 지지재로 하는 복합 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.

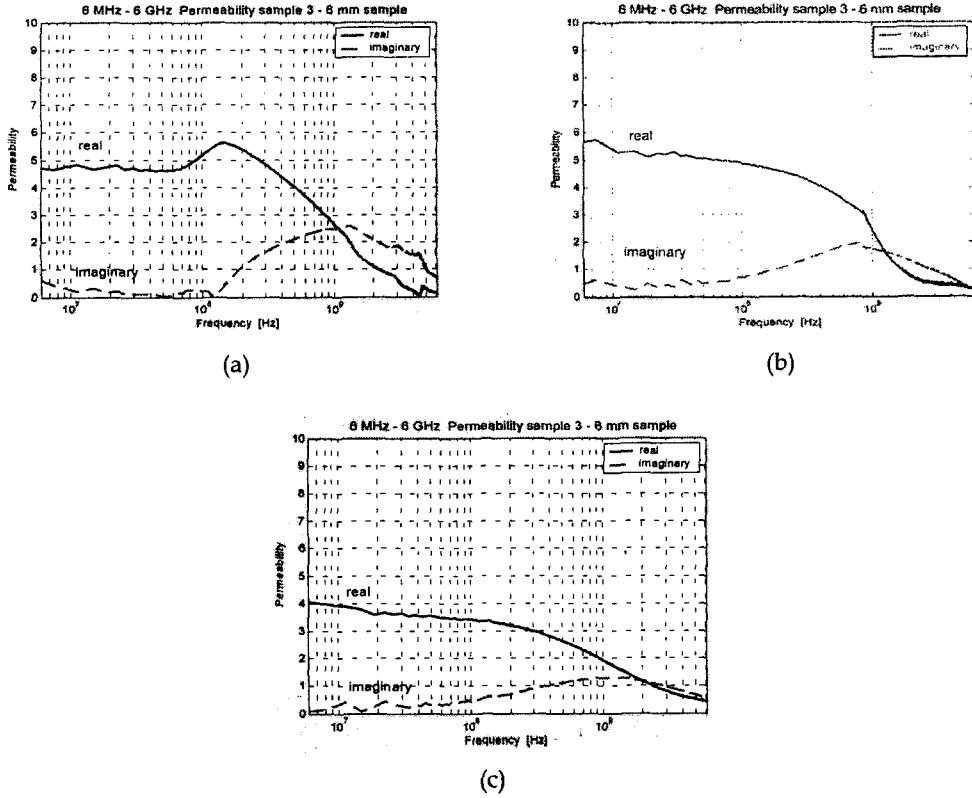


그림 5. (a) CPE, (b) 실리콘 고무, (c) 옷을 지지재로 하는 각 시편의 복소투자율
 (a) CPE와 혼합된 MnZn ferrite 흡수체의 복소투자율
 (b) 실리콘 고무와 혼합된 MnZn Ferrite 흡수체의 복소투자율
 (c) 옷과 혼합된 MnZn Ferrite 흡수체의 복소투자율

Fig. 5. Complex permeability as a function of frequency for samples mixed with (a) CPE, (b) silicone rubber, and (c) natural lacquer, respectively.
 (a) Complex permeability of MnZn ferrite absorber mixed with CPE.
 (b) Complex permeability of MnZn ferrite absorber mixed with silicone rubber.
 (c) Complex permeability of MnZn ferrite absorber mixed with natural lacquer.

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. 그림 4에서 옷을 지지재로 한 시편이 CPE나 실리콘 고무를 지지재로 한 시편보다 5 dB 이상의 흡수능을 볼 때 더 넓은 주파수에 나타내는 것을 확인하였다.

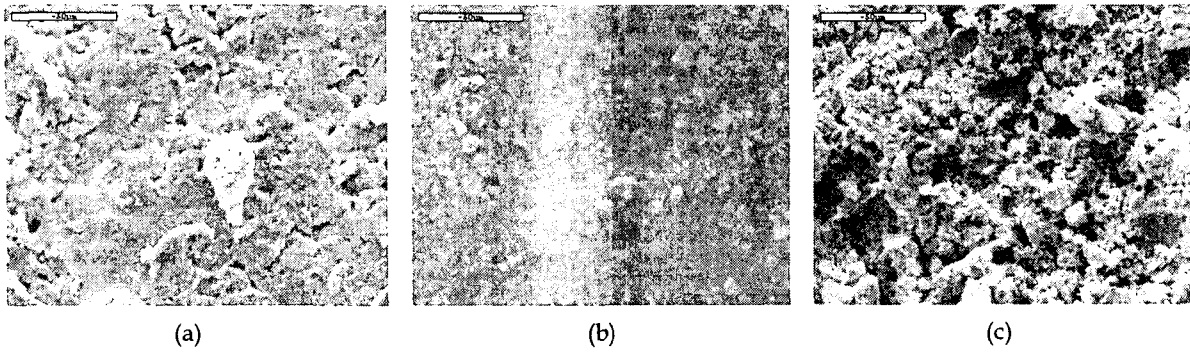


그림 6. (a) CPE, (b) 실리콘 고무, (c) 옷을 바인더로 한 시편의 표면

- (a) CPE와 혼합된 MnZn 페라이트
- (b) 실리콘고무와 혼합된 MnZn 페라이트 흡수체의 표면
- (c) 옷과 혼합된 MnZn 페라이트

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

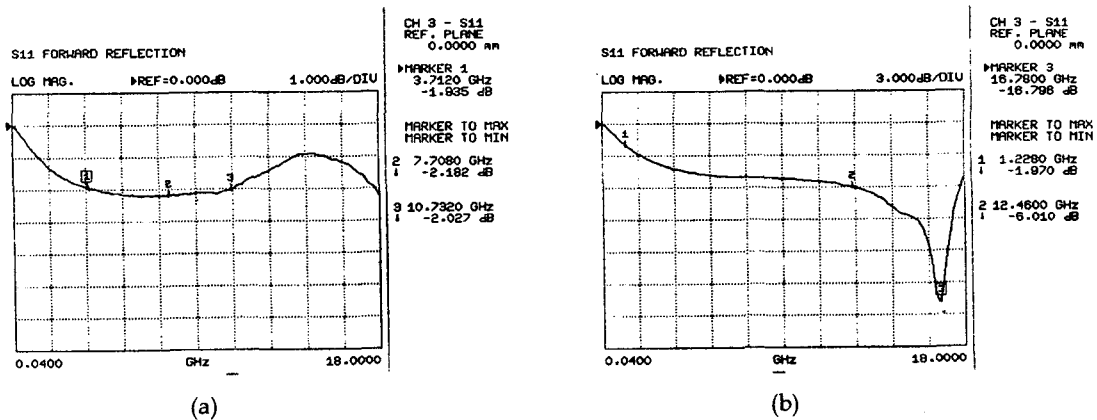
- (a) MnZn ferrite mixed with CPE.
- (b) MnZn ferrite mixed with silicone rubber.
- (c) MnZn ferrite mixed with natural lacquer.

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.

IV. 옷과 혼합한 전파흡수체의 두께에 따른 흡수능

앞의 연구에서 우리는 기존의 지지재로 주로 사용되어 오던 실리콘 고무나 CPE를 지지재로 사용한 전파 흡수체보다 옷을 지지재로 사용한 전파흡수체의 전파흡수능이 더 우수하다는 것을 확인하였다. 따라서 그림 7에 옷을 지지재로 사용한 전파흡수체 샘플의 두께를 1 mm ~ 6 mm 까지 범위로 6 종류의 전자파 흡수체를 제작하고 흡수능을 조사하여 나타내었다.

그림에서 보는 것과 같이 두께가 증가할수록 흡수능은 향상되고 정합주파수는 낮은 주파수대로 이동하는 것을 알 수 있다. 따라서, 자성손실재인 MnZn 페라이트의 조성변화나 첨가제의 변화 없이도 바인더로 옷을 사용함으로써 흡수체의 두께를 제어함으로써 정합주파수와 전파흡수능을 제어할 수 있다.



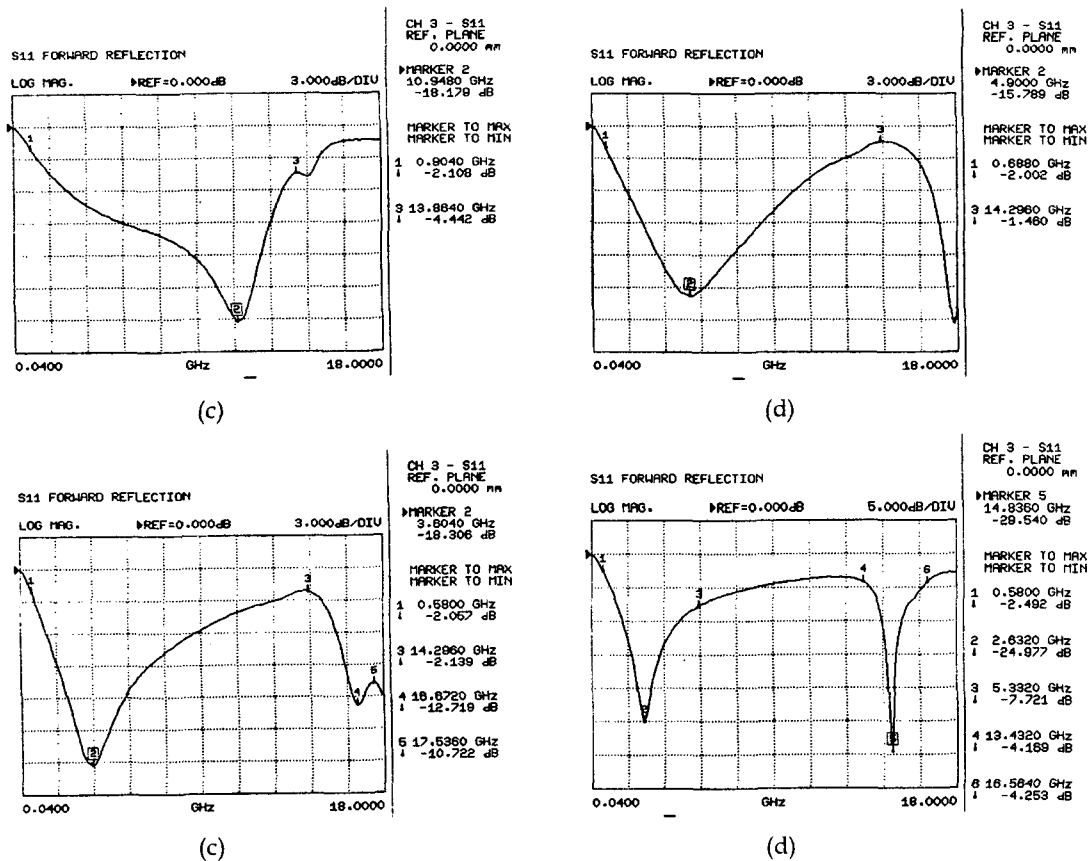


그림 7. 옷과 혼합한 전파흡수체의 두께에 따른 반사계수

- (a) 두께가 1 mm인 전파흡수체의 반사계수
- (b) 두께가 2 mm인 흡수체의 반사계수
- (c) 두께가 3 mm인 흡수체의 반사계수
- (d) 두께가 4 mm인 흡수체의 반사계수
- (e) 두께가 5 mm인 흡수체의 반사계수
- (f) 두께가 6 mm인 흡수체의 반사계수

Fig. 7. Reflection coefficient by electromagnetic absorber's thickness that mixed natural lacquer

- (a) Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 1 mm
- (b) Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 2 mm
- (c) Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 3 mm
- (d) Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 4 mm
- (e) Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 5 mm
- (f) Electromagnetic absorber's reflection coefficient that thickness is 6 mm

V. 결론

본 연구는 고성능 광대역 복합형 전자파 흡수체를 개발하기 위해 지지재가 갖는 전자파 흡수능을 조사한 것으로 지금까지 지지재로 주로 사용되어오던 실리콘 고무와 CPE 그리고 본 연구에서 새롭게 제안하는 전통 옷 칠에서 사용되어 오던 옷에 대한 전자파 흡수능을 조사하여 실리콘 고무나 CPE에 비해 옷의 흡수능이 더 우수하다는 것을 알았다. 또한 이들 지지재와 MnZn 페라이트를 혼합한 전자파 흡수체를 제작하여 이들의 전자파 흡수능을 조사한 결과 옷을 지지재로 한 MnZn 페라이트 복합형 전자파 흡수체의 전자파 흡수능이 CPE와 실리콘 고무를 지지재로한 전자파 흡수체에 비하여 우수한 전파흡수특성 갖는다는 것을 알았고 옷의 두께 변화에 따라 정합주파수와 전파흡수능이 변하는 것을 알았다.

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

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] 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.
- [5] Y. Hashimoto, "The application of ferrite as an absorber", Jap. J. Appl. Phys., vol. 6, no. 3, pp. 175-177, 1983.
- [6] 김동일, 박연준, 김하근, 사공 건, "복합형 등방성 Ferrite-Rubber Composite의 전자파 흡수특성에 관한 연구", 한국해양정보통신학회 논문지, 제3권 제1호, pp. 35~42, 1999년.
- [7] 박연준, 김동일, "Ni-Mn-Zn Spinel Ferrite-Rubber Composite의 전파흡수특성에 관한 연구", 한국항해학회지, 제23권 제1호, pp. 15~22, 1999.