

전파무향실을 위한 광대역 페라이트 전파흡수체

김동일 · 손준영

한국해양대학교 전파공학과

요 약

전자산업과 전파통신기술이 고도로 발전함에 따른 전파 이용의 증대로 인해 전자파환경 EMI/EMS 이 사회적 문제를 야기하고 있다. 이에 따라, CISPR (Comite Internationale Special des Perturbations Radio-electrique), FCC (Federal Communications Commissions) ANSI (Amercian National Standards Institute) 등의 기구는 EMI/EMC 대책을 위해 전파환경의 규정을 제정하고 있다. 또한 EMI/EMC 측정을 위한 전파무향실(anechoic chamber)용 전파흡수체는 20 dB 이상의 전파흡수능이 요구된다. 종래의 EMI 측정 주파수 범위는 30 MHz~1,000 MHz 이었으나 1998년 11월, CISPR11은 1 GHz~18 GHz를 추가하는 안을 받아들였다^[1]. 본고는 새로운 형태의 다층형 페라이트 전파흡수체를 제안하고 등가재료정수법을 사용하여 광대역 설계를 시도한 것이다^{[2][4]}.

I. 서 론

최근, 전자산업과 전파통신산업이 발달함에 따라 불요전자파의 발생이 심각한 수준에 이르게 되었다. 그 결과 국·내외 전자파 환경은 나날이 악화되고 있으며, 이로 인한 사회적 문제가 점차 증가되고 있는 실정이다. 이에 대한 대책으로 CISPR, FCC, ANSI 등의 국제 규정이 제정되어 각종 전자기기들에 대해 방사 및 내성에 대한 규제가 강화되고 있다^{[5],[6]}.

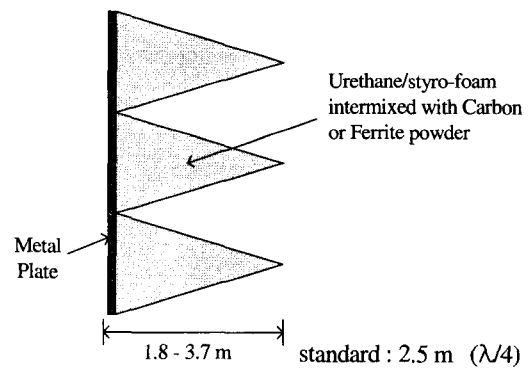
그러나 국제규정이 요구하는(30 MHz~18 GHz) 주파수 범위에서의 EMI/EMC 측정을 하기 위해 광

대역 전파무향실이 필요하지만, 기존의 Ferrite Tile 과 같은 단층형 전파흡수체로는 상기의 조건을 만족하는 전파무향실을 구성하기에는 미흡하다^{[7],[8]}.

본고는 기존 흡수체보다 그 성능면에서 보다 우수하고 광대역인 전파흡수체를 개발하기 위해, 다층형 전파흡수체의 특성을 비교·검토하였다.

II. 기존의 전파흡수체

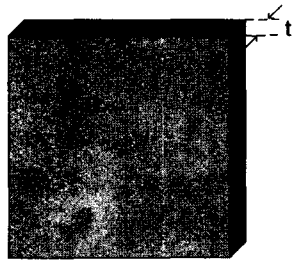
[그림 1]은 피라미드형 전파흡수체로서, 금속판 위에 Carbon 또는 페라이트를 혼입한 발포형 전파흡수체이다. 이 전파흡수체의 20 dB 이상의 흡수능을 가지는 하한 주파수는 그 길이에 따라 30 MHz 이상이지만, 높이가 1.8 m~3.7 m나 되기 때문에 전파암실의 실내 공간 확보가 어렵고 화재시 불에 타 버릴 뿐만 아니라 유독가스가 방출되는 등의 위험 때문에 페라이트 단일체로서의 전파흡수체가 유리하다.



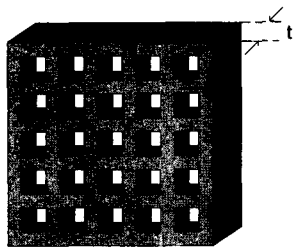
[그림 1] 피라미드형 전파흡수체

[그림 2]와 [그림 3]은 각각 타일형과 격자형의 페라이트 단체의 전파흡수체를 보여주며, 각각의 20 dB 이상의 전파 흡수능을 만족하는 주파수 대역은 타일형의 경우 30 MHz~400 MHz, 격자형의 경우 30 MHz~870 MHz이다.

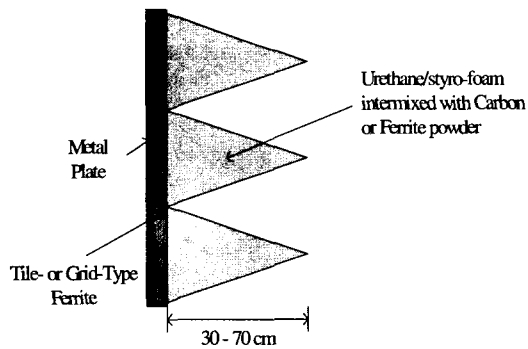
[그림 4]에 나타낸 복합형 전파흡수체는 피라미



[그림 2] 타일형 전파흡수체



[그림 3] 격자형 전파흡수체



[그림 4] 복합형 전파흡수체

드형 전파흡수체 사이에 타일 또는 격자형 전파흡수체를 적층시킨 형상으로, 20 dB 이상의 전파 흡수능을 가지는 주파수 대역은 피라미드의 길이에 따라 30 MHz 이상으로 할 수 있다.

Ⅲ. 전파흡수체의 설계

3-1 단층형 전파흡수체

종래에 많이 사용된 형태가 단층형 전파흡수체이다. 전파흡수체의 표면에서의 반사계수 S_{11} 은

$$S_{11} = \frac{z_d - 1}{z_d + 1} \quad (1)$$

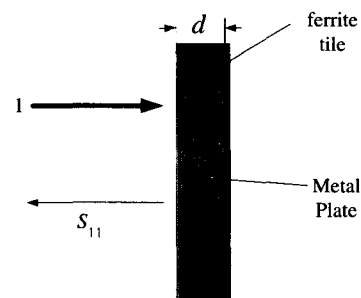
단,

$$z_d = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r} \tanh\left(j \frac{2\pi d}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon_r \mu_r}\right)}$$

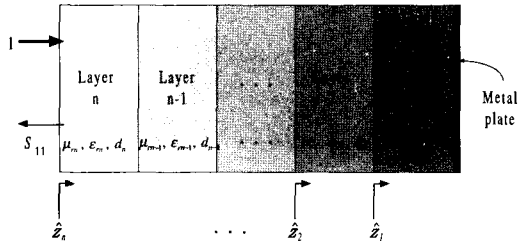
이다. 여기서 λ 는 입사한 전파의 파장이며, ϵ_r 은 비유전율, μ_r 은 비투자율 d 는 무께이다. 이 경우 페라이트 재료가 주어지면 ϵ_r 및 μ_r 이 고정이므로, 가변할 수 있는 파라미터는 두께 d 뿐이므로 광대역화에 한계가 있다.

3-2 다층형 전파흡수체

페라이트 전파흡수체를 광대역화하기 위하여 페



[그림 5] 단층형 전파흡수체에서 전파의 입사 및 반사



[그림 6] 다층형 전파흡수체

라이트와 도체 층 사이에 공기층을 삽입하거나 재료정수가 다른 페라이트 전파흡수체를 2개 이상의 층으로 조합한 모양, 또는 재료 정수는 동일한 물질이나 전파흡수체의 형상을 공간적으로 변화시킴으로써 재료 정수를 제어하여 광대역화 하고자 하는 시도가 이루어져 왔다.

[그림 6]과 같이 흡수체의 뒤에 금속판을 부착하고, 그 전면에 n 개 층의 전파흡수체를 적층한 경우, 제 n 층의 두께를 d_n , 비투자율을 μ_n , 비유전율을 ϵ_n 으로 했을 때 평면파가 흡수체 전면에서 수직으로 입사하면, 제 n 층의 전면에서 우측을 보는 정규화 입력임피던스 z_n 은 식 (2)와 같다.

$$z_1 = \sqrt{\frac{\mu_n}{\epsilon_n}} \tanh\left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_n \epsilon_n} d_1\right) \quad (2)$$

⋮

$$z_n = \sqrt{\frac{\mu_n}{\epsilon_n}} \frac{z_{n-1} + \sqrt{\frac{\mu_n}{\epsilon_n}} \tanh\left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_n \epsilon_n} d_n\right)}{\sqrt{\frac{\mu_n}{\epsilon_n}} + z_{n-1} \tanh\left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_n \epsilon_n} d_n\right)} \quad (3)$$

따라서, 허용반사계수를 $|S_{01}|$ 라고 했을 때, $S_n = (z_n - 1)/(z_n + 1) \leq |S_{01}|$ 을 조건으로하여 가장 광대역인 전파흡수체를 설계하면 된다. 따라서 각층의 ϵ_r 및 μ_r 은 재료정수가 서로 다른 재료로 선정하거나, 형상을 달리하여 유효 유전율 및 투자율을 제어하여 보다 넓은 주파수대에서 뛰어난 흡수특성을

가진 전파흡수체를 설계하는 것이 가능하다. 본고에서는 후자를 택하였다.

본고에서는 페라이트의 비유전율 ϵ_r 을 14로 하여 전파흡수체를 설계하였다. 그러나, 페라이트의 비투자율 μ_r 은 주파수 의존성이 크므로 전파흡수체를 광대역으로 설계하기 위하여 식 (5)에 나타난 페라이트의 투자율 주파수 분산식을 제안하여 사용하였다^{[9],[10]}.

$$\mu_r = \mu' - j\mu'' \quad (4)$$

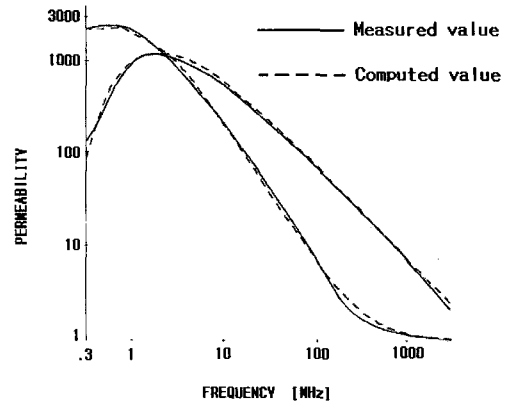
여기서,

$$\mu' = 1 + \frac{(\mu_i - 1)}{1 + k_1 |f_1^2 - f_p^2|^{k_0} |f^2 - f_p^2|^{k_0} |f^2 - f_1^2|^{k_0} f^{k_0}}$$

$$\mu'' = \frac{(\mu_m - 1)(f - f_s)/f^6}{1 + k_2(f - f_m)^2/(ff_m)}$$

$\mu_i, f_1, f_p, k_0, \mu_m, f_m, f_s, k_2$ 는 페라이트 재질에 의해 정해지는 상수이다.

[그림 7]은 복소투자율의 주파수 분산곡선으로 식 (4)에 의한 계산치와 실측치를 비교한 것이다. [그림 7]에서와 같이 계산치와 실측치는 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.



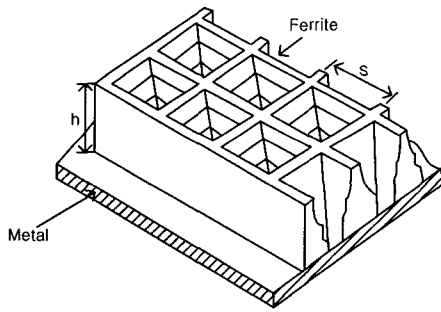
[그림 7] 페라이트에 대한 주파수 분산 특성의 측정치와 계산치 비교

IV. 기존에 제안된 페라이트 흡수체

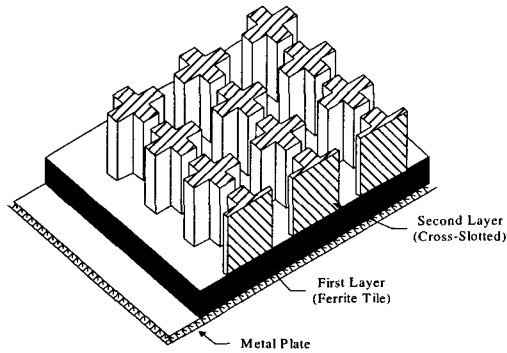
[그림 8]은 테이퍼진 격자형 전파흡수체로서, 기존의 격자형 전파흡수체 내부를 경사지게 하여 20 dB 이상의 흡수대역을 2,430 MHz까지 확장시켰다.

[그림 9]는 십자돌기형 전파흡수체를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 타일형 전파흡수체 위에 십자돌기형 전파흡수체를 적층한 형태이다. 이 전파흡수체의 경우 20 dB 이상의 전파 흡수능을 만족하는 대역폭이 30 MHz~4 GHz이다.

[그림 10]은 테이퍼진 사각 기둥 전파흡수체를 타일형 전파흡수체에 적층시킨 형태로, 20 dB 이상의 전파 흡수능을 만족하는 주파수 대역은 30 MHz에서 5 GHz이다.



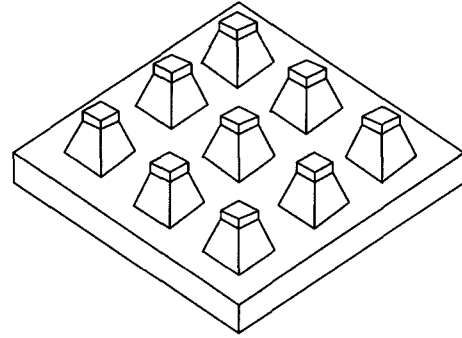
[그림 8] 테이퍼진 격자형 전파흡수체



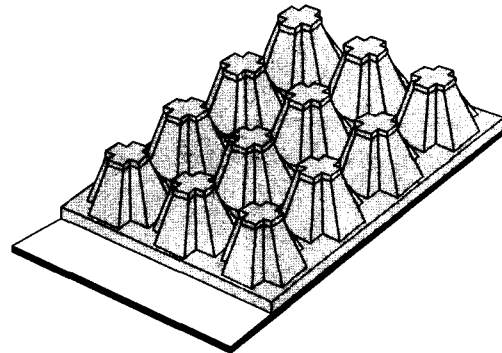
[그림 9] 십자 돌기형 전파흡수체

[그림 11]의 테이퍼진 십자 돌기형 전파흡수체는 20 dB 이상의 전파 흡수능을 만족하는 주파수 대역이 30 MHz에서 5 GHz이다.

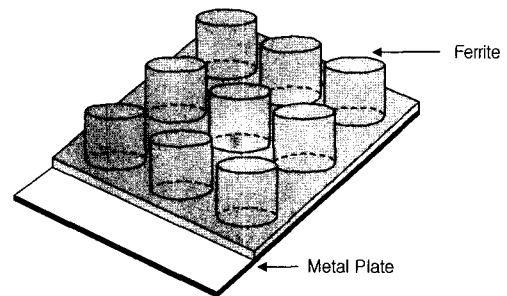
[그림 12]에 나타난 원기둥형 전파흡수체의 경우



[그림 10] 테이퍼진 사각 기둥형 전파흡수체



[그림 11] 테이퍼진 십자 돌기형 전파흡수체



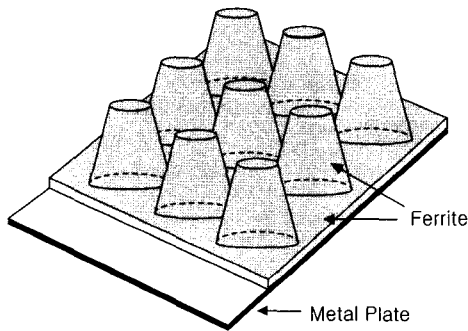
[그림 12] 원기둥형 전파흡수체

도 30 MHz~5 GHz의 주파수 범위에서 20 dB 이상의 전파 흡수능을 만족하였다.

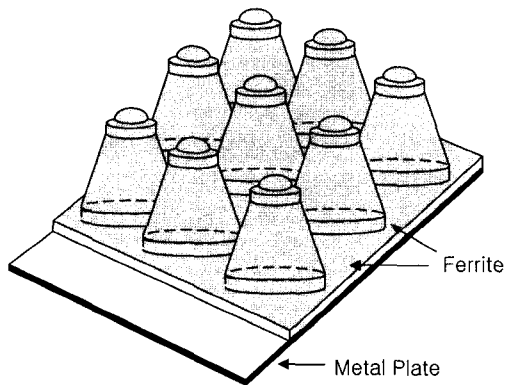
[그림 13]에 나타난 꼭지절단원추형 전파흡수체의 경우 30 MHz~5 GHz의 주파수 범위에서 20 dB 이상의 전파 흡수능을 만족하였다.

V. 개선된 전파흡수체

본 논문에서 새로이 제안하는 전파흡수체의 모델은 [그림 14]와 [그림 15]에 각각 나타내었다. [그림 14]는 개선된 전파흡수체의 사시도, [그림 15]는 개선된 전파흡수체의 측면도와 평면도를 나타낸 것이다.



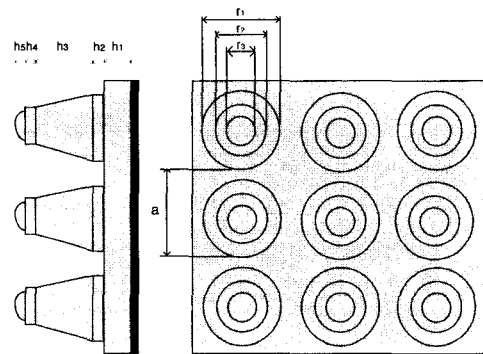
[그림 13] 꼭지절단원추형 전파흡수체



[그림 14] 제안한 전파흡수체의 사시도

새로운 형상의 전파흡수체는 각 층이 가지는 재료 정수값들이 다르기 때문에, 각 층의 재료 정수값을 구한 후 모두 합하여 전체 전파흡수체의 재료 정수값을 구할 수 있다. 즉, 페라이트와 공기가 혼재해 있는 층들의 페라이트와 공기의 양을 적절히 조절하여, 형상 변화를 통해 원하는 전파 흡수 특성을 가지도록 재료 정수값을 제어할 수 있다.

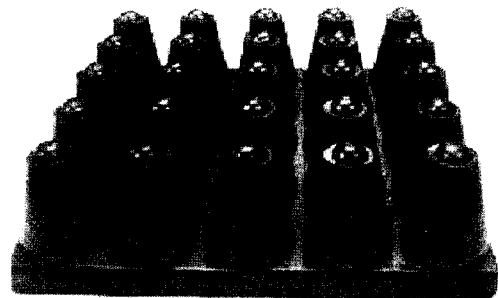
<표 1>은 제안한 전파흡수체의 치수를 나타낸 것이며, 이 치수는 전파흡수체의 실제 제작에도 사용



[그림 15] 제안한 전파흡수체의 측면도와 평면도

<표 1> 제안한 전파흡수체의 치수

	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	r_1	r_2	r_3	a
Size(mm)	6.8	1.8	16.5	0.79	2.5	18.05	10.38	7.2	20



[그림 16] 실제 제작된 전파흡수체

이트 단체의 전파흡수체의 측정 결과 30 MHz~6 GHz의 주파수 범위에서 전반적으로 20 dB 이상의 전파흡수능을 가진다. 그리고, 전파흡수체의 전체 높이는 고작 27.68 mm 밖에 되지 않으므로 본 연구에서 제안한 전파흡수체를 사용할 경우 전파무향실 내의 유효공간확보에 매우 유리할 것이다.

「본 연구는 한국소프트웨어진흥원 대학 IT연구센터 육성·지원사업 선정 충남대학교 전자파환경기술 연구센터와 한국학술진흥재단(KRF-2001-005-E00015)의 일부 지원에 의하여 이루어졌음.」

참 고 문 헌

- [1] CISPR11, *ISM radio frequency equipment electromagnetic disturbance characteristics limits & methods of measurement*, IEC, pp. 12-15, 1997.
- [2] Dong Il Kim, M. Takashashi, H. Anzai and S. Y. Jun, "Electromagnetic Wave Absorber with Wide-Band Frequency Characteristics Using Exponentially Tapered Ferrite", *IEEE Trans. EMC*, vol. 38, no. 2, pp. 173-177, Feb. 1996.
- [3] Dong Il Kim, S. Y. Jun, "Design of Improved Grid Type Electromagnetic Wave absorber Using Exponentially Tapered Ferrite", *Proceedings of the 1996 KJJC-EMCT*, pp. 627-630, Sept. 1996.
- [4] 김동일, 전상엽, 정세모, "제2층에 십자형 슬롯을 가지는 2층형 초광대역 전파흡수체의 개발", 한국전자파학회 종합학술대회 논문집, pp. 8-13, 1995년.
- [5] 김동일, 김상태, 박지용, 정세모, "Time Domain법에 의한 전파흡수체의 흡수능 측정법에 관한 연구", 한국전자파기술학회지, 6(2), pp. 11-18, 1995년 6월.
- [6] 김동일, 전상엽, "EMI/EMC 대책용 광대역화 전파흡수체의 개발에 관한 연구", 한국항해학회지, 15(4), pp. 13-35, 1991년 12월.
- [7] 정재우, 한국전자파학회지-전자파기술, 9(1), pp. 40-44, 1997년.
- [8] 이동근, 남기진, 오용근, 이상설, "손실이 있는 다층 유전체를 이용한 5~20 GHz 주파수 대역의 전파흡수체 설계", 대한전자공학회 1996년도 추계종합학술대회 논문집, 19(2), pt. A, pp. 587-590, 1996년 11월.
- [9] 김동일, 박종구, 정세모, 이영구, "원추절단형 페라이트 전파흡수체의 최적설계 및 제작에 관한 연구", 한국해양정보통신학회 추계 학술대회 논문지, 4(2), pp. 153-156, 2000년 10월.
- [10] Dong Il Kim, June Young Son and Jae Young Bae, "Design of Cutting Cone Shaped and Hemisphere Shape-added Ferrite Absorber", *Proceedings of the 2001 KJJC-EMCT*, Sept. 2001.
- [11] Dong Il Kim, June Young Son, Young Su Weon, Dong Woo Ku, Ki Man Kim and Byeong-Deok Yea, "A Study on Broadband Design of EM Wave Absorber for Anechoic Chamber", *Journal of The Korea Electromagnetic Engineering Society (JKEES)*, vol. 2, no. 1, pp. 16-20, May 2002.

김 동 일



1975년 2월: 한국해양대학교 항해학과 (공학사)
1977년 2월: 한국해양대학교 대학원 전파공학전공 (공학석사)
1984년 3월: 일본 동경공업대학원 전기전자공학과 (공학박사)
1975년 3월~1993년 9월: 한국해양대학교 조교~부교수

1990년 3월 10일: 산학협동상 대상 수상
1993년 12월 11일: 한국전자과학회 학술상 수상
1995년 4월 21일: 과학기술진흥 대통령 표창 수상
1998년 9월 30일: 한국항해학회 우수논문상 수상
1993년 10월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 교수
2002년 1월~현재: 한국전자과학회 학회장
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파흡수체의 개발, EMI / EMC 대책 등

손 준 영



1995년 2월: 동의대학교 전자통신공학과 (공학사)
1998년 2월: 동의대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2002년 현재: 한국해양대학교 대학원 전파공학전공 박사과정
[주 관심분야] 고성능 전파흡수체의 개발, EMI / EMC 대책