

전파무향실용 초광대역 전파흡수체 설계에 관한 연구

김대훈* · 김동일
한국해양대학교
051-410-4932 / 051-405-4256

A Study on Design of a super wide-band EM wave absorber for a general purpose anechoic chamber

Dae hun Kim* · Dong il Kim
Dept. Radio Science & Engineering Korea Maritime Univ.
daehunee@nate.com / dikim@hanara.kmaritime.ac.kr

Abstract

To construct an anechoic chamber for EMI test satisfying some international standards, it has been recognized that the absorption characteristics of the EM wave absorber must have more than 20 dB over the frequency band from 30 MHz to 18 GHz. In this paper, an EM wave absorber with super wide-band frequency characteristics was proposed and designed in order to satisfy the above requirements by using the EMCM[1]. As a result, the proposed absorber has absorption characteristics more than 20 dB over the frequency band from 30 MHz to more than 20 GHz.

key word : super wide-band EM wave absorber, anechoic chamber

I. 서론

현대의 전자 및 통신 기술의 발달은 현대인의 생활을 편리하게 해주었지만, 많은 전자기기들의 사용으로 인해 전자파 사용 역시 증가하여 불요전자파에 전자파장해 문제가 심각한 사회 문제로 대두되고 있다. 따라서 전자파장해에 대한 대책이 중요한 과제로 부각되었고, 그 대책을 위해 EMI, EMS의 측정이 보다 더 중요해졌다. 국제적으로는 CISPR, 미국에서는 FCC, ANSI 등의 규제를 만들게 되었으며, 우리나라에서도 전자통신용 장비의 전자파장해(EMI ; Electromagnetic Interference)와 전자파내성(EMS ; Electromagnetic Susceptibility)에 관한 규제를 만들어 수출에 대비하고 있다^[2]. 이러한 전자파장해 대책을 위한 EMI/EMS 측정 공간으로서 전파무향실이 필요하게 되었고^[3] 다목적 전파 무향실을 위한 광대역 전파흡수체가 필요하게 되었다. 기존의 국제규격기준(ANSI C634-1991, CISPR A SEC109, 또는 IEC 801-3)을 충분히 만족시켜야하는 주파수 대역이 30 MHz에서 1 GHz 정도였으나 1998년 11월 6일 CISPR(국제 무선 장해

특별 위원회)에서는 논의 되어왔던 방사 측정 주파수의 범위를 CISPR11^[4]에서 18 GHz까지 대역을 확장시켰다^[5]. 따라서 위와 같은 규격을 만족시키는 전파무향실(Anechoic Chamber)을 구축하기 위해서는 30 MHz ~ 18 GHz의 주파수 대역에서 20 dB 이상의 전파흡수능을 가지는 전파흡수체가 요구되지만, 기존의 전파 흡수체인 타일형 페라이트(Tile Ferrite)는 흡수대역이 30 MHz에서 400 MHz이고 격자형 페라이트(Grid Ferrite)는^[6] 흡수대역이 30 MHz에서 870 MHz로 국제규격을 만족시키지 못하는 문제점이 있다. 일반적으로 전파무향실은 하나의 전자장비로부터 다른 전자장비의 전자파 간섭 혹은 전자파 내성의 검사 및 측정, 그리고 안테나의 방사 또는 수신 패턴을 측정하기 위해 다목적으로 사용되고 있다. 이러한 전파무향실에 사용되는 전파흡수체는 전파무향실을 CISPR11과 같은 국제규격에 맞도록 이용 가능 주파수의 범위가 광대역화 되어야한다.

종래의 전파흡수체인 페라이트 타일 및 Grid형 페

라이트 전파흡수체의 경우 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 주파수 대역이 국제규격을 만족시키기에는 매우 미흡한 실정이다. 또한 현재 개발 시판되고 있는 카본 스틸로폼 피라미드 또는 카본 폴리우레탄폼 피라미드의 경우 그 크기가 1.8 m ~ 3m로 유효공간 확보에 문제점이 있으며 시공의 불편과 2~3년 주기로 보수를 해야하는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 위와 같은 문제점 해결을 위한 초광대역 특성의 범용 전파흡수체를 개발하기 위하여, 광대역 Ferrite 흡수체(Hemisphere Type) 위에 피라미드형 유전체 전파흡수체를 부착한 적층형 초광대역 전파흡수체를 EMCM법을 이용하여 설계하였다. 그 결과 시뮬레이션 값 및 실측정 값 모두 20 dB 이상의 흡수능을 가지는 주파수 대역이 30 MHz에서 20 GHz까지로 확장되었다.

II. 적층형 전파흡수체의 해석

2-1. 페라이트 전파흡수체의 해석

Hemisphere type 전파흡수체^[7]의 모델은 그림 1과 그림 2에 각각 나타내었다. 그림 1은 Hemisphere type 전파흡수체의 사시도, 그림 2는 측면도와 평면도를 나타낸 것이다. Hemisphere type 전파흡수체는 각 층이 가지는 재료 정수값들이 다르기 때문에 각 층의 재료 정수값을 구한 후 모두 합하여 전체 전파흡수체의 재료 정수값을 구할 수 있다. 이 전파흡수체를 해석하기 위해서 먼저 Hemisphere type 전파흡수체를 단위 두께를 가지는 여러 개의 층으로 근사시킨다. 이를 다층형 전파 흡수체의 해석법을 적용하여 등가회로화 하여 등가 유전율과 등가 투자율을 계산할 수 있다. 등가재료정수가 구해지면 Hemisphere type 전파흡수체는 그림 3과 같은 다층형 모델로 모델링을 한 후 해석을 한다.

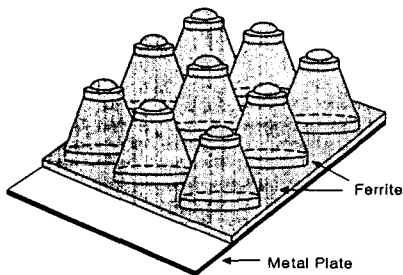


그림 1. hemisphere type 전파흡수체의 사시도
Fig. 1. Bird's eye of the hemisphere type absorber on a cutting cone-shaped ferrite.

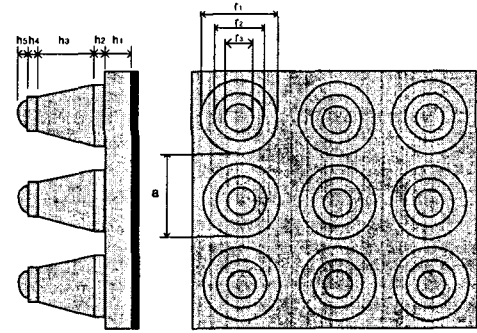


그림 2 hemisphere type 전파흡수체의 측면도와 평면도
Fig. 2 Side view and floor plan of hemisphere type absorber.

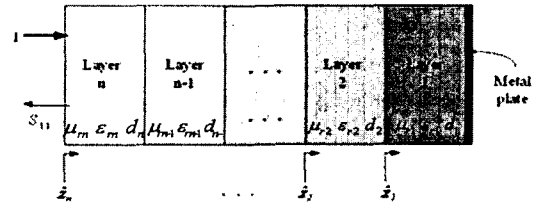


그림 3. hemisphere type 페라이트 전파흡수체의 다층형모델
Fig 3. Multi-layered Model of hemisphere type Ferrite EM Wave Absorber

페라이트 전파흡수체의 다층형모델에서 첫째 단에서의 정규화 된 임피던스는

$$\hat{z}_1 = \sqrt{\frac{\mu_n}{\epsilon_n} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_n \epsilon_n} d_1)} \quad (1)$$

여기서 ϵ_n 은 각 층에서의 등가유전율, μ_n 은 각 층에서의 등가투자율, d_n 은 각 층의 길이를 나타낸다.

임의의 단에서의 정규화 된 임피던스는

$$\hat{z}_i = \sqrt{\frac{\mu_n}{\epsilon_n} \frac{\hat{z}_{i-1} + \sqrt{\frac{\mu_n}{\epsilon_n} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_n \epsilon_n} d_i)}}{\sqrt{\frac{\mu_n}{\epsilon_n} + \hat{z}_{i-1} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_n \epsilon_n} d_i)}}} \quad (2)$$

최종단에서의 정규화 된 임피던스는

$$\hat{z}_n = \sqrt{\frac{\mu_m}{\epsilon_m} \frac{\hat{z}_{n-1} + \sqrt{\frac{\mu_m}{\epsilon_m} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \epsilon_m d_n)}}{\frac{\mu_m}{\epsilon_m} + \hat{z}_{n-1} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_m \epsilon_m} d_n)}} \quad (3)$$

2-2. 적층형 전파흡수체의 형상

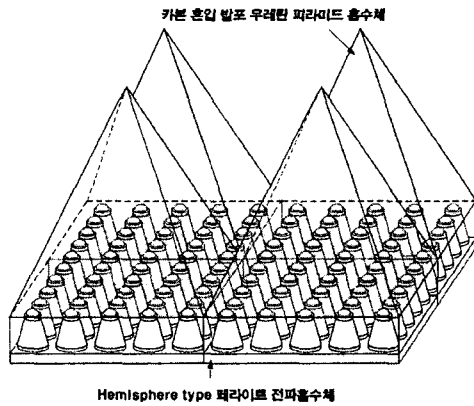


그림 4. 제안하는 전파흡수체
Fig 4. designed EM Wave Absorber

제안한 전파흡수체를 그림 4에 나타내었다. 그림 5는 제안한 전파흡수체의 측면도와 평면도를 나타낸 것이다. 그림 4와 그림 5는 본 연구실에서 기존에 제작한 흡수체에 피라미드 타입 전파흡수체를 부착한 모습을 나타낸다.

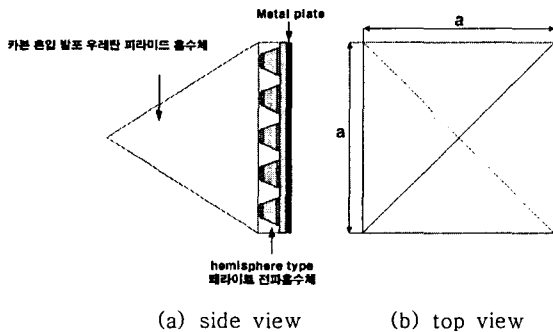


그림 5. 제안하는 전파흡수체의 측면도와 평면도
Fig 5. A bird's eye and plane figure of designed EM Wave Absorber

2-3. 피라미드형 카본 우레탄 흡수체의 해석

전파흡수체 설계 시 등가재료정수법을 사용하였으며

본 연구에서 제안된 탄소함유 피라미드의 경우는 유전체이므로 등가 유전율에 대한 이론적 배경만을 서술하였다 [8]. 정전용량은 $C = \epsilon W a / g = \epsilon S / g$ 에서와 같이 유전율과 단면적에 비례하고 간격에 반비례한다. 그림 4와 같이 피라미드형 전파흡수체는 그림 6과 같이 등가재료정수 계산모델로 만들어 각각의 정전용량을 계산하고 그것으로부터 총 합성용량 C를 구할 수 있다.

$$C_1 = \epsilon_o \epsilon_r \frac{d/2 \cdot \Delta z}{d/2} = \epsilon_o \epsilon_r \Delta z \quad (4)$$

$$C_2 = \frac{d/2 \epsilon_o \Delta z}{(1/2)(a-d)} = \frac{d \epsilon_o \Delta z}{(a-d)} \quad (5)$$

$$C_3 = \frac{(1/2)(a-d) \epsilon_o \Delta z}{a/2} = \frac{(a-d) \epsilon_o \Delta z}{a} \quad (6)$$

$$C = \left\{ \frac{(a-d)}{a} + \frac{\epsilon_r d}{(a-d)\epsilon_r + d} \right\} \epsilon_o \Delta z \quad (7)$$

따라서, 그림 6에서 Δz 의 두께를 가지는 구조에 대한 등가유전율 ϵ_{eq} 는

$$\epsilon_{eq} = \frac{C}{\epsilon_o \Delta z} \quad (8)$$

$$\epsilon_{eq} = \frac{(a-d)}{a} + \frac{\epsilon_r d}{(a-d)\epsilon_r + d} \quad (9)$$

와 같이 계산 할 수 있다.

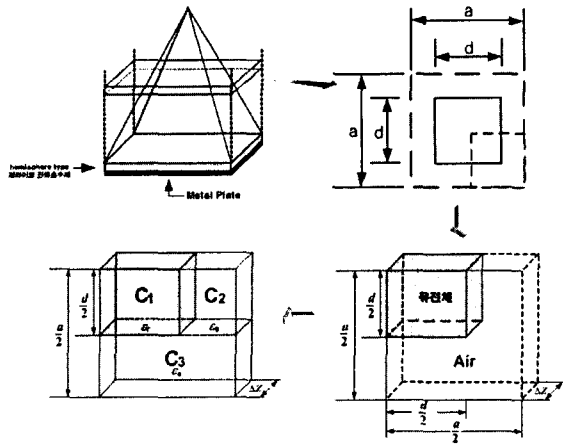


그림 6. 등가재료정수의 캐패시턴스 계산모델
Fig 6. A Capacitance Model for Calculation of Equivalent Constants.

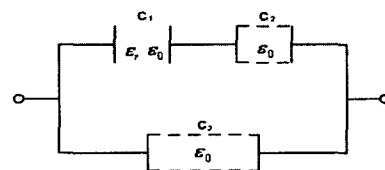


그림 7. 합성용량 모델
Fig 7. A synthesized capacitance model

2-4. 다층형 해석모델에 의한 적층형 전파흡수체의 해석

다음은 각 층의 등가 모델에 대하여 임피던스 및 반사계수를 구하는 과정이다. 첫 단계에 걸리는 임피던스 값을 계산하여 계속적으로 계산하면 최종 단계에서 계산되는 임피던스의 값은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

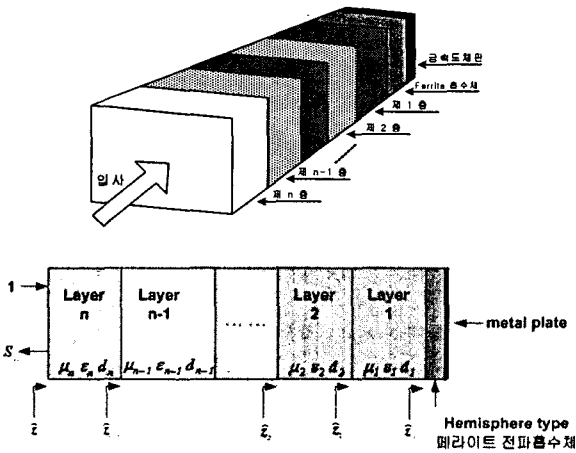


그림 8. 적층형 전파흡수체의 다층형 해석모델
Fig 8. Multi-layered Model of Pyramidal EM Wave Absorber on Ferrite Absorber

첫 단의 임피던스는 다음과 같으며

$$\widehat{z}_1 = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_n} \frac{\widehat{z}_f + \sqrt{\frac{1}{\epsilon_n} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_n} d_1)}}{\frac{1}{\epsilon_n} + \widehat{z}_f \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_n} d_1)}} \quad (10)$$

이어서 계산되는 최종 값은 다음 식과 같다.

$$\widehat{z}_n = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_m} \frac{\widehat{z}_n + \sqrt{\frac{1}{\epsilon_m} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_m} d_n)}}{\frac{1}{\epsilon_m} + \widehat{z}_n \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_m} d_n)}} \quad (11)$$

이렇게 구해진 최종 임피던스의 값으로 반사계수를 구할 수 있다.

$$S_{11} = \frac{\widehat{z}_n - 1}{\widehat{z}_n + 1} \quad (12)$$

III. 시뮬레이션 결과 및 분석

제안한 전파흡수체의 실측정은 네트워크 아날라이저를 이용하여 전파흡수체 두께를 고려하여 게이트를 조정함으로써 시간영역에서 측정을 시행하였다. 그림 9는 실측정에 사용된 테이퍼진 도파관 시스템을 보여준다.

hemisphere 타입 전파흡수체의 시뮬레이션 및 실측정 값을 그림 10에 나타내었다. 실선은 실측정 값을 점선은 시뮬레이션 값을 나타낸다. 그림 10으로부터 20 dB 이상의 흡수능을 가지는 hemisphere 타입 전파흡수체의 주파수폭은 30 MHz 에서 6 GHz까지인 것을 알 수 있다.

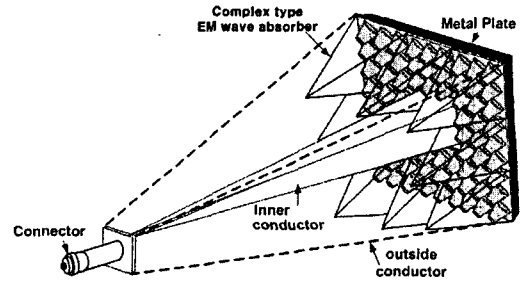


그림 9. 실측정을 위한 테이퍼진 도파관 시스템
Fig 9. tapered rectangular type waveguide of measuring system

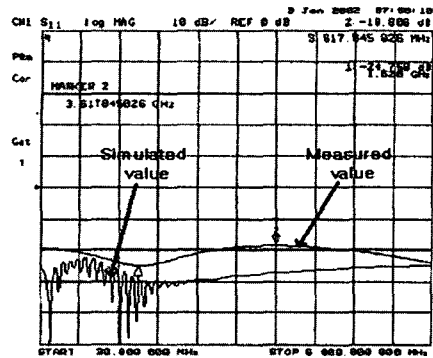


그림 10. Hemisphere Type Ferrite 전파흡수체의 주파수 특성
Fig 10. simulated and experimental results of the Hemisphere Type Ferrite absorber

적층형 전파흡수체의 시뮬레이션 및 실측정 값을 그림 11에 나타내었다. 실선은 실측정 값을 점선은 시뮬레이션 값을 나타낸다. 피라미드 전파흡수체의 최적 높이는 150 mm 였고 이때 탄소함유량은 34%이다.

hemisphere 타입 전파흡수체와 적층형 전파흡수체를 비교해 볼 때 적층형 전파흡수체가 30MHz에서 20 GHz로 hemisphere 타입 전파흡수체보다 우수한 흡수능을 보임을 알 수가 있다.

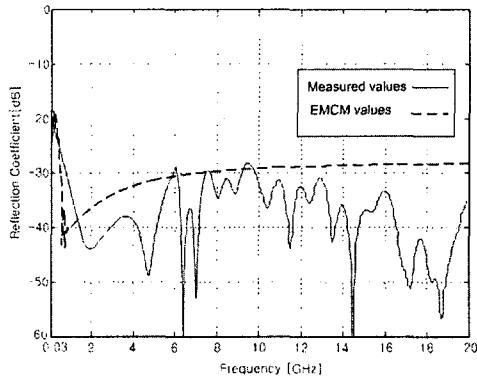


그림. 11 적층형 전파흡수체의 이론 및 실측정치
Fig 11. simulated and experimental results of the complex type absorber

IV. 결론

이 논문에서는 국제규격을 충족하는 적층형 전파흡수체의 설계를 제안하였다. 적층형 전파흡수체는 hemisphere 타입 페라이트 전파흡수체 위에 탄소 혼합 우레탄 피라미드형 전파흡수체를 부착한 형태를 지니며 이때 피라미드 전파흡수체의 최적 높이는 150 mm 였고 탄소함유량은 34%였다. 시뮬레이션 및 실측정 값 모두 20 dB 이상의 흡수능을 보이는 주파수 대역이 30 MHz ~ 20 GHz 였다.

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2003-005-D00006)
본 연구는 대학 IT연구센터인 충남대학교 전자파환경 기술연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] Dong Il Kim, Michiharu Takahashi, Hiroki Anzai, Sang Yup Jun, "Electromagnetic wave absorber with wide-band frequency characteristics using exponentially tapered ferrite", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol.38, No.2 pp.173-177, May 1996.

[2] 김동일, 전상엽, "EMI/EMC 대책용 광대역화 전파흡수체의 개발에 관한 연구" 한국항해학회지 제 15권 제 4호 , pp.13-35, 1991. 12

[3] Dong Il Kim, Sang-Tae Kim, Ji-Yong Park, Se-Mo Chung, "A comparative study on measuring methods of absorption characteristics for electromagnetic wave absorber using Time Domain Method", Proceedings of Korea EMC/EMI Society, vol.6, no.2, pp. 11-18, June 1995

[4] CISPR11, ISM radio frequency equipment electromagnetic disturbance characteristics limits & methods of measurement, IEC, pp.12-15, 1997.

[5] 강덕근, "새로운 전자파장해관련 기준 제/개정", 전파진흥지, pp.11-16, 1996. 11.

[6] Y.Naito et al., "Characteristics of grid ferrite electromagnetic wave Absorber", IECE of Japan, Vol. J76-B-II, No.11, pp898-905, Nov. 1993.

[7] "A Study on Absorption Characteristics of Hemisphere Type on Cutting Cone Shaped Absorber for Obliquely Incident EM Waves" June Young Son and Dong Il Kim, APMC 03, pp.53-56, 2003. 11. 4-7

[8] Christopher L. Holloway, Ronald R. Delyser, Robert F. German, Paul Mckenna, and Motohisa Kanda, "Comparison of Electromagnetic Absorber Used in Anechoic and Semi-Anechoic Chambers for Emissions and Immunity Testing of Digital Device." IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, VOL.39 , NO . 1, p33~47, Feb. 1997.

MEMO