

전파무향실용 광대역 전파흡수체의 정밀해석에 관한 연구

김대훈^{**} · 김동일^{*}

^{*}한국해양대학교 전파공학과

A Study on Analysis of EM Wave Absorber with Broadband Characteristics for Anechoic Chamber

Dae Hun Kim^{**} · Dong Il Kim^{*}

^{*}Dept. Radio Science & Engineering Korea Maritime University

E-mail : kimdaehunee@naver.com

요 약

국제 규격을 충족하는 전파무향실을 구축하기 위하여 광대역성을 가지는 페라이트 전파흡수체에 피라미드형 카본 혼입 발포 유전체 전파흡수체를 부착시킨 초광대역성 전파흡수체의 설계 방법을 제안하였다. 기존의 페라이트 전파흡수체는 흡수능 20 dB 이상을 만족하는 주파수 대역이 30 MHz에서 6 GHz 였으나 본 논문에서 제안하는 페라이트 전파흡수체 위에 피라미드형 유전체 전파흡수체를 적층시킨 전파흡수체는 흡수능 20 dB 이상을 만족하는 주파수 대역이 30 MHz에서 18 GHz까지 확장되었고 그 전체 두께는 14.26 cm이다.

ABSTRACT

In this paper, a super wide-band EM wave absorber was designed by attaching pyramidal type absorber on a ferrite absorber. The used ferrite absorber was in hemisphere type on a cutting cone-shaped absorber. As a result, the bandwidth has been broadened from 30 MHz to 18 GHz and the total height of the EM Wave absorber is relatively low profile of 14.26 cm.

키워드

pyramid type, broadband EM wave absorber, carbon intermixed urethane foam

1. 서 론

현대의 전자 및 통신 기술의 발달은 현대인의 생활을 편리하게 해주었지만, 많은 전자기기들의 사용으로 인해 전자파 사용 역시 증가하여 불요 전자파에 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 다목적 전파 무향실을 위한 광대역 전파흡수체가 필요하게 되었다. 기존의 국제규격기준(ANSI C634-1991, CISPER A SEC109, 또는 IEC 801-3)을 충분히 만족시켜야하는 주파수 대역이 30 MHz에서 1 GHz 정도였으나 1998년 11월 6일 CISPER(국제 무선 장해 특별 위원회)에서는 논의 되어왔던 방사 측정 주파수의 범위를 CISPER11[3]에서 18 GHz까지 대역을 확장시켰다[4-5]. 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 [7-9]. 본 연구에서는 위와 같은 문제점 해결을 위한 초광대역 특성의 범용 전파흡수체를 개발하기 위하여, 광대역 Ferrite 흡수체(Hemisphere Type)[1] 위에 피라미드형 유전체 전파흡수체를 부착한 적층형 초광대역 전파흡수체를 설계하였고 유한공간인 전파무향실 내에서 유효공간을 확보하기 위하여 전파흡수체의 전체 높이를 10 cm 이하로 구현시키는 것을 목표로 하였다. 시뮬레이션을 통해 최적의 설계 파라미터를 구하였다.

II. 적층형 전파흡수체의 해석

2-1. 적층형 전파흡수체의 형상

제안한 전파흡수체를 그림 1에 나타내었다. 그림 2는 제안한 전파흡수체의 측면도와 평면도를 나타낸 것이다. 그림 1과 그림 2는 본 연구실에서 기존에 제작한 흡수체에 피라미드 타입 전파흡수체를 부착한 모습을 나타낸다.

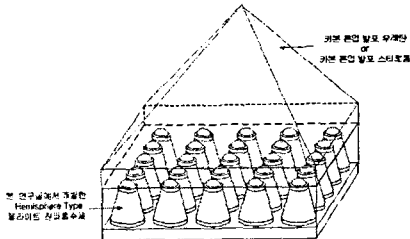


그림 1. 제안하는 전파흡수체

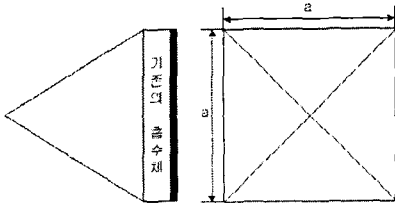


그림 2. 제안하는 전파흡수체의 측면도와 평면도

2-2. 페라이트 전파흡수체의 해석

페라이트 전파흡수체의 다층형 모델이 그림 3에 나타나있다.

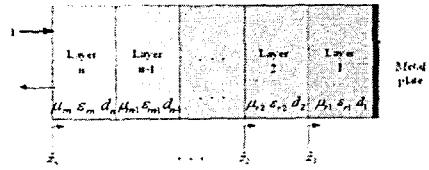


그림 3. 페라이트 전파흡수체의 다층형 모델

첫째 단에서의 정규화 된 임피던스는

$$z_1 = \sqrt{\frac{\mu_{r1}}{\epsilon_{r1}}} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_{r1}\epsilon_{r1}} d_1) \quad (1)$$

여기서 ϵ_r : 각 층에서의 등가유전율

μ_r : 각 층에서의 등가투자율

d : 각 층의 길이

임의의 단에서의 정규화 된 임피던스는

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

최종단에서의 정규화 된 임피던스는

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

2-3. 피라미드형 카본 우레탄 흡수체의 해석

전파흡수체 설계 시 등가재료정수법[6]을 사용하였으며 본 연구에서 제안된 탄소합유 피라미드의 경우는 유전체 이므로 등가 유전율에 대한 이론적 배경만을 서술하였다.

정전용량은 $C = \epsilon W a / g = \epsilon S / g$ 에서와 같이 유전율과 단면적에 비례하고 간격에 반비례한다. 그림 1과 같이 피라미드형 전파흡수체는 그림 5와 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 1에서 Δz 의 두께를 가지는 구조에 대한 등가유전율 ϵ_{eq} 는

$$\epsilon_{eq} = \frac{C}{\epsilon_0 \Delta z} \quad (8)$$

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

와 같이 계산 할 수 있다.

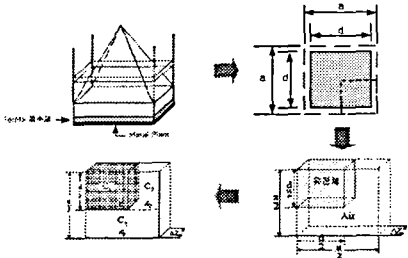


그림 4. 등가재료정수의 캐패시턴스 계산모델

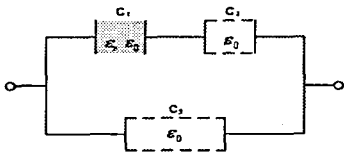


그림 5. 합성용량 모델

2-4. 다층형 해석모델에 의한 적층형 전파흡수체의 해석

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

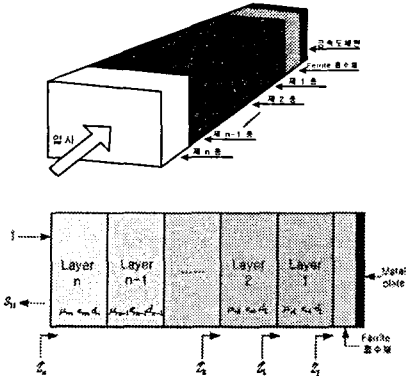


그림 6. 적층형 전파흡수체의 다층형 해석모델

첫 단의 임피던스는 다음과 같으며

$$Z_1 = \frac{1}{\epsilon} \frac{\hat{z} + \sqrt{\frac{1}{\epsilon_r} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \epsilon_{eff} d_1)}}{\sqrt{\frac{1}{\epsilon_r} \hat{z} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \epsilon_{eff} d_1)}} \quad (10)$$

이어서 계산되는 최종 값은 다음 식과 같다.

$$\hat{z}_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_{rn}}} \frac{\hat{z}_{n-1} + \sqrt{\frac{1}{\epsilon_{rn}} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_{rn}} d_n)}}{\sqrt{\frac{1}{\epsilon_{rn}} + \hat{z}_{n-1} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_{rn}} d_n)}} \quad (11)$$

이렇게 구해진 최종 임피던스의 값으로 반사계수를 구할 수 있다.

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

III. 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 7은 본 연구실에서 최근에 제작된 Hemisphere Type 페라이트 전파흡수체를 나타낸다. 전체 두께는 2.83 cm이고 20 dB 이상의 흡수능을 나타내는 최대주파수는 약 6 GHz 이다. 그림 8에 그 실측정 및 이론적 주파수 특성을 나타내었다.

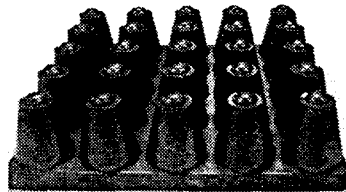


그림 7. 제작된 Hemisphere Type Ferrite 전파흡수체

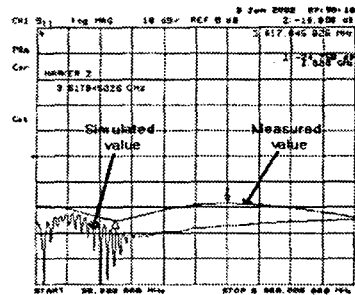


그림 8. Hemisphere Type Ferrite 전파흡수체의 주파수 특성

그림 9는 페라이트 전파흡수체 위에 피라미드 전파흡수체만을 적층시킨 형태의 주파수특성을 나타내는 그림으로 페라이트 전파흡수체만을 사용하였을 때 보다 성능이 향상됨을 알 수가 있다. 그림 10은 페라이트 전파흡수체 위에 피라미드 전파흡수체를 적층시킨 형태로 전체 두께를 10 cm 미만으로 실현시키고자 Hemisphere Type 페라이트 전파흡수체와 Pyramid Type 유전체 전파흡수체를 연동·변경하여 설계한 이론적 주파수특성을 나타낸다.

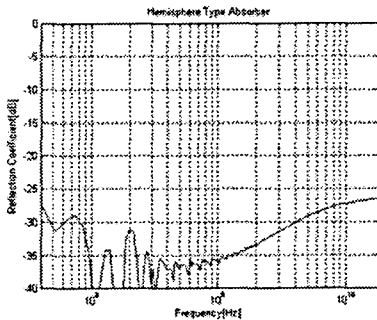


그림 9. 적층형 전파흡수체의 이론적 주파수 특성 (전체 두께 17.83 cm)

Hemisphere Type 페라이트 전파흡수체의 전체 두께는 2.76 cm 이며 Pyramid Type 유전체 전파흡수체는 대량생산 시 flat foam 위에 피라미드가 있는 형태로 제작되기 때문에 flat foam 두께는 3 cm, 피라미드 높이는 8.5 cm로 하여 전체 두께는 14.26 cm로 설계하였다.

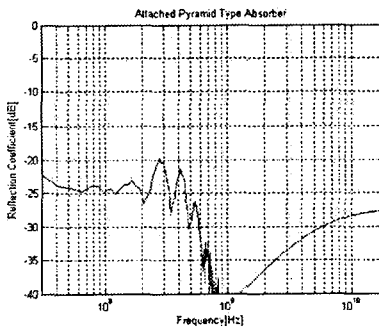


그림 10. 적층형 전파흡수체의 시뮬레이션 주파수 특성 (전체 두께 14.26 cm)

IV. 결 론

본 논문에서는 최근에 저자들이 개발한 Hemisphere type 페라이트 전파흡수체 위에 Pyramidal type 유전체 전파흡수체를 적층시킨

형태로 초광대역 전파흡수체를 개발하였다. 이 전파흡수체의 흡수대역은 30 MHz ~ 18 GHz에 이르러서 국제규격을 충족하면서도 그 전체 두께는 약 14 cm이므로 매우 우수한 것이다. 향후 실제 작을 통해 그 성능을 실제 측정해야 할 것이다.

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2003-005-D00006)

참고문헌

- [1] "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
- [2] 김동일, 전상엽, "EMI/EMC 대책용 광대역화 전파흡수체의 개발에 관한 연구" 한국항해학회지 제 15권 제 4호, pp.13-35, 1991. 12
- [3] CISPR/B/RVC, CISPR 11, 1998. 11. 8
- [4] 김동일, 이창우, 전상엽, 정세모, "초광대역특성을 갖는 정방형 페라이트 기둥구조의 전파흡수체 설계법", 한국항해학회지 제19권 제2호, pp.99-106, 1995.
- [5] 강덕근, "새로운 전자파장애관련 기준 제/개정", 전자진흥지, 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, pp.898-905, Nov. 1993.
- [7] 김동일, 전상엽, 정세모, "제2층에 십자형 슬롯을 가지는 2층형 초광대역 전자파흡수체의 개발", 한국전자과학회 종합학술대회 논문집, pp.8-12, 1995.
- [8] 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.
- [9] 김동일, 전상엽, "십자형슬롯을 가지는 적층형 초광대역 페라이트 전파흡수체의 설계", 한국전자과학회 논문지, 제7권 제4호, pp.346-352, 1996.
- [10] 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.