광대역 페라이트 전파흡수체의 제작과 평가에 관한 연구

손준영* · 배재영* · 원영수** · 송재만*** · 김동일*

*한국해양대학교 전파공학과, **한국해양대학교 전자통신공학과,

***한국해양대학교 산업기술연구소

Fabrication and Evaluation of Broad-Band Ferrite EM-wave Absorber

June Young Son* · Jae Young Bae* · Young Soo Won** · Jae Man Song*** · Dong Il Kim*

*Dept. of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University

**Dept. of Electronic Communication Engineering, Korea Maritime University

***Research Institute of Industrial Technology, Korea Maritime University

요 약

전자산업과 전파통신기술이 발달함에 따라 인류는 풍요로운 생활을 영위하고 있지만, 전파의 사용 증대로 인해 EMI와 같은 많은 사회적 문제와 불요 전자파가 발생하고 있다. 따라서, CISPR, FCC, ANSI 등의 기구는 EMC 대책을 위해 전파환경의 규정을 제안하고 있다. EMI/EMC 측정을 위한 전파무향실(anechoic chamber)에 대한 국제 규정을 만족하기 위해서는, 30 MHz ~ 1,000 MHz까지의 범위에서 20 dB이상의 전파흡수능을 가져야 한다. 하지만, 1998년 11월, CISPR11은 EMI 측정의 주파수 범위를 1 GHz ~ 18 GHz로 확장하였다[1]. 본 논문에서는, 상기의 요구를 만족하는 새로운 형태의 전파흡수체(Electromagnetic Wave Absorber)를 제안하고 등가재료 정수법(Equivalent Material Constants Method)을 사용하여 광대역 설계를 수행하였다. 그 외에, 실험은 30 MHz ~ 2 GHz까지의 주파수 범위에서 행해졌으며, 제안한 설계 이론의 타당성을 확인하였다.

Abstract

According to the progress of the electronic industry and radio communication technologies, mankind might enjoy its abundant life. On the other hand, many social problems such as EMI, and unnecessary electromagnetic wave occur due to the increased use of electromagnetic wave. Therefore, the organiztions such as CISPR, FCC, ANSI, etc. have provided the standard of electromagnetic wave enviroment for the countermeasure of the EMC. It had been required that the absorbing ability of an electromagnetic wave absorber is more than 20 dB, the bandwidth of which is required through 30 MHz to 1,000 MHz for satisfying the international standard about an anechoic chamber for EMI/EMS measurment. From November of 1998, however, the CISPR11 has accepted the extended frequency band from 1 GHz to 18 GHz additionally in the bandwidth of EMI measurement[1]. In this paper, we proposed a new type absorber satisfying the above requirements and carried out broadband design using the equivalent material constants method. Futheremore, the experiments were carried out over the frequency band from 30 MHz to 2 GHz, and hence, the validity of the proposed design theory was confirmed.

I. 서 론

전파흡수체는 EMI와 EMC 검사와 측정을 위한 전파무향실에 사용된다. 하지만, ANSI C63.4-1991, CISPR A SEC.109, IEC 801-3와 같은 국제 규정을 만족하기 위해서는 전파무향실용 전파흡수체는 CISPR11에 의해 30 MHz ~ 18 GHz의 주파수 범위에서 20 dB이상의 전파흡수능이 필요하다[1].

그러나, 종래의 소결 페라이트 타일을 부착한 단층형 페라이트 전파흡수체는 30 MHz ~ 400 MHz 정도의 주파수 범위에서 20 dB 이상의 전파흡수능을 가지며, 격자형 전파흡수체의 경우에도 30 MHz ~ 800 MHz정도이다.

본 논문에서는, 페라이트 타일에 원추절단형을 부착한 새로운 형태의 페라이트 흡수체를 제안하였다. 제안한 전파 흡수체의 등가재료정수를 계산하고 설계하였고[2]-[4], 제안한 광대역 전파흡수체를 국제 규정에 만족시킬 수 있었다.

II. 등가재료 정수법

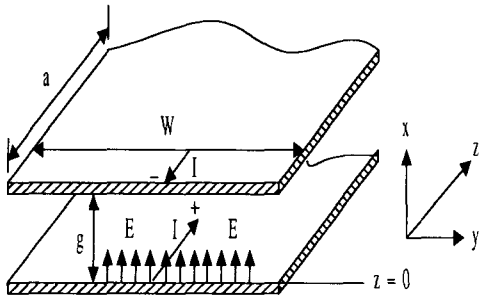

그림 1. 평행판 전송 선로

2.1 등가 유전율

그림 1에서 처럼, z 방향으로 전류가 흐르는 경우, 단위 길이당 cpapcitance C를 계산할 수 있다. 단위 길이당 capacitance는 식 (1)로부터 구할 수 있다. 여기서, ε은 전송선로에 채워진 물질의 유전율이다.

$$\frac{C}{a} = \frac{\varepsilon W}{g} \quad (1)$$

만약 두 평판 사이에 공기나 진공이 채워져 있다면, 그 capacitance는 C_0이고, 비등가유전율 ε_r 은 식 (2)로 구할 수 있다.

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0} \quad (2)$$

2.2 등가 유전율

유사하게, ga 영역에서의 단위 길이 L당 등가 투자율은 식 (3)에 의해 구해진다.

$$\frac{L}{a} = \frac{g\mu}{W} \quad (3)$$

만약 두 평행판에 진공이나 공기가 채워져 있다면, 그 inductance는 L_0이고, 비등가투자율 μ_r은 식 (4)에 의해 구해진다.

$$\mu_r = \frac{L}{L_0} \quad (4)$$

III. 전파흡수체의 설계

제안한 전파흡수체는 그림 2에 나타나 있다. 그림 3은 제안한 전파흡수체의 측면도와 평면도를 나타낸 것이다.

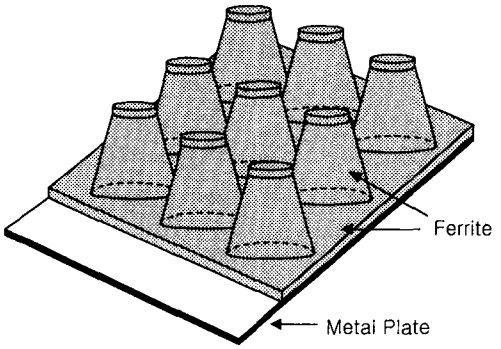

그림 2. 제안된 전파 흡수체의 사시도

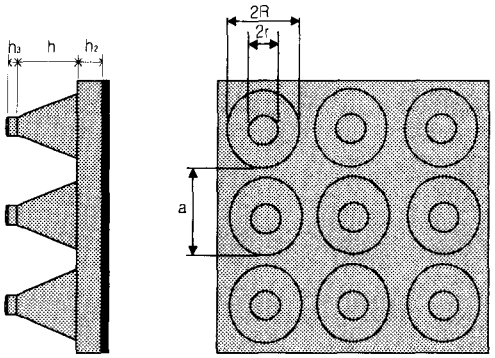

그림 3. 제안된 전파 흡수체의 평면도와 측면도

그림 2와 그림 3에서와 같이, 금속판 위에 페라이트 타일, 원추절단형 페라이트 기둥, 원통형 페라이트 층으로 구성되어 있다. 첫 번째 층은 페라이트로 채워진 타일형 페라이트이므로, 등가 유전율과 등가 투자율은 페라이트 재료의 유전율과 투자율과 같다.

두 번째 층의 원추절단부와 세 번째 층의 원통부는 페라이트와 공기가 혼재해 있으므로, 합성유전율과 투자율을 사용하여 실효 유전율과 실효 투자율을 구할 수 있다.

따라서, 두 번째 층의 등가 유전율과 투자율은 그림 4와 그림 5에 나타나 있는 등가 회로를 사용하여 구할 수 있다. 두 번째 층의 경우, 등가

유전율 ε_{eff}과 등가 투자율 μ_{eff}는 그림 4와 그림 5에 의해 식(5)와 식 (6)으로 표현된다[5]-[6].

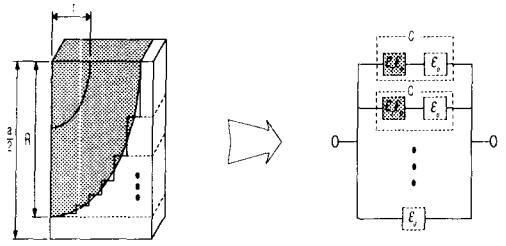

그림 4. 2층부의 등가 캐패시턴스 모델

$$\varepsilon_{eff} = \frac{a[(a-\Delta t)\varepsilon_r + \Delta t]}{a(x_{n+1}-x_n)\varepsilon_r} + \frac{[(a-x_n+n\Delta t)(x_{n+1}-x_n)]\varepsilon_r}{a(x_{n+1}-x_n)\varepsilon_r} \quad (5)$$

$$\mu_{eff} = \frac{a[(a-x_n)\mu_r + (x_n - n\Delta t)]}{a\Delta t\mu_r} + \frac{(a-x_n+n\Delta t)\mu_r}{a\mu_r} \quad (6)$$

여기서, a는 원추의 주기, x_n은 n-영역의 반지름, Δt는 분할한 원추절단의 두께.

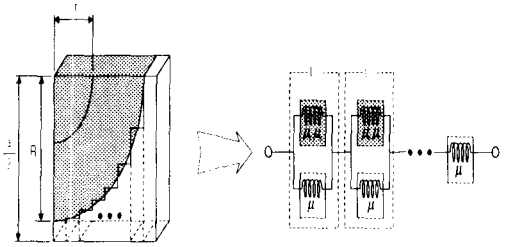

그림 5. 2층부의 등가 인덕턴스 모델

세 번째 층의 경우, 기본 원리는 원추절단형과 비슷하다. 즉, 두 번째 층의 기둥형상이 기울기 없이 90° 로 서 있는 것과 같다. 따라서, 등가 유전율과 등가 투자율은 식 (7)과 식(8)로 표현된다.

$$\varepsilon_{eff} = \frac{h_1 \varepsilon_r}{(a-r)\varepsilon_r + r} \quad (7)$$

$$\mu_{eff} = \frac{h_1 \mu_r}{(a-r)\mu_r + r} \quad (8)$$

여기서, h_1은 원통의 높이이고, r은 원통의 반지름이다.

IV. 페라이트 재료의 주파수 분산 특성

페라이트 전파흡수체는 주로 마이크로파대에서 사용하므로, 페라이트의 비유전율 ε_r은 거의 일정하다.

본 논문에서의 비유전율 ε_r은 14로 하였다. 하지만, 페라이트의 비 투자율 μ_r은 주파수 의존성이 크므로, 페라이트를 광대역에서 사용할 경우 이점에 주의해야한다.

4.1 Naito 주파수 분산식

페라이트의 비투자율에 관한 주파수 분산 특성은 Y. Naito에 의하여 제안된 실험식이 실측치에 비교적 잘 일치한다는 것으로 보고 되어 있다[7]. 하지만 그림 6에서와 같이, 100 MHz 근방에서 비투자율의 이론치와 실측치 사이에 상당히 큰 오차가 나타난다. 식 (9)는 Naito 주파수 분산식을 나타낸 것이다.

$$\mu_r = 1 + \frac{\mu_i}{1 + j\frac{f}{f_m}} \quad (9)$$

여기서, μ_i는 초투자율, f는 주파수, f_m은 완화주파수이다.

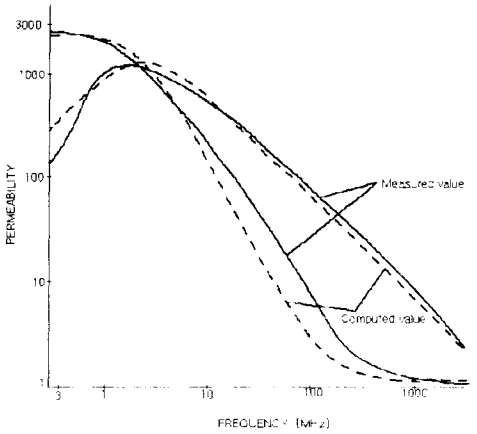

그림 6. 복소투자율의 Naito 실험치와 측정치의 비교

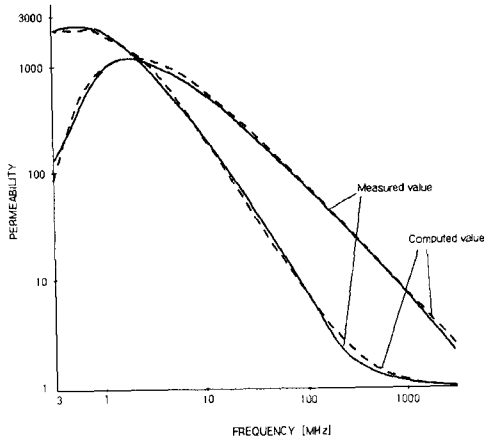

그림 7. 복소투자율의 수정된 분산식의 실험치와 측정치의 비교

4.2 수정된 주파수 분산식

본 연구에서는, 정확한 시뮬레이션 결과를 얻기위해서, 수정된 주파수 분산식을 제안하였다. 이 수정된 주파수 분산식은 식 (10)에 나타내었다.

$$\mu_r = \mu' - j\mu'' \quad (10)$$

여기서,

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

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

μ'는 μ_i, f_1, f_p, k_0에 의존하는 상수이고, μ''은 μ_m, f_m, f_s, k_2에 의존하는 상수이다. 그리고 모든 파라미터들은 실측치에 의해 결정되어야 한다.

그림 7은 수정된 주파수 분산식에 의한 이론치와 실측치를 비교한 것이다. 그림 7에서와 같이, 이론치와 실측치에 잘 일치하고 있다.

V. 제작과 측정 결과

그림 8은 제작한 전파흡수체의 시뮬레이션 결과를 타나낸 것이다. 표 1은 시뮬레이션한 전파흡수체의 치수를 나타낸 것이다.

시뮬레이션 결과, 30 MHz ~ 100 GHz의 주파수 범위에서 20 dB 이상의 전파흡수능을 가지고 있음을 알 수 있다. 전파 흡수체의 전체 높이는 고작 26.5 ㎜밖에 되지 않으므로, 이 전파 흡수체를 사용할 경우, 전파무향실내의 유효공간확장에 매우 유리할 것이다.

표 1. 시뮬레이션한 전파흡수체의 치수

Dimension	2R	2r	h	h_1	h_2	a
Size (mm)	18	10	18	2	6.5	20

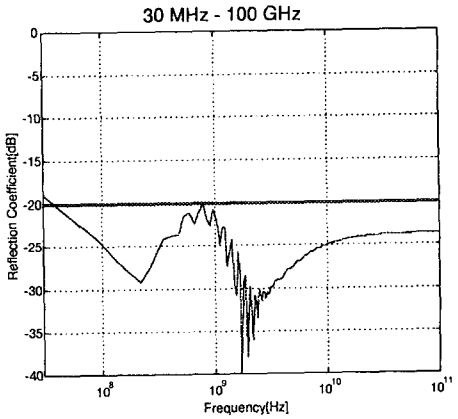

그림 8. 시뮬레이션한 전파 흡수 특성

표 2. 실제로 제작한 전파 흡수체의 치수

Dimension	2R	2r	h	h_1	h_2	a
Size (mm)	18	14	25	2	7.2	20

표 2는 실제로 제작한 전파흡수체의 치수를 나타낸 것이다. 그림 9는 측정에 사용한 스트립 라인(strip line)을 나타낸 것이다. 측정 주파수 범위는 30 MHz ~ 2 GHz까지이다.

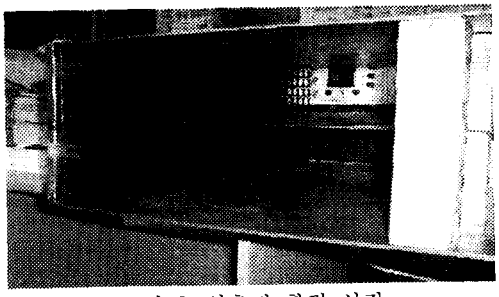

그림 9. 실측정 환경 설정

그림 10은 실제로 제작한 전파 흡수체로 측정한 측정결과를 나타낸 것이다. 측정 결과 30 MHz ~ 2 GHz의 주파수 범위에서 약 20 dB이상의 전파흡수능을 보이고 있다.

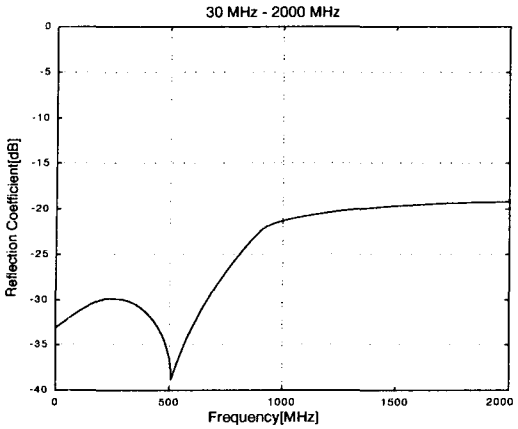

그림 10. 제작된 전파 흡수체의 주파수 특성

VI. 결 론

본 논문에서는, 광대역 주파수 특성을 가지는 새로운 형태의 전파 흡수체를 설계하였다. 제안한 전파 흡수체의 시뮬레이션 결과 30 MHz ~ 100 GHz의 주파수 범위에서 20 dB이상의 전파흡수능을 가짐을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] CISPR/B/220/RVC, CISPR11, Nov. 8, 1998.

[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 슬롯을가지는 2층형 초광대역 전파흡수체의 개발," 한국전자파학회 종합학술대회 논문집, pp.8-13, 1995.

[5] 김동일, 박종구, 원영수, "십자돌기형 페라이트 전파흡수체의 광대역 설계," 한국전자파학회지, pp.372-378, 2000. 4.

[6] 김동일, 박종구, 정세모, 이영구, "원추절단형 페라이트 전파흡수체의 최적설계 및 제작에 관한 연구," 한국해양정보통신학회 추계 학술대회 논문지, vol. 4, no. 2, pp.153-156, 2000. 10

[7] Y. Naito et al., "Formulation of frequency dispersion of ferrite permeability," IEICE Japan, vol. J59-C, no. 5, pp. 297-304, May 1976.