

기동형 돌기부를 가지는 광대역 페라이트 전파흡수체의 설계

김동일^{*}· 박종구^{*}· 도상열^{*}· 김하근^{*}· 전상엽^{**}· 박정수^{*}· 박태원^{*}· 정세모^{*}

^{*}한국해양대학교, ^{**}한국해양수산연수원

Design of Broad-Band Ferrite Absorber in Square Projection Type

Dong-Il Kim^{*}· Jong-Goo Park^{*}· Sang-Yeol Do^{*}· Ha-Kun Kim^{*}· Sang-Yeop Jun^{**}·

Jung-Soo Park^{*}· Tae-Won Park^{*}· Se-Mo Chung^{*}

^{*}Korea Maritime University, ^{**}KIMFT

E-mail : dikim@hanara.kmaritime.ac.kr

요 약

최근 전자통신기술의 발달은 인간의 생활을 윤택하게 해주는 반면, 전자파 발생요인의 증가와 함께 심화되고 있는 전자파장해에 대한 대책이 사회적으로 큰 관심을 끌고 있다. 전자파 장해 및 내성 측정을 위한 전파암실용 전파흡수체가 충분히 만족시키기 위해서는, 주파수 대역이 30 MHz~1,000 MHz에서 20 dB 이상의 전파흡수능이 요구되고 있으며, 앞으로 30 MHz에서 5,000 MHz 이상으로 주파수 대역이 확장될 전망이다. 본 논문에서는 위와 같은 요구조건을 만족하는 페라이트 기동형 돌기부를 가지는 전파흡수체를 제안하고 이를 등가재료정수법에 의하여 광대역 설계하였다.

ABSTRACT

The development of Electromagnetic Communication technology have made our life abundant. However, the countermeasure of EMI(Electromagnetic Interference) are more important socially as increase of a main cause on electromagnetic waves occurrence. It is required that the absorbing ability of an electromagnetic wave absorber is above 20 dB, the bandwidth of which is required from 30 MHz to 1,000 MHz for satisfying the international standard about EMI and also will be required from 30 MHz up to 5,000 MHz in the bandwidth. In this paper, we proposed the square projection type absorber satisfying the above requirements and carried out broadband design using the equivalent material constants method.

1. 서 론

정보화 시대로의 급속한 발전에 따라 통신 및 정보기기의 사용이 급증하고 있다. 이러한 전자통신기술의 발달은 인간의 생활을 윤택하게 해주는 반면, 전자파 발생요인의 증가와 함께 심화되고 있는 전자파장해에 대한 대책이 사회적으로 큰 관심을 끌고 있다. 이에 대한 대책으로, 국제적으로는 CISPR, 미국에서는 FCC, ANSI 등의 규제를 만들게 되었으며, 우리나라에서도 전자통신용장비의 EMI (전자파장해 ; Electromagnetic Interference) / EMC (전자파양립성 ; Electromagnetic Compatibility) 규제를 만들어 수출에 대비하고 있다. 따라서 EMI/EMC 규제에 대비하여 전파무향실(전파암실)용 전파흡수체의 수요가 급격하게 증가되고 있는 실정이다. 특히, EMI/EMC 규제와 관련하여 전기·전자기기에서의 방사파를 측정하기 위한 전파무향실용 전파흡수체가 국제규격기준(ANSI C634-1991, CISPR A SEC 109, 또는 IEC 1000-4-3)을 충분히 만족시키기 위해서는, 주파수 대역 30 MHz~1,000 MHz에서 20dB(전자파 전력의 99%) 이상의 전파흡수능을 가질 것이 요

(※ 본 연구는 1997년도 한국과학재단의 특정기초과제(번호 : 97-01-01-04-01-2)의 연구지원에 의하여 이루어졌음)

구되고 있으며, 앞으로 30 MHz에서 5,000 MHz 이상으로 주파수 대역의 확장이 요구될 전망이다 [1],[2].

따라서, 본 연구에서는 정방형 페라이트 기둥 형태를 갖는 3층형 전파흡수체의 2층에 테이퍼를 가지는 것으로서, 전체 높이가 29.4mm인 전파흡수체를 제안하여, 등가재료정수법[5]을 활용하여 유효 주파수대역을 30 MHz에서 20,000 MHz까지 광대역화 된 전파흡수체를 설계하였다.

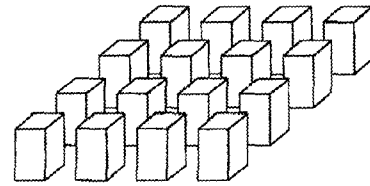


그림 2 주기적인 배열을 가지는 전파흡수체의 구성도

II. 본 론

II.1 등가재료정수법

II.1.1 등가유전율

그림 1과 같이 y방향으로 폭 w, x방향으로 두 평판 사이의 간격이 g인 평행판 전송선로에서 z 방향으로 전류가 흐르는 경우, z방향의 단위길이당 용량을 계산한다. 이때 z = 0에서 평행판 사이의 전위차 V(t)는 일정하며 정상전류가 흐르는 것으로 한다. 아래쪽 평판의 전위는 +I, 위쪽 평판의 전위는 -I로 하면 전계 E_x는 +x 방향을 향한다.

금속판에서 y방향의 폭 w, z방향의 길이 a의 구역에 있는 전하를 Q, 평행도체판간의 총 용량을 C, 전송선로에 채워진 물질의 유전율을 ε이라고 하면 다음 관계가 성립한다[1],[5],[6].

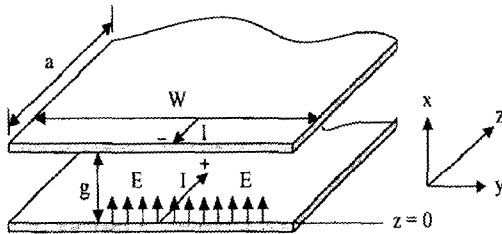


그림 1 평행판 전송선로

$$Q = CV \quad (1)$$

$$V = gE_x \quad (2)$$

$$D = \epsilon E_x = \frac{\epsilon V}{g} \quad (3)$$

$$Q = W \times a \times D = \epsilon \frac{W a}{g} V \quad (4)$$

따라서, 단위길이당 용량은 식(5)와 같다.

$$\frac{C}{a} = \frac{\epsilon W}{g} \quad (5)$$

예를 들어 그림 2에 나타낸 주기적으로 배열된 페라이트 기둥 구조의 등가유전율을 구해보자. 그림 3을 이용하여 그림 4와 같은 합성용량 모델을 만들 수 있으며, 총 합성용량 C는 아래와 같이 계산할 수 있다[1],[5],[6].

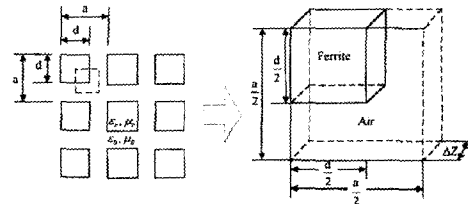


그림 3 등가재료 정수법 계산을 위한 모델

여기서,

$$C_{F1} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \Delta z$$

$$C_{A3} = \frac{(a-d) \epsilon_0 \Delta z}{a}$$

$$C_{A2} = \frac{d \epsilon_0 \Delta z}{a-d}$$

$$C = \epsilon_0 \Delta z \left\{ \frac{(a-d)}{a} + \frac{\epsilon_r d}{(a-d)\epsilon_r + d} \right\} \quad (6)$$

따라서, 그림 3에서 Δz의 두께를 가지는 구조에 대한 등가유전율 ε_{eq}는 식(8)과 같이 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{eq} = \frac{C}{\epsilon_0 \Delta z} \quad (7)$$

$$\epsilon_{eq} = \frac{(a-d)}{a} + \frac{\epsilon_r d}{(a-d)\epsilon_r + d} \quad (8)$$

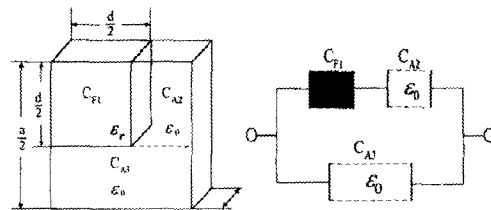


그림 4 합성 커패시턴스 계산을 위한 등가회로

II.2.2 등가 투자율

이 평행판 또한, 그림 1에서 L을 자기인덕턴스라고 하면, ga구역을 자르는 자속은 식 (6)과 같이 주어진다. 전송선로에서 아래쪽 판에서는 +z방향으로, 위쪽판에서는 -z방향으로 흐르는 전류를 I.

+y방향으로 유기되는 자계를 H, 자속밀도를 B, 전송선로에 채워진 물질의 투자율을 μ , ga 를 자르는 자속을 Φ , 평행도체판간의 총 합성인덕턴스를 L이라고 하면 다음 관계가 성립한다.

$$H = \frac{I}{W} \quad (9)$$

$$B = \frac{\mu}{W} I \quad (10)$$

$$\Phi = B \times g \times a = \mu \frac{g}{W} I \quad (11)$$

$$L \frac{dI}{dt} = \frac{d\Phi}{dt} \quad (12)$$

식(12)는 정상전류에서 식(13)과 같다.

$$L = \frac{\Phi}{I} = \mu \frac{ga}{W} \quad (13)$$

따라서, 단위길이당 인덕턴스는 식(14)과 같이 주어진다.

$$\frac{L}{a} = \frac{g\mu}{W} \quad (14)$$

그림 2를 이용하여 위와 같은 방법으로 그림 5와 같은 합성인덕턴스 모델을 만들 수 있다. 총 합성인덕턴스 L은 아래와 같이 계산할 수 있다. 여기서,

$$\begin{aligned} L_{F1} &= \mu_0 \mu_r \Delta z \\ L_{A2} &= \frac{\mu_0 d \Delta z}{a - d} \\ L_{A3} &= \frac{\mu_0 (a - d) \Delta z}{a} \\ L &= \mu_0 \Delta z \left\{ \frac{a - d}{a} + \frac{\mu_r d}{(a - d)\mu_r + d} \right\} \quad (15) \end{aligned}$$

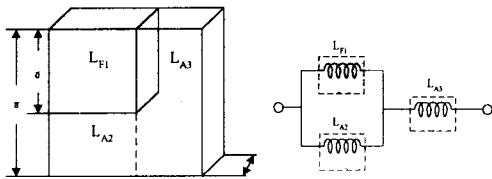


그림 5 합성인덕턴스 계산을 위한 등가회로

따라서, 그림 2와 같은 구조에 대한 등가투자율 μ_{eq} 는 식(17)과 같이 주어진다.

$$\mu_{eq} = \frac{L}{\mu_0 \Delta z} \quad (16)$$

$$\mu_{eq} = \frac{(a - d) \mu_r \mu_0 \Delta z}{d + (a - b) \mu_r} + \frac{d \mu_r}{a} \quad (17)$$

상기 설명한 방법을 등가재료정수법이라고 한다 [5].

II.3 페라이트 기둥형 돌기부를 가지는 전파흡수체의 설계

본 연구에서 제안한 전파흡수체는 그림 6과 같은 구조를 가지며, 재료정수는 초투자율이 2,500, 비유전율은 14로 사용하였다.

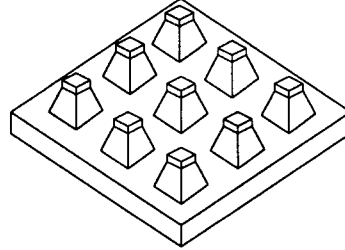


그림 6. 페라이트 기둥형 돌기부를 가지는 전파흡수체

그림 7의 구조는 X축 및 Y축이 대칭의 구조이므로 한 부분만을 해석하여도 전체의 특성을 파악할 수 있다. 또한 3층의 구조를 가지므로 1층, 2층 및 3층의 구조를 각각 해석하여 등가회로를 구성한다. 재료정수법을 이용하여 그림 6의 1층, 2층 및 3층의 합성용량 C와 등가유전율 ϵ_{eff} , 합성인덕턴스 L과 등가투자율 μ_{eff} 를 계산할 수 있다.

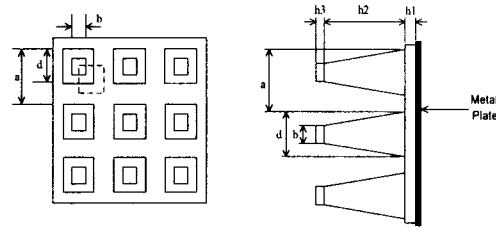


그림 7 평면도 및 측면도

1층의 합성용량 C와 등가유전율 ϵ_{eff} 를 구하면 식(18)과 식(19)와 같이 나타낼 수 있다.

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \Delta z \quad (18)$$

$$\epsilon_{eff} = \epsilon_r \quad (19)$$

같은 방법으로 1층의 합성인덕턴스 L과 등가투자율 μ_{eff} 를 구하면 식(20)과 식(21)로 구할 수 있다.

$$L = \mu_r \mu_0 \Delta z \quad (20)$$

$$\mu_{eff} = \mu_r \quad (21)$$

2층의 경우는 그림 8에 나타나듯이 경사진 기둥 형태이므로 두께 Δt 를 가지는 직사각형의 페라이트판이 n개 채워져 있다고 가정하고 계산한다. 따라서 2층의 합성용량 C와 등가유전율 ϵ_{eff} 도 식(22)와 식(23)으로 구할 수 있다.

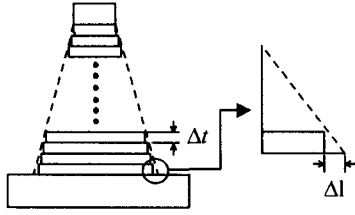


그림 8 경사진 2층부의 등가재료 정수법 계산을 위한 모델

$$C = \left[\frac{\epsilon_r [a - (d - n\Delta l)] (d - n\Delta l)}{[a - (d - n\Delta l)] (\epsilon_r + 1) (d - \Delta l)} + \frac{(d - n\Delta l) + \frac{a - (d - n\Delta l)}{a}}{\epsilon_0 \Delta z} \right] \epsilon_0 \Delta z \quad (22)$$

$$\epsilon_{eff} = \left[\frac{\epsilon_r [a - (d - n\Delta l)] (d - n\Delta l)}{[a - (d - n\Delta l)] (\epsilon_r + 1) + (d - n\Delta l)} + \frac{(d - n\Delta l) + \frac{a - (d - n\Delta l)}{a}}{\epsilon_0 \Delta z} \right] \quad (23)$$

여기서, Δl 은 경사부분에서 점선 안쪽으로 버려지는 미소 구간의 가로 길이이며, n 은 나누어진 층수를 나타낸다. 본 연구에서는 n 을 30으로 하였다.

또한, 2층의 합성인덕턴스 L 과 등가투자율 μ_{eff} 도 같은 방법으로 식(24)과 식(25)도 아래와 같이 구할 수 있다.

$$L = \left[\frac{\mu_r [a - (d - n\Delta l)] (d - n\Delta l)}{[a - (d - n\Delta l)] (\mu_r + 1) (d - \Delta l)} + \frac{(d - n\Delta l) + \frac{a - (d - n\Delta l)}{a}}{\mu_0 \Delta z} \right] \mu_0 \Delta z \quad (24)$$

$$\mu_{eff} = \left[\frac{\mu_r [a - (d - n\Delta l)] (d - n\Delta l)}{[a - (d - n\Delta l)] (\mu_r + 1) + (d - n\Delta l)} + \frac{(d - n\Delta l) + \frac{a - (d - n\Delta l)}{a}}{\mu_0 \Delta z} \right] \quad (25)$$

3층의 합성용량 C 와 등가유전율 ϵ_{eff} 도 식(26)과 (27)로 구할 수 있다.

$$C = \left[\frac{\epsilon_r b}{(a - b)\epsilon_r + b} \right] \epsilon_0 \Delta z \quad (26)$$

$$\epsilon_{eff} = \left[\frac{\epsilon_r b}{(a - b)\epsilon_r + b} \right] \quad (27)$$

또한, 같은 방법으로 합성인덕턴스 L 과 등가투자율 μ_{eff} 를 식(28)과 식(29)로 아래와 같이 구할 수 있다

$$L = \left[\frac{\mu_r b}{(a - b)\mu_r + b} \right] \mu_0 \Delta z \quad (28)$$

$$\mu_{eff} = \left[\frac{\mu_r b}{(a - b)\mu_r + b} \right] \quad (29)$$

III. 결과 및 고찰

2층부가 경사진 기둥형 돌기부를 가지는 페라이트 전파흡수체를 제안하여 설계함으로써 30 MHz에서 20,000 MHz의 주파수대역에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 전파흡수체를 개발하였다. 제안한 이론을 바탕으로 초투자율 2,500인 Ni-Zn 계 페라이트 재료를 사용하여 계산한 결과, 아래와 같은 결과를 나타내었다.

그림 9에서 점선과 이점쇄선은 각각 Tile형과 Grid형 전파흡수체의 흡수능이며 실선이 본 연구에서 제안한 전파흡수체의 흡수능이다.

표 3.1 사용된 페라이트의 재료상수

페라이트의 재료상수	흡수체의 치수(mm)						-20 dB를 만족하는 대역폭
	a	d	b	h1	h2	h3	
K1 = 2,500 fm = 2.5 MHz $\epsilon = 14$	20	18	9	6.4	21	2	30~20,000 MHz

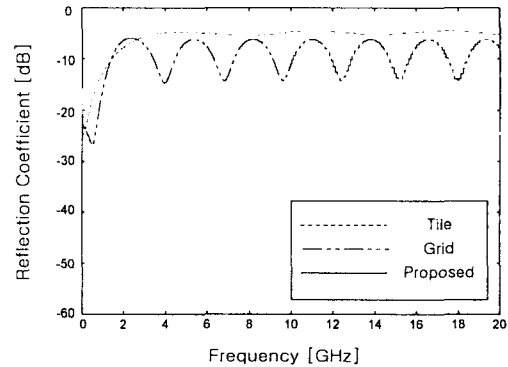


그림 9 제안한 전파흡수체의 흡수능 비교

IV. 결론

본 논문에서는 29.4 mm 미만의 두께로 30 MHz에서 20,000 MHz의 주파수 대역에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 전파흡수체를 설계하였다. 이는 기존의 전파무향실에서 사용되고 있는 두께 3m정도의 전파흡수체에 비하여 주파수대역폭, 공간적인 효율성, 가격경쟁력 및 제작의 용이성 등의 면에서 대단히 우수한 것으로서, 전기·전자기기로부터 방사되는 전자파를 측정하기 위한 전파무향실, GTEM Cell 및 EMC / EMI 대책용으로 널리 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 김동일, 이창우, 전상엽, 정세모, “초광대역특성을 갖는 정방향 페라이트 기동구조의 전파흡수체 설계법,” 한국항해학회지 제 19권 제2호, pp.99-106, 1995.
- [2] 강덕근, “새로운 전자파장해관련 기준 제/개정”, 전파진흥지, pp.11-16, 1996. 11.
- [3] 김동일, 전상엽, 정세모, “제2층에 십자형 슬롯을 가지는 2층형 초광대역 전자파흡수체의 개발,” 한국전자파학회 종합학술대회 논문집, pp.8-12, 1995.
- [4] 김동일, 전상엽, 정세모, “십자형 광대역 페라이트 전파흡수체의 설계,” 한국항해학회지 한·중국학술심포지엄 및 추계학술발표회 논문집, pp.125-134, 1996.
- [5] Dong Il Kim, M. Takshashi, H. Anzai, 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, 1996.
- [6] 김동일, 전상엽, “Design of Improved Grid Type Electromagnetic Wave absorber Using Exponentially Tapered Ferrite”, '96 KJJC-EMCT, 한일합동 학술발표회 논문집, pp.627-630, 1996..