

십자돌기형 페라이트 전파흡수체의 광대역 설계

김 동 일* · 박 종 구* · 원 영 수 *

Broad-Band Design of Ferrite Absorbers in Cross-Shaped Type

Dong-Il Kim* · Chong-Goo Park* · Young-Soo Won*

ABSTRACT

The remarkable progress of electronics and radio communications technology has made our life abundant. On the other hand, the countermeasure of EMC becomes more important socially according to the increased use of electromagnetic waves. 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 measurement. From November of 1998, however, the CISPR11 has accepted the extended frequency band from 30 MHz to 18 GHz in the bandwidth of EMI measurement. In this paper, we proposed the cross-shaped type and tapered cross-shaped type absorbers satisfying the above requirements and carried out broadband design using the equivalent material constants method. Furthermore, the results have been compared with FEM and FDTD.

I. 서 론

최근의 전자통신기술의 발달은 일상생활을 편리하게 해주는 반면, 전자파 발생요인의 증가와 함께 심화되고 있는 전자파장해에 대한 대책이 사회적으로 큰 관심을 끌고

* 한국해양대학교 공과대학 전파공학과

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

있다. 이에 대한 대책으로, 국제적으로는 CISPR, 미국에서는 FCC, ANSI등의 규제가 제정 되었으며, 우리나라에서도 전자통신용장비의 전자파장해(EMI ; Electromagnetic Interference)/전자파 양립성(EMC ; Electromagnetic Compatibility) 규제를 만들어 수출에 대비하고 있다. 따라서 EMI/EMC 규제에 대비하여 전파암실(Anechoic Chamber) 용 전파흡수체의 수요가 급격하게 증가되고 있는 실정이다. 특히, EMI/EMC 규제와 관련하여 전기·전자기기에서의 방사전자파를 측정하기 위한 전파암실용 전파흡수체가 국제규격기준(ANSI C634-1991, CISPR A SEC 109, 또는 IEC 801-3)을 충분히 만족시키기 위해서는, 20 dB 이상의 전자파흡수능을 가지는 주파수대역이 30 MHz에서 1 GHz 정도의 성능이 요구되어 왔다.

그러나, 1998년 11월 6일 CISPR(국제무선장해특별위원회)에서는 논의되어 왔던 방사(Emission)측정 주파수 범위를 종래의 30 MHz - 1 GHz에서 18 GHz까지로 CISPR11로서 확장하기로 하였다. 따라서, 곧이어 ANSI(America National Standard Institute) 및 IEC(International Electrotechnical Commission) 등에서도 후속조치가 있을 것으로 예상된다[1],[2].

본 연구에서는 등가재료정수법[1],[5]으로 30MHz ~ 약 3 GHz까지의 대역폭을 얻은 십자돌기형 전파흡수체를 설계하고 FDTD[8] 및 FEM법[9]을 이용하여 흡수특성을 비교·분석하였다. 나아가서 전체 높이가 28.6 mm인 테이퍼진 십자돌기형 전파흡수체를 제안하고, 등가재료정수법을 이용하여 유효 주파수대역을 30 MHz에서 26 GHz까지 광대역화하여 새로운 CISPR11규격을 만족시켰다.

II. 등가재료정수의 계산

1. 십자돌기형 전파흡수체

(1) 등가유전율

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

금속판에서 y방향의 폭 w, z방향의 길이 a의 구역에 있는 전하를 Q, 평행도체판간의 총 용량을 C, 전송선로에 채워진 물질의 유전율을 ϵ 이라고 하면, 단위길이당 용량은 식(1)과 같다[1].

$$\frac{C}{a} = \frac{\epsilon W}{g} \tag{1}$$

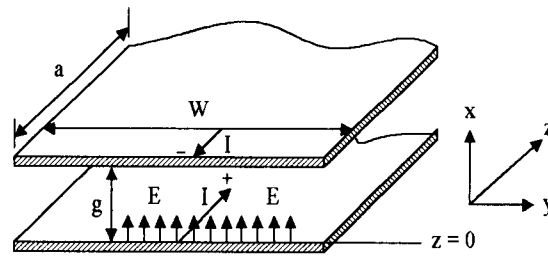


그림 1. 평행판 전송선로

위와 같은 해석을 바탕으로 그림 2의 십자돌기형 전파흡수체의 등가유전율을 구해보자. 본 연구에서 제안한 십자돌기형 전파흡수체는 그림 2와 같은 구조를 가지며, 재료 정수는 초투자율이 2,000, 비유전율은 14로 하였다.

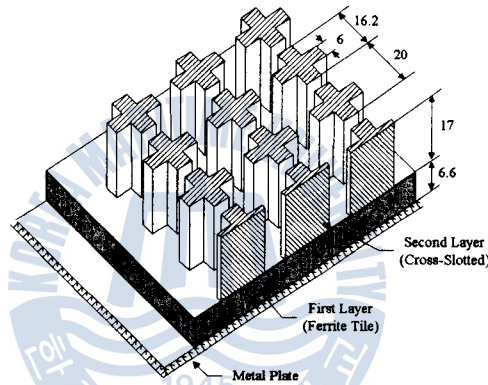


그림 2. 십자돌기형 전파흡수체

우선 기본적으로 각층을 나누어 다층 구조로 해석하며, 십자돌기형 전파흡수체는 그림 2에서 알 수 있듯이 금속판을 제외한 2층구조를 가짐을 알 수 있다. 따라서, 제1층의 페라이트 Tile을 먼저 계산한다.

1층의 페라이트 Tile의 경우 합성용량 C와 등가유전율 ϵ_{eff} 를 구하면 식(2)와 식(3)과 같이 나타낼 수 있다[3],[4].

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \Delta z \tag{2}$$

$$\epsilon_{eff} = \epsilon_r \tag{3}$$

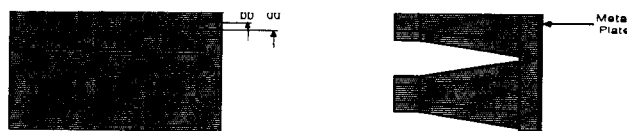
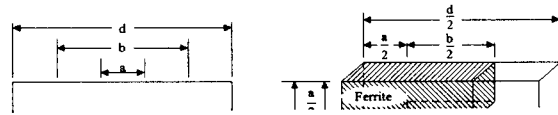


그림 4. 테이퍼진 십자돌기형 전파흡수체



1층의 경우 앞 절과 마찬가지로 Ferrite Tile의 등가재료정수가 그대로 쓰여진다. 따라서, 계산식은 십자돌기형과 동일하다.

2층의 경우는 그림 4에 나타내는 바와 같이 경사진 기둥 형태이므로 일정한 두께의 페라이트판이 n 개 채워져 있다고 간주하고 계산한다. 이 경우 각 층의 등가재료정수를 계산한 후 마지막 n 번째 층에서 최종결과식을 얻게 된다. 그림 5에 해석영역 평면도를 나타내었다.

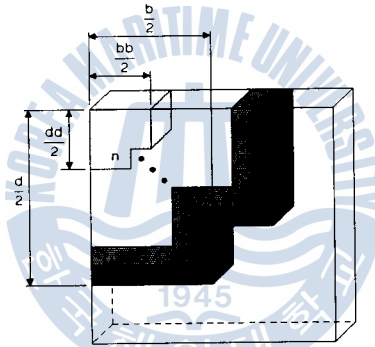


그림 5. 등가재료정수 계산을 위한 해석영역

따라서 2층의 합성용량 C 와 등가유전율 ϵ_{eff} 을 식(11)과 식(12)로 구할 수 있다.

$$C = \left\{ \frac{b \cdot \epsilon_r}{\epsilon_r(a-d) + d} + \frac{(d-b) \cdot \epsilon_r}{(a-b) \cdot \epsilon_r + b} + \frac{d-b}{a} \right\} \cdot \epsilon_0 \cdot \Delta z \quad (11)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{b \cdot \epsilon_r}{\epsilon_r(a-d) + d} + \frac{(d-b) \cdot \epsilon_r}{(a-b) \cdot \epsilon_r + b} + \frac{d-b}{a} \quad (12)$$

한편, 2층의 합성인덕턴스 L 과 등가투자율 μ_{eff} 도 같은 방법으로 식(13)과 식(14)로 아래와 같이 구할 수 있다.

$$L = \left\{ \frac{b \cdot \mu_r}{\mu_r(a-d) + d} + \frac{(d-b) \cdot \mu_r}{(a-b) \cdot \mu_r + b} + \frac{d-b}{a} \right\} \cdot \mu_0 \cdot \Delta z \quad (13)$$

$$\mu_{eff} = \frac{b \cdot \mu_r}{\mu_r(a-d) + d} + \frac{(d-b) \cdot \mu_r}{(a-b) \cdot \mu_r + b} + \frac{d-b}{a} \quad (14)$$

3층의 합성용량 C와 등가유전율 ϵ_{eff} 도 식(15)와 (16)으로 구할 수 있다.

$$C = \left[\frac{\epsilon_r b}{(a-b)\epsilon_r + b} \right] \epsilon_0 \Delta z \quad (15)$$

$$\epsilon_{eff} = \left[\frac{\epsilon_r b}{(a-b)\epsilon_r + b} \right] \quad (16)$$

또한, 같은 방법으로 합성인덕턴스 L과 등가투자율 μ_{eff} 를 식(17)과 식(18)로 아래와 같이 구할 수 있다

$$L = \left[\frac{\mu_r b}{(a-b)\mu_r + b} \right] \mu_0 \Delta z \quad (17)$$

$$\mu_{eff} = \left[\frac{\mu_r b}{(a-b)\mu_r + b} \right] \quad (18)$$

IV. 설계결과 및 검토

1. 십자돌기형 전파흡수체의 흡수특성 비교

그림 6에 십자돌기형 전파흡수체의 등가재료정수법 해석 결과를 나타내었다. 표 1에 나타내었듯이 전체 높이 16.4 mm로 30 MHz ~ 약 3 GHz까지 20 dB 전파흡수능을 만족함을 알 수 있다.

등가재료정수법의 정확도를 평가하기 위해 FDTD법과 FEM에 의한 결과를 같이 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 전체적으로 세가지의 그래프 개형이 거의 일치함을 알 수 있다. 등가재료 정수법의 결과는 가장 좋은 약 3 GHz까지 20 dB의 흡수능을 가지고 있음을 알 수 있다. FDTD법의 결과는 약 1.9 GHz까지 20 dB의 흡수능을 보이고 있다. 또한, FEM은 그보다는 특성이 좋지 못하나 약 2.5 GHz 부근까지 17 ~ 18 dB라는 좋은 흡수능을 유지하고 있음을 알 수 있다[8],[9].

표 1. 십자돌기형 전파흡수체의 설계 파라미터 및 흡수능

재료정수	치수 (mm)					20 dB 흡수대역폭
	t ₁	t ₂	a	b	d	
$\epsilon_r = 14.0$ $K = 2,500$ $f_m = 2.5 \text{ MHz}$	6.6	17	6	16.2	20	40 MHz ~ 3 GHz

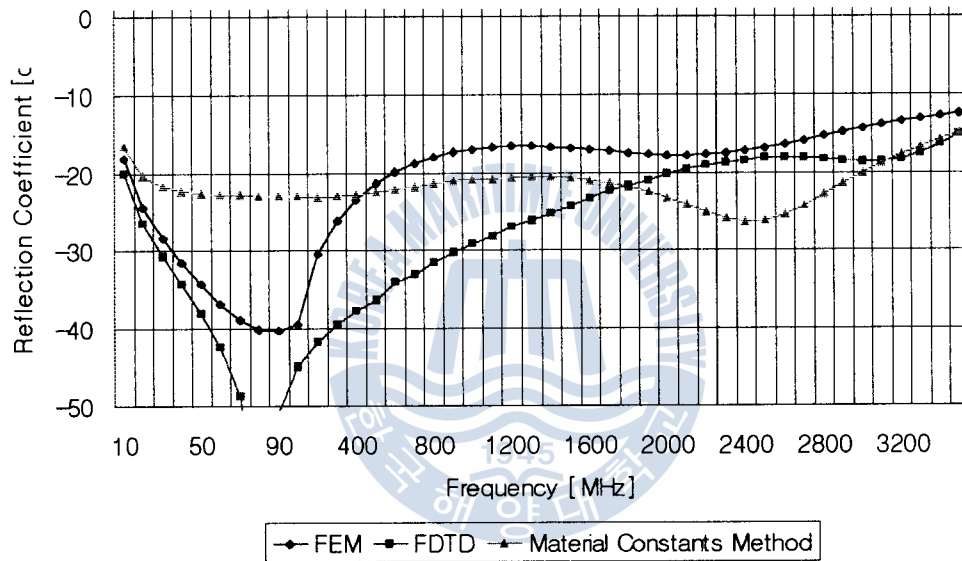


그림 6. 등가재료정수법, FEM 및 FDTD법에 의한 흡수특성

2. 테이퍼진 십자돌기형 전파흡수체의 특성

2층부가 테이퍼진 십자돌기형 전파흡수체를 제안하여 설계하고, 표 2에 설계 파라미터를 나타내었다. 그림 7에 전파흡수특성을 나타내었다.

등가재료정수법으로 해석한 결과, 표 2에 나타낸 바와 같이 전체 28.6 mm의 높이로 20 dB의 전파흡수능을 가지는 주파수 대역이 30 MHz ~ 26 GHz에 이르는 광대역 특성을 얻을 수 있었다. 이는 기존의 규격은 물론 새로이 적용될 CISPR11도 충분히 만족할 수 있는 특성이다.

표 2. 테이퍼진 십자돌기형 전파흡수체의 설계 파라미터

재료 점수	전파흡수체의 치수 (단위 : mm)							
	a	d	dd	b	bb	h1	h2	h3
K = 2,000 fm = 3.1MHz ε = 14	20	19	8.3	12.4	5.3	6.4	18	4.2

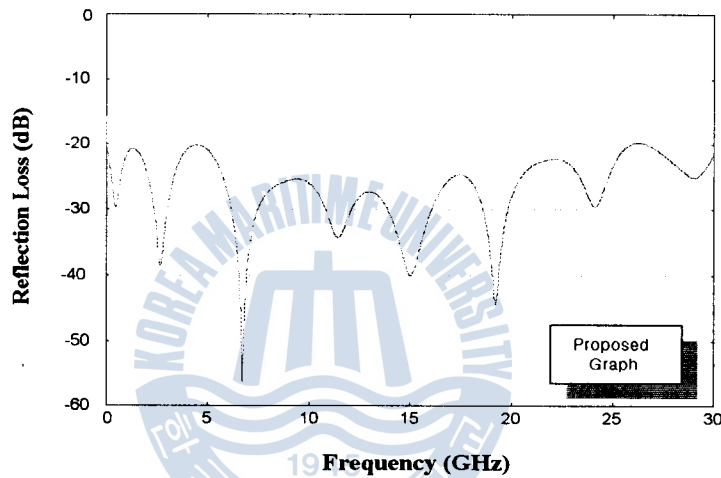


그림 7. 테이퍼진 십자돌기형 전파흡수체의 특성

V. 결 론

본 논문에서는 23.6 mm의 두께로 30 MHz에서 약 3 GHz의 주파수 대역에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 십자돌기형 전파흡수체를 설계하였다. 또한 이를 다른 해석방법인 FEM 및 FDTD법과 비교·분석 하였다. 두 가지 해석법 모두 등가재료정수법의 특성과 비교적 잘 일치함을 알 수 있었다. FDTD법의 경우 약 2 GHz까지 20 dB의 흡수능을, FEM도 약 2.5 GHz까지 17 ~ 18 dB의 좋은 흡수능을 가짐을 확인하였다.

또한, 새로운 CISPR11의 규격을 만족시킬수 있는 테이퍼진 십자돌기형 전파흡수체라는 새로운 형상의 전파흡수체를 제안하고 그 특성이 30 MHz ~ 26 GHz 대역을 커버하는 특성을 가지도록 설계하여 CISPR11을 만족할 수 있게 하였다. 특히, 전체 높이가 28.6 mm에 지나지 않아 기존의 전파무향실에서 사용되고 있는 두께 1.8m정도의

전파흡수체에 비하여 주파수 대역폭, 유효공간의 확보, 가격경쟁력 및 제작의 용이성 등의 면에서 대단히 우수한 것으로서, 전기·전자기기로부터 방사되는 전자파를 측정하기 위한 전파무향실, GTEM Cell 및 EMC/EMI 대책용, 벽재 등으로 널리 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구를 수행함에 있어서 수치계산에 도움을 주신 한국표준과학연구원의 정 연춘 박사님께 깊이 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Dong Il Kim, M. Takshashi, 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.
- [2] 김동일, 이창우, 전상엽, 정세모, "초광대역 특성을 갖는 정방형 페라이트 기둥구조의 전파 흡수체 설계법", 한국향해학회지 제19권 제2호, pp.99-106, 1995.
- [3] 장덕근, "새로운 전자파장해관련 기준 제/개정", 전파진흥지, pp.11-16, 1996. 11.
- [4] 김동일, 전상엽, 정세모, "제2층에 십자형 슬롯을 가지는 2층형 초광대역 전자파흡수체의 개발", 한국전자파학회 종합학술대회 논문집, pp.8-12, 1995.
- [5] 김동일, 전상엽, 정세모, "십자형 광대역 페라이트 전파흡수체의 설계", 한국향해학회지한·중과학술심포지엄 및 추계학술발표회 논문집, pp.125-134, 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.
- [7] 이창우, "페라이트 기둥구조를 가지는 다층형 광대역 전파흡수체의 설계에 관한 연구", 한국해양대학교 박사학위 논문, pp.101-111, 1999. 8.
- [8] Allen Taflove, "Advances in Computational Electrodynamics," Artech House, pp.345-405, 1998.
- [9] Peter P. Silvester and Ronald L. Ferrari, "Finite elements for electrical engineers," Cambridge University Press, pp.183-212, 1996.

요 약

전자공학 및 전파 통신기술의 눈부신 발전은 우리의 생활을 풍요롭게 해주는 반면, 전파의 사용증가로 인한 EMC대책이 사회적으로 중요하게 부각되고 있다. EMI/EMC 측정을 위한 전파무향실이 국제기준을 만족하려면 이를 구성하는 전파흡수가 30 MHz - 1 GHz까지의 주파수 대역에서 20 dB 이상의 전파흡수능을 가져야 한다. 그러나, 1998년 11월 CISPR11은 주파수대역을 30 MHz - 18 GHz까지 확장하였다. 본 논문에서는 위의 조건을 만족하는 십자돌기형 및 테이퍼진 십자돌기형 전파흡수체를 제안하고 등가재료정수법으로 광대역 설계하였다. 나아가서, 그 결과를 FEM 및 FDTD법의 결과와 비교하였다.



