

원추절단형 및 원기둥형 광대역 페라이트 전파흡수체 개발에 관한 연구

Development of Broad-band Electromagnetic Wave Absorbers in Cut Corn and Cylinder Types

김동일* · 박종구* · 원영수** · 이영구*** · 정세모****

Dong Il Kim* · Chong-Goo Park* · Young-Soo Won** · Young-Goo Lee*** · Se-Mo Chung****

요 약

전파 통신기술의 급속한 발전은 우리의 생활을 풍요롭게 만들어 주는 반면에, 불요전자파로 인한 EMC 문제가 사회적으로 점점 심각해지고 있다. 기존의 EMI/EMS 측정을 위한 전파흡실용 전파흡수체는 30 MHz에서 1 GHz에 이르는 대역에서 20 dB의 전파흡수능이 요구되어 왔다. 그러나, 1998년 11월, CISPR11에서는 EMI 측정을 위한 주파수 영역을 18 GHz까지 확장하였다.

본 논문에서는 원추절단형과 원기둥형 전파흡수체를 제안하고, 등가재료정수법으로 설계하여 CISPR11을 만족하는 특성을 얻었다.

Abstract

The remarkable progress of electronics and radio communications technology has made our life abundant. On the other hand, the countermeasure of EMI/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 to 18 GHz in the bandwidth of EMI measurement.

In this paper, we proposed the cut corn type and cylinder type absorbers satisfying the above requirements and carried out broadband design using the equivalent material constants method.

I. 서 론

최근의 전자통신기술의 발달은 일상생활을 편리하게 해 주는 반면, 전자파 발생요인의 증가와 함께 심화되고 있는 전자파장해에 대한 대책이 사회적으로 큰 관심을 끌고 있다. 이에 대한 대책으로, 국제

적으로는 CISPR, 미국에서는 FCC, ANSI 등의 규제가 제정되었으며, 우리 나라에서도 전자통신용장비의 전자파장해(EMI ; Electromagnetic Interference)/전자파 양립성(EMC ; Electromagnetic Compatibility) 규제를 만들어 수출에 대비하고 있다. 따라서 EMI/EMC 규제에 대비하여 전파흡실(Anechoic Chamber)

*한국해양대학교 전파공학과(Dept. of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University)

**한국해양대학교 전자통신공학과(Dept. of Electronic Communication Sciences & Engineering, Korea Maritime University)

***동국산업(주)(DongKuk Industries Co., Ltd)

****한국해양대학교 해사수송과학부(Div. of Maritime Transportation Science, Korea Maritime University)

논문번호 : 20000728-06S

수정완료일자 2000년 8월 14일

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 GHz 까지로 CISPR11로서 확장하였다^[1]. 따라서, 곧이어 ANSI(America National Standard Institute) 및 IEC(International Electrotechnical Commission) 등에서도 후속조치가 있을 것으로 예상된다.

본 연구에서는 등가재료정수법^{[2]-[4]}으로 원추절단과 원기둥이라는 새로운 형태의 페라이트 전파흡수체의 등가재료정수를 계산, 최적설계하여 시뮬레이션한 결과 30 MHz~50 GHz 이상의 대역폭에서 20 dB 이상의 전파흡수능을 얻었다.

II. 등가재료정수의 계산

2-1 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 = 0에서 평행판 사이의 전위차 V(z)는 일정하며 정상전류가 흐르는 것으로 한다. 아래쪽 평판의 전위는 +I, 위쪽 평판의 전위는 -I로 하면 전기 E_x는 +x 방향을 향한다.

금속판에서 y방향의 폭 W, z방향의 길이 a라고 하고, 평행도체판간의 총 용량을 C, 전송선로에 채워진 물질의 유전율을 ε이라고 하면 단위길이당 용량은 식 (1)과 같다.

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

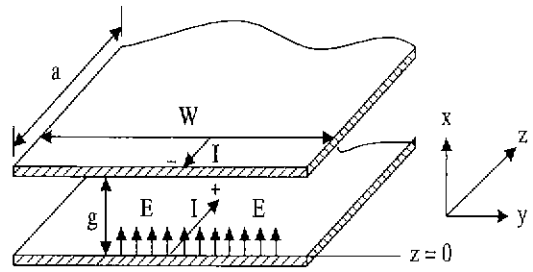


그림 1. 평행판 전송선로

Fig. 1. Parallel plate transmission line.

2-2 등가 투자율

L을 자기인덕턴스라 하면, 그림 1에서 ga영역을 자르는 자속으로부터 등가 투자율의 계산이 가능하다. 전송선로에서 아래쪽 판에서는 +z방향으로, 위쪽판에서는 -z방향으로 흐르는 전류를 I, +y방향으로 유기되는 자계를 H, B, 전송선로에 채워진 물질의 투자율을 μ, ga를 자르는 자속을 Φ, 평행도체판간의 총 합성인덕턴스를 L이라고 하면, 단위길이당 인덕턴스는 식 (2)와 같이 주어진다.

$$\frac{L}{a} = \frac{\mu I}{W} \quad (2)$$

III. 제안한 전파흡수체의 설계

앞의 해석을 바탕으로 본 논문에서 제안한 두 가지 전파흡수체의 등가재료정수를 구하였다.

3-1 원추절단형 전파흡수체

그림 2의 원추절단형 전파흡수체의 등가재료정수를 구하면 다음과 같다. 우선 그림 2에서 보듯이 원추절단형 전파흡수체는 그 구성이 1층부의 타일형 페라이트와 2층부의 원추절단부로 나뉘어져 있다. 이때, 1층부의 경우 타일형 전체가 페라이트로 채워져 있으므로 1층의 등가유전율 및 등가투자율은 곧 페라이트 타일의 실효유전율과 같다.

2층의 경우 원추절단기둥이 있는 부분과 공기가 있는 부분이 혼재해 있으므로 그림 3, 4와 같이 등가회로화하여 2층부의 등가유전율을 계산할 수 있다.

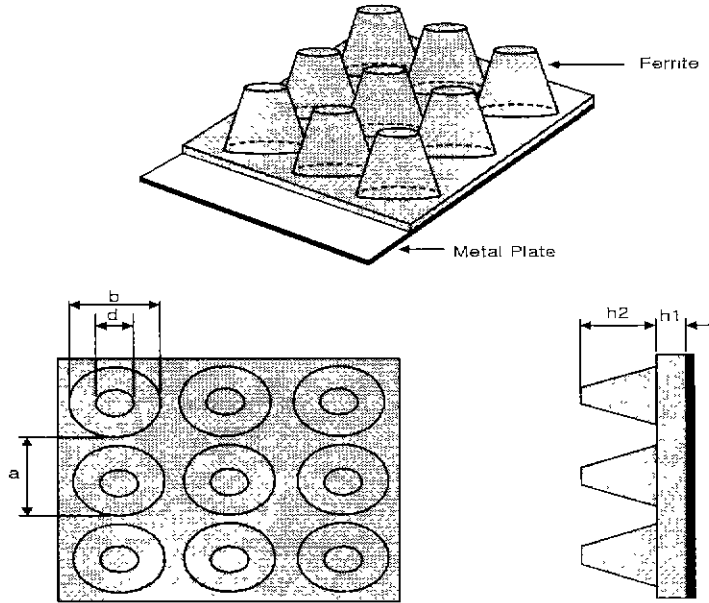


그림 2. 원추절단형 전파흡수체
Fig. 2. Cutting corn-shaped wave absorber.

여기서, 2층부는 경사져 있으므로 Δt 의 두께를 가지는 여러 개의 판이 겹쳐져 있는 모델로 근사^[5]하여 등가유전율과 등가투자율을 식 (3), 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\epsilon_{eff} = \frac{a \cdot [(a - \Delta t) \cdot \epsilon_r + \Delta t]}{a(x_{n+1} - x_n) \cdot \epsilon_r} + \frac{[(a - x_n + n\Delta t)(x_{n+1} - x_n)] \cdot \epsilon_r}{a(x_{n+1} - x_n) \cdot \epsilon_r} \quad (3)$$

$$\mu_{eff} = \frac{a \cdot [(a - x_n) \cdot \mu_r + (x_n - n\Delta t)]}{a \cdot \Delta t \cdot \mu_r} + \frac{\Delta t(a - x_n + n\Delta t) \cdot \mu_r}{a \cdot \Delta t \cdot \mu_r} \quad (4)$$

3-2 원기둥형 전파흡수체

그림 5에 원기둥형 전파흡수체의 형상을 나타내었다. 원추절단형과 마찬가지로 1층부의 페라이트 타일 위에 원기둥 돌기부가 없혀진 형태이다.

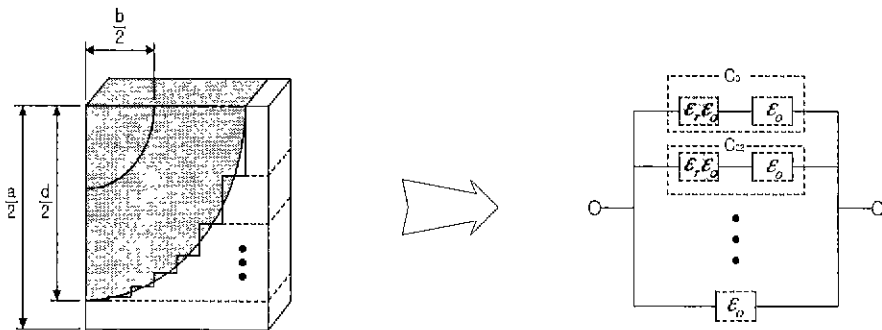


그림 3. 2층부의 등가유전율 모델
Fig. 3. Equivalent Capacitance model of 2nd layer.

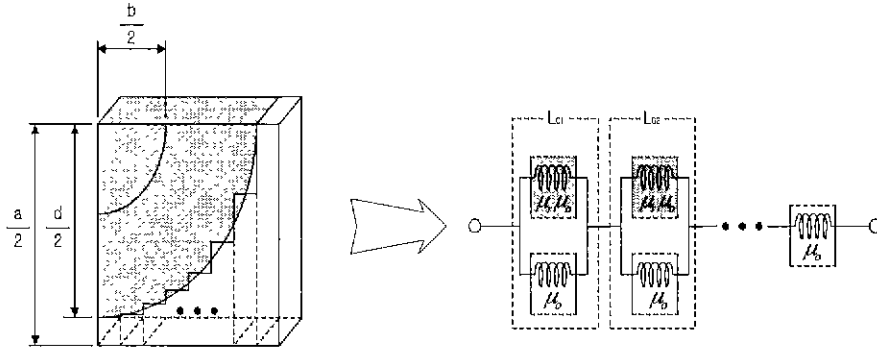


그림 4. 2층부의 등가투자율 모델

Fig. 4. Equivalent Inductance model of 2nd layer.

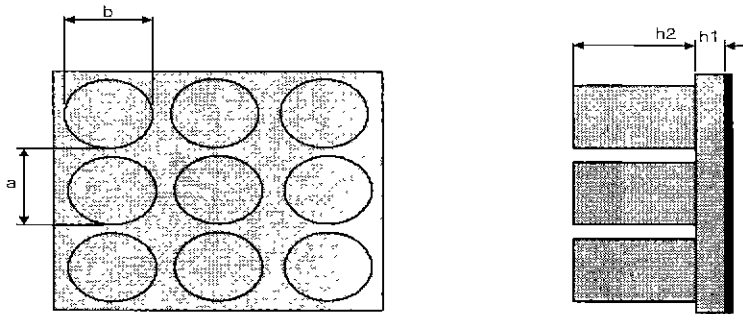
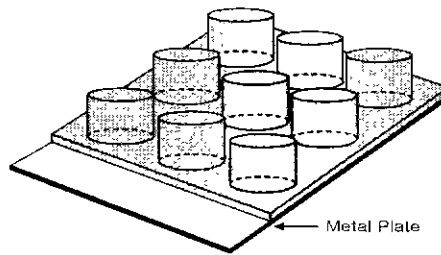


그림 5. 원기둥형 전파흡수체의 형상

Fig. 5. Cylinder-shaped wave absorber.

원기둥형 전파흡수체의 등가재료정수 계산을 위한 기본원리는 앞절에서 살펴본 원추절단형과 같다. 원추절단형과 비교해 보면 2층부의 기둥형상이 기울기 없이 90°로 서 있는 것이 다를 뿐 구성이 같으므로, 위와 같은 원리로 하여 식 (5), 식 (6)과 같이 2층부의 등가유전율 및 등가투자율을 얻을 수 있다.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\Delta t \epsilon_r}{(a - x_n) \epsilon_r + x_n} \quad (5)$$

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

IV. 설계결과

그림 6에 원추절단형 전파흡수체의 설계결과를 나타내었으며, 표 1에 정리하였다. 여기서, 표 1과 표 2의 재료정수에서 K 는 페라이트의 초투자율을, f_m 은 페라이트의 완화주파수를, ϵ_r 은 복소유전율을 나타낸다. 본 설계에서는 복소투자율의 주파수 분산식은 식 (7)을 사용하였다^[6].

위와 같은 재료정수로 시뮬레이션 한 결과 그림에서 보듯이 원추절단형 전파흡수체의 경우 30

표 1. 원추절단형 전파흡수체의 설계사양 및 흡수특성

페라이트의 재료정수	흡수체의 치수 (mm)					20 dB 흡수 대역폭
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>h1</i>	<i>h2</i>	
$K = 2,500$ $fm = 2.5 \text{ MHz}$ $\epsilon_r = 14$	20	8.5	3.5	7.2	35	30 MHz~50 GHz 이상

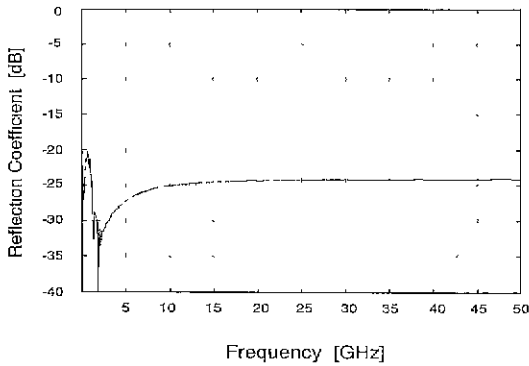


그림 6. 원추절단형 전파흡수체의 주파수 특성
Fig. 6. Characteristics of cutting corn-shaped wave absorber.

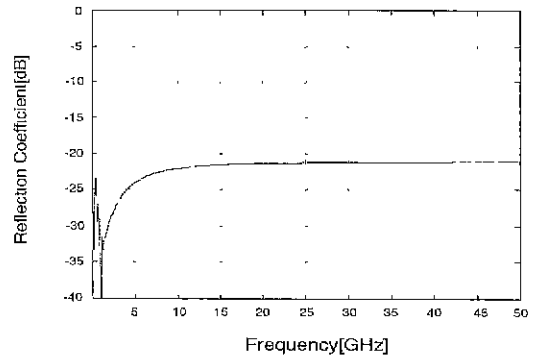


그림 8. 원기둥형 전파흡수체의 주파수 특성
Fig. 8. Characteristics of cylinder-shaped wave absorber.

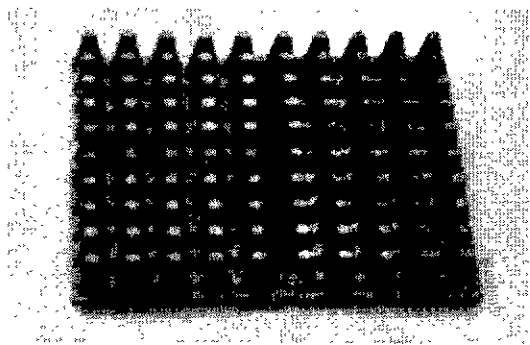


그림 7. 원추절단형 전파흡수체의 실물
Fig. 7. The real thing of cutting corn-shaped wave absorber.

MHz~50 GHz 이상의 대역에서 20 dB 이상의 전파 흡수능을 가지고 있음을 알 수 있다.

$$\mu_r = 1 + \frac{K}{1 + j \frac{f}{fm}} \quad (7)$$

원추절단형 전파흡수체는 현재 시작품을 제작하였으며, 실물을 그림 7에 나타내었다.

다음에 그림 8에 원기둥형 전파흡수체의 설계결과를 나타내었다. 역시 30 MHz~50 GHz가 넘는 대역에서 20 dB 이상의 전파흡수능을 보인다. 따라서, 원기둥형 전파흡수체 역시 원추절단형과 함께 CISPR11의 새로운 규격을 충분히 만족시킴을 알 수 있다.

표 2. 원기둥형 전파흡수체의 설계사양 및 흡수특성

페라이트의 재료정수	흡수체의 치수 (mm)				20 dB 흡수 대역폭
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>h1</i>	<i>h2</i>	
$K = 2,500$ $fm = 2.5 \text{ MHz}$ $\epsilon_r = 14$	20	7	7.7	27	30 MHz~50 GHz 이상

V. 결 론

현재 급격히 발달하고 있는 전자기기의 사용주파수는 점차로 높아지고 있으며, 이로 인한 전자파장해 문제는 전기·전자제품 개발시 반드시 고려하여야 할 문제로 인식되고 있다.

따라서, EMI/EMC 시험에 반드시 필요한 전파암실용 전파흡수체의 개발은 필연적이라고 할 수 있다.

위와 같은 배경에서 본 논문에서는 전파암실용 전파흡수체로서 충분한 성능을 가지는 페라이트 전파흡수체를 설계하였다.

그 결과 원추절단형 및 원기둥형이라는 새로운 형태의 페라이트 전파흡수체를 설계하여 그 특성을 보였다. 두 가지 모두 기존의 전파흡수체보다 현저히 낮은 두께를 가지면서도 30 MHz~50 GHz 이상에 이르는 대역에서 20 dB 이상의 전파흡수능을 보임으로써 EMI/EMC 시험을 위한 전파암실용 전파흡수체로서 충분한 성능을 가지고 있음을 입증하였다.

향후, 원추절단형 전파흡수체를 실제로 제작하여, 실측한 결과와 시뮬레이션 결과와 비교·검토하여 성능 향상을 도모하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] CISPR/B/220/RVC, CISPR11, Nov. 8, 1998.
 [2] 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.
 [3] Dong Il Kim and S. Y. Jun, "Design of improved grid type electromagnetic wave absorber using exponentially tapered ferrite," '96 *KJUC-EMCT*, 논문집, pp.627-630, 1996.
 [4] 김동일, 전상엽, 정세모, "제2층에 십자형 슬롯을 가지는 2층형 초광대역 전자파흡수체의 개발", 한국전자파학회 종합학술대회 논문집, pp. 8-12, 1995.
 [5] 김동일, 박종구, 원영수. "십자돌기형 페라이트 전파흡수체의 광대역 설계", 한국전자파학회지, pp.372-378, 2000. 4.
 [6] Y. Naito, "Formulation of frequency dispersion of permeability," *Trans. IEICE of Japan*, vol., 59-C, pp. 297-394, May, 1976.

김 동 일



1952년 2월 26일생
 1975년 2월 : 한국해양대학교 항해학과 (공학사)
 1977년 2월 : 한국해양대학교 대학원 전파공학전공 (공학석사)
 1984년 3월 : 일본 동경공업대학원 전기전자공학과 (공학박사)

1975년 3월~1993년 9월 : 한국해양대학교 조교~부교수
 1993년 10월~현재 : 한국해양대학교 전파공학과 교수
 1990년 3월 10일 : 산학협동상 대상 수상
 1993년 12월 11일 : 본 학회 학술상 수상
 1995년 4월 21일 : 과학기술진흥 대통령 표창 수상
 1998년 9월 30일 : 한국항해학회 우수논문상 수상
 [주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파흡수체의 개발 EMI/EMC 대책 등

박 종 구



1974년 8월 7일생
 1999년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
 1999년 3월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] 광대역 전파흡수체의 개발, EMI/EMC 대책 등

원 영 수



1950년 5월 25일생
1976년 3월 ~ 1994년 10월 : 한국방송공사 방송송출분야 근무
1991년 2월 : 경일대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 ~ 현재 · PSB 부산방송 기술국장/기술연구소장

1997년 2월 : 한국해양대학교 해사산업대학원 전파공학전공(공학석사)
1997년 3월 ~ 현재 : 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정
현재 : 동의공업대학 전자통신과 겸임교수
[주 관심분야] 마이크로파 능동 및 수동소자, 안테나 설계

정 세 모



1959년 5월 : 한국해양대학교 항해학과 (공학사)
1967년 2월 : 연세대학교 전기공학과 (공학사)
1971년 2월 : 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
1976년 9월 : 일본동경공업대학 대학원 전자물리학과(공학박사)

1964년 10월 ~ 현재 : 한국해양대학교 해사수송과학부 교수
[주 관심분야] 전파항법

이 영 구



1961년 11월 14일생
1984년 2월 : 송실대학교 물리학과 (이학사)
1986년 8월 : 동대학 물리학과(이학석사)
1995년 3월 ~ 현재 : 경상대학교 전자공학과 박사과정

현재 : 동국산업(주) 신소재사업부 과장
[주 관심분야] 페라이트 전파흡수체 설계 및 제작, 마이크로파 수동회로