

광대역 페라이트 전파흡수체의 설계

全相燁* · 金東一**

* 海洋水産研修院

** 韓國海洋大學校

I. 머리말

1980년대 이후, 정보화시대의 진전에 따라 통신 및 정보기기의 이용이 급증하고 있으며, 고품질의 정보서비스를 제공하기 위하여 800 MHz~3 GHz 대의 고주파 이용이 증가하고 있다. 그러나 이러한 전파이용의 확대 및 진전에 따른 반대급부라고 할 수 있는 불요전자파의 증가로 인하여 전자파환경이 악화되어 이에 대한 대책이 강하게 요구되고 있다.

특히 지금까지 사용하던 주파수대와 비교하면 고주파영역이라고 할 수 있는 1.5 GHz대의 PDC (Personal Digital Cellular), 1.9 GHz대의 PHS (Personal Handy Phone System), 2.5 GHz대의 무선 LAN 등 각종 무선 통신시스템이 사용하고 있는 1~3 GHz대 부근에는 ISM기기를 위한 주파수가 할당되어 있으므로 이 부근의 주파수대를 이용하는 무선통신시스템은 ISM기기로부터 발생하는 방해파의 영향을 받기 쉽다.

더우기 저출력용 디지털기기의 사용 증가와 함께 휴대폰, PC의 사용이 생활의 일부분으로 됨에 따라 국내외적으로 전자파장해는 무선통신 장해, 기기의 오동작 등을 야기시키기 때문에 시급한 대책이 요구되고 있다. 또한 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 관심도 증가하여, 각국에서는 비흡수율(SAR)을 지표로 한 인체에 대한 안전기준을 제정해서 전자파의 조사량을 규제하고 있다.

전자파장해에 대한 대책으로 세계적으로는 국제전기표준회의(IEC) 산하 국제무선장해특별위원회(CISPR), 미연방통신위원회(FCC), 미국 국가표준협회(ANSI) 등에서 전자파장해(EMI) 및 전자파감응(EMS) 기준을 제정하여 규제를 하고 있으

며, 점차 기준을 강화해 가고 있는 추세이다.

우리나라도 전파법 및 전자파장해검정규칙을 제·개정하여 이와 같은 추세에 부응하고 있다. 우리나라는 전자파장해 기준과 장해검정의 대상기기, 방법 및 절차 등을 규정한 전자파장해검정규칙을 1990년 9월 3일 체신부령 제825호로 제정하고, 1990년 11월 모뎀 및 팩시밀리 등 9개의 유선통신 단말기에 대한 장해검정을 시작하였다. 그후 1991년 3월 장해검정 대상기기에 정보기기를 추가 확대하고 모든 종류의 컴퓨터와 프린터, 모니터 등 6개의 기기를 추가하였다. 선진국에서는 최근 전자파장해에 대한 기준을 한층 강화하고 있으며, 이를 비관세 무역장벽으로도 활용하고 있다. 이에 따라 우리나라도 국제기준 및 선진국의 기준을 고려하여 1996년 2월 12일 전자파장해검정규칙을 전면 개정하였다. 동 규칙에 따라 1996년 10월 9일 전자파장해방지 및 내성기준과 시험방법을 개정, 고시하였으며, 1996년 11월 8일 전자파장해 검정대상기기를 고시하였다.

전자파장해에 대한 대책을 수립하기 위해서는 불요전자파의 방사를 억제하기 위한 EMI(Electromagnetic Interference) 제어 및 EMI 측정이 필수적이며, EMC(Electromagnetic Compatibility) 분야에서는 전자파 환경의 정량화, 전자계 분포의 측정 및 전자펄스의 측정 등이 필요하다. 이러한 측정은 무한히 넓은 자유공간에서 행하는 것이 이상적이거나 현실적으로 외부전자파의 영향을 받지 않는 자유공간을 확보하기가 곤란하므로 전파흡수체를 이용하여 전파적으로 자유공간과 등가인 전파무향실(Anechoic Chamber)을 구성하여 측정을 하고 있다.

전파무향실을 구성하기 위해서는 특성이 우수한 전파흡수체가 필요하며, 현재 섬유매트, 카본함유 발포스티롤, 자성체 재료 및 이러한 것들을 조합한 다양한 전파흡수체가 개발되어 이용되고 있다. 전파무향실의 주파수 대역은 고주파 이용 장비가 증가함에 따라 30 MHz~1 GHz에서 향후 30 MHz~3 GHz 영역까지 확장될 것으로 전망된다. 따라서, 국제규격기준(ANSI C634-1991, CISPR A SEC 109 또는 IEC 801-3)을 만족시키기 위해 전파무향실용 전파흡수체의 주파수 대역도 이러한 요구를 충족시킬 수 있도록 광대역화되어야 한다.

II. 전파흡수체의 최근 개발동향

전파흡수체는 오음손실재료, 유전손실재료, 자기손실재료 등을 이용하여 입사한 전자파를 흡수해서 열로 변환시켜 반사파가 생기지 않게 하는 것이다. 최근 전파흡수체의 재료로 자기적 손실을 이용하는 산화물 자성재료인 페라이트가 널리 사용되고 있으며, 페라이트를 이용한 전파흡수체는 앞으로도 연구개발의 주류가 될 것이다.

전파흡수체는 전자파 사용초기부터 무반사 중단기 등에 이용되었으며, 그 후 공간을 전파하는 전자파를 흡수 또는 차폐하는 전파흡수체가 1960년대에 개발되어 전파무향실이나 안테나 지향성 개선 등에 널리 사용되고 있다.

이후 마이크로파 중계에 의한 다중통신기술의 개발, 항공기 및 미사일 등과 같은 이동물체의 전파유도기술의 개발 등과 함께 안테나, 전파전달의 조사·연구를 위한 측정평가용 전파무향실의 구성, TV나 레이더 허상방지용 등 전파흡수체의 필요성이 증가하여 각 방면에서 개량연구가 행해지고 있다.

지금까지 전파무향실용 전파흡수체로는 카본을 발포 우레탄 등에 침투시킨 오음손실재료로 구성된 피라미드형 전파흡수체를 주로 사용하여 왔다. 이 피라미드형 전파흡수체는 광대역 특성을 얻을 수 있으나 형상효과를 이용하므로 피라미드의 높이가

파장의 1/2 정도는 필요하게 된다. 기존 손실유전체만으로 전파무향실을 구성하는 경우 30 MHz 이상의 주파수대에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 얻기 위해서는 두께가 3.7 m 정도나 되므로, 전파흡수체가 차지하는 무효공간으로 인해 매우 넓은 설치공간이 필요하며, 유지·보수면에서도 불리한 요소가 많다.

최근 저주파대역에서 박형으로 양호한 특성을 얻을 수 있는 페라이트 전파흡수체를 이용한 소형 전파무향실이 증가하고 있다. 소결페라이트 자성체를 이용한 전파흡수체가 5~8 mm의 얇은 두께로 30 MHz 정도의 저주파수의 전자파를 흡수하는데에 뛰어난 특성을 가지고 있다고 밝혀진 이래, 건물에 의한 불요반사파를 방지하기 위한 벽재로 널리 이용되고 있다. 그러나 기존 Ni-Zn계나 Mn-Zn계 소결페라이트를 이용한 타일형 전파흡수체의 경우 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 주파수대역폭이 30~400 MHz 정도로 좁기 때문에 전파무향실용으로 사용하기에는 제한이 있다.

박형으로 광대역 특성을 가지는 전파흡수체를 실현하기 위하여 지금까지 유전손실재와 자성손실재를 적층한 복합체형 전파흡수체를 시도하여 왔다. 단층 소결페라이트 위에 카본스치료를 적층한 전파흡수체는 두께 1.3 m 정도로 30 MHz 이상의 주파수 범위에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 얻을 수 있으나, 복합체형 전파흡수체 역시 유효공간 확보율이 50 % 정도로 낮으므로 충분한 유효공간을 확보하기 위해서는 전파흡수체의 치수를 감소시킬 필요가 있다.

그리고 Ni-Zn계 소결페라이트 타일 위에 공기층 및 유전체층을 적층한 전파흡수체는 두께 50 mm 정도로 30~650 MHz 정도의 대역폭을 얻을 수 있으나 이 경우는 대역폭이 부족하다.

한편, 페라이트 자성체만을 이용한 전파흡수체의 광대역화 시도로 핀형 및 그리드형 전파흡수체를 들 수 있다. 핀형 전파흡수체는 폭 8 mm, 높이 20 mm의 Ni-Zn계 소결페라이트를 20 mm 주기로 배

열함으로써 대역폭 30~1600 MHz의 광대역 특성을 얻을 수 있으나 단일 편파에 사용이 한정된다는 단점이 있다.

편형 소결페라이트를 격자모양으로 금속도체판 위에 배열하여 양편파용으로 개발한 그리드형 전파흡수체의 경우 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 주파수 대역폭이 30~870 MHz 정도이나 전파무향 실용 벽재로 이용하기에는 역시 미흡하다.

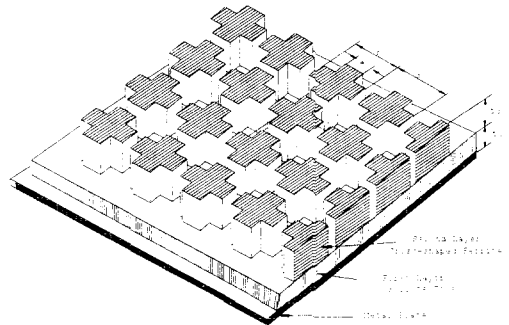
III. 페라이트 전파흡수체의 광대역화

전파흡수체의 재료로 최근 가장 많이 사용되고 있는 페라이트만을 이용하여 전파흡수체를 구성하는 경우, 페라이트의 재료정수는 일정한 주파수 분산특성을 가지므로 평판형 전파흡수체는 특정 두께에서 특정 주파수대의 전파만 흡수한다. 그리고 현재의 재료기술로 페라이트의 복소유전율 및 복소투자율을 원하는 대로 제어하는 것이 거의 불가능하므로 두께가 얇으며 광대역 특성을 가지는 전파흡수체를 실현하는 것은 용이하지 않다.

전술한 바와 같이 전파흡수체의 특성을 광대역화하기 위한 시도로 격자형 구조를 가지는 전파흡수체, 기존 타일형 페라이트 전파흡수체와 손실유전체를 조합한 복합형 전파흡수체 등이 이용되고 있지만 모두 사용에 제한이 있다.

두께 5 cm 미만의 페라이트로 30~3,000 MHz의 주파수대역에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 광대역 전파흡수체를 실현하기 위해서는 페라이트의 공간 형상을 변화시키는 것이 효과적인 방법이 될 수 있다.

전파흡수체의 형상을 변화시켜 유효 복소유전율 및 유효 복소투자율을 제어함으로써 현재의 재료기술로는 얻을 수 없는 페라이트의 재료정수를 구현할 수 있다. 공간적으로 페라이트의 형상이 변하는 부분의 등가 복소유전율 및 등가 복소투자율은 합성용량 모델 및 합성인덕턴스 모델을 이용하여 해석할 수 있다.



[Fig. 1] An Electromagnetic Wave Absorber Composed of Periodic Arrays of Cross-Shaped Ferrite.

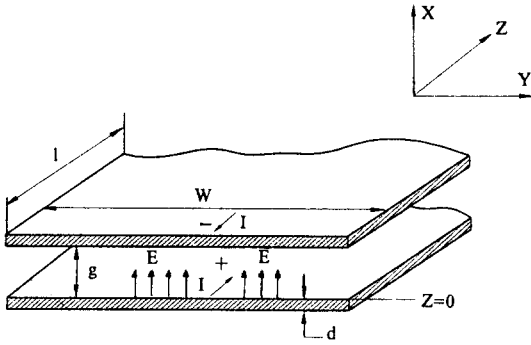
[Fig. 1]과 같이 유전체나 자성체를 주기적으로 배열한 경우, 그 배열 간격이 입사하는 전파의 파장에 비해 충분히 짧다면 균질의 물질과 같이 작용한다. 이러한 인위적인 재료는 통상의 유전체나 자성체로 실현할 수 없는 특성을 가지므로 전자기학 측면에서 매우 중요하다.

먼저, [Fig. 2]와 같이 y 방향으로 폭 w , 두 개의 평판 사이의 간격이 x 방향으로 g 인 평행판 전송선로에서 z 방향으로 전류가 흐르는 경우, z 방향의 단위길이당 용량과 인덕턴스는 식 (1)과 같다.

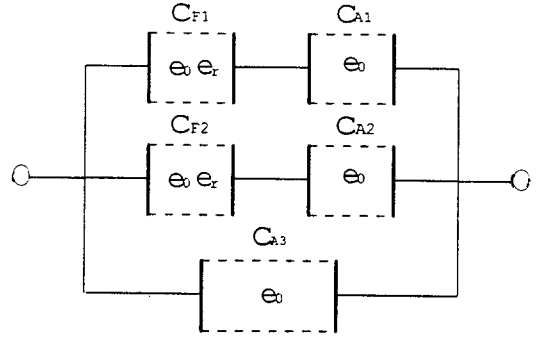
$$\frac{C}{a} = \frac{\epsilon w}{g}, \quad \frac{L}{a} = \frac{g\mu}{w} \quad (1)$$

이러한 평행판 전송선로의 이론을 확장하면 [Fig. 1]과 같은 구조를 가지는 전파흡수체의 등가유전율 및 등가투자율은 [Fig. 3]과 같은 등가재료정수 모델을 이용하여 구할 수 있다.

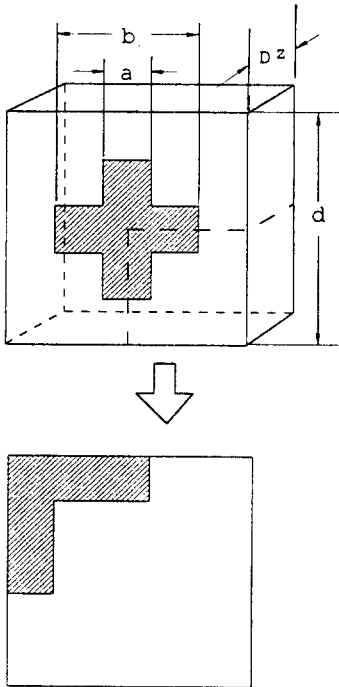
[Fig. 3]에서 a 는 x, y 방향의 주기이며, d 는 페라이트로 채워진 부분의 폭이다. ϵ_r, μ_r 은 페라이트의 복소비유전율과 복소비투자율이며, ϵ_0 및 μ_0 는 각각 진공중의 유전율과 투자율이다. 이와 같은 주기성 구조는 x, y 방향으로 대칭이므로 그림에서 점선으



[Fig. 2] A Parallel Plate Transmission Line.



[Fig. 4] A Synthesized Capacitance Model.



[Fig. 3] A Model for Calculation of Equivalent Material Constants.

로 표시한 부분의 해석을 하면 전체의 특성을 파악할 수 있다. [Fig. 5]를 이용하여 [Fig. 4]와 같은 합성용량 모델을 만들 수 있으며, 총 합성용량 C 는

식 (2)와 같이 계산할 수 있다.

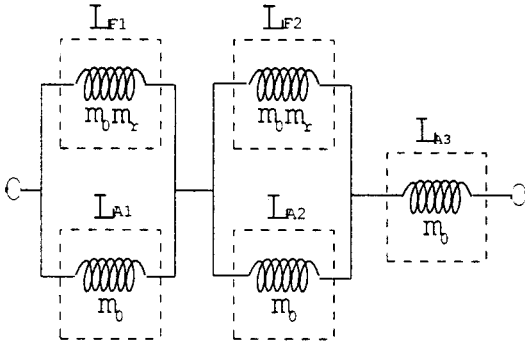
$$C = \epsilon_0 \Delta z \left\{ \frac{\epsilon_r a}{\epsilon_r (d-b) + b} + \frac{\epsilon_r (b-a)}{\epsilon_r (d-a) + a} + \frac{d-b}{d} \right\} \quad (2)$$

따라서, Δz 의 두께를 가지는 구조에 대한 등가유전율을 ϵ_{eq} 는 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \epsilon_{eq} &= \frac{C}{\epsilon_0 \Delta z} \\ \epsilon_{eq} &= \epsilon_r \left\{ \frac{a}{\epsilon_r (d-b) + b} + \frac{b-a}{\epsilon_r (d-a) + a} + \frac{d-b}{\epsilon_r d} \right\} \quad (3) \end{aligned}$$

한편, 상기와 같은 방법으로 [Fig. 5]와 같은 합성인덕턴스 모델을 만들 수 있으며, 합성인덕턴스 L 은 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$L = \mu_0 \Delta z \left\{ \frac{\mu_r a}{\mu_r (d-b) + b} + \frac{\mu_r (b-a)}{\mu_r (d-a) + a} + \frac{d-b}{d} \right\} \quad (4)$$



[Fig. 5] A Synthesized Inductance Model.

따라서, [Fig. 6]과 같은 구조에 대한 등가투자율 μ_{eq} 는 식 (5)와 같이 주어진다.

$$\mu_{eq} = \mu_r \left\{ \frac{a}{\mu_r(d-b)+b} + \frac{b-a}{\mu_r(d-a)+a} + \frac{d-b}{\mu d} \right\} \quad (5)$$

IV. 전파흡수체의 설계

[Fig. 1]과 같은 비균질, 이방성 매질을 가지는 전파흡수체의 Tensors 유전을 및 투자율은 식 (6)과 같다.

$$|\epsilon| = \begin{bmatrix} \epsilon_x & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_z \end{bmatrix}, \quad |\mu| = \begin{bmatrix} \mu_x & 0 & 0 \\ 0 & \mu_y & 0 \\ 0 & 0 & \mu_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

이 흡수체에 평면파가 θ 의 각도로 입사한 경우, Maxwell 방정식의 전자계 성분과 분포정수회로 기본식을 비교하면 전파모드별 임피던스는 식 (7), (8)과 같다.

$$Z_s(z) = j\omega\mu_x(z),$$

$$Y_s(z) = j\omega\epsilon_y(z) + \frac{k_0^2 \sin^2\theta}{j\omega\mu_z(z)} \quad (\text{TE파}) \quad (7)$$

$$Z_s(z) = j\omega\mu_y(z) + \frac{k_0^2 \sin^2\theta}{j\omega\epsilon_z(z)}$$

$$Y_s(z) = j\omega\epsilon_x(z) \quad (\text{TM파}) \quad (8)$$

그리고 비균질 전송선로에서 임피던스는 식 (9)와 같은 Riccati형 비선형 미분방정식으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{dZ(z)}{dz} &= -(Z_s(z) - Z^2(z)Y_s(z)) \\ &= -\gamma(z)\{Z_c(z) - Z^2(z)/Z_c(z)\} \end{aligned} \quad (9)$$

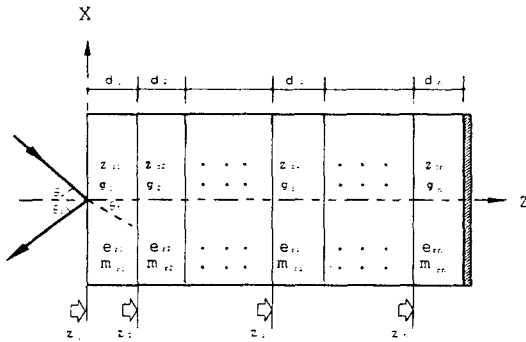
따라서, 비균질 전파흡수체 표면에서 평면파에 대한 반사계수 $S(z)$ 는 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$S(z) = \frac{Z(z) - Z_c(z)}{Z(z) + Z_c(z)} \quad (10)$$

허용반사계수를 S_0 라 했을 때, $S(z) \leq |S_0|$ 를 조건으로 하여 식 (9)에서 $Z(z)$ 를 구함으로써 전파흡수체를 설계할 수 있으나 식 (9)는 Riccati형 비선형 미분방정식 범함수이므로 해석적 방법으로 해를 구하는 것이 어렵다. 따라서, 재료나 형상이 연속적으로 변화하는 전파흡수체의 특성을 해석하는 경우 전파의 입사방향에 따라 흡수체를 여러 개의 얇은 층으로 분할하여 균질의 평판으로 적층된 다층구조로 근사하여 계산한다.

[Fig. 7]과 같은 다층구조 전파흡수체에 전파가 사입사(Oblique Incidence)한 경우, 제 i 층에서의 입력임피던스 Z_i 는 식 (11)과 같이 구할 수 있다.

$$Z_{i-1} = Z_{ci} \frac{Z_i + Z_{ci} \tanh \gamma_i d_i}{Z_{ci} + Z_i \tanh \gamma_i d_i} \quad (11)$$



[Fig. 7] A Multi-layer Electromagnetic Wave Absorber.

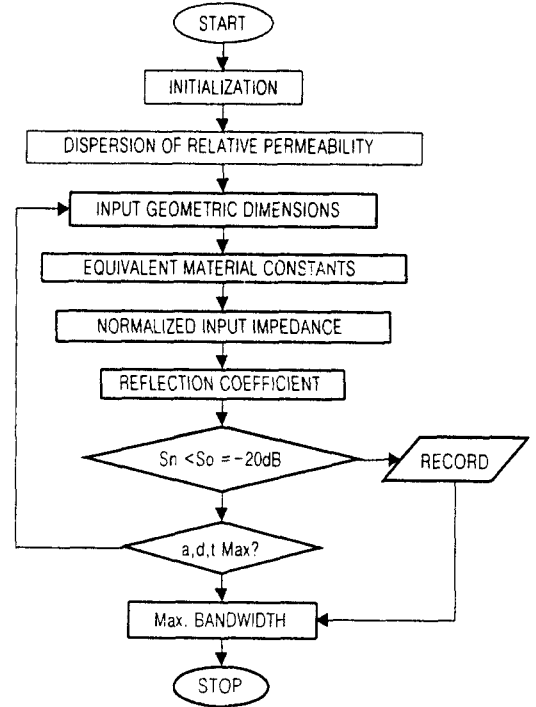
따라서, 제 n 층부터 순차적으로 다음 층에 대해서 계산해 가면 최종적으로 전파흡수체 표면에서의 입력임피던스 Z_1 을 계산할 수 있으며, 전파모드별 사입사시 반사계수는 식 (12) 및 식 (13)을 이용하여 구할 수 있다.

$$S_{TE} = \frac{Z_1 - Z_0 / \cos \theta}{Z_1 + Z_0 / \cos \theta} \quad (\text{TE파}) \quad (12)$$

$$S_{TM} = \frac{Z_1 - Z_0 / \cos \theta}{Z_1 + Z_0 / \cos \theta} \quad (\text{TM파}) \quad (13)$$

V. 광대역 페라이트 전파흡수체의 설계방법 및 특성

[Fig. 1]의 전파흡수체는 뒷면에 금속판이 취부된 타일형 페라이트 위에 유효재료정수를 변화시키기 위하여 페라이트부와 공기부가 연속해서 동일면상에 반복하도록 십자형 페라이트 돌기부를 배열한 구조로 되어 있다. 이 전파흡수체는 모두 동일한 페라이트 재료만으로 구성된 일체형이나 재료정수가 두 개의 층을 적층한 구조의 전파흡수체 설계문제로 된다.



[Fig. 8] A Designing Flow of Wide band Ferrite Electromagnetic Wave Absorber.

전파흡수체의 설계는 [Fig. 8]과 같은 절차에 따라 주어진 페라이트 재료를 이용하여 임의의 형상을 결정하고, 최소의 페라이트 두께로 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 주파수 대역폭이 최대가 되는 흡수체의 제원을 결정하는 방법으로 행한다.

전파흡수체 설계에 이용된 재료는 비유전율 14, 초투자율 2,000, 2,500 및 3,000, 완화주파수 2.5 MHz인 Ni-Zn계 페라이트이며, 설계한 전파흡수체의 제원 및 주파수 대역폭은 <Table 1>과 같다. <Table 1>에서 t_1, t_2 는 각층의 두께, a, b, d 는 2층의 제원이다.

십자형 페라이트 자성체의 배열만으로 전파흡수체를 구성한 경우 [Fig. 9]에 나타난 바와 같이 특성이 불량하므로 전파흡수체로서 이용할 수 없다.

<Table 1> Design Results of Electromagnetic Wave Absorbers with Cross-Shaped Ferrite.

CASE	Measured material constant parameters	Absorber Dimension(mm)					Band width with the tolerance limits of -20 dB
		t_1	t_2	a	b	d	
1	$\epsilon_r = 14.0$ $K = 2,000$ $f_m = 3.1 \text{ MHz}$	6.4	10.0	14.8	15.2	20	40~3,970 MHz
2	$\epsilon_r = 14.0$ $K = 2,500$ $f_m = 2.5 \text{ MHz}$	6.4	10.0	14.8	15.2	20	30~3,990 MHz
3	$\epsilon_r = 14.0$ $K = 3,000$ $f_m = 2.1 \text{ MHz}$	6.4	10.0	14.8	15.2	20	20~3,950 MHz

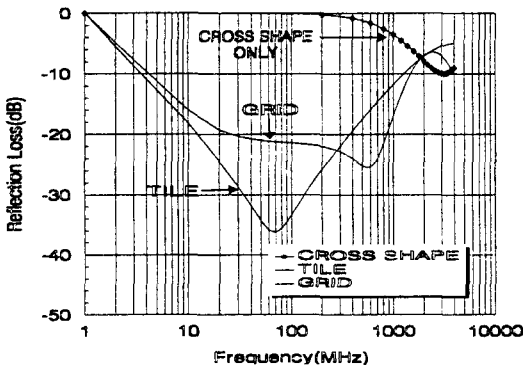
그러나 페라이트 타일과 조합하여 2층 구조로 설계하면, 30 MHz에서 약 4 GHz의 주파수 범위에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 전파흡수체를 실현할 수 있다.

[Fig. 10]은 <Table 1>의 Case-2 전파흡수체에 대한 수직입사시 반사주파수특성을 나타내고 있으며, 기존 타일형 페라이트 전파흡수체와 그리드형 페라이트 전파흡수체의 특성을 동시에 한 그래프에 나타내어 상호 비교하였다. [Fig. 11]은 여기에 대한 규격화 입력임피던스를 나타내고 있다. 그리고 [Fig. 12]는 3종류 재료를 이용한 결과를 비교하였

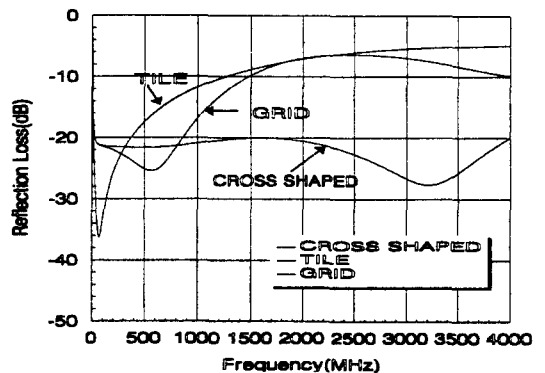
다. [Fig. 13] 및 [Fig. 14]는 각각 TE파 및 TM파에 대한 사입사시의 반사주파수 특성을 나타내고 있다.

VI. 맺음말

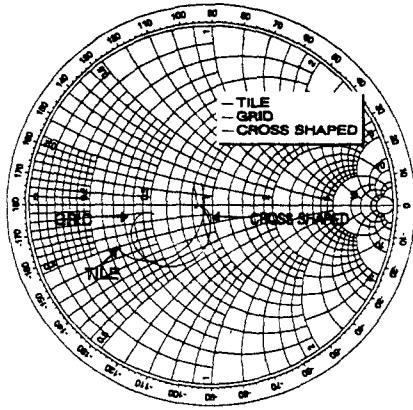
전자파장해방지에 관한 국제적인 규제의 강화, 고주파 전자기기의 사용급증 등을 고려하면 광대역에서 충분한 전파흡수능을 가지는 전파흡수체의 개발은 시급한 과제이다. EMI / EMC 대책용 전파흡



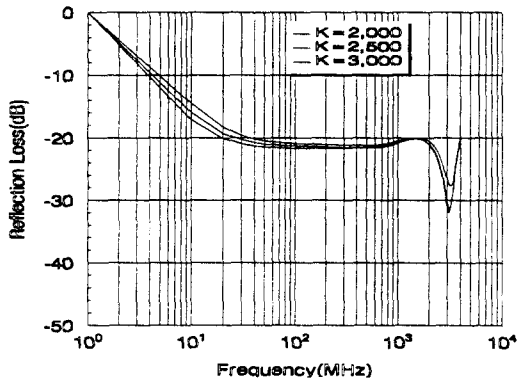
[Fig. 9] Reflectivity Frequency Characteristics of Single Layer Cross-shaped Ferrite.



[Fig. 10] Reflectivity Frequency Characteristics of the Case-2 Electromagnetic Wave Absorber in <Table 1>.



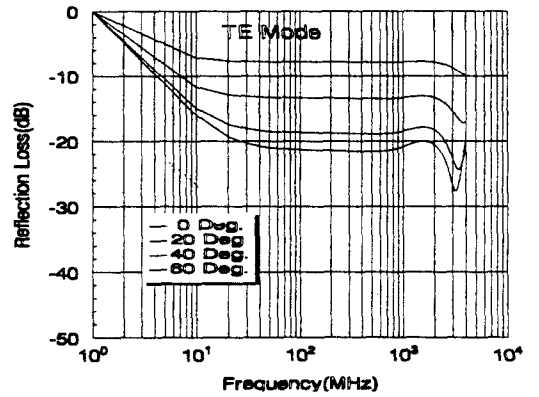
[Fig. 11] Normalized Input Impedance of the Case-2 Electromagnetic Wave Absorber in <Table 1>.



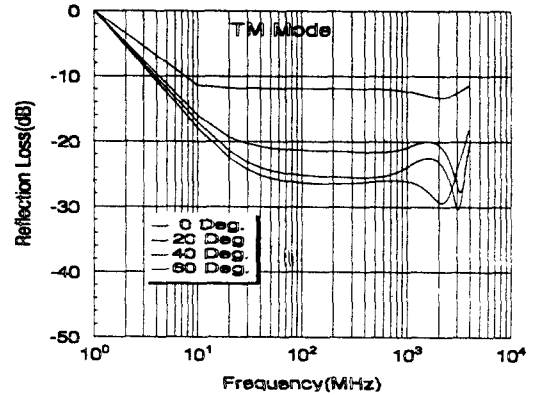
[Fig. 12] Reflectivity Frequency Characteristics of the Absorbers in <Table 1> for Ferrite Materials ($\mu = 2000, 2500, 3000$).

수체는 광대역, 박층, 경량 및 구조체화 등이 요구되며, 옥외에서 사용하는 전파흡수체는 엄격한 자연환경하에서도 견딜 수 있도록 기계적, 물리적 강도와 내성을 가질 필요가 있다.

본 고에서는 이러한 제요건을 만족시킬 수 있는 전파흡수체의 설계방안으로 타일형 소결 페라이트 위에 십자형 페라이트 돌기부를 주기적으로 배열한



[Fig. 13] Reflectivity Frequency Characteristics of the Case-2 Electromagnetic Wave Absorber in <Table 1> (TE Mode).



[Fig. 14] Reflectivity Frequency Characteristics of the Case-2 Electromagnetic Wave Absorber in Table 1 (TM Mode).

구조를 제시하고 그 설계방법 및 특성을 살펴보았다. 설계한 전파흡수체는 전체 두께 16.4 mm로 30 MHz에서 약 4 GHz의 주파수 범위에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 우수한 특성을 보였다. 그리고 이러한 구조는 일체형이므로 손실유전체를 이용하는 피라미드형 전파흡수체에 비해 흡수체의 크기 및 내구성 면에서 큰 장점을 가진다. 따라서,

전파무향실용, GTEM-cell용 및 기타 EMC 대책용으로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 정밀 수치해석법을 이용한 설계방법의 개선과 복잡한 구조를 가지는 페라이트 전파흡수체의 제작법의 개발 등이 필요하다.

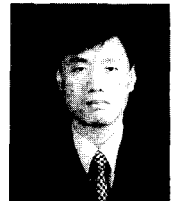
참고문헌

- [1] 山中, 外, “電子レンジ妨害波によるPHSのBER劣化の測定と推定”, 日本電子通信學會論文誌 B-II, vol. J79-B-II, no. 11, pp. 827-834, 1996. 11.
- [2] 김동일, 정세모, 전상엽, “초광대역 특성을 가지는 Ferrite 전파흡수체의 설계법”, 한국향해학회지 제18권 제2호, pp. 151-158, 1994.
- [3] 강덕근, “새로운 전자파장해관련 기준 제/개정”, 전파진흥지, pp. 11-16, 1996. 11.
- [4] 김동일, 전상엽, “십자형 슬롯을 가지는 직충형 초광대역 페라이트 전파흡수체의 설계”, 한국전자과학회논문지, 제7권 제4호, pp. 346-352, 1996. 10.
- [5] Y. Naito, “Recent topics of electromagnetic wave absorber for EMI and EMC”, MW92-67, *IEICE of Japan*, pp. 67-74, Jul. 1992.
- [6] Y. Shimizu et al., *Absorption and shield of electromagnetic wave*, Nikkei Publishing Co., Japan, 1989.
- [7] Dong Il Kim, Michiharu Takahashi, Hiroki Anzai, Sang Yup Jun, “Electromagnetic wave absorber with wide-band frequency characteristics using exponentially tapered ferrite”, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 38, no. 2, pp. 173-177, May. 1996.
- [8] Y. Naito et al., “Wide-band characteristics of fin ferrite electromagnetic wave absorber”, *IEICE of Japan*, vol. J76-B-II, No. 7, pp. 641-646, Jul. 1993.
- [9] Y. Naito et al., “Characteristics of grid ferrite electromagnetic wave absorber”, *IEICE of Japan*, vol. J76-B-II, no. 11, pp. 898-905, Nov. 1993.
- [10] E. F. Kuester and C. L. Holloway, “A low-frequency model for wedge or pyramid absorber arrays-I: Theory”, *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, vol. 36, no. 4, Nov. 1994.

필자소개

전 상 엽

1957년 10월 16일생
 1982년 2월 : 한국해양대학교 항해학과(공학사)
 1992년 2월 : 한국해양대학교 대학원 선박운항학 전공(공학석사)
 1997년 8월 : 한국해양대학교 대학원 전자통신공학 전공(공학박사)
 1989년 4월 ~ 현재 : 한국해양수산연수원 항해학과 부교수



김 동 일

본지 1쪽 참조