광대역 특성을 갖는 3층형 페라이트 전파흡수체의 설계

이 창 우* · 김 동 일**

A Design of Ferrite Electromagnetic Wave Absorber Three Layered Type with Wide-Band Characteristics.

*Chang Woo Lee** · *Dong Il Kim***

〈목 차〉

Abstract
Ⅰ. 서 론
1.1 연구배경
1.2 연구목적
Ⅱ. 등가재료정수법
2.1 등가유전율
2.2 등가 투자율
Ⅲ. 3층형 광대역 전파흡수체의 설계
Ⅳ. 결과 및 고찰
Ⅴ. 결 론
참고문헌

Abstract

According to the rapid development of the electric industry, the demand of the frequency allocation and the usage of electromagnetic wave are increased due to automation of modern society. Electromagnetic wave absorbers for anechoic chamber are needed to broaden the effective frequency bandwidth, reduce the thickness, and decrease the weight. There are various absorbers proposed for the above conditions, but they could not decisively solve the above requirements.

The Electromagnetic wave absorber made by a conventional ferrite tile has, for example, broadened the effective frequency bandwidth by the way of forming air layer(practically in urethane foam, etc.) on the ferrite tile. Therefore, an air layer is formed between a reflection plate and a sintered Ni-Zn ferrite tile of 7 mm in thickness, which has reflectivity less than -20 dB from 30 MHz to 400 MHz in bandwidth. In this paper, a broadband electromagnetic wave absorber are designed, which has the reflection characteristics less than -20 dB from 30 MHz to 8,000 MHz in the bandwidth. A super broadband

* 정회원, 한국해양대학교 전자통신공학과
** 정회원, 한국해양대학교 전파공학과
※ 본 연구는 1997년도 한국과학재단의 특정기초과제(과제번호 : 97-01-01-04-01-2)의 연구지원에 의하여 이루어졌음.

electromagnetic wave absorber is achieved by inserting square Ferrite Cylinders Type with the thickness less than 23.5 mm and with the frequency band from 30 MHz to 8,000 MHz under the above tolerance limits.

The purpose of this research is on the development of a universal anechoic chamber for measuring radiated electromagnetic wave or immunity of electronic equipments, GTEM-cell and also a wall material for preventing TV ghost, etc.

Ⅰ. 서 론

1.1 연구배경

정보화 시대로의 급속한 발전에 따라 통신 및 정보기기의 사용이 급증하고 있다. 이러한 전자통신 기술의 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(전자파 양립성 ; 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 801-3)을 충분히 만족시키기 위해서는, 20 dB(전자파 전력의 99%) 이상의 전파흡수능을 가지는 주파수 대역이 30 MHz에서 1,000 MHz 및 3,000 MHz 이상이 요구되고 있으며, 앞으로는 30 MHz에서 5,000 MHz이상의 성능을 가지는 것이 요구될 전망이다[1],[2].

이와 같은 전파흡수체를 사용하는 전파무향실에는 페라이트 소결체에 카본스티롤을 적층한 복합형 전파흡수체도 사용되고 있으며, 예를 들면, TDK에서는 주파수 30 MHz에서 400 MHz대역에서 20 dB(99%) 이상의 전파흡수능을 가지는 두께 5 mm ~ 7 mm의 페라이트타일과 두께 75 cm의 카본스치롤을 적층하여 전파무향실용으로 사용하고 있다. 또한 Nisshinbo Tempest의 경우는 30 MHz에서 800 MHz 대역에서 20dB 이상의 전파흡수능을 가진 Grid형 전파흡수체를 생산한 바 있다[3].

따라서, 본 연구에 있어서는 서로 다른 종류의 페라이트를 삽입형으로 구성하면서도 제작이 용이한 기둥구조 페라이트 삽입형 또는 일체형 전파흡수체를 제안하여 설계함으로써 초광대역을 실현하고, 기존의 단일 페라이트 기둥구조 2층형 전파흡수체의 제작 시 생기는 제작의 어려움을 해결하여 전기·전자기기로부터 방사되는 전자파를 측정하기 위한 전파무향실, GTEM Cell, 건물로부터 TV 전자파의 반사를 막기 위한 벽재등에 널리 활용될 수 있어 국내 기술의 획기적인 전환점을 이룰 것으로 전망된다[4].

1.2 연구목적

본 연구의 목적은 30 MHz에서 8,000 MHz의 초광대역에 걸쳐 반사감쇠량 20 dB(전파흡수능 99%) 이상의 전파흡수능을 가지며, 제작이 용이한 고성능 전파흡수체를 개발함으로써, 전기·전자기기로부터 방사되는 전자파를 측정하기 위한 전파무향실을 구성한 경우, 성능이 국제규격을 충분히 만족시킴은 물론 GTEM Cell이나 건물로부터 TV 전자파의 반사를 막기 위한 벽재등으로 널리 활용될 수 있도록 하는데 목표를 두고 있다.

연구의 방법은 기존에 사용되고 있는 격자형 페라이트 전파흡수체에 정방형 페라이트 기둥 형태를 갖는 페라이트 전파흡수체를 삽입한 형태인데

이는 기존의 페라이트 단체로 이루어진 2층 페라이트가 주파수대역이 30 MHz에서 3,600 MHz이었으나, 복소투자율의 주파수분산특성이 서로 다른 종류의 페라이트를 3층형으로 구성되면서, 전체 두께가 23.5 mm 이하이고, 제작이 용이한 새로운 형상의 전파흡수체를 제안, 시뮬레이션을 통하여 계산하는 것이다. 등가재료정수법을 활용하여 유효주파수대역을 30 MHz에서 8,000 MHz까지 광대역화 된, 제작이 용이한 새로운 형상의 전파흡수체를 설계하는데 목적이 있다[5].

Ⅱ. 등가재료정수법

2.1 등가유전율

Fig. 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(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].

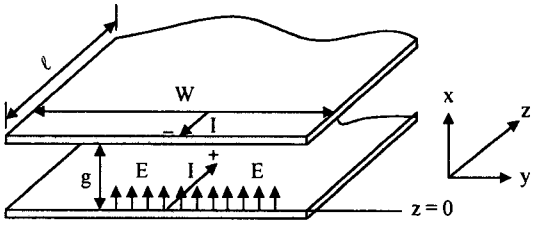

Fig. 1 A Parallel Plate Transmission Line.

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

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

$$\rho = \varepsilon E_x = \frac{\varepsilon V}{g} \quad \cdots\cdots (3)$$

$$Q = w \times a \times \rho = \varepsilon \frac{wa}{g} V \quad \cdots\cdots (4)$$

따라서, 단위길이당 용량은 식(5)와 같다.

$$\frac{C}{a} = \frac{\varepsilon w}{g} \quad \cdots\cdots (5)$$

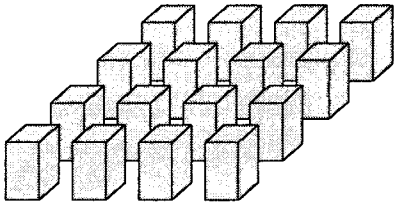

Fig. 2 An Electromagnetic Absorber Composed of Periodic Arrays of Square Ferrite Cylinder.

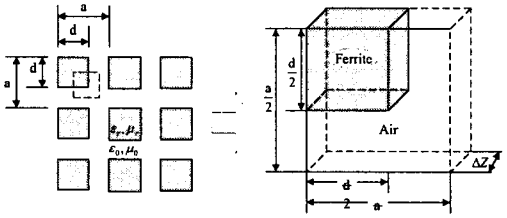

Fig. 3 A Model for Calculation of Equivalent Material Constants.

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

여기서,

$$C_{F1} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \Delta z,$$

$$C_{A2} = \frac{d\,\varepsilon_0 \Delta z}{a-d},$$

$$C_{A3} = \frac{(a-d)\,\varepsilon_0 \Delta z}{a} \quad \cdots\cdots (3)$$

$$C = \varepsilon_0 \Delta z \left\{ \frac{(a-d)}{a} + \frac{\varepsilon_r d}{(a-d)\varepsilon_r + d} \right\}$$

따라서, Fig. 3에서 Δz의 두께를 가지는 구조에

대한 등가유전율 ε_{eq}는 식(8)과 같이 계산할 수 있다.

$$\varepsilon_{eq} = \frac{C}{\varepsilon_0 \Delta z} \quad \cdots\cdots (7)$$

$$\varepsilon_{eq} = \frac{(a-d)}{a} + \frac{\varepsilon_r d}{(a-d)\varepsilon_r + d} \quad \cdots\cdots (8)$$

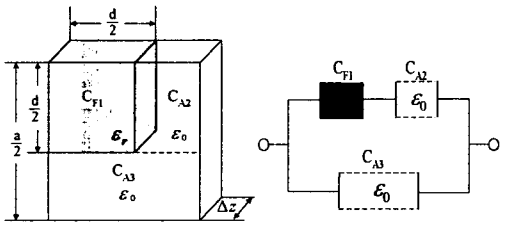

Fig. 4 A Synthesized Capacitance Model.

2.2 등가 투자율

이 평행판 또한, Fig. 1에서 L을 자기인덕턴스라고 하면, ga구역을 자르는 자속은 식 (6)과 같이 주어진다. 전송선로에서 아래쪽 판에서는 +z방향으로, 위쪽판에서 는 −z방향으로 흐르는 전류를 I, +y방향으로 유기되는 자계를 H, 자속밀도를 B, 전송선로에 채워진 물질의 투자율을 μ, ga를 자르는 자속을 Φ, 평행도체판간의 총 합성인덕턴스를 L이라고 하면 다음 관계가 성립한다.

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

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

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

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

식(12)는 정상전류에서 식(13)와 같다.

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

따라서, 단위길이당 인덕턴스는 식(14)과 같이 주어진다.

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

Fig. 2를 이용하여 위와 같은 방법으로 Fig. 4와 같은 합성인덕턴스 모델을 만들 수 있다. 총 합성인덕턴스 L은 아래와 같이 계산할 수 있다. 여기서,

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

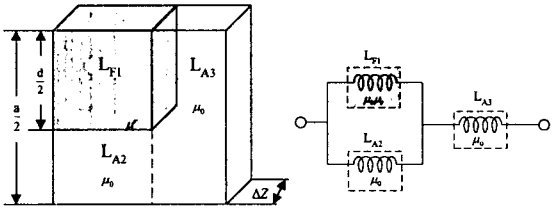

Fig. 5 A Synthesized Inductance Model.

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

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

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

상기 설명한 방법을 등가재료정수법이라고 한다[5].

Ⅲ. 3층형 광대역 전파흡수체의 설계

Fig. 6과 같은 구조를 가지며 기존의 격자형 전파흡수체 형태에 정방형기둥 구조를 가진 페라이트를 삽입한 형태를 이루고 있다. 설계에 사용한 재료정수는 초투자율이 각각 2000, 2,500 및 3,000을 사용하였고, 비유전율은 14로 사용하였다.

Fig. 7의 구조는 X축 및 Y축이 대칭의 구조를 한 부분만을 해석하여도 전체의 특성을 파악할 수 있다. 또한 3층의 구조를 가지므로 1층, 2층 및 3층의 구조를 각각 해석하여 등가회로를 구성한다. 재료정수법을 이용하여 Fig. 6의 1층, 2층 및 3층의

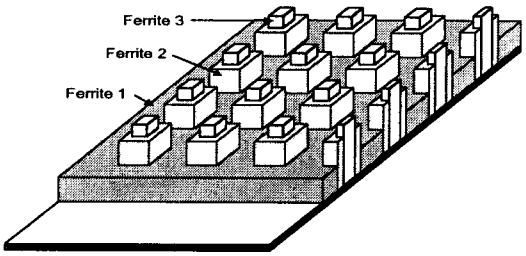

Fig. 6 The Typical Shape of Electromagnetic Wave Absorber Inserting Ferrite Cylinder by 2-time.

합성용량 C와 등가유전율 ε_{eff}, 합성인덕턴스 L과 등가투자율 μ_{eff}를 계산할 수 있다.

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

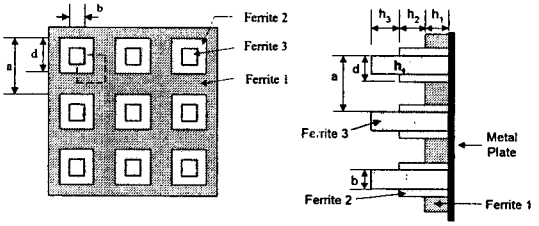

Fig. 7 Top View & Side View.

$$C=\left\{\frac{b\cdot\varepsilon_{r1}\cdot\varepsilon_{r2}\cdot\varepsilon_{r3}}{\{b\cdot\varepsilon_{r2}+(d-b)\cdot\varepsilon_{r3}\}\cdot\varepsilon_{r1}+(a-d)\cdot\varepsilon_{r2}\cdot\varepsilon_{r3}}+\frac{(d-b)\cdot\varepsilon_{r1}\cdot\varepsilon_{r2}}{(a-d)\cdot\varepsilon_{r2}+d\cdot\varepsilon_{r1}}+\frac{(a-d)\cdot\varepsilon_{r1}}{a}\right\}\cdot\varepsilon_{o}\cdot\Delta z \quad \cdots(18)$$

$$\varepsilon_{eff}=\frac{b\cdot\varepsilon_{r1}\cdot\varepsilon_{r2}\cdot\varepsilon_{r3}}{\{b\cdot\varepsilon_{r1}+(d-b)\cdot\varepsilon_{r3}\}\cdot\varepsilon_{r1}+(a-d)\cdot\varepsilon_{r2}\cdot\varepsilon_{r3}}+\frac{(d-b)\cdot\varepsilon_{r1}\cdot\varepsilon_{r2}}{(a-d)\cdot\varepsilon_{r2}+d\cdot\varepsilon_{r1}}+\frac{(a-d)\cdot\varepsilon_{r1}}{a} \quad \cdots\cdots(19)$$

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

$$L=\left\{\frac{b\cdot\mu_{r1}\cdot\mu_{r2}\cdot\mu_{r3}}{b\cdot\mu_{r1}\cdot\mu_{r2}+\mu_{r1}\cdot\mu_{r3}\cdot(d-b)+\mu_{r2}\cdot\mu_{r3}\cdot(a-d)}+\frac{(d-b)\cdot\mu_{r1}\cdot\mu_{r2}}{(a-d)\cdot\mu_{r2}+d\cdot\mu_{r1}}+\frac{(a-d)\cdot\mu_{r1}}{a}\right\}\cdot\mu_{o}\cdot\Delta z \quad \cdot(20)$$

$$\mu_{eff}=\frac{b\cdot\mu_{r1}\cdot\mu_{r2}\cdot\mu_{r3}}{b\cdot\mu_{r1}\cdot\mu_{r2}+\mu_{r1}\cdot\mu_{r3}\cdot(d-b)+\mu_{r2}\cdot\mu_{r3}\cdot(a-d)}+\frac{(d-b)\cdot\mu_{r1}\cdot\mu_{r2}}{(a-d)\cdot\mu_{r2}+d\cdot\mu_{r1}}+\frac{(a-d)\cdot\mu_{r1}}{a} \quad \cdots\cdots(21)$$

2층의 합성용량 C와 등가유전율 ε_{eff}도 식(22)와 식(23)으로 구할 수 있다.

$$C=\frac{b\cdot\varepsilon_{o}\cdot\varepsilon_{r2}\cdot\varepsilon_{r3}\cdot\Delta z}{\{b\cdot\varepsilon_{r2}+(d-b)\cdot\varepsilon_{r3}\}+(a-d)\cdot\varepsilon_{r2}\cdot\varepsilon_{r3}}+\frac{(d-b)\cdot\varepsilon_{o}\cdot\varepsilon_{r2}\cdot\Delta z}{(a-d)\cdot\varepsilon_{r2}+d}+\frac{a-d}{a}\cdot\varepsilon_{o}\cdot\Delta z \quad \cdots\cdots(22)$$

$$\varepsilon_{eff}=\frac{b\cdot\varepsilon_{r2}\cdot\varepsilon_{r3}}{\{b\cdot\varepsilon_{r2}+(d-b)\cdot\varepsilon_{r3}\}+(a-d)\cdot\varepsilon_{r2}\cdot\varepsilon_{r}}+\frac{(d-b)\cdot\varepsilon_{r2}}{(a-d)\cdot\varepsilon_{r2}+d}+\frac{a-d}{a} \quad \cdots\cdots(23)$$

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

$$L=\left\{\frac{b\cdot\mu_{r2}\cdot\mu_{r3}}{b\cdot\mu_{r2}+(d-b)\cdot\mu_{r3}+(a-d)\cdot\mu_{r2}\cdot\mu_{r3}}+\frac{(d-b)\cdot\mu_{r2}}{(a-d)\cdot\mu_{r2}+d}+\frac{a-d}{a}\right\}\cdot\mu_{o}\cdot\Delta z \quad \cdot\cdot(24)$$

$$\mu_{eff}=\frac{b\cdot\mu_{r2}\cdot\mu_{r3}}{b\cdot\mu_{r2}+(d-b)\cdot\mu_{r3}+(a-d)\cdot\mu_{r2}\cdot\mu_{r3}}+\frac{(d-b)\cdot\mu_{r2}}{(a-d)\cdot\mu_{r2}+d}+\frac{a-d}{a} \quad \cdots\cdots(25)$$

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

$$C=\frac{b\cdot\varepsilon_{o}\cdot\varepsilon_{r3}\cdot\Delta z}{(a-b)\cdot\varepsilon_{r3}+b}+\frac{(a-b)\cdot\varepsilon_{o}\cdot\Delta z}{a} \quad \cdots\cdots(26)$$

$$\varepsilon_{eff}=\frac{b\cdot\varepsilon_{r3}}{(a-b)\cdot\varepsilon_{r3}+b}+\frac{a-b}{a} \quad \cdots\cdots(27)$$

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

$$L=\left\{\frac{b\cdot\mu_{r3}}{(a-b)\cdot\mu_{r3}+b}+\frac{a-b}{a}\right\}\cdot\mu_{o}\cdot\Delta z \quad \cdots\cdots(28)$$

$$\mu_{eff}=\frac{b\cdot\mu_{r3}}{(a-b)\cdot\mu_{r3}+b}+\frac{a-b}{a} \quad \cdots\cdots(29)$$

Ⅳ. 결과 및 고찰

서로 다른 종류의 페라이트를 삽입한 형태의 3층 구조를 구성하면서도 제작이 용이한 기둥구조 페라이트 삽입형 전파흡수체를 제안하여 설계함으로써 30 MHz에서 8,000 MHz의 주파수대역에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 페라이트를 개발하였다. 특히, 기존의 단일 페라이트 기둥구조 2층형 전파흡수체는 페라이트 단체로 형성되어 제작시 생기는 비틀림 현상과 같은 어려움이 있었으나 본 논문에서 도입한 방법을 사용하여 이 문제를 해결하였다. 제안한 이론을 바탕으로 초투자율 2,000, 2,500 및 3,000 인 Ni-Zn 계 페라이트 재료를 사용하여 계산한 결과, 아래와 같은 결과를 나타내었다.

이는 기존의 격자형 페라이트 형태를 삽입한 뒤, 정방형 기둥구조의 페라이트를 한번 더 삽입한 구조를 가진 형태로써 3층의 구조를 갖는데 전체 두께는 최대 23.5 mm 정도로 30 MHz에서 8,040 MHz의 주파수 대역에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 나타내었다.

Table. 3.1 Design Results of Electromagnetic Wave Absorbers Inserting Ferrite Cylinder by 2-time.

Meassured materials constants parameters	Absorber Dimension(mm)						Band width with the tolerance limits of -20dB
	a	d	b	h1	h2	h3	
K1 = 2,000 fm = 3.1MHz ε = 14	20	15.6	10.5	6.4	7.5	9.6	30~8,040MHz
K2 = 2,500 fm = 2.5MHz ε = 14							
K2 = 3,000 fm = 2.1MHz ε = 14							

Table. 1은 등가재료 정수법을 사용하여 Ferrite 1의 초투자율 K1은 2,000, Ferrite 2의 초투자율 K2는 2,500, Ferrite 3의 초투자율 K3는 3,000으로 하고 유전율은 14, 주기a는 20 mm, 2층의 폭 d는 15.6 mm, 3층의 폭 b는 10.5 mm, 1층의 높이 h1은 6.4 mm, 2층의 높이 h2는 7.5 mm, 3층의 높이 h3는 9.6 mm로 하여 계산한 것으로 30 MHz에서 8,040 MHz의 주파수 대역에서 반사감쇠량 20 dB 이상의 값을 얻었다.

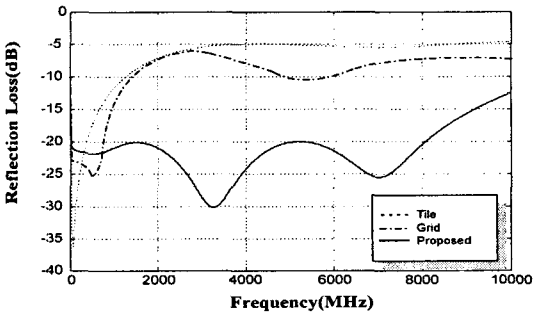

Fig. 8 The Characteristic of the Electromagnetic Wave Absorber.

Fig. 8은 등가재료 정수법으로 계산한 공기가 있는 직사각형 구조의 전파흡수체와 기존의 타일형, 격자형을 비교한 것이다. 이는 타일형 페라이트의 특성보다 20배, 격자형 페라이트 보다 10배의 우수한 특성을 보였다.

Ⅴ. 결 론

위의 설계·제안된 전파흡수체의 제작은 현재의 기술로도 문제가 없을 것으로 판단된다. 또한 Ferrite 1, Ferrite 2 및 Ferrite 3의 세 가지 재료를 사용할 수 있어 다양한 재료를 사용할 수 장점이 있다. 여러 가지 재료를 사용하여 계산한 결과, 설계상의 기술이 많은 비중을 차지함을 알 수 있었다. 이는 기존의 전파무향실의 경우, 전파흡수체의 두께가 3 m 이상이 필요한 경우와는 달리, 최대 23.5 mm 미만의 두께로 30 MHz에서 8,000 MHz의 주파수 대역에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지게 됨으로써 주파수 대역폭, 공간적인 효율성, 가격경쟁력 및 제작의 용이성 등으로 비교할 때 세계에서 가장 우수한 전파흡수체가 될 것으로 사료된다. 위와 같은 결과는 전기·전자기기로부터 방사되는 전자파를 측정하기 위한 전파무향실, GTEM Cell 및 EMC / EMI 대책

용으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] 김동일, 이창우, 전상엽, 정세모, "초광대 역특성을 갖는 정방형 페라이트 기둥구조의 전파흡수체 설계법", 한국항해학회지 제19권 제2호, pp.99-106, 1995.

[2] 강덕근, "새로운 전자파장해관련 기준 제 /개정", 전파진흥지, pp.11-16, 1996. 11.

[3] 김동일, 전상엽, 정세모, "제2층에 십자 형 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 추계학 술발표회 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.