

광대역특성을 가지는 전파흡수체의 설계에 관한 연구

김동일*, 이창우**, 전상엽**, 박지용**, 정세모***

A Study of Electromagnetic Wave Absorber with Broad-Band Frequency Characteristics.

Dong Il Kim, Chang Woo Lee, Sang Yup Jun, Ji-Yong Park, Se-Mo Chung

Abstract

A wide band design method of an double layered electromagnetic wave absorber sintered ferrite, which has a flat and an anti-grid shape layers, is proposed and discussed. The wide band electromagnetic wave absorber can be designed by the equivalent material constants method for the each layer.

As a result, the wide band ferrite electromagnetic wave absorber with the band width of 30MHz to 3670, 3680 or 3690MHz were designed under the tolerance limits of -20dB reflectivity.

제1장 서론

1.1 연구배경

고도 정보화 시대로의 변환점에 있어서 디지털 신호처리를 기본으로 하는 전자기기가 다양하게 공급, 사용됨에 따라 여러 형태의 노이즈가 발생하여 전자파 장애를 야기시키는 원인이 되고 있다. 즉, 이러한 기기가 경우에 따라 노이즈 발생원이 되고 또는 다른 노이즈 발생원으로 부터 전도되는 노이즈의 피해를 당하기도 하므로 기기 상호간의 또는 인체에 치명적인 영향을 미치게 되어 커다란 사회문제로 대두되고 있다.[1]

* 한국해양대학교 전자공학과

** 한국해양대학교 대학원

*** 한국해양대학교 해사수송과학과

따라서 EMI(Electromagnetic Interference), RFI(Radio Frequency Interference), EMC(Electromagnetic Compatibility)의 대책이 심각해져서 전파이용에 대한 법적 규제뿐만 아니라 초고주파 공학분야의 연구 및 실험에도 기술적인 제약이 따르게 되었다. 이러한 제약 및 규제를 따르게 하는 필요한 전파를 억제하는 일이 중요한 문제로 제시되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법의 하나로 입사한 전파를 흡수해서 열로 변환하여 반사파가 생기지 않게 하는 특수재료를 사용하는 전파흡수체의 개발이다. 종래의 도체판 위에 소결페라이트를 TILE형으로 취부한 단층페라이트 전파흡수체는 30MHz에서 400 MHz까지, 그리고 그리드형 페라이트 전파흡수체의 경우는 30MHz에서 700 MHz로 광대역화 되었다. 그러나, 국제규격기준을 만족시키기 위해 전파암실용 전파흡수체는 이용가능 주파수 범위가 30MHz에서 1,000MHz까지 요구되고 있으며, 이는 3GHz 또는 5GHz까지 확장될 전망이다. 본 논문에서는 상기의 요구조건을 충족시킬 수 있는 초광대역 전파흡수체를 개발하기 위하여, 기존의 소결페라이트 평판으로 된 타일형 전파흡수체 위에 정사각기둥 모양의 페라이트를 적층한 anti-grid형으로 설계함으로써 광대역 전파흡수체의 설계방법을 제시하였다.

1.2 연구목적

전파흡수체에 요구되는 특성은 사용주파수 폭이 넓어야 하고 흡수체의 두께도 얇을 것이며 중량이 가볍고 편파특성이 뛰어난 것은 물론 강도가 있어야 하겠고 내후성이 뛰어나는 것을 필요로 한다. 최근에는 전파흡수체의 개발에 있어서 두께가 얇고 광대역의 흡수특성을 얻기 위한 여러가지 방법이 검토되고 있는 실정으로 단층형 전파흡수체의 개발이 급진전을 보이고 있다. 본 논문에서는 전파흡수체의 기본이론, 재료정수법을 기술하였고 2층의 구조를 가지고 우수한 특성을 나타내는 소결페라이트 전파흡수체의 흡수특성 개선을 시뮬레이션을 통하여 30MHz에서 5,000MHz의 주파수 범위에서 반사가 -20dB 이하로 되는 전파흡수체를 실현시키는 것을 목표로 한다[1][2].

제2장 등가재료정수법

그림 1과 같이 y방향의 폭 w, 두 평판사이의 간격 g인 평행판전송선에서 z방향으로 전류가 흐르는 경우, z방향으로 단위길이당 용량과 인덕턴스를 계산한다[3]-[5]. 이 경우 단위길이당 용량은 식(1)과 같다.

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

여기서, C는 평행도체판간의 총 용량이며, ϵ 은 전송선로에 채워진 물질의 유전율이다.

한편, 단위길이당 인덕턴스는 식(2)와 같이 주어진다.

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

여기서, L 은 평행도체판간의 총 합성인덕턴스이며, μ 는 전송선로에 채워진 물질의 투자율이다. 이러한 계산방법을 초광대역전파흡수체의 설계에 이용할 그림 2와 같은 모델로 확장하여 보자.

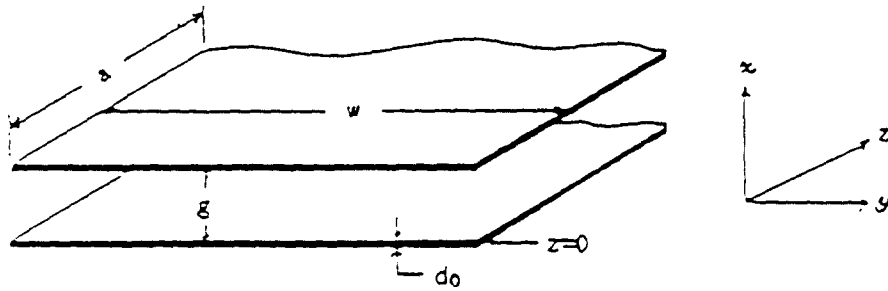


Fig. 1 A Parallel Plate Transmission Line.

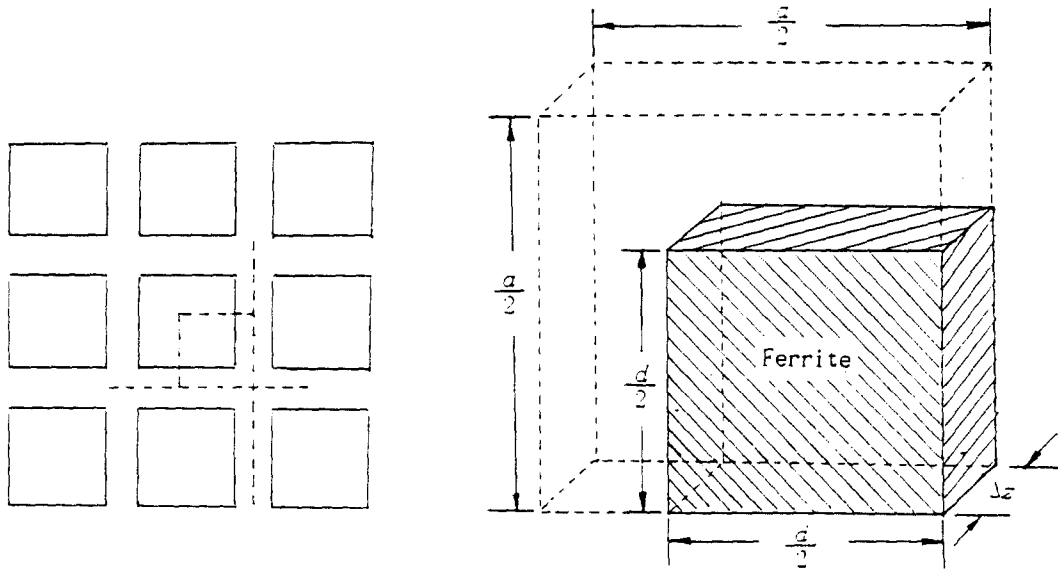


Fig. 2 A Model for Calculation of Equivalent Material Constants.

그림2를 이용하여 그림3과 같은 합성용량 모델을 만들 수 있으며, 총 합성용량 C는 식(1)을 확장하여 식(3)과 같이 계산할 수 있다.

$$C = \frac{a-d}{a} \epsilon_0 \Delta z + \frac{d \epsilon_r \epsilon_0 \Delta z}{(a-d) \epsilon_r + d} \quad (3)$$

여기서 ϵ_r 은 그림2의 빗금친 부분에 채워진 페라이트 재료의 비유전율이며, ϵ_0 는 진공의 유전율이다. 따라서 그림2에서 Δz 의 두께를 가지는 구조에 대한 등가유전율 ϵ_{eq} 는 식(4)와 같이 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{eq} = \frac{C}{\epsilon_0 \Delta z} \quad (4)$$

식(3)을 식(4)에 대입하면, 그림2와 같은 구조에 대한 등가유전율 ϵ_{eq} 는 식(5)와 같이 주어진다.

$$\epsilon_{eq} = \frac{a-d}{a} + \frac{\epsilon_r d}{(a-d) \epsilon_r + d} \quad (5)$$

또한, 그림1에서 L을 자기인덕턴스라고 하면, ga구역을 자르는 자속은 식(6)과 같이 주어진다.

$$\Phi = B_y g a \quad (6)$$

그리고 자속밀도 B_y 는 식(7)과 같으며,

$$w B_y = \mu I \quad (7)$$

자기인덕턴스 L은 식(8)와 같이 주어진다.

$$LI = \Phi \quad (8)$$

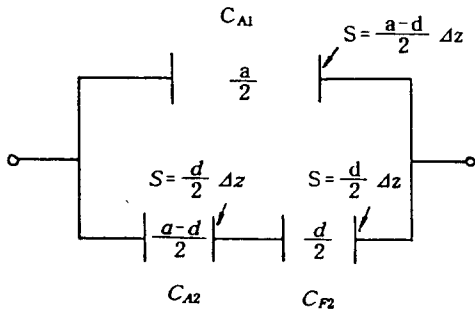


Fig. 3 A Synthesized Capacitance Model.

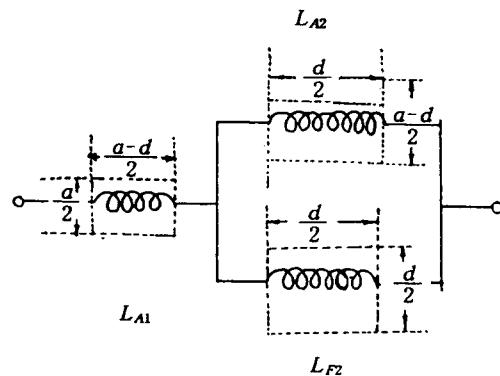


Fig. 4 A Synthesized Inductance Model.

한편, 자기인덕턴스 L 은

$$L \frac{dI}{dt} = \frac{d\Phi}{dt}$$

이므로, 식(6), 식(7) 및 식(8)로부터 단위길이당 인덕턴스(L/a)는 식(9)과 같이 계산할 수 있다.

$$\frac{L}{a} = \frac{g\mu}{w} \quad (9)$$

그림2를 이용하여 상기와 같은 방법으로 그림4와 같은 합성인덕턴스 모델을 만들 수 있으며, 합성인덕턴스 L 은 식(9)을 확장하여 식(10)과 같이 구할 수 있다.

$$L = \left(\frac{a-d}{a} + \frac{d\mu_r}{(a-d)\mu_r+d} \right) \Delta z \mu_0 \quad (10)$$

여기서, μ_r 은 그림2의 빗금친 부분에 채워진 페라이트재료의 비투자율이며, μ_0 는 진공의 투자율이다. 따라서 그림2에서 Δz 의 두께를 가지는 구조에 대한 등가투자율 μ_{eq} 는 식(11)과 같이 계산할 수 있다.

$$\mu_{eq} = \frac{L}{\mu_0 \Delta z} \quad (11)$$

식(10)을 식(11)에 대입하면 그림2와 같은 구조에 대한 등가투자율 μ_{eq} 는 식(12)과 같이 주어진다.

$$\mu_{eq} = \frac{a-d}{a} + \frac{d\mu_r}{(a-d)\mu_r+d} \quad (12)$$

이상 설명한 바와 같은 등가유전율 및 등가투자율의 근사적인 계산방법을 등가재료정수법이라 한다[6].

제3장 광대역 전파흡수체의 설계

그림5는 본 논문에서 제안한 광대역 페라이트 전파흡수체의 형태이다. 제안한 전파흡수체는 페라이트 물질만으로 구성되어 있으며, 전파흡수체의 전형적인 형상은 [그림 5]와 같고, 단면도는 그림6과 같으며, 각 층의 등가재료정수를 등가재료정수법을 이용하여 구할 수 있다. 한편, 페라이트투자율의 주파수분산식은 식(13)과 같다[7].

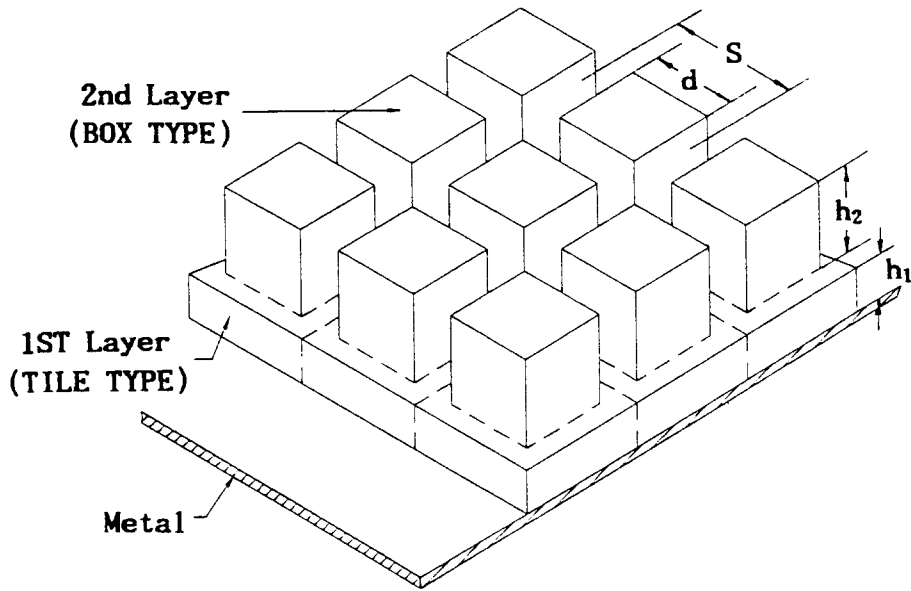


Fig. 5 The Typical Shape of a Wide-Band Ferrite Electromagnetic Wave Absorber Proposed.

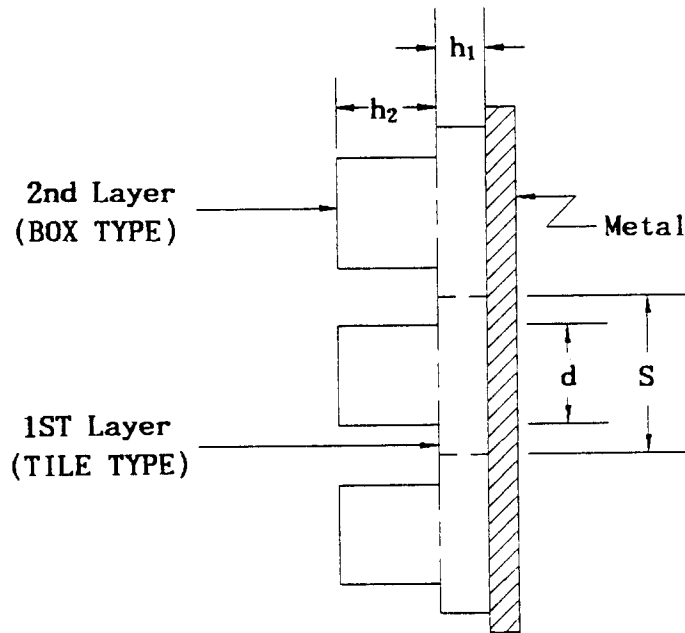


Fig. 6 Cross Section of the Electromagnetic Wave Absorber Shown in Fig. 5.

$$\mu_r = 1 + \frac{K}{1 + j \frac{f}{f_m}} \quad (13)$$

여기서 K는 직류(DC)시의 비투자율이며, f는 사용주파수 그리고 f_m 은 완화주파수이다.

그림7은 각종의 등가재료정수를 이용한 다층구조의 전파흡수체를 나타내고 있다. 따라서 전파흡수체의 공간적인 형상을 변화시킴으로써 투자율 및 유전율을 제어하여 광대역화 페라이트전파흡수체의 설계가 가능하다.

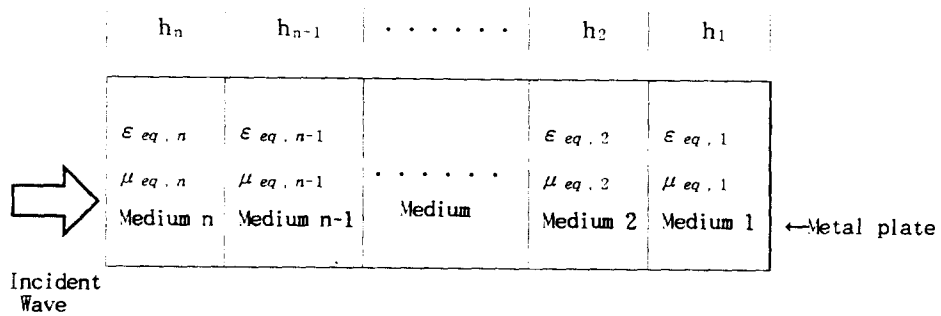


Fig. 7 Multi-layered Electromagnetic Wave Absorber Mode.

㉑1. Desinged Broad-band Electromagnetic Wave Absorbers with Excellent Characteristics using High Permeability Ni-Zn Ferrite.

Nos.	Measured material constants parameters	Absorber Dimension(mm)	Band width with the tolerance limits of -20dB	Remark
No1.	$\epsilon_r=14.0$ $K=2000$ $f_m=3.1$	$S=20.0$ $h_1=6.5$ $h_2=11$ $d=15$	30-3690MHz	ANTI-GRID
No2.	$\epsilon_r=14.0$ $K=2500$ $f_m=2.5$	$S=20.0$ $h_1=6.5$ $h_2=15$ $d=15$	30-3680MHz	ANTI-GRID
No3.	$\epsilon_r=14.0$ $K=3000$ $f_m=2.1$	$S=20.0$ $h_1=6.5$ $h_2=15$ $d=15$	30-3670MHz	ANTI-GRID

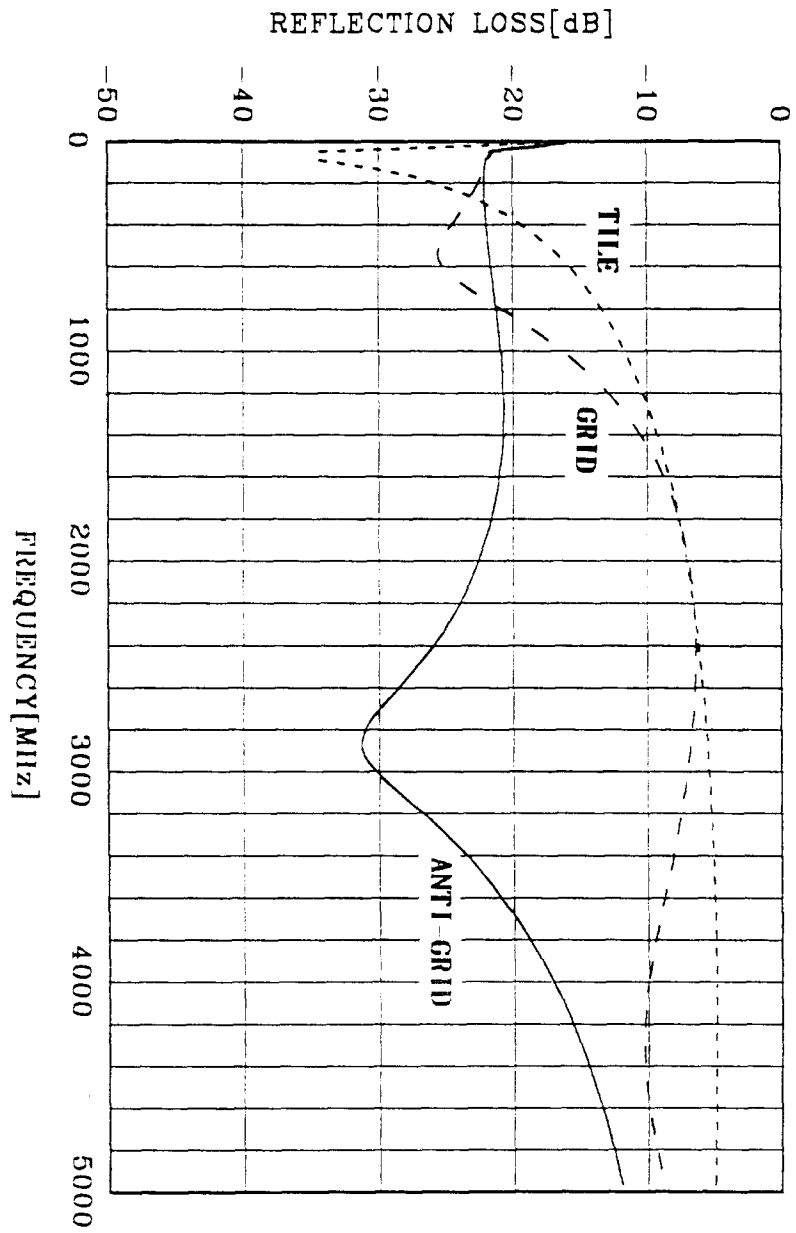


Fig. 8 Frequency Characteristics of the Designed Wide-Band Electromagnetic Wave Absorber in Table 1.

제4장 결 과

초투자율 2000, 2500 및 3000인 높은 투자율을 가지는 Ni-Zn계 페라이트의 재료정수 즉, 복소유전율 및 복소투자율을 30MHz에서 5,000MHz 범위에서 측정하였다. 그리고 앞에서 기술한 방법을 이용하여 광대역 전파흡수체를 설계하였다.

설계한 광대역 전파흡수체는 표1에 나타난 바와 같이 우수한 흡수특성을 나타내고 있다.

그림8는 ANTI-GRID형 광대역전파흡수체에 대한 전파흡수특성을 나타내고 있으며, 기존의 타일형 페라이트 전파흡수체와 그리드형 페라이트 전파흡수체의 특성을 동시에 나타내어 상호 비교하고 있다.

그림8에서 Case-1과 같은 ANTI-GRID형 페라이트 전파흡수체는 -20dB이상의 반사감쇠량을 가지는 주파수범위가 대단히 광대역화되었음을 알 수 있다.

제5장 결 론

페라이트 전파흡수체의 새로운 형상을 고안하여 가장 적절한 방법에 의해 모양을 변화시키는 방법에 의한 전파흡수체의 광대역화 기법을 제안하고 공간적으로 페라이트의 형상이 변하는 부분의 재료정수 즉, 등가 복소유전율을 합성용량법 및 합성인덕턴스법에 의하여 계산하고, 광대역화를 시도하였다. 그 결과 ANTI-GRID형태를 가지도록 설계한 광대역화 전파흡수체의 반사주파수 특성이 30MHz에서 3,670MHz 혹은 4,630MHz의 주파수 범위에서 -20dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 우수한 특성을 보였으며 이는 기존의 타일형 페라이트 전파흡수체 및 그리드형 전파흡수체의 주파수대역이 각각 30MHz에서 370MHz 및 870MHz인 것에 비해 대단히 양호한 결과이다. 이러한 전파흡수체는 전파암실용, EMC대책 및 GTEM-CELL 제작용 등으로 활용 될 것으로 기대된다.

參考文獻

- [1] 안 영섭, "전파흡수특성 측정기법 및 레이다파용 고성능 전파흡수체의 개발에 관한 연구", 한국해양대학교 대학원 박사학위논문(1994.2).
- [2] 김 동일, 정 세모외, "카본페라이트전파흡수체의 특성", 대한전자공학회 논문지, 제 26권 제11호, pp. 92-97(1987. 11).
- [3] Y. Natio, Formulation of Frequency Dispersion of Ferrite Permeability", IECE of Japan, vol. J59-C, No.5, pp. 297-304, May 1976.
- [4] 김 동일, "초광대역 특성을 가지는 Ferrite 전파흡수체의 설계방법", 한국항해학회지, pp. 43-53(1994. 4).
- [5] H. Takahashi, Waves I, Maruzen Publishing Co., Tokyo, Japan, 1973.
- [6] Dong Il Kim, et al., "Electromagnetic Wave Absorber with Wide-Band Frequency Characteristics Using Exponentially Tapered Ferrite." IEEE Trans. on EMC (to be published in Feb. 1995).
- [6] Y. Natio . Electromagnetic Wave Absorber, Ohm publishing Co. Japan. 1987.