

# 페라이트 기둥구조를 가지는 다층형 광대역 전파흡수체의 설계에 관한 연구

이 창 우\* · 김 동 일\*\*

A Study on the Design of Wide-Band Electromagnetic Wave  
Absorber of Multi-layer Type with Ferrite Cylinder structure.

Chang Woo Lee\* · Dong Il Kim\*\*

## Abstract

According to the increase of occupation density of microwave frequency band in use, electromagnetic environments become congested extensively. It often causes TV ghost, radar false echoes by wave reflection from adjacent constructions. In addition, the increase of new devices causes Electromagnetic Interference (EMI) or Electromagnetic Compatability(EMC) problems. Therefore, the international or local regulations suggest certain standards for EMI/EMC. In order to measure and countermeasure according to the above various international or government requirements, an anechoic chamber is frequently used for EMI/EMC measurement. Electromagnetic wave absorbers for an anechoic chamber are needed to be broadened the useful frequency bandwidth, reduce the thickness, and decrease the weight. The Electromagnetic wave absorber made by a conventional ferrite tile has, for example, broadened the useful frequency bandwidth by the way to form an air layer. Therefore, the absorber with air layer between a reflection plate and a sintered Ni Zn ferrite tile of 7.4 mm in thickness, has reflectivity less than -20 dB from 30 MHz to 400 MHz. On the other hand, wide-band absorber, for example, in pin type or grid type have been proposed. The absorber in grid type has the reflectivity less

\* 한국해양대학교 전자통신공학과 박사과정 마이크로파 전공

\*\* 한국해양대학교 진파공학과 교수

than -20 dB from 30 MHz to 800 MHz, which has 19.1 mm in the height. However, these microwave absorbers are needed to be broadened the band-width from 30 MHz to 1000 MHz in present anechoic chamber, while it will be required to be broadened the bandwidth from 30 MHz to 6 or 8 GHz in the near future. As a conclusion, the tapered cross-shaped absorber proposed in this research has the bandwidth from 30 MHz to 26 GHz with 28.6 mm in thickness, though the conventional microwave absorber used for an anechoic chamber has the thickness of 1.8 ~ 3.7 m. Compared with faces of bandwidth, spatial efficiency, price competition, etc., it is to be the most superior electromagnetic wave absorber.

## 1. 서 론

최근의 전자통신기술의 발달은 인간의 생활을 윤택하게 해주는 반면, 전자파 발생요인의 증가와 함께 심화되고 있는 전자파장해에 대한 대책이 사회적으로 큰 관심을 끌고 있다. 전자파에 대한 구체적인 규제가 강화됨에 따라 요구되는 전파무향실용 전파흡수체는 광대역화, 박막화, 경량화 및 제작의 용이성 등의 조건이 요구되고 있다. 이에 대한 대책으로, 국제적으로는 CISPR, 미국에서는 FCC, ANSI 등의 규제를 만들게 되었으며, 우리나라도 전자통신용장비의 EMI(전자파장해 ; Electromagnetic Interference) /EMC(전자파 양립성 ; Electromagnetic Compatibility) 규제를 만들어 수출에 대비하고 있다. 따라서 EMI/EMC 규제에 대비하여 전파암실용 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 주파수대역이 30 MHz에서 1,000 MHz 정도의 성능이 요구되고 있는 실정이며, 앞으로는 30 MHz 에서 18 GHz 이상의 성능을 가지는 것이 요구될 전망이다[1],[2]. 따라서, 본 연구에 있어서는 서로 다른 종류의 페라이트를 삽입형 또는 일체형으로 구성하여 제작이 용이한 기둥구조 전파흡수체를 제안하여 설계함으로써 30 MHz에서 20 GHz의 초광대역에 걸쳐 반사감쇠량 20 dB 이상의 전파흡수능을 가지며, 제작이 용이한 고성능 전파흡수체를 제안한다. 나아가서, 기존의 단일 구조 페라이트 기둥구조 2층형 전파흡수체의 제작시 생기는 제작의 어려움을 해결함으로써, 초광대역을 실현하고 전기·전자기기로부터 방사되는 전자파를 측정하기 위한 전파무향실을 구성한 경우, 성능이 국제규격을 충분히 만족시키는데 목표를 두고 있다. 복소투자율의 주파수분산특성이 서로 다른 종류의 페라이트로

구성되면서 전체 두께가 30 mm 이하이며, 제작이 용이한 새로운 형상의 전파흡수체를 제안, 시뮬레이션을 통하여 계산하는 것이다. 등가재료정수 제어방법을 활용하여 유효 주파수대역이 30 MHz에서 20 GHz까지 광대역화 된 새로운 형상의 전파흡수체를 설계하여, 전기·전자기기로부터 방사되는 전자파를 측정하기 위한 전파무향실, GTEM Cell, 건물로부터 TV 전자파의 반사를 막기 위한 벽재등에 널리 활용될 수 있도록 하는 것에 목표를 두고 있다[3].

## 2. 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. 아래 쪽 평판의 전위를 +I, 위쪽 평판의 전위를 -I로 하면 전기  $E_x$ 는 +x 방향을 향한다. 금속판에서 y방향의 폭 w, z방향의 길이 a의 구역에 있는 전하를 Q, 평행도체판간의 총용량을 C, 전송선로에 채워진 물질의 유전율을  $\epsilon$ 이라고 하면 다음 관계가 성립한다 [2],[4].

$$Q = CV$$

$$V = gE_x$$

$$D = \epsilon E_x = \frac{\epsilon V}{g}$$

$$Q = w \cdot a \cdot D = \epsilon \frac{wa}{g} V$$

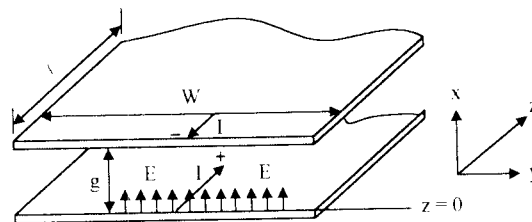


Fig. 1 A Parallel Plate Transmission Line.

따라서, 단위길이당 용량은 식(1)과 같다.

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

예를 들어 Fig. 2에 나타난 주기적으로 배열된 페라이트 기둥 구조의 등가 유전율을 구해보자. Fig. 3을 이용하여 Fig. 4와 같은 합성용량 모델을 만들 수 있으며, 총 합성용량 C는 아래와 같이 식(2)로 계산할 수 있다[5],[6].

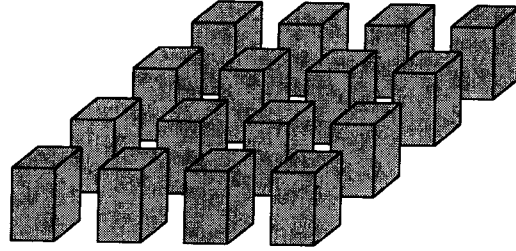


Fig. 2 An Electromagnetic Absorber Composed of Periodic Arrays of Square Ferrite Cylinder.

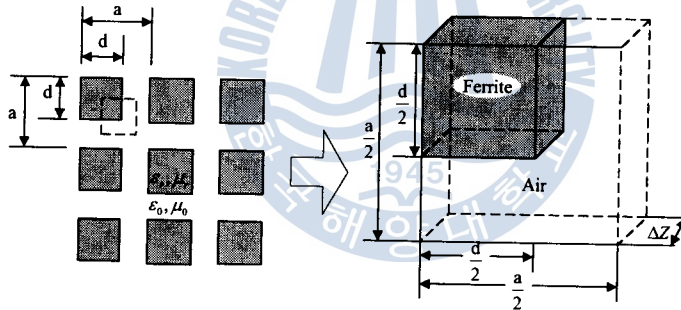


Fig. 3 A Model for Calculation of Equivalent Material Constants

$$C_{A1} = \epsilon_0 \Delta z, \quad C_{F2} = \frac{(a-d) \epsilon_0 \epsilon_r \Delta z}{a}, \quad C_{F3} = \frac{d \epsilon_0 \Delta z}{a}$$

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

따라서, Fig. 3에서  $\Delta z$ 의 두께를 가지는 구조에 대한 등가유전율  $\epsilon_{eq}$ 는 식(4)와 같이 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{eq} = \frac{C}{\epsilon_0 \Delta z} \quad (3)$$

$$\epsilon_{eq} = \frac{(a-b) \epsilon_0 \epsilon_r \Delta z}{a + (a-d) \epsilon_r} + \frac{d \epsilon_0}{a} \quad (4)$$

## 2-2. 등가 투자율

이 평행판 또한, Fig. 1에서 L을 자기인덕턴스라고 하면, ga구역을 자르는 자속은 식(5)와 같이 주어진다. 전송선로에서 아래쪽 판에서는 +z방향으로, 위쪽판에서는 -z방향으로 흐르는 전류를 I, +y방향으로 유기되는 자계를 H, 자속밀도를 B, 전송선로에 채워진 물질의 투자율을  $\mu$ , ga를 자르는 자속을  $\Phi$ , 평행도체판간의 총 합성인덕턴스를 L이라고 하면 다음 관계가 성립한다.

$$H = \frac{I}{w}$$

$$B = \mu H$$

$$\Phi = B \times g \times a = \mu \frac{g}{w} I$$

$$L \frac{dI}{dt} = \frac{d\Phi}{dt} \quad (5)$$

식(5)는 정상전류에서 식(6)과 같다.

$$L = \frac{\Phi}{I} = \mu \frac{ga}{w} \quad (6)$$

따라서, 단위길이당 인덕턴스는 식(7)과 같이 주어진다.

$$\frac{L}{a} = \frac{g\mu}{w} \quad (7)$$

Fig. 2를 이용하여 위와 같은 방법을 이용하여 총 합성인덕턴스 L은 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$L_{A1} = \mu_0 \Delta z, \quad L_{F2} = \frac{(a-d) \mu_0 \mu_r \Delta z}{d}, \quad L_{F3} = \frac{d \mu_0 \mu_r \Delta z}{a}$$

$$L = \left\{ \frac{(a-d) \mu_r \mu_0 \Delta z}{d + (a-b) \mu_r} + \frac{d \mu_r}{a} \right\} \mu_0 \Delta z \quad (8)$$

따라서, Fig. 2와 같은 구조에 대한 등가투자율  $\mu_{eq}$ 는 식(9)와 같이 주어진다.

$$\mu_{eq} = \frac{(a-d) \mu_r \mu_0 \Delta z}{d + (a-b) \mu_r} + \frac{d \mu_r}{a} \quad (9)$$

상기 설명한 방법을 등가재료정수법이라고 한다[5].

## 3. 광대역 전파흡수체의 설계

### 3-1 페라이트재료가 다른 삼입형 3층구조의 전파흡수체 설계

#### 1) 설계 및 해석

Fig. 4와 같은 구조를 가지며, 기존의 격자형 전파흡수체 형태에 정방형 기둥구조의 페라이트를 2번 삽입한 형태를 이루고 있다. 마찬가지로 1층, 2층 및 3층의 합성용량  $C_0$ , 합성인덕턴스  $L_0$ , 등가유전율  $\epsilon_{\text{eff}}$  및 등가투자율  $\mu_{\text{eff}}$ 는 3-1에서 구한 방법으로 계산할 수 있다. 식(10)와 식(11)은 1층의 등가유전율과 등가투자율을 나타낸다.

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{b \cdot \epsilon_{r1} \cdot \epsilon_{r2} \cdot \epsilon_{r3}}{\{b \cdot \epsilon_{r1} + (d-b) \cdot \epsilon_{r3}\} \cdot \epsilon_{r1} + (a-d) \cdot \epsilon_{r2} \cdot \epsilon_{r3}} \quad (10)$$

$$+ \frac{(d-b) \cdot \epsilon_{r1} \cdot \epsilon_{r2}}{(a-d) \cdot \epsilon_{r2} + d \cdot \epsilon_{r1}} + \frac{(a-d) \cdot \epsilon_{r1}}{a}$$

$$\mu_{\text{eff}} = \frac{b \cdot \mu_{r1} \cdot \mu_{r2} \cdot \mu_{r3}}{b \cdot \mu_{r1} \cdot \mu_{r2} + \mu_{r1} \cdot \mu_{r3} \cdot (d-b) + \mu_{r2} \cdot \mu_{r3} \cdot (a-d)} \quad (11)$$

$$+ \frac{(d-b) \cdot \mu_{r1} \cdot \mu_{r2}}{(a-d) \cdot \mu_{r2} + d \cdot \mu_{r1}} + \frac{(a-d) \cdot \mu_{r1}}{a}$$

2층의 등가유전율과 등가투자율은 식(12)와 식(13)로 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{b \cdot \epsilon_{r2} \cdot \epsilon_{r3}}{\{b \cdot \epsilon_{r2} + (d-b) \cdot \epsilon_{r3}\} + (a-d) \cdot \epsilon_{r2} \cdot \epsilon_{r3}} + \frac{(d-b) \cdot \epsilon_{r2}}{(a-d) \cdot \epsilon_{r2} + d} + \frac{a-d}{a} \quad (12)$$

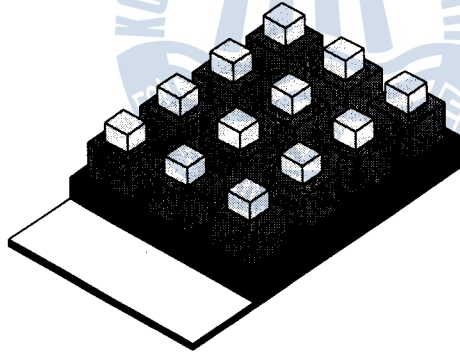


Fig. 4 The Typical Shape of Electromagnetic Wave Absorber Inserting Ferrite Cylinder by 2-time.

$$\mu_{\text{eff}} = \frac{b \cdot \mu_{r2} \cdot \mu_{r3}}{b \cdot \mu_{r2} + (d-b) \cdot \mu_{r3} + (a-d) \cdot \mu_{r2} \cdot \mu_{r3}} + \frac{(d-b) \cdot \mu_{r2}}{(a-d) \cdot \mu_{r2} + d} + \frac{a-d}{a} \quad (13)$$

3층의 등가유전율과 등가투자율은 식(14)와 식(15)로 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{b \cdot \epsilon_{r3}}{(a-b) \cdot \epsilon_{r3} + b} + \frac{a-b}{a} \quad (14)$$

$$\mu_{\text{eff}} = \frac{b \cdot \mu_{r3}}{(a-b) \cdot \mu_{r3} + b} + \frac{a-b}{a} \quad (15)$$

## 2) 시뮬레이션 결과 및 검토

각각 다른 종류의 페라이트를 삽입한 형태의 3층 구조를 구성하면서 제작이 용이한 기동구조 페라이트 삽입형 전파흡수체를 제안하여 설계하였다.

Table. 1 Design Results of Electromagnetic Wave Absorbers Inserting Ferrite Cylinder by 2-time. (with  $K=2,500$ ,  $f_m=3.1$  MHz,  $\epsilon=14$ )

Absorber Dimension(mm)						Band width with the tolerance limits of -20dB	Remark
a	d	b	h1	h2	h3		
20	15.6	10.5	6.4	7.5	9.5	30~8,040MHz	

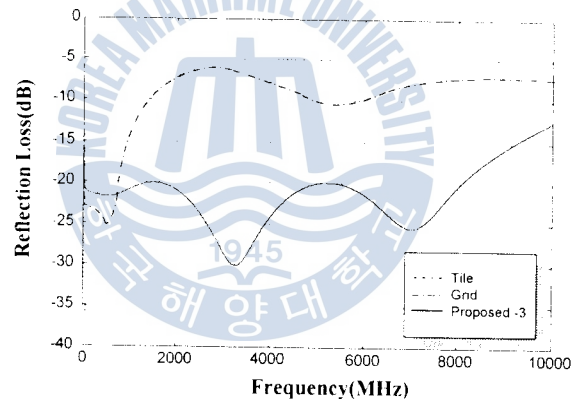


Fig. 5 The Characteristic of the Electromagnetic Wave Absorber of Table. 3.

Table. 1은 등가재료 정수법을 사용하여 페라이트의 초투자율  $K$ 를 2,500으로 하고, 유전율은 14, 주기  $a$ 는 20 mm, 2층의 폭을  $d$ , 3층의 폭을  $b$ , 1층의 높이를  $h1$ , 2층의 높이를  $h2$ , 3층의 높이를  $h3$ 으로 하여 최적치를 나타낸 것이다.

### 3-2 테이퍼 십자돌기형 3층 구조의 전파흡수체 설계

#### 1) 설계 및 해석

Fig. 6과 같은 구조를 가지며 1층은 Tile형, 2층은 테이퍼 모양의 십자돌기형 및 3층은 십자돌기형 구조를 가진 형태를 이루고 있다. 사용한 재료정수는 초투자율 2000, 2500 및 3000을 사용하였고, 비유전율은 주로 14를 사용하였다.

앞의 경우와 같은 방법으로 1층, 2층 및 3층의 구조를 각각 해석하여야 한다. 식(16)과 식(17)는 2층 및 3층의 등가유전율과 등가투자율을 나타낸다.

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{(b-n\Delta)\epsilon_r}{\epsilon_r(a-(d-n\Delta))+(d-n\Delta)} + \frac{((d-n\Delta)-(b-n\Delta))\epsilon_r}{(a-(d-n\Delta))\epsilon_r+(b-n\Delta)} \quad (16)$$

$$+ \frac{(d-n\Delta)-(b-n\Delta)}{a}$$

$$\mu_{\text{eff}} = \frac{(b-n\Delta)\mu_r}{\mu_r(a-(d-n\Delta))+(d-n\Delta)} + \frac{((d-n\Delta)-(b-n\Delta))\mu_r}{(a-(d-n\Delta))\mu_r+(b-n\Delta)} \quad (17)$$

$$+ \frac{(d-n\Delta)-(b-n\Delta)}{a}$$

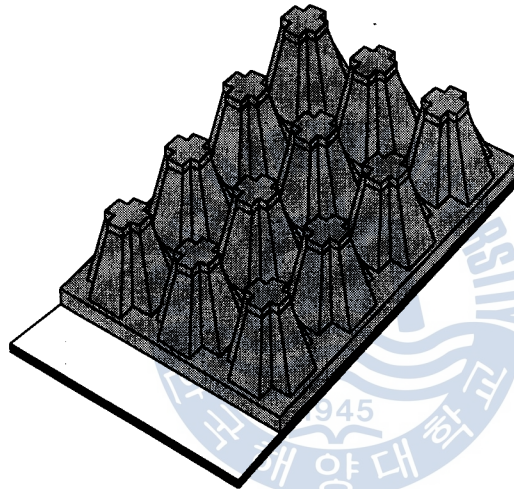


Fig. 6 Cross Shape Type of Electromagnetic Wave Absorber

## 2) 시뮬레이션 결과 및 검토

Table. 2 Design Results of Electromagnetic Wave Absorbers for Cross Shape Type. (with  $K=2,500$ ,  $f_m=3.1$  MHz,  $\epsilon=14$ )

Absorber Dimension(mm)								Band width with the tolerance limits of -20dB	Remark
a	d	dd	b	bb	h1	h2	h3		
20	19	8.3	12.4	5.3	6.4	18	4.2	30~26 GHz	

테이퍼 십자돌기형태의 3층 구조를 구성하고, 제작이 용이한 페라이트 전파흡수체를 제안하여 설계하였다. 이는 앞절의 다른 재료를 사용한 것과는 다르게 단일재료를 사



용하였다. 주기  $a$ 를 20 mm, 2층의 밑면인  $d$ 와  $b$ 는 각각 19 mm와 12.4 mm이며 3층의 폭  $dd$ 와  $bb$ 는 각각 8.3 mm와 5.3 mm로 하였다. 높이는  $h_1 = 6.4$  mm,  $h_2 = 18$  mm,  $h_3 = 4.2$  mm로 하여 계산한 결과, 20dB 이상의 전파흡수능을 가지는 주파수대역은 30 MHz ~ 26 GHz가 얻어졌다.

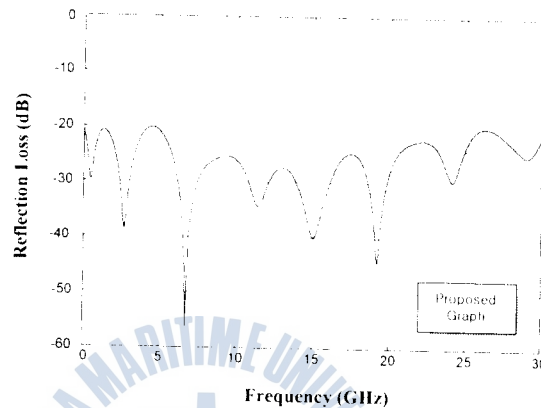


Fig. 7 The Characteristic of the Electromagnetic Wave Absorber of Table. 4.

#### 4. 결 론

단일 또는 서로 다른 종류의 페라이트를 삽입한 형태의 3층 구조를 구성하면서도 제작이 용이한 기동구조 페라이트 삽입형 전파흡수체를 제안하여 설계함으로써 30 MHz에서 26 GHz의 주파수대역에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지는 페라이트를 개발하였다. 제안한 이론을 바탕으로 초투자율이 2,500인 Ni-Zn 계 페라이트 재료를 사용하여 아래와 같이 2종류의 경우를 나타내었다.

3장 3-1의 경우는 전체 두께는 최대 23.5 mm 정도로 30 MHz ~ 8,040 MHz의 주파수 대역에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 나타내었다. 이는 타일형 페라이트의 특성보다 20배, 격자형 페라이트 보다 10배의 우수한 특성을 보였다.

3장 3-2의 경우는 기존 십자돌기형 구조를 변형하여 단일 재료를 사용한 3층구조를 가진 형태로서 2층의 기울어진 부분은  $n=30$ 등분하여 계산하였다. 전체 두께는 28.6 mm로서 30 MHz ~ 26 GHz까지의 주파수 대역에서 20dB 이상의 반사감쇠량을 나타내었다. 이는 기존의 전파흡수체의 두께가 1.8 ~ 3 m 이상이 필요한 경우와는 달리, 최대 28.6 mm 미만의 두께로 30 MHz에서 26 GHz의 주파수 대역에서 20 dB 이상의 반사감쇠량을 가지게 됨으로써 주파수 대역폭, 공간적인 효율성, 가격경쟁력 및 제작의 용이성 등으로 비교할 때 우수한 전파흡수체가 될 것으로 사료되며, 전자파 및 기기의

전자파 내성을 측정하기 위한 전파무향실, GTEM Cell 및 EMC / EMI 대책용으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김동일, 이창우, 전상엽, 정세모, "초광대역특성을 갖는 정방형페라이트 기둥구조의 전파흡수체 설계법", 한국항해학회지 제19권 제2호, pp.99-106, 1995.
- [2] 김동일, 전상엽, "EMI/EMC 대책용 광대역화 전파흡수체의 개발에 관한 연구", 한국항해학회지 제15권 제4호, pp.13-35, 1991. 12.
- [3] C. L. Holloway and E. F. Kuester, "A low-frequency model for wedge or pyramid absorber arrays-II: Computed and measured results", IEEE Trans. on Electro-magnetic Compatibility, Vol. 36, No.4, Nov. 1994.
- [4] 김동일, 전상엽, 정세모, "초광대역 특성을 가지는 Ferrite 전파흡수체의 설계법", 연세대학교 전파통신공동연구소 논문집, 제2권, 제1호, pp.125-132, 1996.
- [5] 김동일, 전상엽, "Super Wide-Band Electromagnetic Wave Absorber with Exponentially Tapered Ferrite Arrays", 대한전자공학회 논문집, 제34D권 제4호, 1997.
- [6] 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.
- [7] Y. Naito et al., "Anechoic chamber fitted with ferrite grid or ferrite multi-layer electromagnetic wave absorbers", EMC'94 ROMA, pp.229-234, Sep. 1994.