

# 電波半無響室의 特性評價에 관한 研究

— 垂平偏波를 중심으로 —

김 동 일\* · 김 민 석\*\*

A Study on the Evaluation of Semi-Anechoic Chamber Characteristics.

— mainly on horizontal polarization —

*Dong Il Kim\* · Min Seok Kim\*\**

〈 목 차 〉

Abstract

I. 서 론

II. 전파암실의 성능 평가

II-1. Site Attenuation Model

II-2. Site Attenuation

III. 시뮬레이션 결과 및 고찰

III-1. 시뮬레이션에 사용한 전파흡수  
체의 특성

III-2. Height Pattern에 의한 Site  
Attenuation

III-3. 전파흡수체에 의한 Site  
Attenuation

IV. 결 론

참고 문헌

## Abstract

We are confronted with the serious EMI(electromagnetic interference) problems in company with the development of electronic equipments. Accordingly it is also required to construct some anechoic chambers for EMI measurement. Furthermore it is very important to evaluate the chamber characteristics in advance of its construction. For that purpose we have analyzed the characteristics by computer simulation in base on the image method, and compared the results with the measured ones.

In case of 3-meter method as a result, the curved line of height pattern of open site varies similarly as that of height pattern of anechoic chamber. When we measure the electromagnetic strength and can get the height pattern curves by frequencies, we utilized it effectively because we

\* 정회원, 한국해양대학교

\*\* 정회원, 부산수산대학교

can protect instrumental errors in measurement.

On the other hand, there is a little difference in site attenuation above 700MHz. When the ferrite grid was used however, the calculated values agree well with the measured values up to 1000MHz with the exception of 30-40 MHz range. The reason is that we don't consider the antenna coupling in the low frequencies of 30-100MHz range.

## I. 서 론

최근에 각종 電子裝備의 발달과 이들 장비의 사용이 급증함으로써 장비간의 電磁波 障害(EMI)는 큰 社會問題로 대두되고 있다.<sup>1-3)</sup>

이와 같은 각종 장비로부터 발생하는 漏洩電磁波나, 전파노이즈의 평가. 시험을 목적으로 하는 공간으로서는 주위에 건물, 담장, 나무, 자동차, 지하에 매설된 케이블이나 파이프 라인으로부터 멀리 떨어져 이들로부터 전파의 영향이 무시될 수 있도록 주위가 개방되고 평탄한 野外試驗場(open area test site)을 택하여야 한다.

그러나 이처럼 전파로부터 해방된 장소인 open site는 현실적으로 찾기가 매우 어렵고, 또 찾았을 경우라도 그 이용에는 시간적 제약이 따르기 때문에 open site에 있어서의 전파의 傳播性能과 똑같은 기능을 할 수 있도록 벽면과 천정에는 電波吸收體를 바르고 바닥에는 금속판을 설치한 電波暗室을 만들어 그 공간에서 漏泄 電磁波 또는 電磁波 耐性的의 검사나 측정을 한다.<sup>4-6)</sup>

최근에는 이러한 목적을 위한 電波暗室의 건설이 많이 요구되고 있는 실정에 있다.

그런데 電波暗室의 특성은 여기에 사용된 電波吸收體의 특성과 電波暗室의 크기와 형상에 의해 결정되므로 電波暗室을 만들기 전에 어떤 종류의 電波吸收體를 사용하면 좋으며, 파일링을 받기 위한 사전 평가작업으로서, 또 이미 만들어진 電波暗室이 이론치와 측정치가 일치하는가의 여부를 확인 하는데 있어서 이론적으로 그 특성을 평가함으로써 더욱 좋은 성능의 電波暗室을 만들 수 있으리라 기대된다.<sup>7-8)</sup>

따라서 본 논문에서는 이와 같이 電波暗室의 설계를 위한 기초 자료와 특성 평가로서 계산 시뮬레이션에 의한 電波暗室의 성능을 분석, 검토했

다.

## II. 電波暗室의 성능평가 시뮬레이션

본 논문에서는 電波暗室의 성능평가를 影像法에 의하여 시뮬레이션하기로 하며, 다음과 같은 가정을 하였다.

① 電波吸收體로 입사된 파는 平面波로 간주하고, TE 入斜波와 TM 入斜波는 별도로 反射係數를 계산한다.

② 野外試驗場에 있어서 直接波와 反射波를 그림2에 나타내었고, 電波暗室에 있어서 反射波는 電波吸收體에서 충분히 흡수되기 때문에 電波暗室에 있어서 전파의 經路長은 2회 反射波까지만을 고려하여 15가지 電波의 反射波에 대한 經路長의 모양을 그림3에 나타내었다.

③ 송신안테나는 半波長 다이폴 안테나가 指向性을 가진 것으로 본다.

④ 電波吸收體의 等價反射面은 주파수 마다 모든 면에서 일정한 것으로 한다.

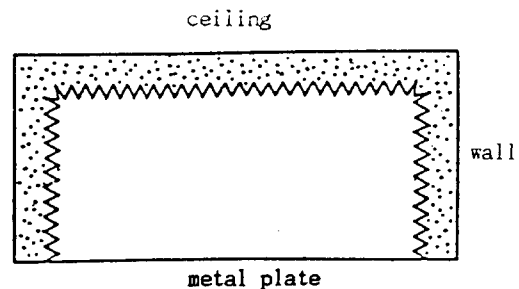


Fig. 1 Construction of Semi Anechoic Chamber.

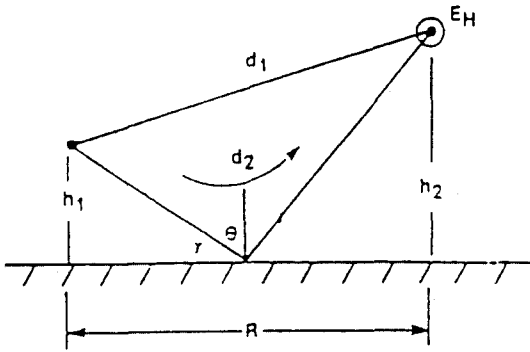


Fig. 2 Propagation Geometry for Horizontal Polarization

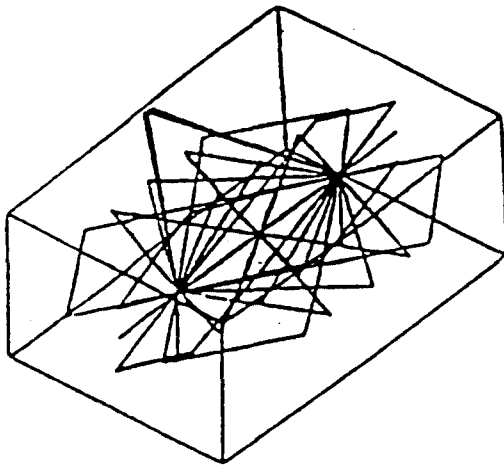


Fig. 3 Drawings of the Path of Wave Reflection.

II-1. Site Attenuation Model

1) 수신안테나

수신된 전압을  $V_R$  안테나 因子를  $AF_R$ , 入射電界를  $E$  라면

$$V_R = \frac{E}{AF_R} \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다.

2) 송신안테나

거리  $d$ 에서 自由空間의 電界強度  $E$ 는 다음과 같다.

$$E = \frac{(30P_T G)^{1/2}}{d} \epsilon^{-j\beta d} \quad (2)$$

단  $P_T$  : 輻射電力

$G$  : 안테나 이득

$\beta$  : 位相定數

$\lambda$  : 波長

그런데 안테나 전류를  $I$ , 저항을  $R_A$  라면

$$P_T = I^2 R_A \quad (3)$$

이므로 따라서 식 (2)는

$$E = \frac{I(30R_A G)^{1/2}}{d} \epsilon^{-j\beta d} \quad (4)$$

信號發生器의 開回路電壓을  $V$ , 안테나인자를  $AF_T$  라면

$$I = \frac{V}{50AF_T} \frac{\pi}{\lambda} \left(\frac{120}{GR_A}\right)^{1/2} \quad (5)$$

(4)와 (5)에서

$$E = \frac{V\pi(120 \times 30)^{1/2}}{50AF_T \lambda} \frac{\epsilon^{-j\beta d}}{d} \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{300}{f_M} \quad (f_M : \text{Frequency in MHz})$$

이므로

$$E = \frac{Vf_M}{79.58AF_T} \frac{\epsilon^{-j\beta d}}{d} \quad (7)$$

3) 垂平偏波

反射係數  $\rho_h = |\rho_h| \epsilon^{-j\beta h}$  인 수평 다이폴 안테나가 복사한 전계는 그림2에서와 같이 直接波와 大地反射波를 합친 것과 같다. <sup>9-10)</sup>

$$E_H = \frac{Vf_M}{79.87AF_T} \left[ \frac{\epsilon^{-j\beta d_1}}{d_1} + \frac{|\rho_h| \epsilon^{-j\beta d_2} \epsilon^{-j\phi h}}{d_2} \right] \quad (8)$$

(8) 의 크기는

$$E_H = \frac{Vf_m}{79.87AF_T} \cdot \frac{[d_2^2 + d_1^2 |\rho_h|^2 + 2d_1 d_2 |\rho_h| \cos(\phi h - \beta(d_2 - d_1))]^{1/2}}{d_1 d_2} \quad (9)$$

$$E_{DH} = \frac{\sqrt{49.2} [d_2^2 + d_1^2 |\rho_h|^2 + 2d_1 d_2 |\rho_h| \cos(\phi h - \beta(d_2 - d_1))]^{1/2}}{d_1 d_2} \quad (10)$$

라고 하면

$$\begin{aligned} \text{단, } d_1 &= [R^2 + (h_1 - h_2)^2]^{1/2} \\ d_2 &= [R^2 + (h_1 + h_2)^2]^{1/2} \\ \rho_h &= \frac{\sin \gamma - (\chi - \beta \lambda \sigma - \cos^2 \gamma)^{1/2}}{\sin \gamma + (\chi - \beta \lambda \sigma - \cos^2 \gamma)^{1/2}} \end{aligned}$$

$\gamma$  = 상대 유전상수

$\sigma$  = 도전률 ( $S/m$ )

(10) 식은 地上波의 電界強度이다. site attenuation을 계산하기 위해서 수신안테나의 높이를 1-4m 까지 변화를 주었을때 이 범위 안에서 (10)의 최대치를  $E_D^{\max}$ 라 하면 (9)와 (10)으로부터 안테나 높이의 변화 범위내에서 수평전계강도의 최대치

$$E_H^{\max} = \frac{Vf_M E_D^{\max}}{79.58AF_T \sqrt{49.2}} \quad (11)$$

로 나타낼 수 있다.

II-2 Site Attenuation

信號發生器의 開回路電壓을  $V_I$ , 電界強度 測定器로 측정한 수신 전압을  $V_R$ 이라면 Site attenuation  $A$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A = \frac{V_I}{V_R} \quad (12)$$

그런데 信號發生器의 전압  $V = 2V_I$  이므로

$$A = \frac{V}{2V_R} \quad (13)$$

(1) 식을 (13) 에 대입하면

$$A = \frac{VAF_R}{2E} \quad (14)$$

(11) 식을 (14) 에 대입하면

$$A = \frac{79.58AF_R AF_T \sqrt{49.2}}{2 f_M E_D^{\max}} \quad (15)$$

(15) 식을 dB 로 바꾸면

$$A(dB) = -20 \log f_M + 48.92 + AF_R(dB/m) + AF_T(dB/m) - E_D^{\max}(dB, \mu V/m) \quad (16)$$

(16)은 open site에서의 直接波와 大地反射波에 의해 site attenuation 을 구하는 식이다.

한편 電波暗室내에서 2회 反射波까지 만을 고려했을 때 反射波의 반사 pattern을 15가지로 구분할 수 있으며 그때의 反射波의 經路長을 각각  $d_1, d_2, d_3, \dots, d_{15}$ 라 하면 이들 反射波에 의한 電界強度는

$$E_{HC} = \frac{|\rho_h| \epsilon^{-j\beta d_1} \epsilon^{j\phi h}}{d_1} + \frac{|\rho_h| \epsilon^{-j\beta d_2} \epsilon^{j\phi h}}{d_2} + \dots + \frac{|\rho_h| \epsilon^{-j\beta d_{15}} \epsilon^{j\phi h}}{d_{15}} \quad (17)$$

로 나타낼 수 있다.

電波暗室에서의 電界強度는 直接波와 1회 및 2회 反射波에 의한 電界強度를 합하면 구할 수 있으므로 (8)과 (17)의 크기를 구하여 합하면

$$CE_{HC} = \sqrt{49.2} * |E_H + E_{HC}| \quad (18)$$

(18)의 최대값을  $CE_{HC}^{max}$ 라 하면

(11)식으로 부터

$$CE_{HC}^{max} = \frac{Vf_M CE_{HC}^{max}}{79.58 AF_T \sqrt{49.2}} \quad (19)$$

(19)와 (14)로 부터

$$A = \frac{VAF_R 79.58 AF_T \sqrt{49.2}}{2 Vf_M CE_{HC}^{max}} \quad (20)$$

(20)을 dB로 바꾸면

$$A(dB) = -20 \log f_M + 48.92 + AF_R(dB/m) + AF_T(dB/m) - CE_{HC}^{max} \quad (21)$$

따라서 open site와 電波暗室에서의 site attenuation은 각각(16)과 (21)에서 구할 수 있다.

### III. 시뮬레이션 결과 및 고찰

#### III-1. 시뮬레이션에 사용한 전파흡수체의 특성

시뮬레이션에 사용한 전파흡수체는 타일형 페라이트와 그리드형 페라이트로써 전파흡수체의 특성을 그림4에 나타내었다. 그림4에서 타일형 페라이트의 경우 30MHz에서 10MHz의 간격으로 50MHz의 주파수 범위까지 반사감쇠량은 각각 -28, -31, -34dB이었고, 70MHz에서 100MHz의 주파수 범위에서는 -36dB를 가장 높은 반사감쇠량으로하여 작아지기 시작하여 -20dB의 반사감쇠량을 가지는 상한주파수는 370MHz이었다.

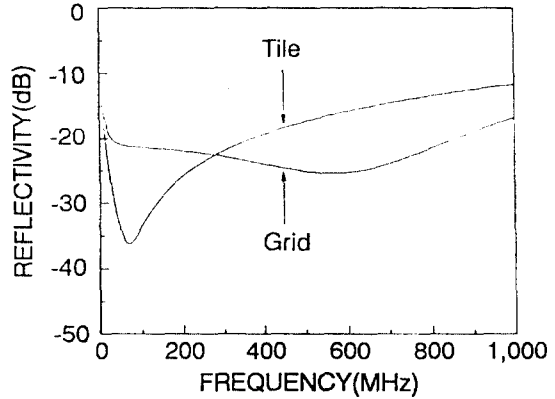


Fig. 4. Reflectivity Frequency Characteristics according to Absorbing Materials.

한편 그리드형 페라이트의 경우 30MHz에서 100MHz의 주파수 범위에서는 반사감쇠량이 -20dB에서 -21dB사이로, 타일형 페라이트에 비하여 반사감쇠량이 작았으나, -20dB의 반사감쇠량을 가지는 주파수는 870MHz로서 상한주파수가 타일형에 비하여 상당히 높아진다. 따라서 타일형 페라이트 전파흡수체보다도 그리드형 페라이트 전파흡수체가 더욱 높은주파수에 까지 사용될 수 있음을 알 수 있다.

#### III-2. Height Pattern에 의한 Site Attenuation

그림3에서와 같이 수신안테나는 송신안테나로부터 直接波 이외에 反射波도 함께 수신된다. 따라서 試驗場減衰量의 계산에서도 反射波의 영향을 고려해야 하는데 이것은 수신안테나의 높이에 따라서 변화한다. 즉 수신안테나의 높이를 1-4m 사이에서 변화시키면서 電界強度가 최대로 되는 높이에서의 試驗場減衰量을 구해야 하며 反射波의 영향을 고려한 直接波와 反射波에 의한 合成波는 수신안테나의 높이의 변화에 따라서 변화하며 이 관계를 나타낸 것이 하이트 패턴(height pattern)이다. 송수신안테나 사이의 거리가 3m일 경우 周波數 200MHz와 500MHz일 때 野外試驗場과 電波半無響室에 있어서의 하이트 패턴을 그

림5에 나타내었다.

그림5에서 주파수가 200MHz일 때 open site의 경우 height pattern의 변화 모양은 전파반무향실에서 height pattern과 비슷하게 변하고 있으며, 500MHz일 경우에도 비슷한 경향을 나타내고 있다.

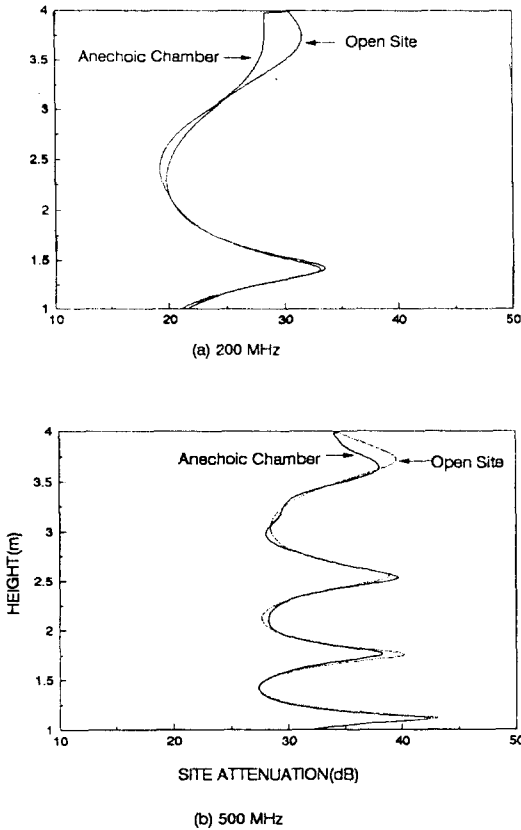


Fig. 5 Height Patterns for 3m Method.

한편 open site에 있어서 송수신안테나 거리가 3m일 경우 電界強度가 최대일 때의 안테나 높이의 변화를 周波數 별로 구하여 나타낸 것이 그림 6이다. 이와같은 이론적인 하이트 패턴을 알고 있으면 실제로 電界強度 측정시 측정상의 誤差를 방지할 수 있는 등 유용하게 사용할 수 있으리라 생각된다.

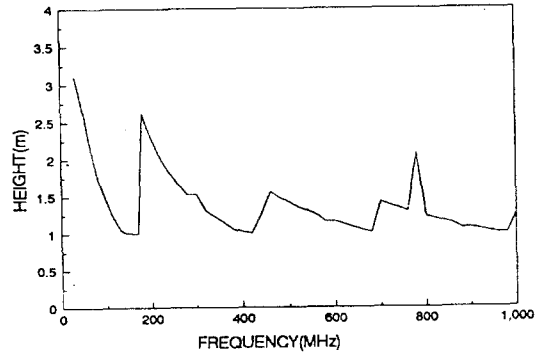


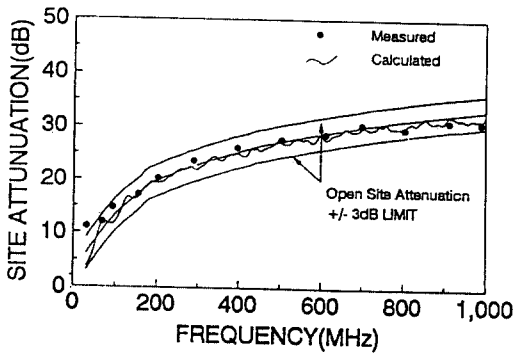
Fig. 6 Height for Maximum Receiving Point According to Frequency.

### III-3. 電波吸收材料에 의한 Site Attenuation

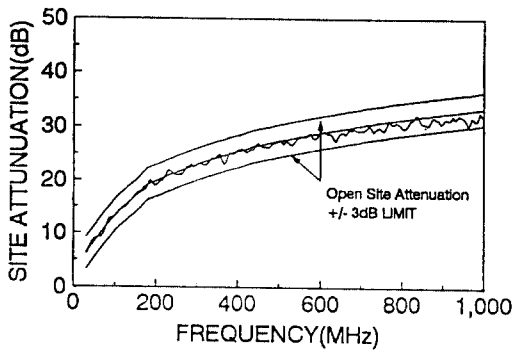
電波半無響室의 천정이나 벽면에 電波吸收體를 ferrite tile이나 ferrite grid를 사용했을 경우의 site attenuation과 open site에 있어서 site attenuation과의 차이를 구하기 위해 계산 simulation을 한 결과와 전파반무향실에서 ferrite grid를 사용했을 경우의 site attenuation의 계산치와 실제로 ferrite grid를 사용했을 경우의 site attenuation의 실측치를 Toyo<sup>(11)</sup>의 자료를 이용하여 그림7에 나타내었다.

그림7에서 주파수가 30, 35, 40MHz일 때 전파반무향실에서 ferrite grid를 사용했을 경우 site attenuation의 계산치와 실제로 ferrite grid를 사용했을 경우 site attenuation의 실측치와의 차이는 각각 6.0, 5.2, 4.4dB로서 규정치  $\pm 3$ dB의 범위를 벗어났으나, 45MHz이상 1000MHz의 범위에서는 모두 계산치와 실측치의 차이가  $\pm 3$ dB의 범위를 만족하고 있었다.

한편 30MHz에서부터 60MHz 사이에 ferrite tile을 사용한 경우 open site에 있어서의 site attenuation과의 차이는 0.1, 0.4, 0.5, 0.3dB 이었고, ferrite grid를 사용했을 경우 차이는 0.4, 0.1, 0.8, 0.2dB로서 낮은 주파수의 경우 사용된 전파 흡수체의 재료에 따른 차이는 거의 없었고, 70MHz에서부터 700MHz 사이에서도 재료의 종



(a) Grid



(b) Tile

Fig. 7 Comparison of Site Attenuation for 3m Semi-Anechoic Chamber according to Absorbing Materials.

류에 따른 open site의 site attenuation과의 차이는 없었으나, 700MHz에서부터 1000MHz까지는 tile의 경우 open site와의 차이가 0.9, 2.0, 1.6, 1.8 dB이었고, grid의 경우 0.7, 0.7, 1.1, 1.0 dB로서 높은 주파수에서는 電波無響室에 ferrite grid를 사용할 경우 성능이 더 좋은 것을 알 수 있었다.

#### III-4. 理論値와 實測値에 의한 Site Attenuation의 비교

電波半無響室의 電波吸收體로 ferrite grid 형을 사용했을 경우 계산 simulation에 의한 이론치와 실제로 grid형 전파흡수체를 사용하여 만든 電波

半無響室의 site attenuation의 측정치를 *Toyo*<sup>11)</sup>의 자료를 이용하여 그 결과를 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 측정 주파수가 30, 35, 40MHz 일 때 이론치는 5.7, 6.6, 7.3dB 이었고, 실측치는 11.7, 11.8, 11.7dB로서 이론치와의 차이는 6.0, 5.2, 4.0dB이었으며 FCC의 규정치를 벗어나고 있었으나, 45MHz 이상 1000MHz까지는 모두  $\pm 3.0$  dB의 범위를 만족 하고 있다. 이와같이 40MHz 이하에서 理論値와 實測値가 큰 차이를 보인 것은

Table. 1. Comparison of Site Attenuation, Calculated and Measured.

Frequency (MHz)	Site Attenuation(dB)	
	Calculated	Measured
30	5.7	11.7
35	6.6	11.8
40	7.3	11.7
45	8.3	11.2
50	9.1	11.2
60	9.2	11.0
70	9.8	10.8
80	11.7	10.3
90	12.5	12.0
100	12.9	12.2
125	14.9	15.8
150	17.1	16.5
175	18.5	18.0
200	19.2	20.2
250	21.0	22.2
300	22.8	22.3
350	24.5	24.5
400	25.4	25.8
500	27.3	27.0
600	28.5	27.6
700	29.5	29.8
800	30.6	32.7
900	31.2	32.6
1000	32.2	32.8

주파수가 낮을 경우 파장에 비하여 電波半無響室의 크기가 작아서 충분한 감쇠가 이루어지지 않고 反射波의 영향이 크게 작용하며, 안테나사이의 결합을 고려하지 않았기 때문이라 생각된다.

#### IV. 결 론

電波 半無響室에서 垂平偏波에 의한 암실의 특성평가를 위해 影像法을 사용하였다. 암실내에서 1-2회 反射波의 15가지 전파 경로에 따른 site attenuation 및 height pattern을 이론 계산 simulation하고, 그 결과와 실측치를 비교 검토하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) 送受信 안테나 사이의 거리가 3m일때 open site의 경우 height pattern이 변화하는 모양은 전파반무향실에서 height pattern이 변하는 모양과 유사한 경향을 가졌다.

(2) 30MHz에서 700MHz에 이르기까지 電波吸收體의 종류에 따른 site attenuation의 특성은 큰 변화가 없었으나, 800MHz이상의 주파수에서는 grid absorber를 사용할 경우 성능이 더 좋은 것으로 나타났다.

(3) 周波數가 30, 35, 40 MHz일 때 電波半無響室의 성능에 대한 계산치와 측정치의 차이는 각각 5.7, 7.6, 7.3dB 이었으나, 45MHz이상 1000MHz의 범위에서는 모두  $\pm 3$ dB 범위 내에 있음이 확인되었다. 그 이유는 100MHz 이하의 낮은 주파수에서 안테나 결합을 고려하지 않았기 때문이라 생각된다.

#### 參 考 文 獻

- (1) 김동일, 전상엽, "EMI/EMC 대책용 광대역화 전파흡수체의 개발에 관한 연구", 한국항해

학회지, 제 15권 제 4호, PP.13-25, (1991, 11).

- (2) 김동일, 정세모 외, "전파흡수체의 전자파적 특성 측정기법 연구", 한국항해학회지, 제 16권 제 4호, pp.25-34, (1992, 12).
- (3) 김동일, 정세모 외, "초 광대역 특성을 가지는 ferrite 전파흡수체의 설계법", 한국항해학회지, 제 18권 제 2호, PP.151-158(1994, 5).
- (4) 佐藤由郎 外, "Open SiteにおけるMetal Ground Planeの寸法について", EMCJ 87-57 of Japan, pp.41-47, 1987.
- (5) 澤田章 外, "電波無響室半無響室 Simulation System 開發および検討", EMCJ 89-4 of Japan, pp.21-28, 1989.
- (6) 清水康敬, 電磁波吸收と遮蔽, 日經技術圖書, pp.97-204, 1989.
- (7) 杉浦行, "Site Attenuation の理論曲線について", EMCJ86-73 of Japan, pp.67-73, 1986.
- (8) 西村公佐外, "電波暗室特性の數値 Simulation の検討", EMCJ88 of Japan, pp.21-27, 1988.
- (9) A.A.Smith, "Standard Site Method for Determining Antenna Factors", IEEE Trans., EMC-24, 3, pp.316-322, Aug. 1982.
- (10) A.A.Smith, "Calculation of Site Attenuation from Antenna Factors". IEEE Trans., EMC-24, 3, pp. 301-316, Aug. 1982.
- (11) "Measured Technical Data Existing Anechoic Chamber Lined by "Toyo" FFG-1000 Ferrite Grid Absorber", Toyo Corporation, Japan, 1991.