

電波半無響室의 垂直偏波에 대한 特性評價

김 동 일* · 정 세 모* · 김 민 석**

Evaluation of the Characteristics of Semi-Anechoic Chamber for the Vertical Polarization.

Dong-Il, Kim · Se-Mo, Chung* · Min-Seok, Kim***

<목 차>	
Abstract	Attenuation의 변화
I. 서 론	III-3. Site Attenuation의 계산치와 실측치의 비교
II. 전파암실의 성능평가	III-4. 수평편파에 대한 Site Attenuation과의 비교
II-1. Site Attenuation Model	
II-2. Site Attenuation	
III. 시뮬레이션 결과 및 고찰	IV. 결 론
III-1. Height Pattern의 변화	참고문헌
III-2. 전파흡수체 재료에 따른 Site	

Abstract

With the rapid advance of electronic equipments and the frequent use of them, the electromagnetic environments including EMC or EMI problems are very complicated. The radiation of electromagnetic waves from electronic equipments has strictly been controlled by the authorities concerned from many years ago.

Though it is the most proper to test EMI or EMC in the open area test site, we have used the anechoic chamber in place of the test site because of its various restrictions. To achieve the purpose, in this paper, the performances of a few anechoic chambers according to absorbing materials are analyzed for horizontal and vertical polarizations respectively.

Furthermore, the calculated and the measured site attenuations in semi-anechoic chamber made with ferrite grid are compared. The obtained results are to be valuable for designing an anechoic chamber.

* 한국해양대학교 교수

** 부경대학교 교수

I. 서 론

고도로 발전해 가는 電子工學 분야는 생산성능률을 향상시키고, 생활을 보다 편리하게 하여 주고, 情報交換 處理裝置를 고속화, 소형화함으로써 정보화 사회에 대한 시대적 요구에 부응해 가고 있다.

또한, 이들 장비의 사용이 급증하고 장비가 소형화 함에 따라서 부품간의 相互結合이 커지며, 외부의 간섭 電磁波에 대한 감내력이 약해지고, 장비의 자동화에 따른 기기의 誤動作이나 낙뢰와 같은 순간적인 電磁波 펄스에 의한 정보처리 시스템 자체가 파괴될 위험도 더욱 증가하였다.

이와 같이 電子裝備의 사용이 급증할 수록 장비간의 電磁波 장해(EMI)가 큰 문제로 대두되고 있다.^{1)~5)} 이에 따라 선진국에서는 이미 오래 전부터 電磁波 장해에 대한 여러 가지 대책을 세워 시행하고 있으며, 그 일환으로 전자제품의 漏泄電磁波가 일정기준을 초과할 경우 이들 제품의 수입을 금지하고 있다. 우리 나라도 電波管理法에 전자파 장해 검정시행의 법적 근거를 마련한 후, 전자파 장해 검정규칙을 제정하여 이 문제를 국가적 차원에서 다루고 있다.

이와 같이 전자장비로부터의 전자파 장해측정은 주위로부터 전파의 영향을 전혀 받지 않는 개방되고 평탄한 野外試驗場에서 실시해야 한다. 그러나 실제로 그와 같은 이상적인 野外試驗場은 구하기가 어렵고^{6)~8)}, 또 그 이용에도 여러 가지 제약이 따르기 때문에 野外試驗場과 똑같은 성능을 가진 시험장을 실내에 만들어서 그 곳에서 기기에서 발생하는 漏泄電磁波나 電磁波耐性的의 검사나 측정을 하며 이와 같은 電波暗室은 電子裝備의 생산이 급증함에 따라 더욱더 많은 電波暗室의 수요가 증대될 전망이다.

野外試驗場의 경우 시험장 주변은 나무, 건물 등 지면에 대하여 垂直方向으로 존재하는 전자파 산란체 들이 많기 때문에 전자파 장해 측정은 垂直偏波 뿐만 아니라 垂直偏波의 경우에 대해서도 행해야 한다.^{9)~10)}

따라서 본 논문에서는 電波 暗室內에서 전파의

반사를 2회까지만을 고려하여 影像法에 의하여 전파의 經路長을 구하고 垂直偏波의 경우에 있어서 電波暗室의 성능을 분석, 검토하였다.

II. 전파암실의 성능평가

II-1. Site Attenuation Model

1) 수신 안테나

수신된 전압을 V_R , 안테나 因子를 AF_R , 入斜電界를 E 라하면

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

로 나타낼 수 있다.

2) 송신 안테나

거리 d 에서 自由空間의 電界強度 E 는 다음과 같다.

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

단, P_T : 輻射 電力

G : 안테나 이득

β : 位相 定數

λ : 波長

안테나 전류를 I , 저항을 R_A 라하면

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

이므로 전계강도는 식(4)와 같다.

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

信號發生器의 開回路電壓을 V , 안테나 인자를 AF_T 라면 안테나 전류 I 는

$$I = \frac{V \pi}{50 A F_T \lambda} \left(\frac{120}{G R_A} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

이며, 식(4)와 식(5)에서 E는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E = \frac{Vf_M}{79.58AF_T} \frac{\epsilon^{-j\beta d}}{d} \quad (6)$$

3) 수직 편파

반사 계수 $\rho_v = |\rho_v| \epsilon^{-j\beta d}$ 인 수직 다이폴 안테나가 복사한 전계는 그림 1에서와 같이 直接波와 反射波를 합친 것과 같다.

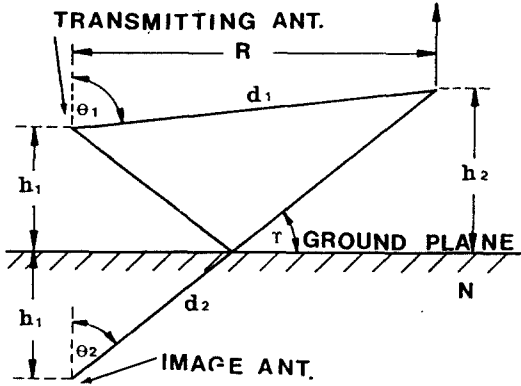


Fig 1. Propagation Geometry for Vertical Site Attenuation.

$$E_v = \frac{Vf_M}{79.58AF_T} \left(\frac{\epsilon^{-j\beta d_1}}{d_1} F(\theta_1) \sin \theta_1 + \frac{|\rho_v| \epsilon^{-j\beta d_2}}{d_2} F(\theta_2) \sin \theta_2 \right) \quad (7)$$

식(7)의 크기는

$$E_v = \frac{Vf_M R^2}{79.58AF_T} \frac{[d_2^2 |\rho_v|^2 + 2d_1^2 d_2^2 |\rho_v| \cos(\psi_v - \beta(d_2 - d_1))]^{1/2}}{d_1^3 d_2^3} \quad (8)$$

윗식을 地表波의 電界強度로 나타내면 다음과 같다.

$$E_{DV} = \frac{\sqrt{49.2} R^2 [d_2^2 |\rho_v|^2 + 2d_1^2 d_2^2 |\rho_v| \cos(\psi_v - \beta(d_2 - d_1))]^{1/2}}{d_1^3 d_2^3} \quad (9)$$

$$\text{단, } d_1 = [R^2 + (h_1 - h_2)^2]^{1/2}$$

$$d_2 = [R^2 + (h_1 + h_2)^2]^{1/2}$$

$$\rho_v = \frac{(K - j60\lambda\sigma) \sin \gamma - (K - j60\lambda\sigma - \cos^2 \gamma)^{1/2}}{(K - j60\lambda\sigma) \sin \gamma + (K - j60\lambda\sigma - \cos^2 \gamma)^{1/2}}$$

γ : 상대 유전 상수
 σ : 도전률(s/m)

수신 안테나의 높이를 1~4m로 변화했을 때 이 범위에서 식(9)의 최대치를 E_v^{\max} 라 하면 식(8)과 식(9)로부터 垂直電界強度의 최대치는 식(10)과 같다.

$$E_v^{\max} = \frac{Vf_m E_{DV}^{\max}}{75.58AF_T \sqrt{49.2}} \quad (10)$$

II-2. Site Attenuation

송신 안테나로부터 出力電壓을 V_1 , 수신 안테나의 受信電壓을 V_R 이라하면 Site Attenuation은 다음과 같이 정의된다.

$$A = \frac{V_1}{2V_R} \quad (11)$$

그런데 信號發生器의 전압 $V = 2V_1$ 이므로

$$A = \frac{V}{2V_R} \quad (12)$$

되고 식(1)을 식(12)에 대입하면

$$A = \frac{VAF_R}{2E} \quad (13)$$

식(10)을 식(13)에 대입하면 식(14)로 된다.

$$A = \frac{79.53 AF_R AF_T \sqrt{49.2}}{V f_M E_D^{\max}} \quad (14)$$

식(14)를 dB로 바꾸면

$$A(\text{dB}) = -20 \log f_M + 48.92 + AF_R(\text{dB}/m) + AF_T(\text{dB}/m) - E_D^{\max}(\text{dB} \cdot \mu \nu / m) \quad (15)$$

한편 電波暗室에서 2회 반사파까지 만을 고려했을 때 반사파의 반사 Pattern을 15가지로 구분하여 구한 반사파의 經路長을 각각 $d_1, d_2, d_3 \dots d_{15}$ 라 하면, 이들 반사파에 의한 電界強度는

$$E_{VC} = \frac{|\rho_V| \epsilon^{-j\beta d_1} \epsilon^{-j\psi V}}{d_1} + \frac{|\rho_V| \epsilon^{-j\beta d_2} \epsilon^{-j\psi V}}{d_2} + \dots + \frac{|\rho_V| \epsilon^{-j\beta d_{15}} \epsilon^{-j\psi V}}{d_{15}} \quad (16)$$

로 나타낼 수 있다.

電波暗室에서의 電界強度는 직접파와 반사파를 합하여 구할 수 있으므로

식(7)과 식(16)의 크기를 구하면 식(17)로 된다.

$$CE_{VC} = \sqrt{49.2} \times |E_V + E_{VC}| \quad (17)$$

식(17)의 최대치를 CE_V^{\max} 라 하면, 식(10)으로부터

$$CE_{VC}^{\max} = \frac{V f_M CE_V^{\max}}{79.58 AF_T \sqrt{49.2}} \quad (18)$$

이 된다. 식(12)와 식(18)로부터 식(19)를 얻을 수 있으며,

$$A = \frac{V AF_R 79.58 AF_T \sqrt{49.2}}{2 V f_M CE_{VC}^{\max}} \quad (19)$$

식(19)를 dB로 바꾸면 식(20)이 된다.

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

따라서, 식(20)으로 부터 電波暗室에서의 Site Attenuation을 구할 수 있다.¹¹⁾⁻¹³⁾

III. 시뮬레이션 결과 및 고찰

III-1. Height pattern의 변화

그림 1과 같이 송신안테나로부터의 전파는 직접파와 반사파가 함께 수신안테나에 수신된다. 試驗場減衰量은 이들의 영향에 따라서 결정되며 이것은 수신안테나의 높이에 따라서 변화하며, 이것을 height pattern이라 한다. 전파암실에 ferrite grid 형을 사용했을 때 주파수가 200MHz와 500MHz이고, 수신안테나의 높이를 1-4m의 범위에서 이동했을 때 height pattern의 변화를 그림 2에 나타내었다.

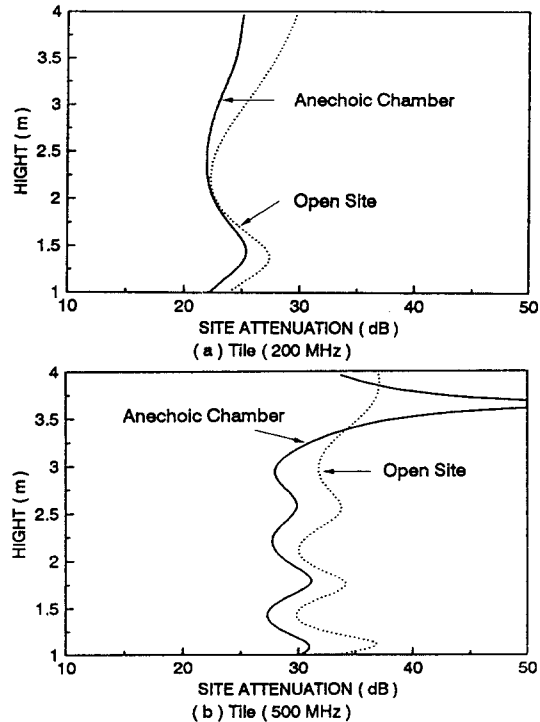


Fig 2. Height Pattern for Tile according to Frequencies.

그림 2에서 ferrite grid의 경우 주파수가 200 MHz일때 open site와 電波暗室에서 height pattern의 변화하는 모양은 서로 비슷하였으며, 주파수가 500 MHz일 경우에도 height pattern의 변화하는 모양이 200MHz일 때와 비슷하였다.

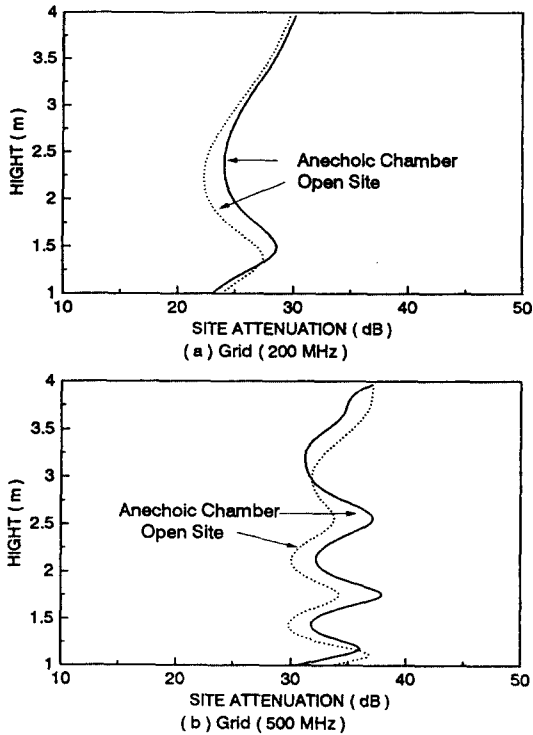


Fig 3. Height Pattern for Tile according to Frequencies.

한편 ferrite tile 형을 사용했을 때의 변화를 그림 3에 나타냈다. 그림 3에서 주파수가 200MHz일때는 open site와 電波暗室에서 height pattern의 변화하는 모양이 서로 비슷하였으나, 500MHz일 때 수신안테나 높이가 3.52m에서 부터 3.76m 사이에서 open site와 電波暗室에서의 height pattern의 변화하는 모양이 open site에 있어서의 변화하는 모양과 큰 차이를 나타내었다.

이것은 높은 주파수에서는 tile의 경우 전파흡수 성능이 떨어져서 電波의 傳播가 電波暗室과 open site에 있어서 서로 다르게 나타나기 때문이라 생각된다.

III-2. 電波吸收體 材料에 따른 Site Attenuation의 변화

電波暗室에서 電波吸收體의 종류에 따른 減衰量의 변화를 구하기 위해 계산 simulation을 하여 그 결과를 그림 4에 나타내었다.

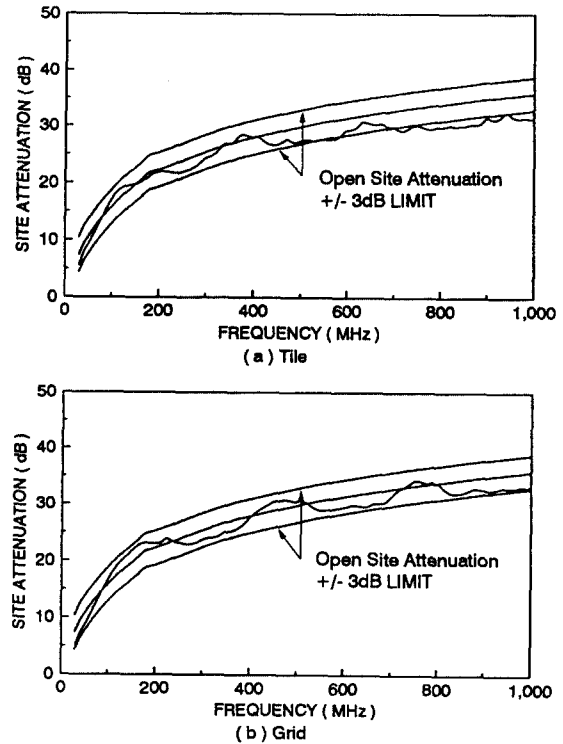


Fig 4. Comparison of Site Attenuation for Anechoic Chamber according to Absorbing Materials.

그림4에서 ferrite tile을 사용했을 경우 주파수가 30MHz에서 부터 70MHz까지 10MHz 간격으로 電波暗室에서 시험장감쇠량은 5.6, 7.7, 10.7, 12.2dB이었고 open site에서 시험장감쇠량은 7.4, 9.2, 10.5, 11.7, 12.8dB로서 그 차이는 각각 1.8, 1.5, 1.3, 1.0, 0.6dB이었다.

그러나 ferrite grid를 사용했을 경우 전파암실에서는 5.2, 7.1, 8.6, 10.1, 11.6dB로 open site에 있어서 시험장감쇠량과의 차이는 2.2, 2.1, 1.9, 1.7, 1.2dB로서 낮은 주파수에서는 ferrite tile을

사용하는 것이 open site의 감쇠량에 가깝다는 것을 알 수 있다.

80MHz에서 부터 530MHz 사이에서는 전파암실과 open site의 감쇠량의 차이가 $\pm 3\text{dB}$ 의 범위 이내이었으나 그 이상의 주파수에서는 $\pm 3\text{dB}$ 벗어나고 있어서 tile형 페라이트 전파흡수체의 경우, 사용할 수 있는 주파수의 범위가 대략 500MHz 정도이다.

한편 ferrite grid의 경우 630MHz에서 680MHz의 범위를 제외하면 890MHz 이하 전 범위에 걸쳐서 그 차이가 $\pm 2\text{dB}$ 이내 이었고, 900MHz 부터는 電波暗室과 open site에 있어서 site attenuation의 차이가 평균 2.5dB 정도에 이르렀다.

따라서 電波暗室의 경우 ferrite tile은 사용 주파수의 帶域幅이 500MHz 정도이며, 그 이상의 높은 주파수에서는 ferrite grid를 사용해야 함을 알 수 있다.

III-3. Site Attenuation의 계산치와 실측치의 비교

電波暗室에서 ferrite grid의 경우 주파수 변화에 따르는 減衰量을 계산 simulation한 결과와, 電波暗室에서 실제로 ferrite grid를 사용했을때의 減衰量을 측정하여 얻은 결과를 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 100MHz 이상의 경우 실측치와 계산치는 모두 $\pm 3\text{dB}$ 이내의 범위에서 잘 일치하고 있다.

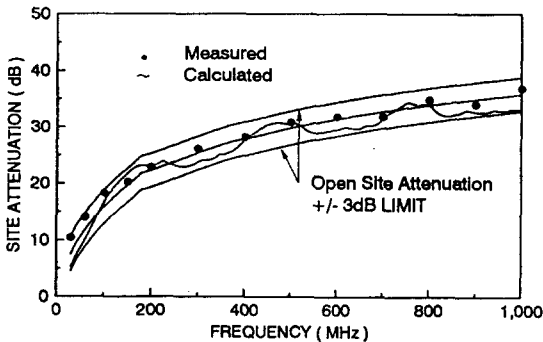


Fig. 5. Comparison of Site Attenuation for Grid by Calculated and Measured Values.

그러나, 100MHz 이하의 경우를 보면 30MHz에서 50MHz까지 5MHz 간격으로 실측치는 10.4, 10.4, 11.6, 12.3, 13.1dB 이었고, 계산치는 5.3, 6.3, 7.1, 7.9, 8.6dB로 실측치와 계산치의 차이는 5.1, 4.1, 4.5, 4.4, 4.5dB이었다.

또, 60, 70, 80, 90MHz의 경우 실측치는 14.0, 17.8, 19.6, 18.1dB이었고, 계산치는 10.1, 11.6, 13.3, 15.1dB 이며 그 차이는 3.9, 6.2, 6.3, 3.0dB로서 90MHz 이하에서는 실측치와 계산치가 모두 $\pm 3\text{dB}$ 의 범위를 벗어났다.

Table 1. Comparison of Calculated and Measured Site Attenuation for Horizontal and Vertical Polarization, Respectively.

Frequency (MHz)	Horizontal Polarization		Vertical Polarization	
	Site Attenuation(dB)		Site Attenuation(dB)	
	Calculated	Measured	calculated	measured
30	5.7	11.7	5.3	10.4
35	6.6	11.8	6.3	10.4
40	7.3	11.7	7.1	11.6
45	8.3	11.2	7.9	12.3
50	9.1	11.2	8.6	13.1
60	9.2	11.0	10.1	14.0
70	9.8	10.8	11.6	17.8
80	11.7	10.3	13.3	19.6
90	12.5	12.0	15.1	18.1
100	12.9	12.2	16.7	18.2
125	14.9	15.8	19.7	19.8
150	17.1	16.5	21.7	20.2
175	18.5	18.0	23.1	21.5
200	19.2	20.2	23.0	22.8
250	21.0	22.2	23.2	26.7
300	22.8	22.3	23.8	26.1
400	25.4	25.8	27.7	28.2
500	27.3	27.0	30.6	30.8
600	28.5	27.6	29.5	31.8
700	29.5	29.8	31.4	31.8
800	30.6	32.7	33.9	43.8
900	31.2	32.6	32.7	34.0
1000	32.2	32.8	33.3	36.8

한편, 수평편파의 경우 실측치와 계산치를 비교하여 수직편파의 경우와 함께 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 수평편파의 경우 30, 35, 40MHz일 때 계산치는 5.7, 6.6, 7.3dB이었고 실측치는 11.7, 11.8, 11.7dB로서 계산치와 실측치의 차이는 4.0, 5.2, 4.4dB로서 모두 ± 3 dB를 벗어났으나, 45MHz에서 1000MHz까지 전 범위에 걸쳐서 계산치와 실측치가 모두 ± 3 dB이내의 범위에서 일치하고 있었다.

수직편파의 경우는 30, 35, 40, 45MHz일 때 계산치는 5.3, 6.3, 7.1, 7.9dB 이었고 50, 60, 70, 80MHz일 때 계산치는 8.6, 10.1, 11.6, 13.3dB이었고 실측치는 13.1, 14.0, 17.8, 19.6dB이었으며, 그 차이는 각각 4.5, 3.9, 6.2, 6.3dB로서 80MHz이하의 낮은 주파수에서는 계산치와 실측치의 차이가 모두 ± 3 dB의 범위를 벗어나고 있다.

그러나, 90MHz에서 1000MHz의 범위에서는 250MHz의 경우를 제외하면 계산치와 실측치의 차이가 모두 ± 3 dB의 범위를 만족하여 수평편파의 경우와 비슷한 경향을 보였다.

이와같이 수평편파일 때보다도 수직편파의 경우 30MHz부터 80MHz까지 전 주파수에 걸쳐서 계산치와 실측치의 차이가 모두 ± 3 dB의 범위를 벗어나고 있는 것은 안테나가 접지면과 수직방향으로 설치되기 때문에 수신안테나로부터 바닥으로 떨어뜨려지는 케이블을 비롯한 많은 장애물과 측정용 안테나의 상호결합현상이 수평편파의 경우보다도 현저하게 일어나기 때문이라 생각된다.

III-4. 垂平偏波에 대한 Site Attenuation과의 비교

電波暗室에서 같은 종류의 電波吸收體를 사용하였을 때 垂平偏波과 垂直偏波에 따라서 試驗場減衰量이 변화하는 모양을 ferrite grid의 경우를 그림 6에, ferrite tile의 경우를 그림 7에 나타내었다.

먼저, 그림 6에서 垂平偏波의 경우 30MHz부터 1000MHz까지 電波暗室과 open site의 試驗場減衰量の 차이는 평균 1.32dB이었고, 30MHz부터 100MHz까지 평균치는 1.21dB로 전체 평균치보다 0.11dB 낮았으며 800MHz부터 1000MHz까지의 평

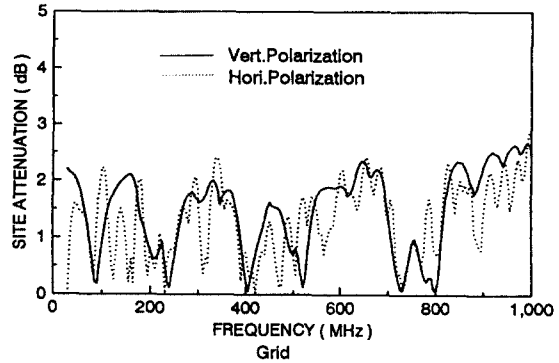


Fig. 6. Comparison of Site Attenuation for Ferrite Grid by Horizontally and Vertically Polarization.

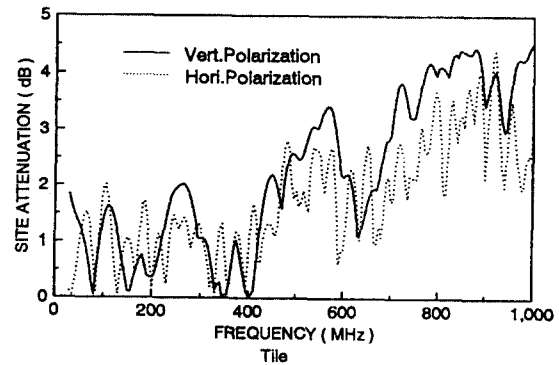


Fig. 7. Comparison of Site Attenuation for Ferrite Tile by Horizontally and Vertically Polarization.

균치는 1.81dB로 전체평균치를 0.49dB 높았다. 垂直偏波의 경우 30MHz부터 1000MHz까지 電波暗室과 open site의 試驗場減衰量 차이의 평균치는 1.49dB로 垂平偏波의 경우보다 0.17dB 높았다. 30MHz에서 100MHz까지 평균치는 1.32dB로 전체 평균치보다 0.17dB 낮았으나 800MHz에서 1000MHz까지의 평균치는 2.13dB로 전체 평균치보다 0.64dB 높았다.

한편, 그림 7에서 垂平偏波의 경우 30MHz부터 1000MHz까지 電波暗室과 open site의 試驗場減衰量차이는 평균 1.79dB이었고, 30MHz부터 100MHz

까지 평균치는 0.91dB로 전체 평균치보다 0.88dB 낮았다. open site와 電波暗室의 試驗場減衰量 차이가 ± 3 dB가 넘기 시작하는 765MHz부터 1000MHz까지의 평균치는 3.01dB로 전체 평균치보다 1.22dB나 높게 나타났다.

垂直偏波의 경우 30MHz부터 1000MHz까지 電波暗室과 open site의 試驗場減衰量 차이의 평균치는 2.25dB로 垂平偏波의 경우보다 0.75dB 높았으며, 30MHz부터 100MHz까지 평균치는 1.04dB로 이 경우도 垂平偏波보다도 높게 나타났다. 電波暗室과 open site의 試驗場減衰量의 차이가 ± 3 dB가 넘기 시작하는 주파수도 530dB로 垂平偏波의 경우보다도 훨씬 낮아서 垂直偏波의 경우 電波暗室에서 사용할 수 있는 주파수의 범위가 垂平偏波의 경우에 비하여 매우 좁았다.

또한, 電波暗室에서 같은 종류의 電波吸收體를 사용할 경우라도 垂直偏波의 경우가 垂平偏波보다도 open site와 試驗場減衰量 차이가 많게 나타남을 알 수 있다.

IV. 결 론

電波暗室에서 影像法에 의한 電波經路長을 구하여 垂直偏波일 경우 試驗場減衰量과 height pattern을 구하고 그 결과를 垂平偏波및 실측치와 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 송수신 안테나 사이의 거리가 3m일 때 ferrite grid 형의 경우 주파수가 200MHz와 500MHz에서 height pattern의 변화하는 모양은 open site와 電波暗室이 비슷한 경향을 나타냈으나 ferrite tile형의 경우 500MHz에서는 큰 차이가 나타났다.
- (2) 주파수가 30MHz 에서부터 100MHz까지의 낮은 주파수 범위에서 tile의 경우 電波暗室과 open site에서 試驗場減衰量의 차이는 평균 0.98dB, grid의 경우는 1.26dB로 낮은 주파수에서는 電波暗室에서 試驗場減衰量이 tile의 경우가 grid의 경우 보다도 open site에 더 가까웠다.
또, grid 형은 전 범위에 걸쳐서 open site

와 電波暗室의 試驗場減衰量 차이가 ± 3 dB 이내 이었으나 tile의 경우 垂直偏波일 때 530MHz부터 ± 3 dB를 벗어났다.

- (3) grid 형의 경우 30MHz에서 부터 80MHz까지 10MHz 간격으로 試驗場減衰量은 계산치의 경우 5.3, 7.1, 8.6, 10.1, 11.6, 13.3dB 이고, 실측치는 10.4, 11.6, 13.1, 14.0, 17.8, 19.6dB로 그 차이가 모두 ± 3 dB의 범위를 벗어났다.
- (4) 電波暗室에서 같은 종류의 電波吸收體를 사용했을때 垂平偏波일 경우가 垂直偏波일 경우 보다도 open site의 試驗場 減衰量에 가까웠다.

참 고 문 헌

1. 김동일, 안영섭, 정세모, "레이다용 광대역형 고성능 전파흡수체의 개발에 관한 연구", 한국향해학회지, 제15권 제1호, pp. 1~10, (1991. 3.)
2. 김동일, 전상엽, "EMI/EMC 대책용 광대역화 전파흡수체의 개발에 관한 연구", 한국향해학회지 제15권 제4호, pp. 13~26, (1991. 12.)
3. 김동일외, "전파흡수체의 전자파적 특성측정기법 연구", 한국향해학회지 제16권 제4호, pp. 25~34, (1992. 12.)
4. 김동일외, "초광대역 특성을 가지는 Ferrite 전파흡수체의 설계법", 한국향해학회지, 제18권 제2호, pp. 151~158, (1994. 5)
5. 김동일, 김민석, "전파무향실의 특성평가에 관한 연구, - 수평편파를 중심으로 -", 한국향해학회지, 제19권 제1호, pp. 9~16, (1995. 2.)
6. 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)
7. 澤田章外, "電波無響室 半無響室 Simulation System 開發および檢討, EMCJ 89-4 of Japan, pp. 21-28, (1989)
8. 清水康敬, 電磁波吸收遮蔽, 日經技術圖書, pp. 67-204, (1989)

9. 杉浦行, "Site Attenuation 理論曲線について" EMCJ 86-73 of Japan, pp. 67-73, (1986)
10. 西村公佐外, "電波暗室特性の數値Simulationの検討", EMCJ 89 of Japan, pp. 21-27, (1988)
11. A. A. Smith, "Standard Site Method of Determining Antenna Factors", IEEE Trans., EMC-24, 3, pp. 316-322, Aug. (1982)
12. W. Scottbenn Eitt, "Comments on Calculation of Site Attenuation from Antenna Factors", IEEE Trans. on EMC, vol. EMC-2S, NO.2, pp. 121-124, May (1983)
13. A. A. Smith, "Calculation of Site Attenuation from Antenna Factors "IEEE Trans. EMC-24, 3, pp. 301-316, Aug. 1982.
14. "Measured Technical Data Exhibiting Anechoic Chamber Lined by 'TOYO' FFG-1000 Ferrite Grid Absorber", Toyo Corporation., Japan, (1991)