

電波半無響室의 特性評價에 관한 研究

김민석* · 金東一**

A Study on the Evaluation of Semi-Anechoic Chamber Characteristics

Min Seok Kim · Dong Il Kim***

Abstract

Author has studied characteristics evaluation on semi-anechoic chamber. And author also finds that in case of low frequencies like from 30MHz to 100MHz there are big differences between the calculated and the measured site attenuation in semi-anechoic chamber made with ferrite grid. This is on account of not being considered the mutual coupling effects between two antennas. Accordingly Author calculated site attenuation due to mutual coupling effects and compared the measured site attenuation with the calculated site attenuation with mutual coupling correction.

As a result good agreement between site attenuation, measured or calculated is obtained.

I. 서 론

최근에 반도체 컴퓨터 등 각종 전자장비가 비약적으로 발전해 감에 따라 정보교환 처리 장치를 디지털화, 소형화, 자동화함으로써 정보화 사회에 대한 시대적 요구에 부응해 나아가고 있다. 또한 이들 장비의 사용이 급증함으로써 장비간에 서로 불필요한 전자파를 발생시키므로써 이들 전자파에 의한 기기의 오동작으로 인하여 인명에 치명적인 영향을 미친 사례들이 계속 보고되고 있다. 그러나 이들 전기 전자 제품이 우리에게 생활의 편리함을 주는 것 또한 사실이므로 생활수준의 증가와 함께 이들 전기 전자제품의 사용이 급증하고 있는 것도 현실이다.

이들 장비의 사용과 함께 그에 따른 피해의 급증도 예상된다. 이에 따라서 선진국에서는 이들 전기 전자제품에 대한 전자파방출량을 엄격하게 규제하고 있으며 그 규제를 더욱 강화

* 박사과정 해사수송과학과 선박운항학 전공

** 한국해양대학교 전파공학과 교수

해 나아가고 있는 추세이고, 나아가서 기준에 미달된 제품은 수입이 금지되고있다. 우리나라의 경우 전기 전자제품의 생산량은 세계 3위에 이르고 있으며, 수출의 중요한 비중을 차지하고 있다. 생산된 제품이 전자파 방출량 규제에 대한 기준을 만족해야 하기 때문에 이러한 전자파 장해를 측정할 수있는 시설은 그 수요가 더욱더 증대될 전망이다.¹⁾⁻⁴⁾ 전기 전자 제품으로 부터의 방사 방해파 측정은 전파의 영향이 전혀없는 야외측정장소에 설치된 Open Site에서 하는 것을 기준으로 하고있다. 그러나 우리나라는 현재 심야까지 방송을 실시하고 있으며 차량은 거의 24시간 운행하고 있기 때문에 Open Site는 도심주변을 떠나 고속도로나 고압 송전선으로 부터 멀리 떨어진 장소에서 전파의 영향이 전혀없는 장소를 구하여 만들어야 한다. 또한, Open Site의 설치장소로는 넓고 동시에 수평인 대지면을 갖추어야 하고, 부근에 건물 울타리 나무 등으로부터 반사파의 영향이 없고, 땅속으로부터 배선이나 배관 등이 없는 장소를 선정해야 한다. 또 대지면의 상태 즉 대지가 마르고, 젖는 등에 따라서 전계에 영향을 주기 때문에 측정치의 재현성을 확보하기 위해서 대지 표면을 금속면으로 할 것을 규정하고 있다. 그러나 이와 같은 장소가 구해졌을 경우라도 실제로 그러한 시설을 이용하려 할 때는 시간적, 자연적인 제약이 따르고 이것은 바로 경제적인 손실로 이어 진다. 따라서 Open Site와 똑 같은 성능을 가진 시험장을 실내에 만들므로써 이러한 여러가지 제약으로부터 벗어날 수 있다. 이것을 전파반무향실이라고 하며, 사방의 벽면 및 천정에 전파흡수체를 붙이고, 바닥면을 Open Site와 같은 금속면으로 한다. 그러나 실제로는 이러한 전파반무향실이 만들어 졌을 경우라도 Open Site와 똑같은 특성을 가진다는 것은 곤란하므로 Open Site와 특성의 차이가 3dB 이내이면 만족하는 것으로 간주하고 있다.⁵⁾⁻⁷⁾ 저자들은 이에 따라 전파반무향실에서 영상법에 의하여 전파의 경로장을 구하고, 주파수마다의 Site Attenuation을 계산에 의하여 구하고 이를 실험치와 비교하여 보았다.⁸⁾ 그런데 100MHz 미만의 경우 실험치와 이론치의 차이가 허용한도인 $\pm 3\text{dB}$ 의 범위를 벗어났다. 이것은 낮은 주파수의 경우 송수신 안테나 사이에 상호결합효과를 고려하지 않았기 때문이라 생각된다.

따라서 본 논문에서는 영상법에 의하여 전파의 경로장을 구하고 안테나 사이의 상호결합효과를 고려했을 때 30MHz에서부터 150MHz까지 수평편파와 수직편파에따른 전파반무향실에서의 Site Attenuation의 계산치와 실측치를 분석 검토했다.

II. 이 론

II-1. Site Attenuation Model

1) 수신 안테나

수신된 전압을 V_R , 안테나 因子를 AF_R , 입사전계를 E라면

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

로 나타낼 수 있다.

2) 송신 안테나

거리 d 에서 자유공간의 전계강도 E 는 다음과 같다.

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

단, P_T : 복사전력

G : 안테나 이득

β : 위상정수

λ : 파장

안테나 전류를 I , 저항을 R_A 라하면

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

이므로

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

신호발생기의 개회로전압을 V , 안테나 인자를 AF_T 라면

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

(4)와 (5)에서

$$E = \frac{V f_M}{79.58 A F_T} \frac{\epsilon^{-j\beta d}}{d} \quad (6)$$

단, f_M : 주파수(MHz)

3) 수직 편파

반사 계수 $\rho_v = |\rho_v| \epsilon^{j\beta d}$ 인

수직 다이폴 안테나가 복사한 전계는 직접파와 반사파를 합친것과 같다.

즉 수직편파의 전계강도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

(7)의 크기는

$$E_v = \frac{V f_M R^2}{79.58 A F_T} \frac{[d_2^6 |\rho_v|^2 + 2d_1^3 d_2^3 |\rho_v| \cos(\varphi_v - \beta(d_2 - d_1))]^{1/2}}{d_1^3 d_2^3} \quad (8)$$

(8)식을 地表波의 전계강도 E_{DV} 로 나타내면

$$E_{DV} = \frac{\sqrt{49.2} R^2 [d_2^6 + d_1^6 |\rho_V|^2 + 2d_1^3 d_2^3 |\rho_V| \cos(\varphi_V - \beta(d_2 - d_1))]^{1/2}}{d_1^3 d_2^3} \quad (9)$$

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

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

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

K : 상대 유전 상수

σ : 도전율(s/m)

수신 안테나의 높이를 1~4m로 변화했을 때 이 범위에서 (9)의 최대치를 E_V^{\max} 라 하면(8)과 (9)로부터 수직전계강도의 최대치

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

4) 수평 편파

반사 계수 $\rho_h = |\rho_h| \varepsilon^{-j\beta h}$ 인 수평 다이폴 안테나가 복사한 전계는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$E_H = \frac{Vf_M}{79.58AF_T} \left(\frac{\varepsilon^{-j\beta d_1}}{d_1} + \frac{|\rho_h| \varepsilon^{-j\beta d_2} \varepsilon^{-j\beta h}}{d_2} \right) \quad (11)$$

(11)식의 크기는

$$E_H = \frac{Vf_M}{79.58AF_T} \frac{[d_2^2 + d_1^2 |\rho_h| + 2d_1 d_2 |\rho_h| \cos(\varphi_h - \beta(d_2 - d_1))]^{1/2}}{d_1 d_2} \quad (12)$$

편의상

$$E_{DH} = \frac{\sqrt{49.2} [d_2^2 + d_1^2 |\rho_h|^2 + 2d_1 d_2 |\rho_h| \cos(\varphi_h - \beta(d_2 - d_1))]^{1/2}}{d_1 d_2} \quad (13)$$

라고 하면 (13)식은 지표파의 전계강도이다.

안테나 높이를 1~4m까지 변화시켰을 때, 이 범위안에서 (13)식의 최대치를 E_{DH}^{\max} 라 하면 (12)와 (13)으로부터 수평방향의 전계강도 전계치

$$E_H^{\max} = \frac{Vf_m E_{DH}^{\max}}{75.58AF_T \sqrt{49.2}} \quad (14)$$

로 나타낼 수 있다.

II-2. Site Attenuation 계산

신호발생기에 나타난 전압을 V_I , 수신 안테나의 수신전압을 V_R 이라면 Site Attenuation A 는 다음과 같이 정의된다.

$$A = \frac{V_I}{V_R} \quad (15)$$

그런데 신호발생기의 전압 $V = 2V_I$ 이므로

$$A = \frac{V}{2V_R} \quad (16)$$

(1)을 (12)에 대입하면

$$A = \frac{VAF_R}{2E} \quad (17)$$

(10)을 (13)에 대입하면

$$A = \frac{79.53AF_R AF_T \sqrt{49.2}}{Vf_m E_D^{\max}} \quad (18)$$

(18)식을 dB로 바꾸면

$$A(\text{dB}) = -20 \log f_M + 48.92 + AF_R(\text{dB/m}) + AF_T(\text{dB/m}) - E_D^{\max}(\text{dB} \cdot \mu \nu / \text{m}) \quad (19)$$

한편 전파반무향실에서 2회 반사파까지 만을 고려했을때 반사파의 반사 Pattern을 15가지로 구분하여 구한 전파의 경로장을 각각 $d_1, d_2, d_3, \dots, d_{15}$ 라 하면, 이들 반사파에 의한 전계강도 E_{VC} 는

$$E_{VC} = \frac{|\rho_V| \epsilon^{-j\beta d_1} \epsilon^{-j\phi V}}{d_1} + \frac{|\rho_V| \epsilon^{-j\beta d_2} \epsilon^{-j\phi V}}{d_2} + \dots + \frac{|\rho_V| \epsilon^{-j\beta d_{15}} \epsilon^{-j\phi V}}{d_{15}} \quad (20)$$

로 나타낼 수 있다.

전파반무향실에서의 전계강도는 직접파와 반사파를 합하여 구할 수 있으므로

(7)과 (20)의 크기를 구하면

$$CE_{VC} = \sqrt{49.2} \times |E_V + E_{VC}| \quad (21)$$

로 나타낼 수 있다.

(21)의 최대치를 CE_{VC}^{\max} 라 하면

(10)식으로 부터

$$CE_{VC}^{\max} = \frac{Vf_M CE_{VC}^{\max}}{79.58 AF_T \sqrt{49.2}} \quad (22)$$

(17)와 (22)로 부터

$$A = \frac{V AF_R 79.58 AF_T \sqrt{49.2}}{2 Vf_M CE_{VC}^{\max}} \quad (23)$$

(23)를 dB로 바꾸면

$$A(\text{dB}) = -20 \log f_M + 48.92 + AF_R(\text{dB/m}) + AF_T(\text{dB/m}) - CE_{VC}^{\max} \quad (24)$$

한편, 수평편파의 경우도 같은 방법으로 해서

$$A(\text{dB}) = -20 \log f_M + 48.92 + AF_R(\text{dB/m}) + AF_T(\text{dB/m}) - CE_{HC}^{\max} \quad (25)$$

로 나타낼 수 있다.

따라서, 수직편파와 수평편파의 경우 각각 (24)와 (25)식으로부터 Site Attenuation을 구할 수 있다.⁹⁻¹³⁾

II-3. Mutual Impedance

접근해 있는 두 안테나는 서로 전자계에 영향을 주고 있다. 이런 상태를 복사결합이라 하며 특히 주파수가 낮을 경우 그 영향이 크기 때문에 시험장 감쇠량의 계산에는 이것을 고려해야한다.

두 안테나의 반파장의 길이를 각각 l_1 , l_2 이고 거리 d 만큼 떨어져 있는 경우를 그림1에 나타 내었다.

Z_{11} , Z_{22} 는 안테나 1 또는 안테나2가 홀로 있을 때의 자기 임피던스이고 Z_{21} , Z_{12} 는 안테나 사이의 복사결합에 의한 상호임피던스이며

$$Z_{21} = -\frac{V_{21}}{I_1} \quad (26)$$

과 같이 정의할 수 있다.

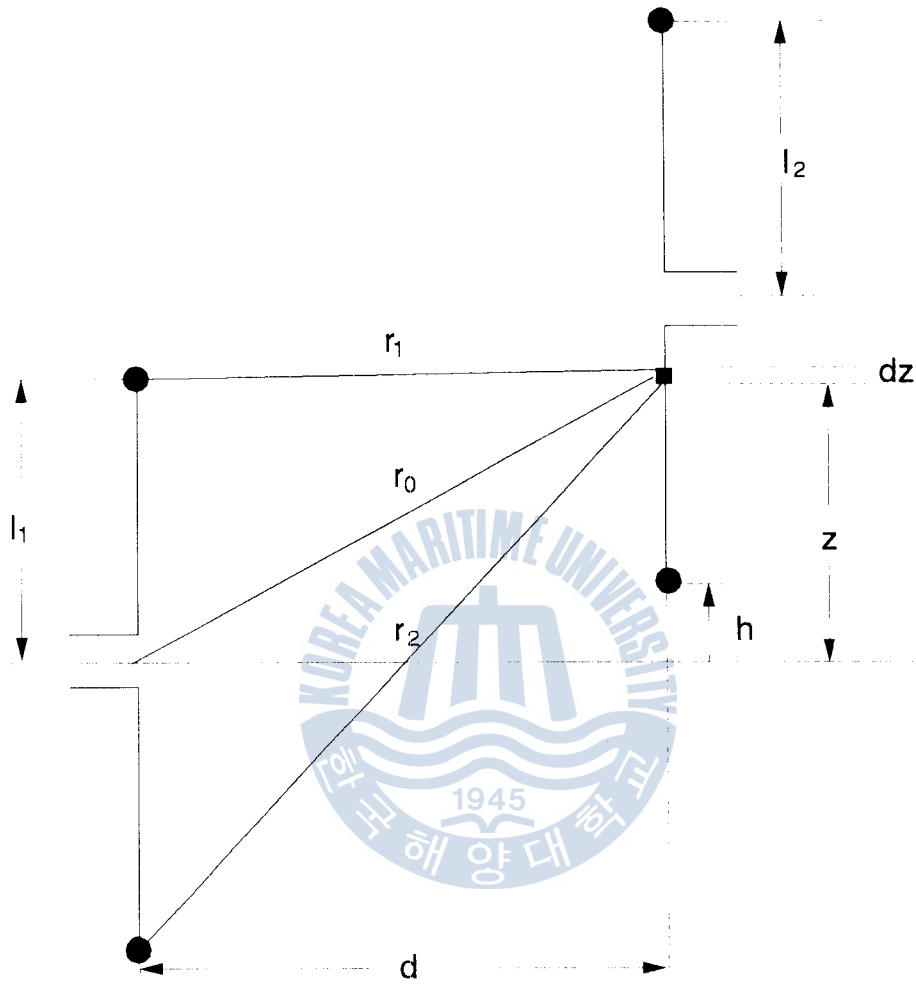


Fig.1 Two Parallel Antennas of Arbitrary Length in Echelon.

만약 발생기가 안테나 2로 옮겨진다면 가역정리에 의해

$$Z_{21} = -\frac{V_{21}}{I_1} = Z_{12} = -\frac{V_{12}}{I_2} \quad (27)$$

가 된다.

안테나 1의 전류에 의하여 유도된 안테나 2의 개방전압 V_{21} 은

$$V_{21} = \int \frac{1}{I_2} \left(\int_h^{l_1+z} E_{z1} I_2(z) dz + \int_{l_2+z}^{2l_2+z} E_{z1} I_2(z) dz \right) dz \quad (28)$$

로 나타낼 수 있다.

안테나의 전류분포는

$$I_z = I_2 \sin \beta z dz \quad (29)$$

와 같다.

안테나1의 전류 I_1 에 의하여 안테나2에 유도된 전장 E_{z1} 은

$$E_{z1} = 30 I_1 \left[\frac{-je^{-j\beta r_1}}{r_1} + \frac{-je^{-j\beta r_2}}{r_2} + 2j \cos \beta l_1 \frac{e^{-j\beta r_0}}{r_0} \right] \quad (30)$$

와 같다.

식(28)~(30)을 식(26)에 대입하여 정리하면

$$Z_{12} = -30 \left[\left\{ \int_h^{l_2+h} \sin \beta(z-h) + \int_{l_2+h}^{2l_2+h} \sin \beta(2l_2+h-z) \right\} \left(\frac{-je^{-j\beta r_1}}{r_1} + \frac{-je^{-j\beta r_2}}{r_2} + \frac{2j \cos \beta l_1 e^{-j\beta r_0}}{r_0} \right) dz \right] \quad (31)$$

과 같다.¹⁴⁾⁻¹⁷⁾

자체임피던스 $Z_s = R_s + jX_s$ 이고, 상호임피던스 $Z_m = R_m + jX_m$ 인 다이폴안테나의 안테나 인자

$$AF = \frac{50 + Z_s + Z_n}{50h} \quad (37)$$

고립된 안테나인자

$$AF_0 = \frac{50 + Z_s}{50h} \quad (38)$$

$$\Delta AF = \frac{AF}{AF_0} = \frac{50 + Z_s + Z_m}{50 + Z_s} \quad (39)$$

이것을 dB로 바꾸면

$$\text{실측치}^{19)} \Delta AF(dB) = 10 \log \left[\frac{(50 + R_s + R_m)^2 + (X_s + X_m)^2}{(50 + R_s)^2 + X_s^2} \right] \quad (40)$$

따라서 식(40)에 의한 안테나의 인자를 교정할 수 있다.

III. 결과 및 고찰

III-1. 수직편파의 경우

전파반무향실을 페라이트 그리드형의 전파흡수체를 사용하여 만들고 수직편파일 때, 주파수가 30MHz에서 부터 150MHz까지 안테나 사이의 상호결합을 고려하지않는 경우와 고려한 경우의 감쇠량을 계산한 결과와 실제로 전파반무향실에 페라이트 그리드형을 사용했을 경우

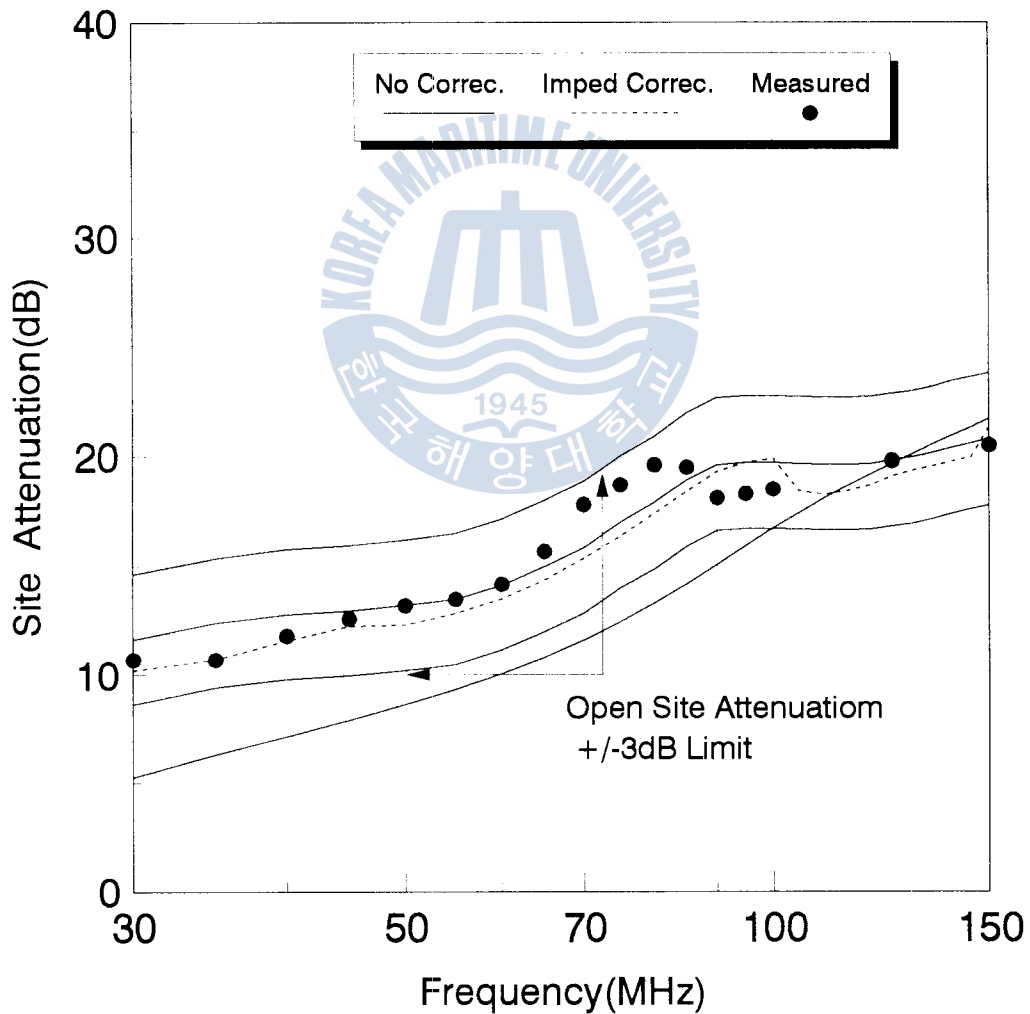


Fig.2 Comparison of Vertical Site Attenuation with Mutual Impedance Correction or Not.

감쇠량의 실측치¹⁹⁾를 그림2에 나타내었다. 그림2에서 전파반무향실에서 계산 simulation에 의한 감쇠량은 30MHz에서 부터 10MHz 간격으로 100MHz 까지 각각 5.2, 7.1, 8.6, 10.0, 11.6, 13.3, 15.0, 16.7MHz 이었고, open site의 경우는 각각 11.6, 12.7, 13.2, 14.1, 15.8, 17.8, 19.6, 19.7dB로 그 차이는 모두 ± 3 dB의 범위를 벗어났다. 10MHz 부터 150MHz 까지 10MHz 간격으로 전파반무향실에서 감쇠량은 18.0, 19.1, 20.1, 20.9, 21.6 dB이었고, open site의 경우 19.6, 19.6, 19.9, 20.4, 20.7 dB로서 그차이는 ± 3 dB의 범위 안에 있었다.

한편 전파반무향실에서 계산치와 실측치를 비교해 보면 실측치의 경우 30MHz부터 90MHz 까지 10MHz 간격으로 각각 10.7, 11.8, 13.2, 14.2, 17.8, 19.6, 18.1dB로서 계산치와의 차이는 각각 5.0, 4.4, 3.7, 3.5, 4.7, 4.1, 4.3dB로 모두 ± 3 dB의 범위를 벗어났고 100, 125, 150 MHz의 경우 계산치는 16.7, 19.6, 21.6dB, 실측치는 18.5, 19.8, 20.1dB 그 차이는 모두 ± 3 dB 이내로서 전파반무향실과 open site에서 감쇠량의 차이와 비슷한 경향을 나타냈다.

그런데 두 안테나 사이의 상호결합효과를 고려했을 때 전파반무향실에서 감쇠량은 30MHz 부터 10MHz 간격으로 100MHz 까지 계산치는 10.2, 11.5, 12.3, 13.5, 15.3, 17.4, 19.3, 19.9dB 이었고, 실측치는 10.7, 11.8, 13.2, 14.2, 17.8, 19.6, 18.1, 18.5 dB 로서 그 차이는 모두 ± 3 dB의 범위안에 있었다. 또 같은 주파수 범위에서 open site의 감쇠량은 11.6, 12.7, 13.2, 14.1, 15.8, 17.8, 19.6, 19.7dB로서 상호결합효과를 고려했을 때 계산치와의 차이는 모두 ± 3 dB이 내의 범위를 만족하고 있다.

III-2. 수평편파의 경우

전파반무향실에서 같은 종류의 전파흡수체를 사용하고 수평편파의 경우를 그림3에 나타내었다.

그림3에서 30MHz에서부터 5MHz 간격으로 전파반무향실의 시험장감쇠량은 5.0, 4.9, 5.2, 5.7, 6.4, 7.1, 7.7dB 이었고, 오픈사이트는 11.4, 11.5, 11.2, 10.9, 10.8, 10.6, 10.5dB로 그 차이는 모두 ± 3 dB의 범위를 벗어났다. 그러나 65MHz부터 150 MHz까지 10MHz 간격으로 전파반무향실의 감쇠량은 각각 8.3, 10.0, 12.4, 14.9, 16.3, 16.3, 15.5, 14.9, 15.2dB 이었고, 오픈 사이트의 경우는 각각 10.4, 10.8, 11.7, 12.8, 13.7, 14.9, 16.1, 16.8, 16.9 dB로 그 차이는 모두 ± 3 dB의 범위 안에 있었다. 전파반무향실에서 감쇠량의 계산치와 실측치를 비교해보면 실측치는 30MHz부터 60MHz까지 10MHz 간격으로 11.7, 11.7, 11.3, 11.3dB이고, 계산치는 5.0, 5.2, 6.4, 7.7dB로 그 차이는 각각 6.7, 6.5, 4.9, 3.6dB 로서 그 차이가 ± 3 dB의 범위를 벗어났다. 그러나 70MHz부터 90MHz까지 10MHz 간격으로 계산치의 경우 9.1, 11.1, 13.7dB 이고, 실측치는 10.9, 10.6, 11.8dB 그 차이는 ± 3 dB 이내이었고, 주파수가 100, 125, 150MHz 일때 계산치는 15.8, 15.9, 15.8 dB이고 실측치는 12.5, 15.7, 16.7dB로 앞의 경우와 비슷한 경향을 나타내었다.

그러나 상호결합을 고려하여 시험장 감쇠량을 계산했을 때 30MHz부터 10MHz 간격으로 70MHz까지 전파반무향실의 감쇠량은 9.1, 9.4, 10.1, 11.3, 11.7dB이었고, 실측치는 11.7, 11.7, 11.3, 11.3, 10.9dB로서 그 차이는 각각 2.7, 2.3, 1.2, 0.1, 0.8dB로서 그 차이는 모두 ± 3 dB

이내의 범위에 있었다.

또 80, 90, 100, 125, 150MHz 까지 계산치는 12.8, 13.9, 15.0, 14.8, 15.9dB이었고, 실측치는 10.6, 11.8,

12.5, 15.7, 16.7로서 그 차이는 모두 $\pm 3\text{dB}$ 이내의 범위에 있었다. 상호결합효과를 고려했을 때의 전파반무향실의 계산치와의 차이는 모두 $\pm 3\text{dB}$ 의 범위이내로서 전파반무향실에서 100MHz 이하의 낮은 주파수의 경우 감쇠량을 계산 할때 상호결합효과를 고려함으로써 실측치에 가까운 이론치를 구할 수 있음을 알 수 있었다.

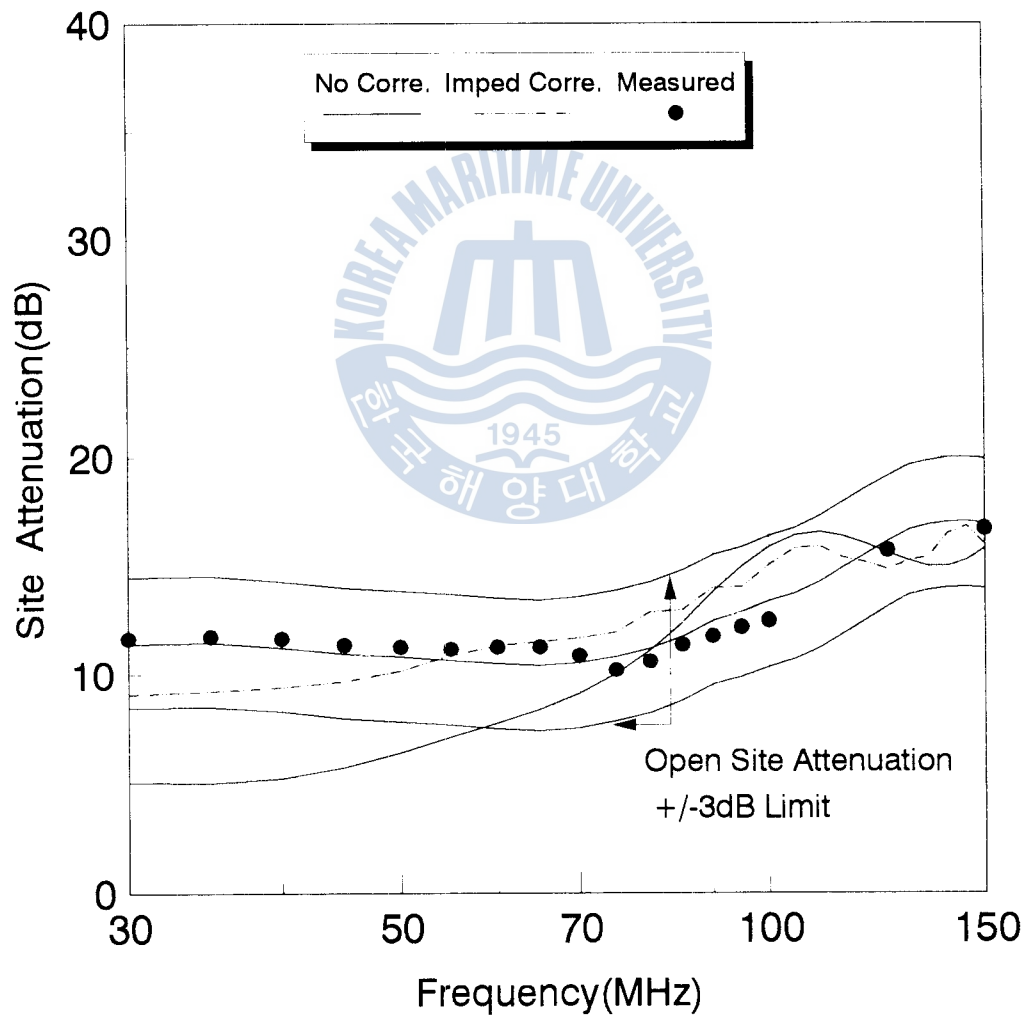


Fig.3 Comparison of Vertical Site Attenuation with Mutual Impedance Correction or Not.

IV. 결 론

전파반무향실에서 영상법에 의하여 전파의 반사패턴에 따른 전파경로장을 구하여 계산 시 물레이션에 의한 감쇠량을 구할 때 안테나 사이의 상호결합효과를 고려하지 않고 계산하면 수직편파의 경우 30MHz부터 100MHz까지, 수평편파의 경우 30MHz부터 60MHz까지 전파 반무향실과 오픈사이트의 시험장감쇠량의 차이는 모두 $\pm 3\text{dB}$ 의 범위를 벗어 났으며, 계산치와 실측치의 차이도 $\pm 3\text{dB}$ 의 범위를 벗어났다.

그러나 상호결합을 고려하여 계산하면 전파의 편파에 관계없이 실측치에 가까운 계산치를 구할 수 있음을 확인하였으며, 이 결과는 전파반무향실의 설계 및 성능평가 단계에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 김동일, 안영섭, 정세모, “레이다용 광대역형 고성능 전파흡수체의 개발에 관한 연구”, 한국항해학회지, 제15권 제1호, pp.1~10, 1991.3
2. 김동일, 전상엽, “EMI/EMC 대책용 광대역화 전파흡수체의 개발에 관한 연구”, 한국항해학회지 제15권 제4호, pp.13~26, 1991.12
3. 김동일의, “전파흡수체의 전자파적 특성측정기법 연구”, 한국항해학회지 제16권 제4호, pp.25~34, 1992.12
4. 김동일의, “초광대역 특성을 가지는 Ferrite 전파흡수체의 설계법”, 한국항해학회지, 제18권 제2호, pp.151~158, 1994.5
5. 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
6. 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
7. 清水康敬, 電磁波吸收遮蔽, 日經技術圖書, pp. 67-204, 1989
8. 김동일, 김민석, “전파무향실의 특성평가에 관한 연구, - 수평편파를 중심으로 -”, 한국항해학회 지, 제19권 제1호, pp.9~16 1995.2
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. John.D,Kraus, “Antennas”, pp.251-278, McGraw Hill Book Company, 1950

15. Constantine A.Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", pp.283-303, Happer & Low Publishers, New York 1982
16. Howard E.King, "Mutual Impedance of Unequal Length Antennas in Echolon", Ire Transactions on Antennas and Propagation, pp.306-313, July, 1956
17. Robert S.Eliot, "Antenna Theory & Design", pp.277-307, Prentice Hall Inc, 1981
18. "Measured Technical Data Exhibiting Anechoic Chamber Lined by 'TOYO' FFG-1000 Ferrite Grid Absorber", Toyo Corporation, Japan. 1991



