

야외시험장과 전자파 완전무반사시험장과의 상관성

Correlation of OATS Emission Data and Free Space Emission Data

안형배* · 주은정* · 이황재* · 강대현 · 이종악

Heung-Bae Ahn* · Eun-Jung Joo* · Hwang-Jae Rhee* · Dae-Hyun Kang · Jong-Arc Lee

요 약

본 논문은 최근에 CISPR(국제전자파장해특별위원회) 에서 논의되고 있는 전자파 장해 측정용 야외시험장과 전자파내성 시험장과의 상관관계에 대한 것이다. 먼저 OATS와 FAR에 대한 상관계수 이론치를 도출하였으며, 각 시험장에서 3 m 거리에 대한 비교 측정을 하였다. 상관관계에 대한 이론치를 프로그램화 하였고 시험장에서 측정된 값과 비교를 하였다. 30~1,000 MHz 에서는 6 dB 이내의 이론값과 실험값의 차이값이 나타나고 있어 FAR시험장이 OATS시험장의 EMI(전자파방사) 대체 시험장으로 활용될 수 있음을 확인하였다.

Abstract

This study is based on the recent CISPR research which is focused on correlation of OATS and FAR. First, we calculate the correlaton factor about OATS and FAR. We measured the field strengths at the OATS and in the FAR both for 3 m distances to obtain the experimental correlation factors. We programmed correlation factor that calculated from theoretical models. The Results showed the measured correlation factor in 6 dB from 30 to 1,000 MHz. It will be use to substitute FAR for OATS about efficient to measure EMI(Electro Magnetic Interferenc).

Key words : OATS, FAR, Correlation, CISPR, EMI

I. 서 론

국제 전자파장해 규제는 유럽, 미국을 중심으로 시작 되어 점차 전세계적으로 파급되고 있으며, 현재는 세계적으로 공통된 규격을 적용시키기 위하여 국제무선장해특별위원회(CISPR: International Special Committe on Radio Interference)를 중심으로 전자파 적합성(EMC: Electro Magnetic Compatibility) 연구가 진행되고 있다. 전기·전자 기기에 대한 전자파 장해 측정을 하기 위한 시험장으로는 야외시험장(OATS: Open Area Test Sites)이 있다. 그러나 전자파 환경의 악화로 환경이 좋은 야외시험장을

확보하기 어려워지고 시험장 건설에 많은 예산이 소요되고 있는 실정이다. 전자파 분야의 국제 표준을 관리하는 국제전기기술위원회(IEC: International Electrotechnical Commission)의 CISPR에서는 기존에 복사내성 측정을 위해 사용되고 있는 FAR를 전자파 장해 측정 대응 시험장으로서 유용성을 검증하기 위한 표준화연구가 진행되고 있다. FAR는 10 m 야외시험장과 비교하여 외부노이즈가 없으며 시험실 구축에 드는 비용도 저렴하다. 또한 모든 면에 흡수체를 장착, 자유공간을 확보하여 직접파만 고려하므로 수신안테나를 높이에 따라 스캔하지 않아도 되어 측정시간이 단축되는 장점도 가지고 있다. 이

건국대학교 전자정보통신공학과(Dept. of Electronic and Information Communication Engineering, Konkuk University)

*정보통신부 전파연구소(Radio Research Laboratory, MIC)

· 논문 번호 : 20020624-071

· 수정완료일자 : 2002년 8월 12일

러한 장점으로 인해 현재 IEC/CISPR에서는 FAR (Fully Anechoic Chamber)인 완전무반사실을 전자파 장해측정용 대응시험시설로 사용하기 위한 표준화 연구로 지정하여 CISPR A의 분과위원회 작업반인 WG2에서 표준화 연구로 수행 중이다. 상관성 측정을 위해서는 먼저 FAR의 복사내성 측정에 대한 균일장 평가가 필요하며, 전자파 장해 측정을 위한 시험장 감쇠량(Site Attenuation)을 이용한 시험장 적합성 평가가 요구된다. 또한 최종적으로 standard Eut를 대상으로 실험을 하여 실효성 검증의 필요성이 있다.

본 논문에서는 국제전자파장해특별위원회에서 논의 중인 30 MHz~1 GHz에서 사용되는 전자파완전무반사실(FAR)과 전자파야외시험장(OATS)의 상관관계를 수치해석과 실험을 통해서 나타내 보고자 하며, 주파수에 대한 최대 전계 세기를 측정할 수 있는 안테나 높이를 수치해석 방법을 이용해 구해 보고자 한다.

II. 본 론

2-1 시험장 감쇠량

상관성 측정을 위해서는 FAR가 전자파장해 시험장으로 적합한지 알기 위한 시험장 적합성 측정이 먼저 이루어져야 하며, 시험장 적합성 평가는 시험장 감쇠량 방법을 사용하여 측정하되 FAR가 자유공간과 같은 역할을 한다는 것에 중점을 두어 CISPR에서 검토중인 정규화 시험장 감쇠량 방법을 이용하여 측정할 수 있다.

자유공간에서 시험장 감쇠량은^[9]

$$SA = 20 \log_{10} \left[\frac{5Z_0}{2\pi} \sqrt{\frac{d}{(1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4})}} \right] - 20 \log_{10} f_m + AF_t + AF_r \quad [dB] \quad (1)$$

AF_t : 송신안테나 인자, AF_r : 수신안테나인자

Z_0 : 기준저항(50 Ω), $\beta = 2\frac{\pi}{\lambda_0}$

f_m : 주파수(MHz)

d : 송수신 안테나 사이의 거리 (m)

으로 표현된다.

시험장 감쇠량에 대한 측정은 수평 및 수직편파에 대해서 수신안테나를 1~4 m 까지 스캔을 하여 최대값을 찾은 후, 시험장 감쇠량을 계산한 결과와 측정값을 비교하여 ±4 dB 이내 여부로 시험장 평가를 한다^{[10],[11]}.

2-2 근역장에서의 전자파 측정

완전무반사실과 야외시험장간의 시험장에 대한 상관성 전자파 이론식을 도출하고자 한다. 방출원과 떨어져 있는 거리가 파장보다 짧은 경우에는 근거리장 영역(Near field)이라고 하며, 측정이론은 측정길이 L 보다 측정과장이 매우 큰 $L \ll \lambda$ 으로 저주파 영역에서 동작하는 시험장 구조 특성상 근거리 영역장의 모델링을 할 수 있다. 신호원으로 부터 거리 r_d 와 수신각 θ 를 갖는 전기장 방향에 일정한 전류 I_0 가 길이 L 인 안테나에 흐른다고 가정하였으며 미소다이폴 안테나를 사용하였을 경우에 미소다이폴로부터 거리 $r \gg L$ 떨어진 자유공간상의 전계세기는 다음과 같이 구해진다^{[1],[12]}.

$$E_\theta = -\frac{K \sin \theta}{r} \left(1 - \frac{j}{\beta r} - \frac{1}{\beta^2 r^2} \right) e^{j(\omega t - \beta r)} \quad (2)$$

$$E_r = -\frac{2K \cos \theta}{r} \left(\frac{j}{\beta r} + \frac{1}{\beta^2 r^2} \right) e^{j(\omega t - \beta r)} \quad (3)$$

송신기와 수신안테나를 평행한 방향으로 하고 측정시 전계 세기는^{[3],[4]}

$$E_{\parallel} = E_r \cos \theta - E_\theta \sin \theta : (OATS) \\ = \frac{K}{r} \left[\sin^2 \theta + (3 \cos^2 \theta - 1) \left(\frac{j}{\beta r} + \frac{1}{\beta^2 r^2} \right) \right] \times e^{j(\omega t - \beta r)} \quad (4)$$

이며, $\theta = 90^\circ$ 일 경우 자유공간상 전계세기는 다음과 같이 구해진다.

$$E^{FS} = -\frac{K}{R} \left(1 - \frac{j}{\beta R} - \frac{1}{\beta^2 R^2} \right) \quad (5)$$

여기서,

$$K = -\frac{j\omega I L}{4\pi\epsilon_0 c^2}, \quad \beta = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

ω : 각주파수, r : 미소 다이폴로부터의 거리, ϵ_0 : 자유공간의 유전율, c : 광속

그림 1은 지면반사판이 놓여진 근방계에서 h_1 높이에 송신 안테나를 놓고 수직 및 수평 편파에 대한 E_{max} 값을 측정하기 위해서 거리 R 떨어진 곳에서 수신 안테나를 높이 h_2 로 하였다. 수신 위치에서 전계세기는 직접파와 지면반사판에서 반사된 형태로 나타낼 수 있다. 즉 $E = E_d \pm E_r$ 로서 합은 수직편파의 경우이고 차는 수평편파의 경우이다. 공간과 시간상에서 직접파와 반사파를 실수와 허수성분으로 다음과 같이 표현할 수 있다^[6].

$$E_d = [R_e(\widehat{E}_d) + jI_m(\widehat{E}_d)]e^{j(\omega t - \beta r_d)} \quad (6)$$

$$E_r = [R_e(\widehat{E}_r) + jI_m(\widehat{E}_r)]e^{j(\omega t - \beta r_r)} \quad (7)$$

직접파와 반사파 r_d 와 r_r 을 전파경로 길이로 표현하면

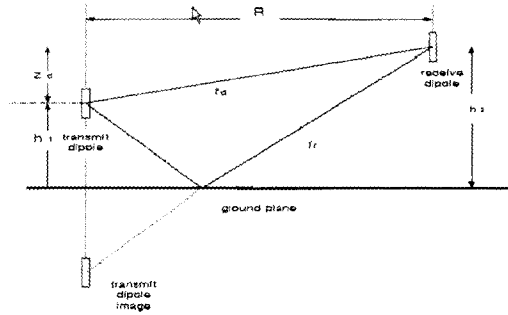
$$r_d = \sqrt{(R^2 + z_d^2)}, \quad r_r = \sqrt{(R^2 + z_r^2)} \quad \text{이며}$$

총 전계세기의 제곱은^[7]

$$\begin{aligned} |E^2| &= Re^2(\widehat{E}_d) + Im^2(\widehat{E}_d) + Re^2(\widehat{E}_r) + Im^2(\widehat{E}_r) \\ &\pm 2[[Re(\widehat{E}_d)Re(\widehat{E}_r) + Im(\widehat{E}_d)Im(\widehat{E}_r)] \cos \beta(r_r - r_d) \\ &+ [Re(\widehat{E}_d)Im(\widehat{E}_r) - Re(\widehat{E}_r)Im(\widehat{E}_d)] \sin \beta(r_r - r_d)] \end{aligned} \quad (8)$$

송신 다이폴의 축과 수직인 선상에 수신안테나가 놓일 경우 수평편파가 되며 이때 $\theta = 90^\circ$ 가 되어

$$\widehat{E}^{hor} = \frac{1}{r} \left(1 - \frac{j}{\beta r} - \frac{1}{\beta^2 r^2} \right) \quad (9)$$



림 1. 직접파 및 반사파에 의한 OATS의 복사전계 측정

1. Measurement of direct emission wave and reflect emission wave in OATS.

직접파와 반사파 r_d 와 r_r 을 대입하여 \widehat{E}_d^{hor} 과 \widehat{E}_r^{hor} 을 다음과 같이 직접파와 반사파의 실수부와 허수부로 나타낼 수 있다.

$$Re(\widehat{E}_d^{hor}) = \frac{1}{r_d} \left(1 - \frac{1}{\beta^2 r_d^2} \right) \quad (10)$$

$$Im(\widehat{E}_d^{hor}) = -\frac{1}{\beta r_d^2} \quad (11)$$

$$Re(\widehat{E}_r^{hor}) = \frac{1}{r_r} \left(1 - \frac{1}{\beta^2 r_r^2} \right) \quad (12)$$

$$Im(\widehat{E}_r^{hor}) = -\frac{1}{\beta r_r^2} \quad (13)$$

수직편파인 경우 $\sin \theta = \frac{R}{r}$, $\cos \theta = \frac{z}{r}$ 이므로

$$\widehat{E}^{ver} = \frac{1}{r} \left[\left(\frac{R}{r} \right)^2 + \left(3 \frac{z^2}{r^2} - 1 \right) \left(-\frac{j}{\beta r} + \frac{1}{\beta^2 r^2} \right) \right] \quad (14)$$

실수부와 허수부는

$$Re(\widehat{E}_d^{ver}) = \frac{1}{r_d} \left[\left(\frac{R}{r_d} \right)^2 + \left(\frac{3z_d^2}{r_d^2} - 1 \right) \frac{1}{\beta^2 r_d^2} \right] \quad (15)$$

$$Im(\widehat{E}_d^{ver}) = -\frac{1}{\beta r_d^2} \left(\frac{3z_d^2}{r_d^2} - 1 \right) \quad (16)$$

$$Re(\widehat{E}_r^{ver}) = \frac{1}{r_r} \left[\left(\frac{R}{r_r} \right)^2 + \left(\frac{3z_r^2}{r_r^2} - 1 \right) \frac{1}{\beta^2 r_r^2} \right] \quad (17)$$

$$Im(\widehat{E}_r^{ver}) = -\frac{1}{\beta r_r^2} \left(\frac{3z_r^2}{r_r^2} - 1 \right) \quad (18)$$

far field 조건에서는 $\frac{1}{\beta r}$, $\frac{1}{\beta^2 r^2}$ 이 없는 상태이므로

$$Re(\widehat{E}_d^{hor}) = \frac{1}{r_d}, \quad Im(\widehat{E}_d^{hor}) = 0 \quad (19)$$

$$Re(\widehat{E}_r^{hor}) = \frac{1}{r_r}, \quad Im(\widehat{E}_r^{hor}) = 0 \quad (20)$$

$$Re(\widehat{E}_d^{ver}) = \frac{R^2}{r_d^3}, \quad Im(\widehat{E}_d^{ver}) = 0 \quad (21)$$

$$Re(\widehat{E}_r^{ver}) = \frac{R^2}{r_r^3}, \quad Im(\widehat{E}_r^{ver}) = 0 \quad (22)$$

식 (19), (20), (21), (22)을 수식 (8)에 대입하면,

$$|E_{hor}|^2 = 1/r^2 + 1/r_r^2 - (2/r_d r_r) \cos \beta(r_r - r_d) \quad (23)$$

$$|E_{ver}|^2 = R^4/r_d^6 + R^4/r_r^6 + (2R^4/r_d^3 r_r^3) \cos \beta (r_r - r_d) \quad (24)$$

거리 M m 자유공간 데이터를 거리 N m 야외시험장의 데이터로 변환하는 상관관계 함수 C_{of}^{N-M} 은^[2]

$$C_{of}^{N-M} (dB) = 20 \log |E^{OATS}|_{\max}^{Nmeter} - 20 \log |E^{FS}|_{\max}^{Mmeter} \quad (25)$$

2.3 측정 방법 및 이론치 시뮬레이션

완전전자파무반사실(FAR)과 야외시험장(OATS) 사이의 시험장 상관성을 측정하여 앞에서 구한 수평편파에 대해서는 식 (23), 수직편파에 대해서는 식 (24)의 이론값과 비교하였다. 측정은 송신안테나에서 수신안테나 사이의 측정 거리를 3 m로 하였고, 송신안테나의 높이는 1 m, 1.5 m, 2 m로 하였으며, 수신안테나는 수평 및 수직편파에 대해서 주파수 30 MHz~1 GHz 측정 범위 중 30 MHz~300 MHz에서는 바이코니칼 안테나를, 300 MHz~1 GHz에서는 대수주기 안테나를 사용하였다. 측정장비는 Rohde Schwarz EMI Test Receiver(ESS)의 수신용 측정장비와 CNE (Comparison Noise Emitter: Broadband noise source)를 사용하였다.

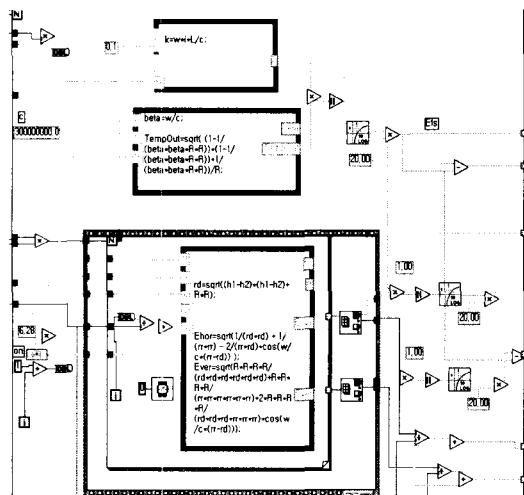


그림 2. 자유공간과 야외시험장의 수직 및 수평편파 상관관계 시뮬레이션

Fig. 2. Correlation factor simulation of Free space emission and OATS.

그림 2에서는 식 (23), (24)의 수평성분 전계세기 및 수직성분의 전계세기를 구하기 위해서, 먼저 r_d , r_r , β 값 등을 구한 다음 수치계산을 하여 시뮬레이션하였다.

2.4 측정결과와 이론치 비교 분석

그림 3, 5, 7, 9에서는 측정치와 시뮬레이션을 하여 구한 이론치와의 상관관계를 나타내었고, 그림 4, 6, 8, 10에서는 최대 수신전계의 시뮬레이션 높이를 나타내었다.

완전전자파무반사실(FAR)과 야외시험장(OATS)

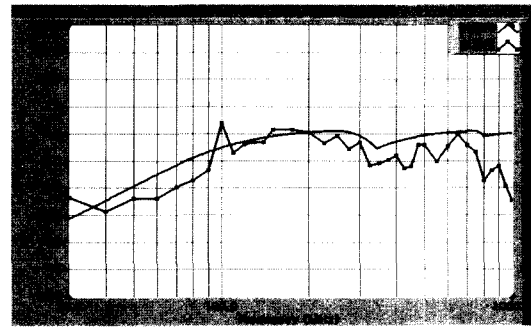


그림 3. 수평편파에 대한 3 m FAR와 3 m OATS 사이의 상관관계(송신안테나 높이 : 1 m)

Fig. 3. The 3m-FAR to OATS Correlation factors for horizontal polarization(antenna height : 1 m).

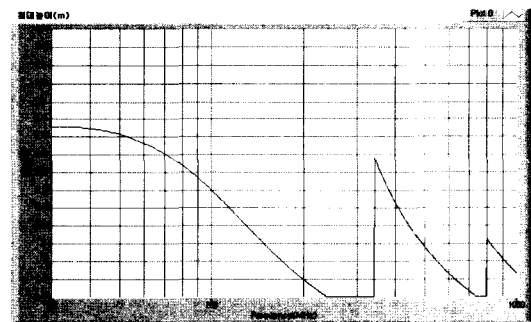


그림 4. 수평편파에서 송신안테나 높이가 1 m 일때 최대전계 수신 높이

Fig. 4. measurements height with horizontal polarization maximum E-field, the transmit antenna height 1 m.

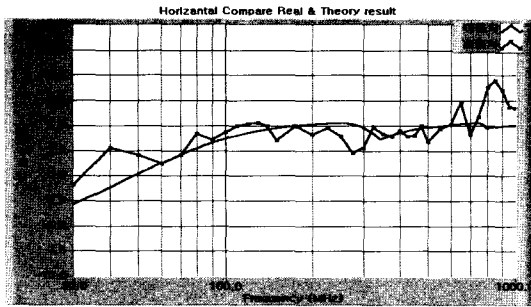


그림 5. 수평편파에 대한 3 m FAR와 3 m OATS 사이의 상관관계(송신안테나 높이 2 m)
 Fig. 5. The 3 m-FAR to 3 m OATS Correlation factors for horizontal polarization.

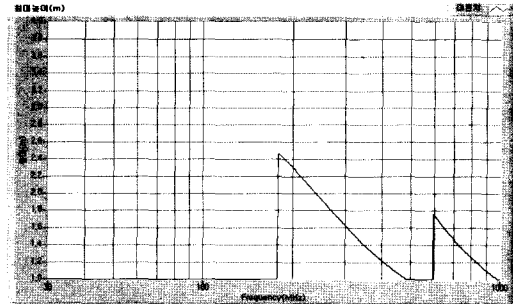


그림 8. 수직 편파에서 송신안테나 높이가 1 m일 때 최대전계 수신 높이
 Fig. 8. measurements height with vertical polarization maximum E-field, the transmit antenna height 1 m.

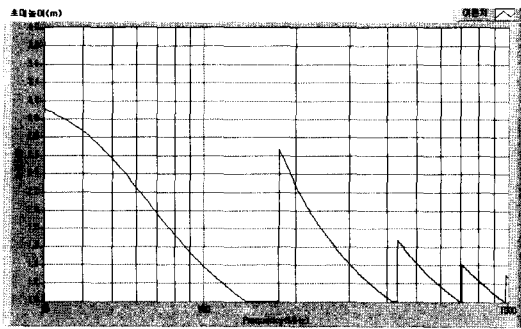


그림 6. 수평편파에서 송신안테나 높이가 2 m 일 때 최대전계 수신 높이
 Fig. 6. measurements height with horizontal polarization maximum E-field, the transmit antenna height 2 m.

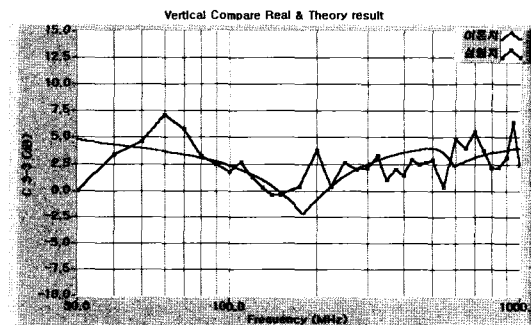


그림 9. 수직편파에 대한 3 m FAR와 3 m OATS 사이의 상관관계(송신안테나 높이 1.5 m)
 Fig. 9. The 3 m-FAR to 3 m OATS Correlation factors for vertical polarization.

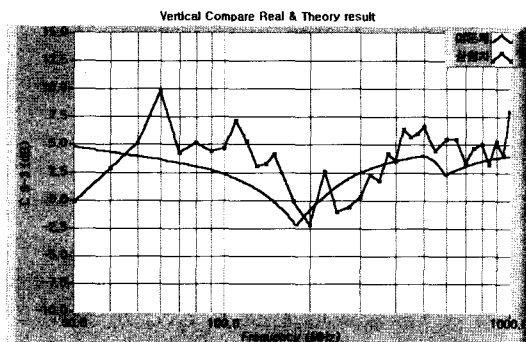


그림 7. 수직편파에 대한 3 m FAR와 3 m OATS 사이의 상관관계(송신안테나 높이 1 m)
 Fig. 7. The 3 m-FAR to 3 m OATS Correlation factors for vertical polarization.

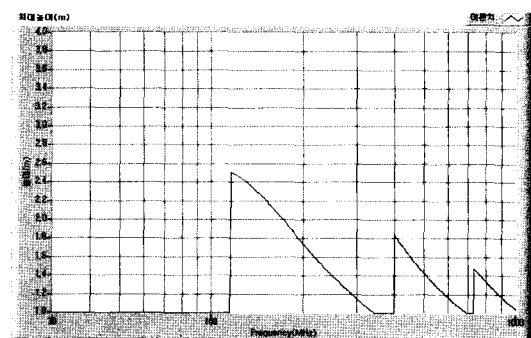


그림 10. 수직편파에서 송신안테나 높이가 1.5 m일 때 최대전계 수신 높이
 Fig. 10. measurements height with vertical polarization maximum E-field, the transmit antenna height 1.5 m.

사이의 시험장 측정값과 이론값을 비교한 상관계수 C_{∞}^{-3} 을 그림 3에 나타내었다. 송신안테나 높이를 1 m 로 하고 수신안테나 높이를 1 m~4 m로 스캔을 하여 최대 전계세기를 측정하였다. 수평편파에 대한 상관성 이론값과 측정값을 비교해 보면 주파수 30 MHz~1 GHz 에서 +3.0/-5.8 dB 의 차이가 발생하는 것을 알 수 있으며, 그림 5에서는 동일한 측정 조건에 송신 안테나 높이를 2 m로 하여 측정을 한 경우에 수평편파에 대해서 +5.0/-3.0 dB의 이론값과의 차이가 나타났다. 그림 7은 수직편파에 대해서 동일한 조건으로 송신안테나 높이를 1 m로 하여 측정하였더니 이론값과 +6.0/-4.1 dB 차이가 발생하였다.

그림 9는 수직편파에 대해서 동일한 측정 조건으로 송신 안테나 높이를 1.5 m로 하여 측정하였으며 이론값과 +4.0/-3.5 dB 차이가 나타났다.

OATS와 FAR간의 수평 편파의 상관관계를 비교 분석해 보면 주파수 1,000 MHz에서 6 dB, 30 MHz~900 MHz에서 3 dB의 이론치와 측정치의 차이가 나타났으며, 수직편파는 60 MHz에서 6 dB, 그외의 주파수에서는 4 dB 내의 차이가 측정되었다.

그림 4, 6, 8, 10에서는 수신안테나 높이를 1 m~4 m로 스캔을 하였을 때 해당 주파수에 대한 최대 전계세기 수신 높이를 수치해석적 방법으로 구한 결과를 보여주고 있다.

III. 결 론

야외시험장(OATS)과 전자파완전무반사실(FAR)의 30 MHz~1,000 MHz에서의 상관성 추출값을 near field에 의한 전자파 방사 이론을 적용하여 실질적인 이론값을 구하였다. 또한 실측을 통하여 이론값과의 차이를 비교해 보았다. 수평 편파 1,000 MHz와 수직편파 60 MHz에서는 ± 6 dB 값을 그 외 주파수에서는 ± 4 dB 내에 포함되는 측정을 하였으며, 수치해석적인 방법을 이용하여 주파수에 대한 최대 전계 수신 높이를 구현해 보았다. 연구 결과는 앞으로 3 m 완전전자파무반사실(FAR)과 야외시험장(OATS) 사이의 상관성에 대한 기본적인 자료로 활용되리라 사료되며, FAR시험장이 OATS시험장의 EMI(전자파방사) 대체 시험장으로 활용될 수 있

음을 관찰할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Franz Gisin, Dr. Zorica Pantic-Tanner, "Analysis of the Measurement Uncertainty Associated with 1/R Extrapolation of Radiated Emission Measurement on an Open-Area Test Site (OATS)", *IEEE*, pp. 139, 1998.
- [2] J. David Gavenda, "Near-Field Correction to Site Attenuation", *IEEE*, 1994.
- [3] Frank B.J. Leferink, Dick J. Groot-Boerle and Ben R.M. Puylaert, "Oats Emission Data Compared with Free Space Emission Data", *IEEE*, 1995.
- [4] Roger A. McConnell, Clark Vitek, "Calibration of Fully Anechoic Rooms and correlation with OATS measurements", *IEEE*, 1996.
- [5] M. J. Alexander, "Development of new measurement methods of the EMC characteristics in smaller relatively inexpensive fully anechoic rooms", *Draft FAR Project final report SMT4-CT96-2133*, 2000.
- [6] Tae-Weon Kang, "A Deterministic correlation of a fully anechoic chamber and oats measurements using a spherical dipole antenna", *Microwave and optical technology letters*, vol. 25. no 2, pp. 46, 20 April 2000.
- [7] Udo Kappel, "Statistical Conversion Factor Between Measurements of EMI in Different Test Facilities", *IEEE*, pp. 140, 1999.
- [8] Akira Sugiura, "Correction Factors for Normalized Site Attenuation", *IEEE*, pp. 461, 1992.
- [9] Roger A. McConnell, Clark Vitek, "Calibration of fully anechoic rooms and correlation with oats measurements", *IEEE*, pp. 136, 1996.
- [10] Akira Sugiura, "Formulation of Normalized Site Attenuation in Terms of Antenna Impedances", *IEEE*, pp. 257, 1990.
- [11] Desheng Zhu, Keng Yin Chok, "Modeling and correlation of radiated emissions generated

in a fully anechoic chamber and at an OATS",
IEEE, pp. 149, 1998.

[12] Frank B. J. Leferink, Dick J. Groot-Boerle and

야외시험장과 전자파 완전무반사시험장과의 상관성

Ben R. M. Puylaert, "Oats emission data compared with free space emission data", *IEEE*, 1995.

안 형 배

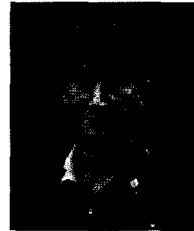


1991년 2월: 경남대학교 전자공학과 (공학사)
1998년 2월: 연세대학교 공학대학원 전자전공 (공학석사)
1998년 3월: 건국대학교 전자공학과 박사과정
2001년 1월~현재: 정보통신부 전

파연구소 공업연구사

[주 관심분야] RF 소자 및 EMC

이 중 악



1966년 2월: 한양대학교 전기공학과 (공학사)
1970년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
1974년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학박사)
1978년 3월~현재: 건국대학교 전

자공학과 교수

[주 관심분야] RF 소자 및 회로분석

강 대 현



2001년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)
2001년 3월: 건국대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 전자파 이론 및 RF 소자

주 은 정

1995년 2월: 숙명여자대학교 물리학과 (이학사)
1997년 2월: 숙명여자대학교 물리학과 (이학석사)
1997년 6월~현재: 정보통신부 전파연구소 공업연구사
[주 관심분야] 전자파이론

이 황 재

1982년 2월: 고려대학교 물리학과 (공학사)
1984년 2월: 서울대학교 물리학과 (공학석사)
1996년 6월: 유타주립대학교 물리학과 (공학박사)
1998년 5월~현재: 정보통신부 전파연구소 공업연구관
[주 관심분야] 전자파이론