

야외시험장과 전자파 완전 무반사실과의 상관계수를 이용한 완전 무반사실의 허용 기준 제안

Limits of Fully Anechoic Room for Radiated Disturbance Using Correlation Factor

이 순 용 · 정 연 춘* · 최 재 훈

Soon-Yong Lee · Yeon-Choon Chung* · Jea-Hoon Choi

요 약

본 논문에서는 전자파 장애 측정용 야외시험장과 전자파 내성 시험장인 완전 무반사실과의 상관계수를 이용하여 완전 무반사실에서 전자파 허용 기준을 제시하였다. FAR Project(SMT4-CT96-2133), CISPR/A/665/DTR, CISPR A/665/DTR 문서들을 분석하고, 이 문서들과 이론적인 수식들을 이용하여 야외시험장과 완전 무반사실의 이론적인 상관계수를 도출하였다. 실험적인 상관계수를 도출하기 위해서 피시험기기를 제작하였으며, 제작된 피시험기기의 전기장 세기를 10 m 야외시험장과 3 m 완전 무반사실에서 측정하였다. 또한, 다중 소스원을 갖는 피시험기기를 위한 허용 기준을 제시하기 위해서, 전기 다이폴과 자기 다이폴의 방사 이론을 프로그래밍화 하였다. 이 프로그램을 이용하여 다중 소스원을 갖는 피시험기기를 위한 상관계수를 도출하였다. 이론적, 실험적 상관계수를 이용하여 완전 무반사실에서 전자파 허용 기준을 새롭게 제시함으로써 완전 무반사실이 야외시험장의 전자파 방사(EMI) 대체 시험장으로서 활용될 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we suggested the tolerance limits of FAR(Fully Anechoic Room) using correlation factor between OATS(Open area Test Site) to measure EMI(Electromagnetic Interference) and FAR to measure EMS(Electromagnetic Susceptibility). FAR Project(SMT4-CT96-2133), CISPR/A/665/DTR, and CISPR A/665/DTR documents are analyzed and theoretical correlation factor based on the documents and theoretical equations is drawn. To obtain the experimental correlation factor, EUT(Equipment Under Test) is fabricated as well as measured at the 10 m distance OATS and in the 3 m distance FAR. Also, to suggest the tolerance limits of EUT with multi sources, radiation theory for electric and magnetic dipoles is programmed. We drew the correlation factor for EUT with multi sources through the programs. As the tolerance limits of FAR is newly defined, It can be used alternative test site for OATS to measure EMI, efficiently.

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

I. 서 론

국제 전자파 장애 규제는 유럽 미국을 중심으로

시작하여 점차 전 세계적으로 보급되고 있으며, 현재는 세계적으로 공통된 규격을 적용시키기 위해 국제 무선장애특별위원회(CISPR: International Special Co-

한양대학교 전자통신공학과(Department of Electronic & Communications Engineering, Hanyang University)

*서경대학교 전자공학과(Department of Electronics, Seokyeong University)

· 논문 번호 : 20100817-113

· 교신저자 : 정연춘(e-mail : ycchung@skuniv.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 10월 28일

mmittee on Radio Interference)에서는 전자파 장애(EMI: Electro Magnetic Interference)로부터 각종 기기를 보호하기 위해 전자파 적합성(EMC: Electromagnetic Compatibility)에 관한 연구가 진행되고 있다.

EMI 측정을 위해서는 주변 전자파 잡음이 낮은 야외시험장(OATS: Open Area Test Site)의 기준이 되어야 하지만, 야외시험장 주변의 인공잡음의 증대와 높은 시설비가 요구되고 있고, 측정의 절차가 복잡한 단점을 가지고 있다^[1]. 따라서 이러한 문제점을 보완하고자 보다 저렴하고 측정이 원활한 대체 시험장인 완전 무반사실(FAR: Fully Anechoic Room)이 제안되고 있다. 이것은 본래 EMS 측정을 위한 시험 시설로 외부와의 전자파 간섭의 우려가 없고, 설치가 비교적 자유로워 여러 연구 기관에서 이를 이용한 측정 방식을 연구·개발하여 범용적인 전자파 적합성 측정 시험장으로서 활용하고자 한다.

유럽의 FAR Project(SMT4-CT96-2133)에서는 야외 시험장의 대용시험장으로서 완전 무반사실을 제안하였으며, 그에 따른 허용 기준(시험 전파수에서 +5 dB)을 정의하였다^[2]. 이 FAR Project에 따르면 야외 시험장을 대체하기 위한 시험장으로 반 무반사실과 완전 무반사실을 고려하였는데, 반 무반사실은 30 MHz 정도의 낮은 주파수대역에서는 완전 무반사실보다 시험 비용이 많이 드는 것과 저주파 대역에서 반사에 의한 공진을 완전히 제거하기 힘들어 성능이 떨어지는 단점이 있다. 그러나 완전 무반사실의 경우에는 3 m 완전 무반사실에서 시험하는 것이 10 m 반 무반사실에서 시험하는 것보다 약 1/4 수준의 비용이 소요되는 이점이 있고, 3 m 완전 무반사실에서 저주파 복사 방출 측정은 10 m 야외 시험장에서의 결과에 상당히 근접하는 결과를 가져오는 것을 확인하였다. CISPR 22에 따른 정규 시험장 감쇠(NSA: Normalized Site Attenuation)를 고려하여 완전 무반사실 내에 수신 안테나와 피시험기기(EUT: Equipment Under Test)를 고정 배치하여 여러 번의 야외시험장과 완전 무반사실에서의 반복 측정 실험으로 수직 편파와 수평 편파의 전계 강도는 모든 주파수에서 상관계수가 약 5 dB 차이가 나는 것으로 규정되었다.

2006년 IEC에서 나온 문서 CISPR/A/665/DTR에서는 대용시험장에서의 측정 방법의 사용 조건에 대하여 정의하였고, 10 m 야외시험장과 3 m 완전 무반사

실에서의 대체적인 복사 방출 실험을 하였다^[3]. 이 실험에서 피시험기기에 대해 통계적 모델링, 일정 시험 체적 내에 포함된 미소 다이폴의 편파, 위상, 진폭, 위치 등을 고려하였다. 이 문서에서는 30~200 MHz에서 약 7 dB, 200~1,000 MHz에서 약 5 dB의 상관계수를 가진다고 정의하였다. 그 이후로 나온 문서 CISPR/A/669/INF에서는 케이블 배치를 고려한 변환인자에 대한 값을 찾고, 230 MHz에서 완화 조건을 제안하였다. 또한 완전 무반사실과 반 무반사실에서 같은 위치에 피시험기기를 배치하였을 경우에 상관계수가 일정하지 않음을 제시하였다^[4]. 하지만, 현재까지 국제적으로 다중 소스원에 관한 연구가 진행되어 있지 않다. 하나의 전자 장비에도 여러 소스원이 존재할 수 있기 때문에 이에 관한 규격도 새로이 필요하게 된다. CISPR 등에서도 기준 시험장을 별도로 규정하지 않고, 기존의 대체 시험장에서의 측정 결과를 바로 인정하려는 움직임이 있다.

본 논문의 목적은 대체 시험장 중의 하나인 완전 무반사실에서 적용하는 허용 기준을 복사 방출 소스원으로부터 직접 구하는 데 있다. 본 논문에서는 30 MHz~1 GHz에서 하나의 피시험기기에 단일 소스원에 대한 상관계수의 도출은 이론적 계산과 측정으로 이루어졌으며, 다중 소스원을 갖는 피시험기기의 복사 방출에 대한 상관계수는 피시험기기에 미소 전기 다이폴 안테나와 미소 자기 다이폴 안테나의 편파, 위상, 진폭, 임의의 위치가 고려된 프로그램 코드를 이용하여 도출하였다.

II. 이론적 상관 계수

2-1 야외시험장에서의 복사 방출

야외시험장은 피시험기기로부터 방사되는 전기장의 절대 강도를 측정하기 위하여 야외에 설치한 시험장으로서, 전기장 세기 측정은 기기에서 방사된 전기장과 지표면에 의해 반사된 반사파의 합성으로 전기장의 세기를 측정한다. 이때 지표면을 완전 도체(perfect conductor)로 가정하면 피시험기기(EUT: Equipment Under Test)에서 방사한 전기장은 지표면에서 완전 반사한다. 따라서 야외시험장에서 수신되는 전기장 세기는 영상법(image method)을 이용하여 계산할 수 있다.

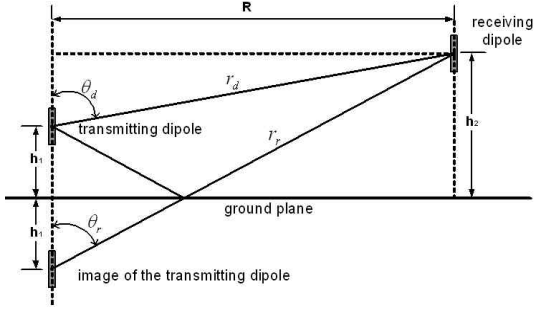


그림 1. 직접파 및 반사파에 의한 OATS의 복가 전계 측정

Fig. 1. Measurement of direct emission wave and reflect emission wave at OATS.

그림 1에서 송신 안테나의 높이가 h_1 , 수신 안테나의 높이를 h_2 라 하면 수신된 위치에서 전기장의 세기는 직접파와 반사파의 합과 차로 수직 편파와 수평 편파의 전계 강도를 구할 수 있다.

$$E_i^t = E_i^d + \Gamma E_i^r \quad (1)$$

- E_i^t : 수신 안테나에서 수신된 전기장의 세기
- E_i^d : 송신 안테나에서 직접 방사하는 전기장의 세기
- E_i^r : 송신 안테나에서 방사하여 지표면에 반사된 전기장의 세기

식 (1)에서 i 는 수직 편파의 전계 강도일 경우 v 로 수평 편파의 전계 강도일 경우 h 로 표현하며, 반사계수 Γ 는 전반사하는 가정에 의하여 ± 1 로 단순화 시킨다.

여기서 피시험기에서 수신 안테나까지 거리 r_d 와 r_r 은 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$r_d = \sqrt{R^2 + (h_1 - h_2)^2} \quad (2a)$$

$$r_r = \sqrt{R^2 + (h_1 + h_2)^2} \quad (2b)$$

파장(λ)에 비하여 다이폴 안테나(ℓ)의 길이가 매우 짧은 미소 전기 다이폴 안테나($\lambda \gg \ell$)이고, 다이폴 안테나에 $I_0 e^{j\omega t}$ 의 진폭을 갖는 전류가 흐르면, 구형 좌표 계에서 자유 공간상의 다이폴 안테나의 전계성분은 식 (3)으로 나타낼 수 있다^[5].

$$E_r = \eta \frac{I_0 \ell \cos\theta}{2\pi r^2} \left[1 + \frac{1}{jkr} \right] e^{j(\omega t - kr)} \quad (3a)$$

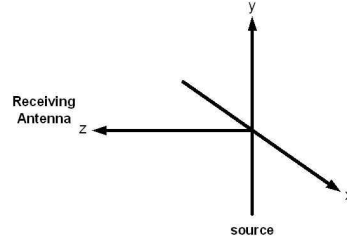


그림 2. 수신 편파 구분 좌표계

Fig. 2. Coordination for distinction from received polarization.

$$E_\theta = \eta \frac{k I_0 \ell \sin\theta}{4\pi r^2} \left[1 + \frac{1}{jkr} - \frac{1}{(kr)^2} \right] e^{j(\omega t - kr)} \quad (3b)$$

여기서 $\eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$ 이고, $k = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = \frac{2\pi}{\lambda}$, ω 는 각 주파수, r 은 다이폴 안테나에서 수신 안테나까지의 거리, ϵ_0 와 μ_0 는 자유 공간에서 유전율과 투자율이다.

파장(λ)에 비하여 루프의 원주가 매우 작은($2\pi a \ll \lambda$), 미소 자기 다이폴 안테나에 $I_0 e^{j\omega t}$ 의 진폭을 갖는 전류가 흐르면, 구형 좌표 계에서 자유 공간상의 다이폴 안테나의 전기장의 세기 성분은 식 (4)로 나타낼 수 있다^[5].

$$E_\phi = \eta \frac{k^2 I_0 A \sin\theta}{4\pi r} \left[1 + \frac{1}{jkr} \right] e^{j(\omega t - kr)} \quad (4)$$

여기서 $A = \pi a^2$ 이다.

그림 2는 각 다이폴 안테나의 수신 편파의 전계 강도를 표기함에 있어서 수평, 수직 편파의 전계 강도 표기보다 쉽게 구분할 수 있는 X, Y, Z 좌표계 방법으로 표기를 한 것이다. 수신 수직 편파의 전계 강도는 E_y 로 수신 수평 편파의 전계 강도는 E_x 로, 그리고 수평(longitudinal) 다이폴 안테나의 수신 편파의 전계 강도는 E_z 로 구분하여 표기하였다.

야외시험장에서 복사 방출은 수직과 수평 편파의 전계 강도로 나타내기 위하여 다이폴 안테나가 z축 위에 위치할 때, 수평(horizontal) 전기 다이폴 안테나의 등가적 수신 안테나는 수평 편파의 전계이고, 식 (5)로 나타낼 수 있다.

$$E_h(r, \theta) = -E_\theta(r, \theta) \quad (5)$$

수평(longitudinal) 전기 다이폴 안테나의 등가적

수신 안테나는 수직 편파의 전계이고, 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$E_v(r, \theta) = E_r(r, \theta)\sin\theta + E_\theta(r, \theta)\cos\theta \quad (6)$$

수직(vertical) 전기 다이폴 안테나의 등가적 수신 안테나는 수직 편파의 전계이고, 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$E_v(r, \theta) = E_r(r, \theta)\cos\theta - E_\theta(r, \theta)\sin\theta \quad (7)$$

다음으로 수평(horizontal) 자기 다이폴 안테나의 등가적 수신 안테나는 수직 편파의 전계이고, 식 (8)로 나타낼 수 있다.

$$E_v(r, \theta) = E_\phi(r, \theta)\cos\phi \quad (8)$$

수평(longitudinal) 자기 다이폴 안테나의 등가적 수신 안테나는 수평 편파의 전계이고, 식 (9)로 나타낼 수 있다.

$$E_h(r, \theta) = E_\phi(r, \theta) \quad (9)$$

수직(vertical) 자기 다이폴 안테나의 등가적 수신 안테나는 수평 편파의 전계이고 식 (10)로 나타낼 수 있다.

$$E_h(r, \theta) = E_\phi(r, \theta) \quad (10)$$

위의 식에서 수신 안테나의 높이를 1 m에서 4 m 까지 스캔하여 최대값을 취하면 수직 편파와 수평 편파의 전계 강도를 얻을 수 있다. 식 (5)~(10)에서의 θ 와 ϕ 는 h_1 과 h_2 로 삼각법을 사용하여 계산할 수 있다.

식 (1)~(10)을 NI사의 Labview 8.2을 이용하여 이론적인 수치를 계산하였다. 다이폴 안테나와 수신 안테나의 거리를 10 m로 설정하고, 수신 안테나의 높이를 1 m에서 4 m까지 0.5 m씩 변화를 주었으며, 다이폴 안테나에 흐르는 전류를 1 A로 설정하였다. 안테나의 길이는 0.2 m로 설정하고, 주파수는 30 MHz ~ 1 GHz 사이의 971개 주파수 샘플을 사용하였다.

그림 3, 4에서 E_x , E_y , E_z 는 각 안테나의 형태를 나타낸다. E_x 와 E_y 는 거의 비슷한 세기를 보이면서 주파수가 증가할수록 증가하는 것을 알 수 있다. E_z 는 -15 dB에서 -5 dB 사이의 값을 나타내고 있다.

그래프에서 큐빅 스플라인(Cubic Spline) 보간법을

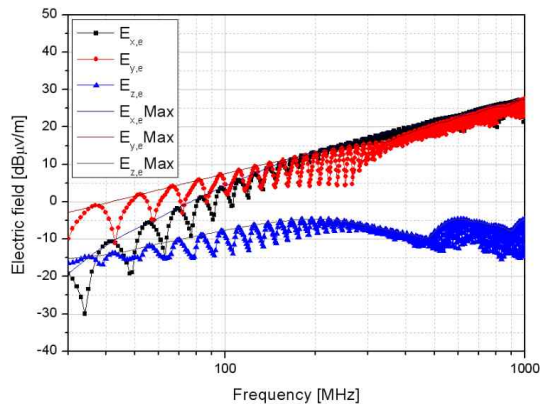


그림 3. 야외시험장에서 전기 다이폴 안테나의 전기장 세기

Fig. 3. Strengths of E-field for the electric dipole at OATS.

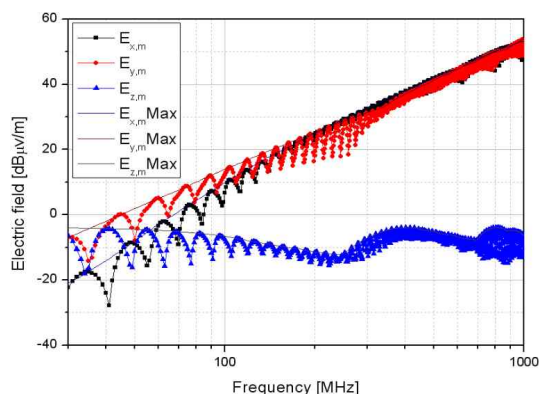


그림 4. 야외시험장에서 자기 다이폴 안테나의 전기장 세기

Fig. 4. Strengths of E-field for the magnetic dipole at OATS.

사용하였다. 여기서 보간법을 사용하는 이유는 상관 계수를 구하기 위해 전기장의 세기의 차를 구하게 되는데, 두 계산 결과의 차를 직접 구하면 값의 변동이 매우 심해 주파수에 따른 상관계수를 구하는데 어려움이 있다. 또한, 일반적인 복사 방출 측정에서 max hold를 사용하여 소스로 최대 전기장 세기를 추출하는 것이 바람직하기 때문이다.

2-2 완전 무반사실의 복사 방출

완전 무반사실은 전파적으로 무한히 넓은 공간으로 다이폴 안테나에서 방사하여 수신 안테나로 수신되는 전기장의 세기는 다이폴 안테나에서 방사한 직

접과만 고려 대상이 된다.

$$E_i^t = E_i^d \quad (11)$$

미소 전기 안테나의 복사 방출은 식 (3)과 같고, 자기 다이폴 안테나의 복사 방출은 식 (4)와 같다. 그리고 각 안테나마다 수직 편파와 수평 편파는 식 (5)~(10)과 같다.

위의 식을 기초로 NI사의 Labview 8.2을 이용하여 이론적인 수치를 계산하였다. 다이폴 안테나와 수신 안테나의 거리를 3 m로 설정하고 수신 안테나의 높이를 1 m에 고정시키며, 다이폴 안테나에 흐르는 전류를 1 A로 설정하였다. 안테나의 길이는 0.2 m로 하고, 주파수는 30 MHz~1 GHz 사이의 971개 주파수 샘플을 사용하였다.

그림 5, 6에서 E_x 와 E_y 는 동일한 값이 나왔으며, 야외시험장에서와 같이 주파수가 증가할수록 증가하는 것을 보여주고 있다. E_z 는 0으로 일정한 값이 나왔다. 이 그래프 또한 데이터의 큐빅 스프라임 보간법을 사용하였다.

2.3 이론적 상관 계수

완전 무반사실과 야외시험장 사이의 상관계수를 알고 있으면, 완전 무반사실에서 측정된 전자기장의 세기에 상관관계를 적용하여 등가의 야외시험장 데이터를 구할 수 있다. 이를 위하여 앞서 구한 야외시험장과 완전 무반사실의 데이터를 통하여 이론적 상

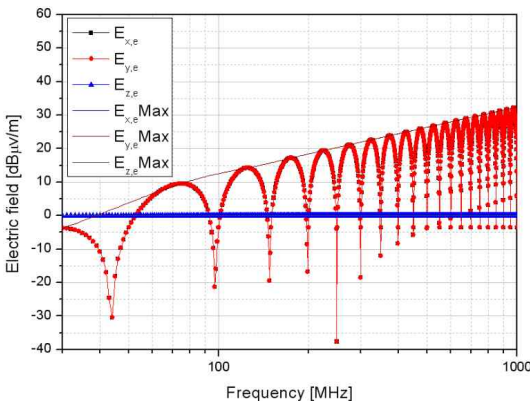


그림 5. 완전 무반사실에서 전기 다이폴 안테나의 전기장 세기

Fig. 5. Strengths of E-field for the magnetic dipole in FAR.

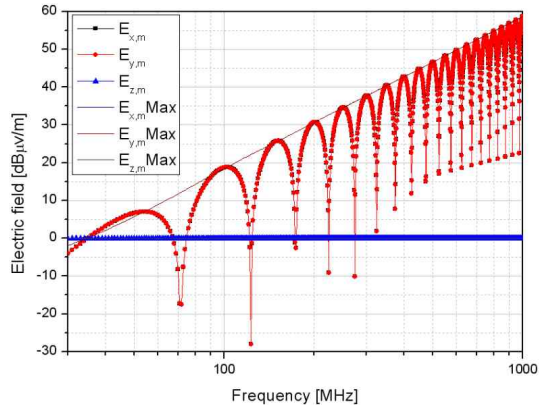


그림 6. 완전 무반사실에서 자기 다이폴 안테나의 전기장 세기

Fig. 6. Strengths of E-field for the magnetic dipole in FAR.

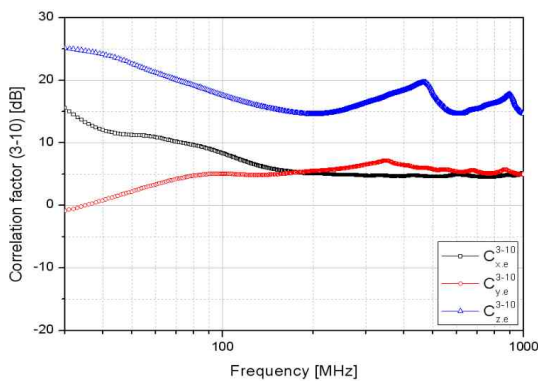


그림 7. 3 m 완전 무반사실과 10 m 야외시험장의 전기 다이폴 상관계수

Fig. 7. The 3 m-FAR to 10 m-OATS correlation factors for the electric dipole.

관 계수를 구할 수 있다. 야외시험장과 완전 무반사실의 상관계수는 두 시험장에서 계산된 전기장의 세기 차이로 나타낼 수 있다. 따라서 상관계수는 식 (12)와 같다^[6].

$$C_{horv}^{M-N} = E_{FAR}^M - E_{OATS}^N \quad (12)$$

여기서 E_{OATS} 와 E_{FAR} 은 야외시험장과 완전 무반사실에서 계산한 전기장의 세기이다. M 은 완전 무반사실에서 다이폴 안테나와 수신 안테나까지의 거리이며, N 은 야외시험장에서 다이폴 안테나에서 수신 안테나까지의 거리이다.

두 시험장의 상관관계를 도출하기 위하여 10 m의

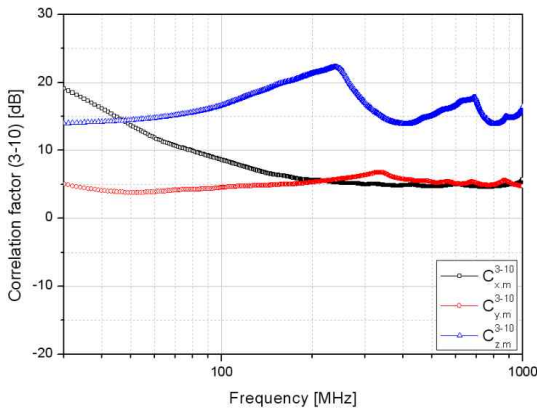


그림 8. 3 m 완전 무반사실과 10 m 야외시험장의 자기 다이폴 상관계수
 Fig. 8. The 3 m-FAR to 10 m-OATS correlation factors for the magnetic dipole.

거리에서 계산한 야외시험장의 E_x , E_y , E_z 전계 강도의 세기와 3 m의 거리에서 계산한 완전 무반사실의 E_x , E_y , E_z 의 전계 강도의 세기를 통한 두 시험장간의 이론적 상관계수는 그림 7, 8과 같다.

그림 7, 8에서 E_x 와 E_y 는 100 MHz 이상에서 CISPR/665/DTR의 문서에서 명시된 상관계수 5 dB와 일치하는 것을 보이고 있다. 그러나 100 MHz 이하에서는 E_x 가 최대 15 dB로서 표준 문서와는 많은 차이를 보이지만, 전체 평균은 5.3 dB로 근소한 차이가 보임을 확인하였다.

III. 실험적 방법을 통한 상관계수

3-1 야외시험장의 측정

본고에서는 산업기술시험원(KTL)의 10 m 반 무반사실을 사용하여 표준 문서인 CISPR 22와 CISPR 16-2의 측정 절차에 따라 측정을 하였다^{[7],[8]}. 측정을 위해 시뮬레이션을 통해 최적화 설계된 피시험기기를 사용하였으며, 피시험기와 수신 안테나인 대수 주기 안테나 사이의 거리를 10 m로 설치하였다. 피시험기기는 80 cm의 턴테이블 위에 위치시켰으며, 피시험기기를 회전시키고 수신 안테나 높이를 1~4 m까지 변화를 주고 max hold을 사용하였다. 기준전자파원인 CGE는 모든 측정 시험 시설에서 CGE가 안정적인 방사를 하는 것을 확인한 후 피시험기기와 결합시켜 측정하였다.

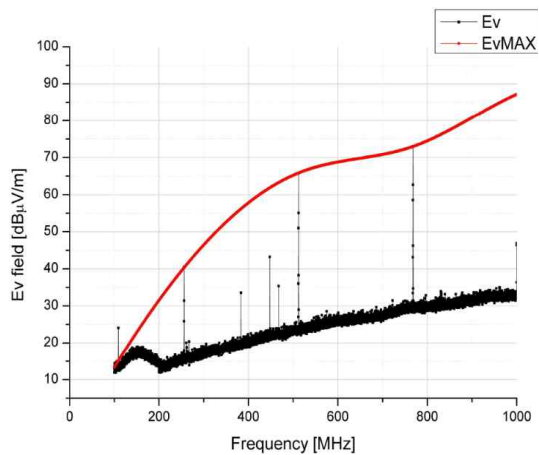


그림 9. 야외시험장에서 측정된 수직 편파의 최대 전계 강도
 Fig. 9. Measured maximum E-field strength for vertical polarization at OATS.

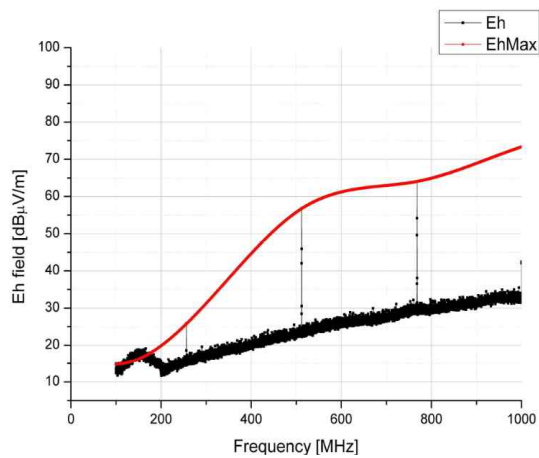


그림 10. 야외시험장에서 측정된 수평 편파의 최대 전계 강도
 Fig. 10. Measured maximum E-field strength for vertical polarization at OATS.

측정한 데이터를 큐빅 스플라인(Cubic Spline) 보간 함수를 이용하여 최대 값을 커브 피팅(curve fitting)하였다.

3-2 완전 무반사실의 측정

전자파 완전 무반사실에서 측정은 수신 안테나와 피시험기 사이의 거리를 3 m 간격을 두고 측정하였다. 피시험기기는 테이블의 정면에 위치하도록 설치하여 CISPR 16-2의 권고안을 만족하도록 설치하

였다. 본고에서 측정된 완전 무반사실은 현대교정인 증기술원(HCT)의 시험장으로서 바닥과 벽면에 흡수체가 있다.

수신 안테나를 통하여 수신된 신호는 스펙트럼 분석기를 통하여 전계 강도로 나타난다. 수신된 전계 강도는 케이블 손실과 앰프에 의한 이득, 수신 안테나 인자를 고려해야 한다. 따라서 전계 강도는 식 (13)으로 나타낼 수 있다^[9].

$$E_{dB\mu V/m} = E_{read} + L - G - AF_{dB(1/m)} \quad (13)$$

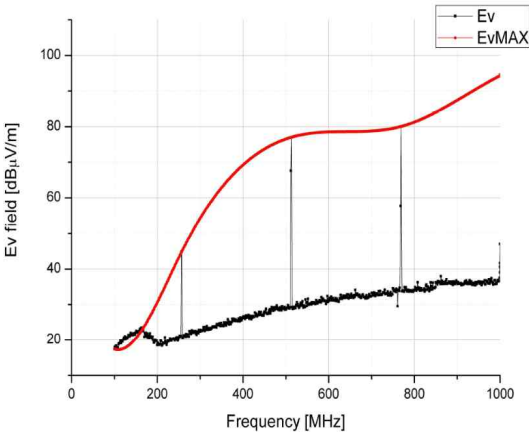


그림 11. 완전 무반사실에서 수직 편파의 최대 전계 강도

Fig. 11. Measured maximum E-field strength for vertical polarization in FAR.

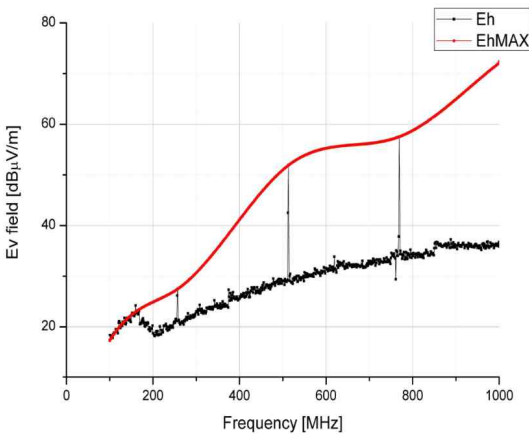


그림 12. 완전 무반사실에서 수평 편파의 최대 전계 강도

Fig. 12. Measured maximum E-field strength for horizontal polarization at OATS.

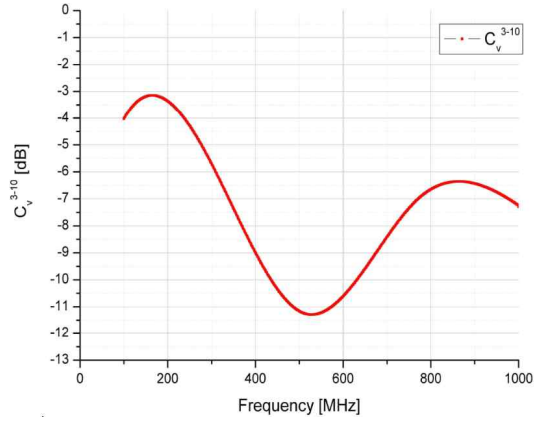


그림 13. 야외시험장과 완전 무반사실의 실험적 수직 편파의 상관계수

Fig. 13. Experimental the 3 m-FAR to 10 m-OATS correlation factors for vertical polarization.

E_{read} : 스펙트럼 분석기를 통해 측정된 전계 강도

L : 케이블에 의한 감쇠량

G : 앰프에 의한 이득

$AF_{dB(1/m)}$: 안테나 인자

CISPR/A/665/DTR의 알고리즘을 이용하여 1 GHz 이하에서 10 m 야외시험장/반 무반사실과 3 m 완전 무반사실의 상관계수를 구하였다. 측정된 전계 값을 바탕으로 상관계수를 구하여 그래프로 나타내면 그림 13, 14와 같다. 수직 성분의 상관계수는 $-3 \sim -11.5$ dB로 평균값이 -7.4 dB임을 확인하였다. CI-

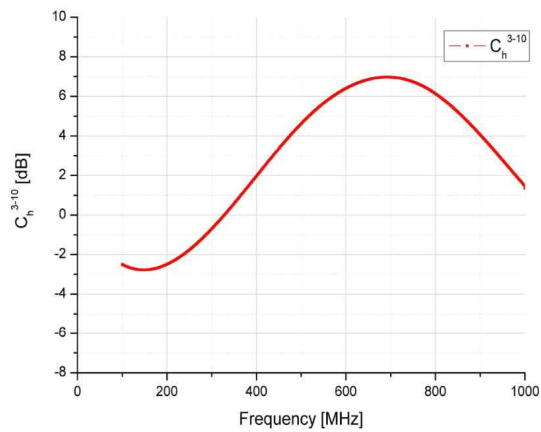


그림 14. 야외시험장과 완전 무반사실의 실험적 수평 편파의 상관계수

Fig. 14. Experimental the 3 m-FAR to 10 m-OATS correlation factors for horizontal polarization.

PSR 표준 문서와 약 2.4 dB의 차이를 나타내고 있다. 수평 성분의 상관계수는 -3~7 dB로 평균 값이 2.94 dB로 계산되었다. 표준 문서의 -5 dB와 7.94 dB의 큰 차이를 보이고 있다.

IV. 다중 소스원에 대한 상관계수

동일한 피시험기더라도 수직 편파와 수평 편파의 상관계수는 다른 값을 가지고 있다. 그리고 기준에 도출된 상관계수는 단일 소스 원 혹은 단일 피시험기에 의해 얻어진 값이기 때문에 모든 피시험기에 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서 다양한 소스 형태의 다양한 피시험기에 의한 통계적 방법으로 접근하여 상관계수를 구하고, 임의의 피시험기에 적용하는 것이 더 바람직하다.

본 논문에서는 임의의 피시험기를 가정하므로, 임의의 피시험기를 표현할 수 있는 소스원과 각 소스원의 위치 좌표가 필요하다.

모든 복사 방출원은 미소 전기 다이폴과 미소 자기 다이폴로 근사화할 수 있으므로 피시험기 안에 모든 형태의 복사 방출원을 적용하여 모델링하였다 [10]~[12]. 또한 이 6개의 소스원의 형태가 임의대로 위치할 수 있기 때문에 임의대로 생성된 좌표를 이용하여 소스원의 위치를 변경한다.

그림 16은 6개의 임의의 좌표에 6개의 소스 타입을 적용하여 임의의 피시험기를 설정한 것이다.

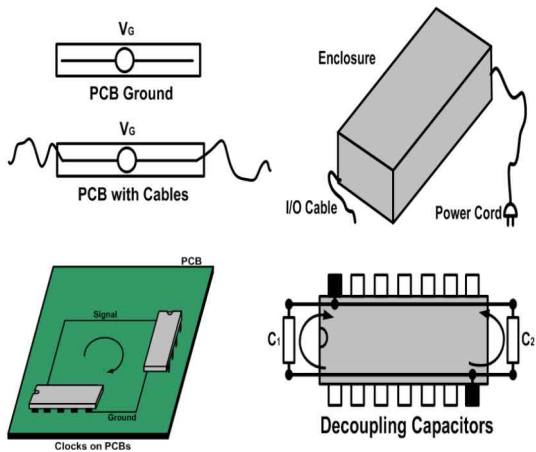
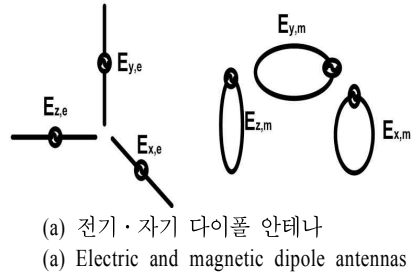
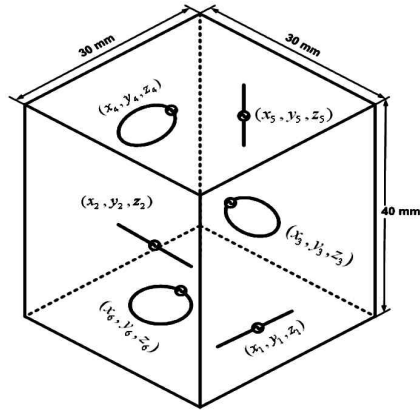


그림 15. 전기·자기 다이폴 안테나 형태의 피시험기
Fig. 15. EUT types of electric and magnetic antennas.



(a) 전기·자기 다이폴 안테나
(a) Electric and magnetic dipole antennas



(b) 6개의 임의의 좌표에 6개의 소스 타입을 갖는 피시험기 모델링
(b) Modeled EUT with source types of six at six random points

그림 16. 다중 소스원을 갖는 피시험기의 모델링
Fig. 16. Modeled EUT with multi sources.

야외시험장과 완전 무반사실의 상호 연관성을 비교 계산하기 위하여 CISPR/A/665/DTR의 내용을 기초로 하여 두 시험장 간의 상관 계수를 구하였다. MATLAB 프로그램을 이용하여 단일 소스 원이 아닌 다중소스 원에서의 상관계수를 계산하였으며, 다중 소스 원의 합에 대한 방법으로 모든 소스원을 고려한 방법을 사용하였다. 계산 방법은 식 (14)와 같다.

$$E_v = \frac{1}{3}(E_{y,e} + E_{z,e} + E_{y,m}) \quad (14a)$$

$$E_h = \frac{1}{3}(E_{x,e} + E_{x,m} + E_{z,m}) \quad (14b)$$

피시험기에서 임의의 좌표에 놓이게 되는 6개의 소스 형태는 서로 겹치지 않고 각각 서로 다른 좌표에 있다는 가정하에 하나의 좌표마다 총 720가지의 경우의 수가 나오게 된다. 3개의 임의대로 생성된 좌표를 사용하여 통계 처리하였으며, 소스원으

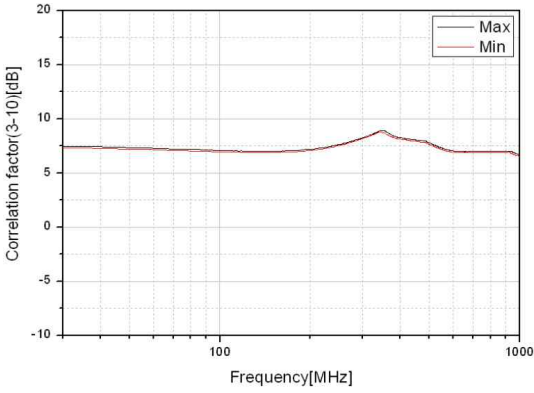


그림 17. 다중 소스원을 갖는 피시험기의 수직 편파 상관계수의 최대·최소
 Fig. 17. Calculated max. and min. correlation factors from the EUT with multi sources for vertical polarization.

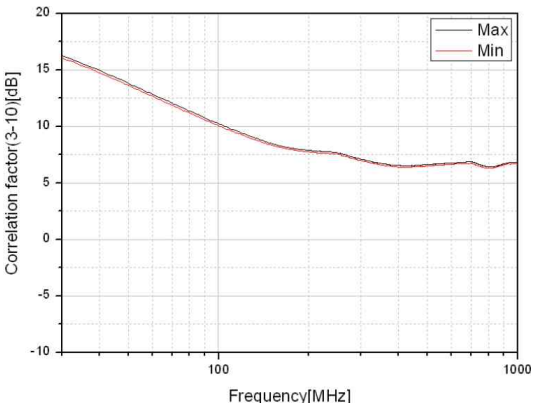


그림 18. 다중 소스원을 갖는 피시험기의 수평 편파 상관계수의 최대, 최소
 Fig. 18. Calculated max. and min. correlation factors from the EUT with multi sources for horizontal polarization.

로 모델링되어진 6개의 안테나 사이의 커플링은 고려하지 않는다.

그림 17, 18에서 상관계수의 최대, 최소값은 수직 편파는 최대 0.20681 dB 차이를 보이고, 수평 편파는 최대 0.18815 dB 차이를 보이고 있다.

V. 완전 무반사실의 허용 기준

CISPR 22 문서에는 10 m 야외시험장에서의 복사 방출 허용 기준에 관하여 명시되어 있다^[7]. 1 GHz 이하의 Class B 제한은 표 1과 같다.

표 1. 10 m 야외시험장에서 class B 복사 방출 허용 기준

Table 1. Limits for radiated disturbance of class B ITE at measuring 10 m-OATS.

Frequency range (MHz)	Quasi-peak limits dB(μ V/m)
30 to 230	30
230 to 1,000	37

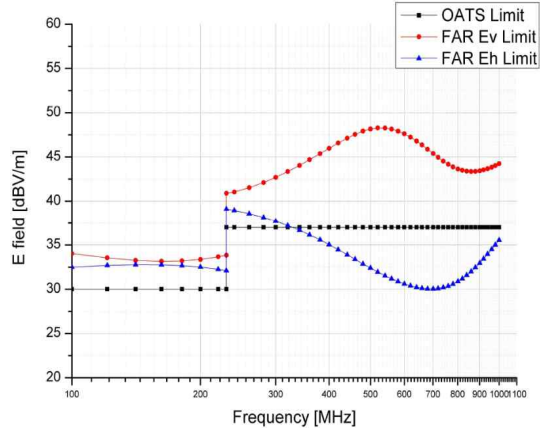


그림 19. 완전 무반사실의 수직 편파와 수평 편파의 실험적인 허용 기준

Fig. 19. Experimental limits of vertical and horizontal polarization in FAR.

5-1 실험적인 상관계수에 의한 허용 기준

CISPR/A/665/DTR의 알고리즘을 적용하여 완전 무반사실의 허용 기준을 정의하기 위해서는 통계적 절차에 따른 야외시험장과 완전 무반사실의 불확실도를 고려해야만 한다. 그러나 측정의 횟수가 한 번만 이루어졌기 때문에 본고에서는 불확실도가 고려되지 않은 상관계수를 이용하여 복사 방출 허용 기준에 관하여 정의하였다. 그림 19는 수직, 수평 상관계수를 고려한 완전 무반사실의 허용 기준이다.

수직 편파가 수평 편파에 비하여 더 높은 허용 기준이 필요함을 알 수 있다. 따라서 1 GHz 이하에서 완전 무반사실의 허용 기준은 수직 편파의 허용 기준을 따라야 한다.

5-2 다중 소스원에 대한 허용 기준 제안

다중 소스 원에 대한 상관 계수 중 최대와 최소 상관계수의 중간 값을 이용하여 복사 방출 허용 기

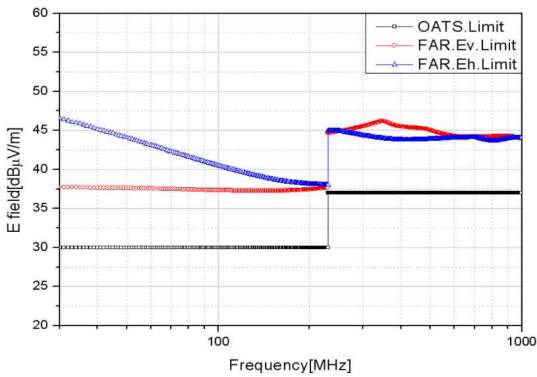


그림 20. 완전 무반사실의 다중 소스에 의한 수직 편파와 수평 편파의 허용 기준

Fig. 20. Calculated limits of vertical and horizontal polarization from the EUT with multi sources in FAR.

준에 관하여 정의하였다.

그림 20은 수직 상관계수와 수평 상관계수를 고려한 다중 소스 원에 대한 완전 무반사실의 허용 기준이다.

VI. 결 론

국제 표준안에 제시된 야외시험장과 완전 무반사실 간의 이론적 복사 방출 특성에 대한 상관계수를 도출하였다. 시뮬레이션을 통해 최적화된 피시험기를 제작하여, 이를 이용해 각각의 시험장에서 측정을 하여 측정된 데이터를 토대로 CISPR 표준의 알고리즘을 적용하여 상관계수를 도출하였다. 이 도출된 상관계수를 이용하여 단일 소스원 또는 다중 소스원을 갖는 피시험기에 대한 허용 기준을 제안하기 위해 연구하였다. 다중 소스 원에 대한 완전 무반사실의 허용 기준을 CISPR 표준 규격에서 정의한 야외시험장에서의 허용 기준에 적용하여 새롭게 정의하였다.

연구 결과는 앞으로 3 m 완전 무반사실(FAR)과 10 m 야외시험장(OATS) 사이의 허용 기준에 대한 기본적인 자료로 활용되리라 사료되며, 완전 무반사실을 활용하여 복사 방출 시험을 수행하는데 적용할 수 있는 허용 기준으로 이용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 안형배, 주정은, 이황재, 강대현, 이종악, "야외시

험장과 전자파 완전 무반사실과의 상관성", 한국 전자과학회논문지, 13(8), pp. 843-849, 2002년 9월.

[2] M. J. Alexander, National Physical Laboratory, "Development of new measurement methods of EMC characteristics in smaller relatively inexpensive fully anechoic rooms", *Draft FAR Project Final Technical Report SMT4-CT96-2133*, 2000.

[3] CISPR/A/665/DTR CISPR 16-4-5 Ed. 1, "Conditions for the use of alternative test methods", IEC, May 2006.

[4] CISPR/A/699/INF, "Comparison of field strength measurements in a SAC and FAR", IEC, Aug. 2006.

[5] Tae-Weon Kang, "Extrapolation and correlation in radiated emission measurements and uncertainty in EMC measurements", *Pohang University of Science and Technology*, Korea, pp. 5-14, Oct. 2000.

[6] CISPR/A/603/CD, "Conditions for the use of alternative test methods", IEC, Oct. 2005.

[7] CISPR 22 Edition 5.2, "2005 consolidated with amendment 1, 2005 and 2006 Information technology equipment radio disturbance characteristics limit and methods of measurement", IEC, Mar. 2006.

[8] CISPR 16-2, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods, Part 2: Methods of measurement of disturbances and immunity", IEC, International Special Committee on Radio Interference", Aug. 1999.

[9] Tea Won 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, Apr. 2000.

[10] I. Sreenivasiah, D. C. Chang, and M. T. Ma, "Emission characteristics of electrically small radiating sources from tests inside a TEM cell", *IEEE Tans. Electromagn. Compat.*, vol. 23, no. 3, pp. 113-121, Aug. 1981.

[11] J. D. Gavenda, "Effects of electromagnetic source type and orientation on signal falloff with distance", *IEEE Intl. Symp. Electromagn. Compat.*, At-

lanta, GA, pp. 338-341, Aug. 1987.

[12] J. D. Gavenda, "Rate of fall-off of the magnetic fields produced by magnetic and electric dipoles",

IEEE Intl. Symp. Electromagn. Compat., Wakefield, MA, pp. 338-342, Aug. 1985.

이 순 용



2006년 2월: 서경대학교 정보통신 공학과 (공학사)
2006년 3월~현재: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 석·박사 통합과정
[주 관심분야] EMI/EMC, 수치 해석, 안테나 설계

최 재 훈



1980년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1986년: 미국 Ohio State University 전기공학과 (공학석사)
1989년: 미국 Ohio State University 전기공학과 (공학박사)
1989년~1991년: 미국 Arizona State University 연구교수
1991년~1995년: 한국통신위성사업단 연구팀장
1995년~현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수
[주 관심분야] 안테나 및 마이크로파 회로 설계, EMC

정 연 춘



1984년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학사)
1986년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학석사)
1999년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
1985년 12월~2001년 5월: 한국표준과학연구원 전자기환경그룹 책임연구원, 그룹장
2000년 3월~2001년 2월: Univ. of York, Visiting Academics
2001년 6월~2002년 2월: (주)익스팬전자 중앙연구소장
2002년 3월~현재: 서경대학교 전자공학과 교수
2005년 6월~2008년 11월: 한국전파진흥협회 EMC 기술지원센터 센터장(겸임)
[주 관심분야] EMI/EMC 측정 및 대책 기술, 전자파 재료