

GTEM 셀과 전자파 반-무반사실 사이의 상관관계 알고리즘 비교 · 분석

Comparison of Correlation Algorithms between GTEM Cell and Semi-Anechoic Chamber

권 종 화 · 이 애 경 · 최 형 도

Jong-Hwa Kwon · Ae-Kyoung Lee · Hyung-Do Choi

요 약

본 논문에서는 GTEM 셀을 이용하여 복사장을 예측하는 알고리즘 중 대표적인 두 가지 기법인 3 방위와 15 방위 기법에 대해 전자파 반-무반사실에서 측정된 결과와의 상관관계를 통계적으로 검증하였다. 그리고 이론적인 다이폴 모델에 대해 이 두 가지 기법을 적용하여 접지면상의 복사장을 구하고 그 값을 이론치와 비교하였다. 두 알고리즘을 이용한 결과와 전자파 반-무반사실 측정 결과는 상관계수가 모두 0.8 이상으로 높은 상관성을 가짐을 확인할 수 있고, 기존 3 방위 기법에 의해 계산된 값은 전자파 반-무반사실 혹은 15 방위 기법보다 높게 계산됨을 이들 결과로부터 알 수 있었다.

Abstract

This paper statistically verifies two correlation algorithms by comparing the data of GTEM cell to those of semi-anechoic chamber (SAC). Correlation algorithms considered in this paper are 3 and 15 position methods, which simulate the EMI test for an equipment under test (EUT) over the ground plane by using the radiated power from EUT located within GTEM cell. Also, the results obtained by two algorithms are compared with the theoretical values calculated from an ideal dipole model. From the results, it was found that the data obtained by two correlation algorithms and SAC have a strong correlation. In addition, the EMI data by 3 position method showed higher than those by 15 position method and SAC measurements.

Key words : correlation algorithm, GTEM cell, OATS(Open Area Test Site), SAC(Semi-Anechoic Chamber).

I. 서 론

EMC 복사 방출 시험을 위해 사용되는 기준 측정 시설은 야외시험장(OATS: Open Area Test Site)으로 전자파장해 측정을 위해서는 주변 전자파 잡음이 낮은 야외시험장이 가장 바람직하나, 근래 전자 기기 사용의 증가와 방송 · 무선통신 시스템의 다양화로 인한 인공 잡음의 증대로 적합한 부지의 선정

이 어렵고 설치 비용이 매우 크며, 날씨 변화에 따라 시험 계획이 변경될 수도 있는 단점이 있다. 전자파 반-무반사실(SAC: Semi-Anechoic Chamber, 이하 SAC라 함)은 대부분의 외부 전자파 잡음을 감쇠시키므로 야외시험장처럼 장소의 구애를 받지 않아, 도시나 제품 생산지 가까이에 설치 운용이 가능하나 역시 큰 설치 공간과 많은 시설 유지 비용을 필요로 하며, 저주파 대역에서는 반사에 의한 공진을

한국전자통신연구원 전파기술연구부(Radio Technology Department, ETRI)

· 논문 번호 : 20011012-143

· 수정완료일자 : 2001년 12월 26일

완전히 제거할 수 없어 성능이 떨어진다. 또한 이러한 측정 시설은 피시험기기 주변 공간에서 안테나에 의한 측정으로 인해 시간이 많이 소요되는 단점을 가지고 있다.

기존 시설의 단점을 보완하기 위해 고안된 형태가 스위스 ABB사에서 1980년 대 중반에 고안된 GTEM (Giga-hertz Transverse Electromagnetic) 셀이다. GTEM 셀은 TEM 셀이 가지고 있는 한계점인 사각뿔 형태로 좁아지는 종단(tapered termination)으로 인한 반사를 극복하기 위해 TEM 셀의 한 쪽 단을 분포 저항과 전자파 흡수체를 사용하여 저주파 대역에서 50 Ω 부하와 같이 동작하고, 고주파 대역에서는 흡수체가 무반사실에서와 같이 입사파를 감쇠시켜 고주파 대역까지 EMI/EMS 측정이 가능하다.^[1] 그러나 GTEM 셀에서의 EMI 예측은 야외시험장이나 SAC에서와 같이 안테나를 이용한 최대 전기장 값을 측정하는 것과는 달리 피시험기기에서 복사되어 출력단으로 전달되는 전력을 가지고 야외시험장의 전기장 값을 추출하는 계산 과정을 거친다. 따라서 GTEM 셀이 EMI 측정 시설로 사용되기 전까지는 야외시험장과 동일한 형태의 결과를 추출할 수 있도록 적당한 알고리즘을 이용하여야 한다. 현재 미국의 국립표준기술원(National Institute of Standards and Technology)에서 제시한 3 방위^[2] 기법이 국제 규격으로 제안되고 있으며, 6/9 방위^[2], 12 방위^[1] 그리고 15 방위^{[3],[4]} 기법 등의 상관관계 알고리즘이 제안되고 있다.

본 논문에서는 GTEM 셀을 이용하여 복사장을 예측하는 알고리즘 중 대표적인 두 가지 기법인 3 방위와 15 방위 기법에 대해 전자파 반-무반사실에서 측정한 결과와의 상관관계를 통계적으로 검증하였다. 그리고 이론적인 다이폴 모델에 대해 이 두 가지 기법을 적용하여 야외시험장의 복사장을 구하고 그 값을 이론치와 비교하였다.

II. 복사전자파 예측 알고리즘

기본적으로 상관관계 알고리즘은 GTEM 셀 내의 피시험기기를 적절하게 회전시키면서 복사되는 전력을 셀의 출력단에서 측정하고, 측정된 정보를 이용하여 피시험기기를 등가 다이폴로 모델링하고, 등

가 다이폴의 크기와 상대적인 위상차를 이용하여 자유공간 혹은 접지면상에서의 전기장 분포를 계산하는 방법을 이용한다. 즉, 얻어진 피시험기기에 대한 등가 다이폴에 대한 정보를 이용하여 접지면상에서의 복사 전자파를 모의한다. 그림 1은 GTEM 셀과 전력수신기, 그리고 GPIB 케이블을 이용한 복사 전자파 측정 시스템 배치를 나타낸다.

일반적으로 전기적으로 작은 피시험기기가 TEM 셀 혹은 GTEM 셀과 같은 도파관 내에 존재할 때 피시험기기는 셀의 출력단에서 측정된 전력을 이용하여 동일한 복사 패턴 혹은 전자기장 분포를 발생시키는 등가 직교의 전기 및 자기 다이폴 모멘트(equivalent orthogonal electric/ magnetic dipole moment)로 모델링 할 수 있다.^{[5]-[7]}

GTEM 셀 내의 측정 영역에 동작중인 피시험기기를 위치시키고, 기기로부터 발생되어 셀의 출력단에서 측정되는 전력을 $\frac{1}{4}|e_m(o)|^2$ 로 정규화 시킨 식^[14]은 다음과 같다.

$$|\hat{a}_n|^2 = |P_y e^{j\psi_n} - jk_0 M_x e^{j\psi_m}|^2 \quad (1)$$

여기서, $e_m(o)$ 는 단위 전력이 GTEM 셀에 인가되었을 때 피시험기기가 위치한 지점에서의 기본 모드(fundamental mode)의 전계의 수직 성분(y 성분)이고, k_0 는 자유공간에서의 전파 상수이다. P_y 와 ψ_n 는 피시험기기의 등가 전기 다이폴 모멘트 \mathbf{P} 의 y성분에 대한 크기와 위상을 나타내며, M_x 와 ψ_m 는 등가 자기 다이폴 모멘트 \mathbf{M} 의 x성분에 대한 크기와 위상을 나타낸다.

본 논문에서 논의되는 3 방위 및 15 방위 상관관계 알고리즘을 적용하기 위해 피시험기기를 GTEM

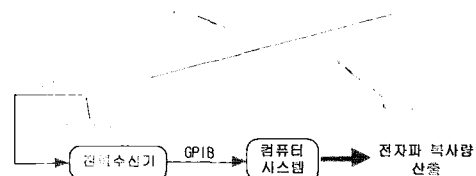


그림 1. GTEM 셀을 이용한 측정 시스템
Fig. 1. Measurement system using GTEM cell.

셀을 이용하여 EMI를 측정하는 방법은 다음과 같다.

GTEM 셀의 좌표축 (x, y, z)은 셀의 종단 방향을 +z로, 셀의 수직 방향을 +y로 설정하고, 피시험기기의 좌표축 (x', y', z')을 임의로 지정한다. 그리고 GTEM 셀의 좌표축과 피시험기기의 좌표축을 동일하게 두고(xx'-yy'-zz') 각 알고리즘에 따라 필요한 회전각에 대해 피시험기기를 셀의 y축을 중심으로 각도 ϕ_n 만큼 회전시키면서 전력을 측정한다. 다음으로 GTEM 셀의 좌표계와 피시험기기의 좌표축을 다르게 놓은 상태, 즉 (xy'-yz'-zx'), (xz'-yx'-zy')로 설정하고 (xx'-yy'-zz') 경우와 같은 방법으로 셀의 수직 방향을 중심으로 피시험기기를 회전시키며 측정한다.

3 방위 알고리즘의 경우에는 셀과 피시험기기 사이의 좌표축 조합, 즉 (xx'-yy'-zz'), (xy'-yz'-zx') 그리고 (xz'-yx'-zy')에 대해 $\phi_n=0$ 에서 측정된 전력, 즉 Q_0^x , Q_0^y 와 Q_0^z 을 사용하여 등가 다이폴 모멘트의 크기에 대한 정보를 얻을 수 있다. 그리고 얻어진 다이폴의 정보와 다음 식을 이용하여 피시험기로부터의 총 복사 전력(total radiated power), P_0 을 계산한다.^{[2],[5]}

$$P_0 = 10k_0^2 \{Q_0^{x'} + Q_0^{y'} + Q_0^{z'}\} \quad (2)$$

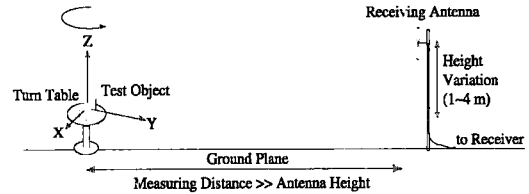
GTEM 셀에서 직접 측정된 총 복사 전력은 자유공간 혹은 접지면상에서의 원역장 분포 계산에 이용될 수 있다. 여기서 피시험기기를 전기적으로 매우 작다고 가정하였으므로 피시험기기의 중심에 등가 다이폴이 존재한다고 생각하여 원역장에서의 전계 분포를 다음과 같이 간단히 예측할 수 있다. 즉, 그림 2과 같은 접지면상에 놓은 전기적으로 작은 다이폴 모멘트에 의한 원역장 전계 분포는 영상 이론(image theory)을 이용하면 다음 식 (3) 및 (4)와 같이 전기장의 수평성분 (E_h)과 수직성분 (E_v)을 간단히 예측할 수 있다.^[2]

$$E_h = 30 \left(\frac{P_0}{10} \right)^{1/2} \left[\frac{e^{-jk_0 R_1}}{R_1} - \frac{e^{-jk_0 R_2}}{R_2} \right] \quad (3)$$

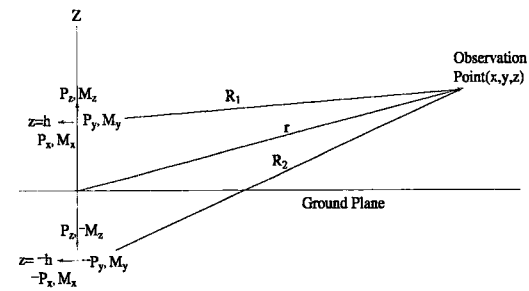
$$E_v = 30 \left(\frac{P_0}{10} \right)^{1/2} \left[\frac{x^2 e^{-jk_0 R_1}}{R_1^2} - \frac{x^2 e^{-jk_0 R_2}}{R_2^2} \right] \quad (4)$$

여기서 그림 2에 나타난 바와 같이 R_1 과 R_2 는 실제 다이폴 모멘트와 영상 소스(image source)로부터 관측점까지의 거리를 나타낸다.

15 방위 알고리즘의 경우에는 3 방위와 마찬가지로 (xx'-yy'-zz')에서 셀의 수직 방향, 즉 y축에 대해 반시계 방향으로 ϕ_n 를 각각 0, $\pi/4$, $\pi/2$, π , 그리고 $3\pi/4$ 만큼 회전시켰을 때 출력단에서 얻게 되는 전력 값을 이용하여 다이폴 모멘트의 크기와 상대적인 위상 차이에 대한 정보를 얻고, 이로부터 피시험기기에서 복사되는 전자파의 수직 성분을 계산한다. 마찬가지로 수평 성분의 경우에는 (xy'-yz'-zx')와 (xz'-yx'-zy')에서 수직 성분 계산과 같이 y축을 중심으로 반시계 방향으로 피시험기기를 0, $\pi/4$, $\pi/2$, π , 그리고 $3\pi/4$ 로 회전시키며 출력단에서의 전력을 측정하여 필요한 정보를 얻어 계산할 수 있다. 15 방위 알고리즘에 의해 얻어진 다이폴 모멘트에 대한 정보로부터 접지면상에서의 전기장의 수직 및 수평



(a)



(b)

그림 2. 접지면 상에서 EMI 측정

(a) 전자파장해 측정 구성도

(b) 영상 소스를 고려한 등가 모델

Fig. 2. Measurement over ground plane.

(a) EMI measurement configuration.

(b) Equivalent model using image source.

성분 계산은 참고문헌 [3]의 식 (6)과 (7), 그리고 표 1을 이용하여 얻을 수 있다.

Ⅲ. 측정 결과

GTEM 셀을 이용한 EMI 측정 기법인 3 방위 및 15 방위 알고리즘의 비교 검증을 위해 본 논문에서 사용된 피시험기기는 전력선(power cable)을 이용하는 Laptop Computer이다.

실험에 사용된 GTEM 셀은 당 연구소에서 제작된 것으로 피시험기기가 놓이는 위치에서의 Septum까지의 높이가 약 1 m 이고, 1 GHz 이하의 주파수 대역에서 상용 GTEM 셀과 유사한 1.5 이하의 VSWR을 가진다.^[3] 전자파 반-무반사실에서의 측정 은 30~300 MHz 대역에서 Biconical[BBA 9106, Schwartzbeck MessElektronik] 안테나를 사용하였으며, 안테나는 피시험기기와 3 m 거리에서 높이 1~4 m에 대해 10 cm 단위로 변화시키고 피시험기기를 회전시키면서 수평 및 수직 성분에 대해 복사 전기장 값을 측정하였다. 이때 측정 영역에 대해 피시험기기와 안테나를 공간적으로 스위프(sweep)하면서 스펙트럼 분석기의 Max-hold 기능을 이용하여 최대 전자장 값을 측정하였다.

Laptop Computer에 대해 3 방위 및 15 방위 알고리즘을 이용하여 GTEM 셀에서 측정된 전력을 가지고 야외시험장에서의 측정과 동일한 조건으로 모의하여 얻어진 최대 전자장 값과 SAC에서 측정된 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 두 측정 시설의 잡음층(Noise Floor)이 다르기 때문에 GTEM 셀에서 측정된 결과 중 피시험기기로 부터 발생되었을 것으로 생각되는 성분들이 SAC에서는 나타나지 않는 것도 있다.

실험 결과를 보다 정확하게 해석하기 위해 GTEM 셀과 SAC에서 측정된 값들 중에서 잡음층에 비해 약 4~5 dB 이상 높은 값을 갖는 데이터 만을 선택하여 통계적 기법에 적용하였다. 상기 조건을 만족하는 성분을 선택하여 그림 3에서 기호 'O'로 표시하였고, 선택된 주파수에 대해서 3방위, 15 방위, SAC 측정 결과, 그리고 각 GTEM 알고리즘에 의한 결과와 SAC 측정 결과와의 차를 표 1에 나타내었다.

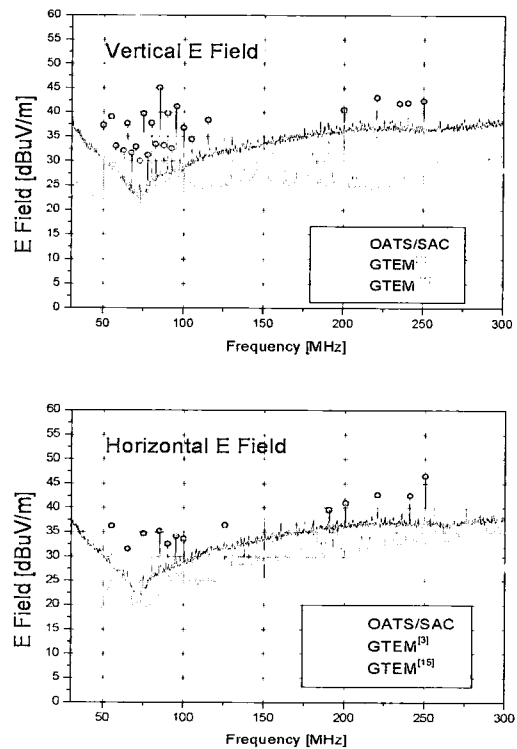


그림 3. 3 방위 및 15 방위 알고리즘 계산 결과와 반-무반사실 측정 결과

Fig. 3. SAC measurement results and data obtained by using 3 and 15 position methods.

한편, 두 알고리즘과 SAC에서의 측정 결과 사이의 상관성을 분석하기 위해 표 1의 두개의 차(difference)에 대한 값의 평균(mean) 및 표준편차(standard deviation), 그리고 선형 상관 계수(Pearson's r)^[8]를 구하여 표 2에 나타내었다. 표 2에서 3 방위 기법과 SAC 측정 결과의 차(GTEM[3]-SAC)에 대한 평균은 수직 및 수평 성분이 각각 +1.715 dB 및 +2.518 dB로 3 방위 기법을 이용한 결과가 SAC의 측정치보다 높게 나타났다.

일반적으로 선형 상관 계수 r은 ±1 사이의 값을 가지며 +1에 가까울수록 상관성이 매우 높다. 따라서 표 2에서 확인할 수 있듯이 수직 및 수평 성분의 상관계수가 3 방위 알고리즘은 0.864, 0.867이고, 15 방위 알고리즘은 각각 0.871, 0.913으로 두 알고리즘 모두 SAC 측정 결과와 상관 정도가 매우 높음을 알 수 있다. 또한, 작은 차이가 나기는 하지만 3 방위

표 1. GTEM 셀과 SAC 결과

Table 1. Results of GTEM cell and SAC.

주파수 [MHz]	SAC [dB(V/m)]	GTEM [3] [dB(V/m)]	GTEM [15] [dB(V/m)]	GTEM [3]-SAC [dB]	GTEM [15]-SAC [dB]
수직성분[Vertical E Field]					
44.85	33.850	34.168	34.340	0.318	0.490
49.71	37.400	36.599	34.430	-0.801	-2.970
54.84	35.900	39.235	38.960	3.335	3.060
59.97	31.761	32.042	31.930	31.930	0.169
62.40	30.150	32.216	32.120	2.066	1.970
64.83	37.750	35.291	38.500	-2.459	0.750
67.53	31.283	35.427	32.100	4.144	0.817
69.96	32.883	32.158	30.468	-0.725	-2.415
72.39	29.050	31.792	29.969	2.742	0.919
75.09	38.700	41.314	39.273	2.614	0.573
77.52	31.279	34.040	31.350	2.761	0.071
79.95	37.809	40.761	36.820	2.952	-0.989
82.38	33.400	33.940	33.290	0.540	-0.110
85.08	45.094	46.276	43.200	1.182	-1.894
89.94	39.894	42.576	39.960	2.682	0.066
95.07	41.342	42.706	39.660	1.364	-1.682
99.93	36.692	34.115	37.240	-2.577	0.548
105.06	34.556	38.842	34.720	4.286	0.164
115.05	38.631	42.246	38.310	3.615	-0.321
125.31	32.100	35.336	34.177	3.236	2.077
200.64	36.075	40.148	40.600	4.073	4.525
220.62	37.308	43.245	40.300	5.937	2.992
235.20	39.821	42.091	39.770	2.270	-0.051
240.33	41.147	42.062	42.190	0.915	1.043
250.32	42.447	40.561	37.075	-1.886	-5.372
수평성분[Horizontal E Field]					
54.84	32.200	35.355	36.629	3.155	4.429
64.83	28.650	29.610	29.893	0.960	1.243
75.09	27.250	34.676	32.494	7.426	5.244
85.08	35.494	32.591	34.510	-2.904	-0.984
85.35	27.339	29.072	25.958	1.733	-1.381
89.94	32.644	34.310	32.500	1.665	-0.144
95.07	34.292	33.059	34.830	-1.233	0.538
170.4	34.765	39.438	37.800	4.672	3.035
175.26	38.290	41.832	39.190	3.541	0.900
175.53	35.606	39.865	35.390	4.259	-0.216
240.33	40.897	42.851	41.960	1.954	1.063
250.32	42.897	46.782	43.440	3.885	0.543

기법에 비해 15 방위 기법이 실측치와 보다 높은 상관성을 갖는 것으로 나타나고 있다. 이는 3 방위 기법의 경우 피시험기기에 대한 등가 다이폴 모델에

서 모멘트의 크기만을 고려하는 반면, 15 방위 기법의 경우 다이폴 모멘트 성분들 사이의 상대적인 위상 차이를 포함하여 고려하기 때문으로 생각된다.

표 2. Laptop Computer에 대한 GTEM 셀-SAC 상관관계

Table 2. Correlation for Laptop Computer between GTEM cell and SAC.

성분	구분	평균[dB] (Mean)	표준편차 [dB] (Standard Deviation)	상관 계수 (Pearson's r)
수직 성분	GTEM[3]-SAC	1.715	2.171	0.864
	GTEM[15]-SAC	0.177	2.013	0.871
수평 성분	GTEM[3]-SAC	2.518	2.540	0.867
	GTEM[15]SAC	1.117	1.095	0.913

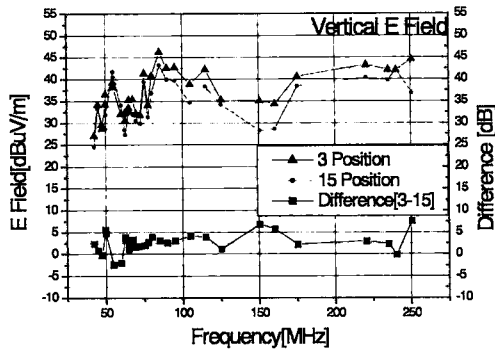


그림 4. GTEM 셀을 이용한 복사장에 대한 3 방위 및 15 방위 비교

Fig. 4. Comparison of EMI results using 3 and 15 position methods.

그림 4에서는 3 방위와 15 방위 알고리즘을 이용하여 Laptop Computer[30~300 MHz]에 대해 GTEM 셀에서 측정된 결과를 직접 비교하였다. 이 결과에서 볼 수 있듯이 3 방위 결과가 15 방위 결과보다 높게 나왔으며, 낮은 주파수보다는 높은 주파수에서, 수직 성분에서보다는 수평성분에서 높은 값이 나올 수 있다. 이는 표 2의 결과와도 대체로 유사한 경향을 나타낸다.

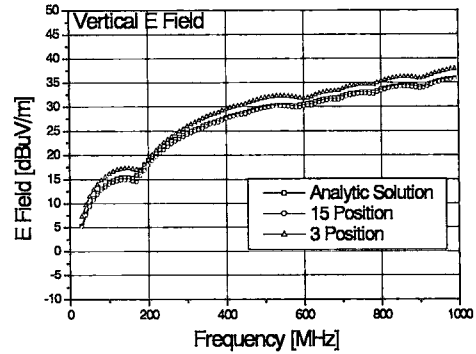


그림 5. 복사장 모의 결과

Fig. 5. EMI simulated data.

GTEM 셀을 이용한 EMI 측정에서 피시험기에 연결된 케이블의 배치, SAC에서 흡수체에 의한 반사 효과 등 측정에 관련된 불확정도를 배제한 상태에서 3 방위 및 15 방위 상관관계 알고리즘 자체에 대한 정확성을 알아보기 위해, 전기 및 자기 다이폴의 크기를 $P_x=P_y=P_z=10^{-7}$ 과 $k_0M_x=k_0M_y=k_0M_z=10^{-7}$ 로 정하고, 이때 다이폴의 위상은 모두 동일하다고 가정하여 3 방위 기법, 15 방위 기법 그리고 Collin^[7]의 이론적인 수식을 이용하여 계산하고 그 결과를 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 볼 수 있듯이 15 방위 기법은 수직 성분의 경우 이론치와 거의 유사하며, 수평 성분에 대해서는 최대 2 dB 정도 차이가 남을 볼 수 있다. 반면 3 방위 기법의 경우 수직 및 수평 성분 모두 관심 주파수 대역에서 실제 값보다 큰 값을 가지며, 특히 수평 성분은 약 +3 dB 정도의 차이가 있음을 알 수 있다. 이것은 3 방위 기법이 15 방위 기법의 결과보다 전반적으로 높고, 이러한 경향은 수직 성분에서보다는 수평 성분에서, 그리고 주파수가 높아짐에 따라 더 큰 것으로 나타난 그림 4의 결과를 이론적으로 뒷받침한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 GTEM 셀을 이용하여 피시험기기의 복사장을 예측하는 상관관계 알고리즘 중 대표적인 두 가지 기법인 3 방위와 15 방위 기법에 대해 전자파 반-무반사실(SAC)에서 측정된 결과와의 상관관계를 통계적으로 검증하여, 두 알고리즘 결과와 SAC를 이용한 접지면상 측정 결과 사이에 높은 상관성을 가짐을 확인하였다. 한편, 현재 TEM 도파관을 이용한 전자파장해 측정과 관련하여 국제 규격으로 제시되고 있는 3 방위 기법에 의한 결과를 15 방위 기법 및 이론에 의한 결과와 비교하여, 3 방위 기법으로 얻어진 복사장의 수직 및 수평 성분이 실제 접지면상에서 전자장에 대한 이론식을 이용하여 얻어진 값보다 큰 값을 가지며, 특히 수평 성분인 경우 최대 +3 dB 정도의 차이가 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 3 방위 기법을 이용한 복사 전자장 측정 값이 15 방위 혹은 실제 결과보다 전반적으로 높게 계산됨을 알 수 있으며, 동일한 환경에서 수직 성분보다 수평 성분에서, 그리고 주파수가 높아짐에 따라 그 차이가 더 커짐을 확인할 수 있다.

따라서 현재 표준화 과정이 진행 중인 TEM 도파관을 이용한 EMI 측정에 대한 국제 규격⁹⁾에서 상관관계 알고리즘으로 3방위 알고리즘이 채택되는 경우 피시험기기의 전기적인 특성에 따라 차이가 있긴 하지만 실제 피시험기에서 복사되는 전자파보다 최대 +3 dB 이상 높게 나올 수 있으므로 실제 값에 가까우며, 측정 시간을 줄일 수 있는 보다 개선된 알고리즘이 필요할 것이다. 또한, 차후에는

EMI/EMC 대응측정 시설들간의 보다 정확한 상관관계 검증을 위해서는 일반 전자기기가 아닌 기저의 기준 전자파원(reference radiator)을 이용한 실험이 요구된다.

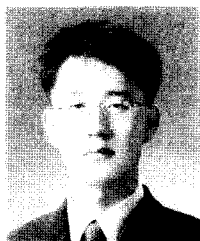
참 고 문 헌

- [1] P. Wilson, D. Hansen, and D. Koenigstein, "Simulating open area test site emission measurements based on data obtained in a novel broadband TEM cell", in *Proc. IEEE 1989 Nat. Symp. on Electromagn. Compat.*, Denver, CO, pp. 171-177, May 1989.
- [2] P. Wilson, "On Correlating TEM Cell and OATS Emission Measurements", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. EMC-37, no. 1, pp. 1-16, Feb. 1995.
- [3] A. K. Lee, "An advanced correlation algorithm between GTEM and OATS for radiated emission tests", *ETRI Journal*, vol. 17, no. 3, pp. 45-63, Oct. 1995.
- [4] A. K. Lee, "An algorithm for an advanced GTEM to ground plane correlation of radiated emission test", *IEEE Intl. Symp. Electromagn. Compat.*, Santa Clara, CA, pp. 58-62, 1996.
- [5] Mark T. Ma and Galen H. Koepke, "A method to quantify the radiation characteristics of an unknown interference source", *National Bureau Standards(now NIST)*, Boulder, CO., Tech. Note TN-1059, Oct. 1982.
- [6] Ippalapalli Sreenivasiah, David C. Chang, and Mark T. Ma, "Emission characteristics of electrically small radiating sources from tests inside a TEM cell", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. EMC-23, no. 3, pp.113-121, Aug. 1981.
- [7] R. E. Collin, *Field Theory of Guided Waves*, pp. 499-512, IEEE Press, New York, 1991.
- [8] William H. Press, Brian P. Flannery, Saul A. Teukolsky, and William T. Vetterling, *Numeric Recipes*, Cambridge University Press, 1986.

[9] *Committee Draft IEC 61000-4-20 CISPR/A/308/CD*, "IEC 61000-4-20: Electromagnetic Compatibility(EMC) - Part 4-20: Testing and mea-

surement techniques - Emission and immunity testing in transverse electromagnetic(TEM) waveguides", May 2001.

권 중 화



1994년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1999년 2월: 충남대학교 전파공학과 대학원 전파공학 전공 (공학석사)
1999년 1월 ~ 현재: 한국전자통신연구원 무선방송연구소 전파기

반연구부 연구원

[주 관심분야] 전자기 이론, EMI/EMC

이 애 경



1990년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
1999년 2월: 중앙대학교 전자공학과 대학원 (공학석사)
1992년 2월 ~ 현재: 한국전자통신연구원 무선방송연구소 전파기반연구부 선임연구원

[주 관심분야] EMC 현상의 이론적 해석, 전자파 인체 영향 등

최 형 도



1986년 2월: 고려대학교 재료공학과 (공학사)
1989년 8월: 고려대학교 재료공학과 대학원 (공학석사)
1996년 8월: 고려대학교 재료공학과 대학원 (공학박사)
1997년 1월 ~ 현재: 한국전자통신연

구원 무선방송연구소 전파기반연구부 선임연구원

[주 관심분야] EMI/EMC, 전자파 인체영향