

논문 2008-45TC-8-17

# 원통형 확산기를 사용한 전자파 잔향실내의 전기장 분포특성

## (The Characteristics of Electric Field Distributions in a Reverberation Chamber using Cylindrical Diffuser)

이 용\*, 이 중근\*\*

(Yong Lee and Joong Geun Rhee)

### 요 약

본 논문은 원통형 확산기를 사용한 전자파 잔향실내의 전기장 분포에 관하여 다루었다. 1~3 GHz 주파수 대역의 QRD(Quadratic Residue Diffuser)와 원통형 확산기(Cylindrical Diffuser)를 설계 후 각각의 전기장 분포 특성을 비교하였다. 전기장 분포 특성 및 전기장 균일도를 조사하기 위해 FDTD(Finite-Difference Time-Domain) 수치 해석 방법을 사용하였으며, 2 GHz에서 수치해석 결과 원통형 확산기를 사용하였을 경우 기존의 QRD를 사용한 경우에 비하여 표준편차와 공차는 각각 0.11 dB, 0.43 dB 개선되었고, 전기장 세기는 QRD의 36.6 dBmV/m보다 높은 43.2 dBmV/m로 나타났으며, 편파 특성 면에서도 QRD보다 개선되었음을 확인 할 수 있었다. 따라서 원통형 확산기를 사용한 전자파 잔향실이 소형 전자기기의 전자파 장애 및 복사 내성 측정을 위한 대응시험 시설로 사용될 수 있음을 확인하였다.

### Abstract

This paper presents an electric field distribution in a reverberation chamber using cylindrical diffuser. The characteristics of electric field distributions are compared with QRD(Quadratic Residue Diffuser) and cylindrical diffuser for 1~3 GHz frequency band. The FDTD(Finite-Difference Time-Domain) method is used to analyze the field characteristics, and the field uniformity. At 2 GHz, the standard deviation and the tolerance of test volume in the reverberation chamber are improved by 0.11 dB, 0.43 dB for the case of cylindrical diffuser. The field strength is increased by 43.2 dBmV/m vs QRD's of 36.6 dBmV/m. Comparing with QRD's, the characteristic of polarization is also improved. These results show that reverberation chamber using cylindrical diffuser can be used alternative facility for measurement of electromagnetic interference and immunity.

**Keywords :** Reverberation Chamber, QRD, Cylindrical Diffuser, Field Uniformity, Field Strength

### I. 서 론

점차 소형화, 고속화, 다기능화 되는 전기 전자 기기에서의 EMC (Electromagnetic Compatibility (전자기적 적합성))문제는 제품의 초기 설계 시 부터 고려되어야 하며<sup>[1]</sup> 제품화된 전기, 전자기기는 외부 전자기 환경으

로 부터 영향 받지 않으면서 자신도 다른 전기 전자 기기에 영향을 주지 않아야 한다. 기존의 EMC 시험평가는 일반적으로 전자파 무반사실(Anechoic Chamber)내에서 행해졌으나, 전자파 무반사실은 제작비용 및 유지 보수 측면에서 불리하고, 무엇보다 1 GHz 대역 이상의 주파수 측정이 불가능한데다, 균일 전기장 공간이 좁은 단점이 있다. 최근 1 GHz 이상의 주파수 대역의 측정을 위하여 폭넓은 연구가 이루어지고 있는 전자파 잔향실은 전자파 장애 및 복사 내성 측정을 위한 대응 시험 시설로서 사용가능하다는 연구결과가 미국 국립표준기술연구소 (NIST : National Institute of Standards and Technology)에서 발표되었고<sup>[2]</sup>, IEC 산하 국제 무선장애 특별위원회 (IEC/CISPR : International Special

\* 정회원, 삼성전자 정보통신총괄 무선사업부  
(Mobile Communication Division, Telecommunication Network Business, SAMSUNG ELECTRONICS CO.,LTD)

\*\* 평생회원, 한양대학교 전자컴퓨터공학부  
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Hanyang University)

접수일자: 2007년8월15일, 수정완료일: 2008년8월12일

Committee on Radio Interference)에서 이에 대한 내용을 IEC 61000-4-21에 규정하고 있다. 최근 무선 랜, 와이브로 등의 무선통신 기기들이 1 GHz 이상의 높은 주파수 대역을 사용함에 따라 이 주파수 대역에서 시험장으로 활용할 수 있는 전자파 잔향실은 기존의 전자파 무반사실을 대체할 수 있는 효과적인 방안이라 할 수 있다.

전자파 잔향실내의 전기장 분포 연구는 기본적으로 정해진 공동(Cavity) 내의 공진 모드를 이용하며 잔향실내의 전기장 분포의 균일도와 전력효율을 향상시키는 것에 초점을 맞추고 있다. 잔향실내에 분포되는 전기장을 뒤섞어 균일도를 향상시키는 방법에는 일반적으로 스테러(Stirrer)<sup>[3]</sup> 또는 확산기(Diffuser)<sup>[3~4]</sup>를 이용한다. 하지만 스테러를 사용할 경우 측정 소요시간이 긴 단점이 있으며<sup>[5]</sup>, 확산기를 사용할 경우 설계 주파수 대역이 너무 넓으면 확산기의 물리적 크기가 커져<sup>[4]</sup> 현실적으로 구현이 어려운 단점이 있다.

그동안 일정한 체적에서 전기장 균일도의 향상을 위해 삼각형 구조<sup>[6]</sup>, 원통형 구조<sup>[7]</sup> 및 비대칭적 구조의 잔향실 형태에 관한 연구<sup>[8]</sup>가 있었으며, 확산기의 매질, 모양, 배열 형태, 적용 주파수에 따른 전기장 분포 변화와 균일도에 대한 연구가 진행되어왔다<sup>[9~11]</sup>.

본 논문에서는 제안된 원통형 확산기를 이용한 전자파 잔향실의 전기장 분포 특성을 기존의 QRD와 비교 분석 하였다.

## II. 전자파 잔향실의 설계

### 1. 전자파 잔향실의 형태

본 논문에서는 전기장 분포 특성을 조사하기 위하여 그림 1과 같이 가로 1 m, 세로 0.8 m, 높이 0.85 m 의

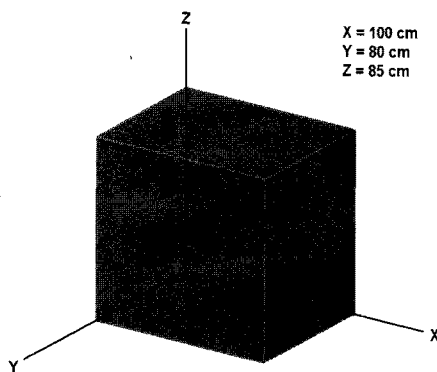


그림 1. 전자파 잔향실 구조  
Fig. 1. Structure of the reverberation chamber.

크기를 갖는 직사각형 형태의 전자파 잔향실을 고려하였다. 전기장 분포 특성은 잔향실 내부의 발생 가능한 모드 수, 스테러 또는 확산기의 효율, 그리고 전자파 잔향실 제작을 위해 사용된 매질의 Q인자 등에 의해서 결정된다<sup>[5]</sup>. 그림 1의 잔향실은 식 (1)에 의해<sup>[2]</sup> 하한 주파수 800 MHz에서 최소 60모드 이상을 갖도록 설계되었다.

$$N(f) = \frac{\pi}{3}XYZ \left(\frac{f}{150}\right)^3 \quad (1)$$

여기서 f의 단위는 [MHz]이며, X, Y, Z의 단위는 [m]이다.

### 2. Schroeder 방식의 확산기(QRD)의 설계

Schroeder 확산기는 Quadratic Residue Sequence (이차 나머지 행렬(QRS))를 이용 하여 설계되는 Quadratic Residue Diffuser (QRD)<sup>[3]</sup>로서 기본 형태는 그림 2의 좌측과 같다. 본 논문에서는 관심주파수인 1 ~ 3 GHz에 적용되는 QRD가 설계되었다.

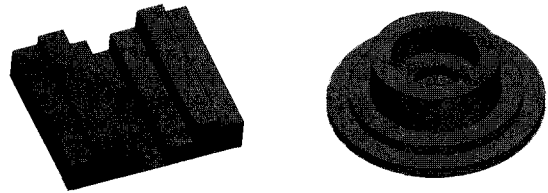


그림 2. QRD 및 원통형 확산기의 형태  
Fig. 2. Shape of Diffusers.3

Quadratic Residue Sequence,  $S_n$ 은 식(2)와 같다.

$$S_n = n^2 \text{ mod } N \quad (2)$$

여기서 n은 정수이고, N은 3이상의 소수이다.  $S_n$ 은  $n^2$ 을 N으로 나눈 나머지며, Sequence는 N을 주기로 단수가 반복된다.

QRD에서 Well의 폭(Width)과 깊이(Depth)는 식(3), (4)에 의해 결정되며, 일반적으로 주기(N)가 커질수록 잔향실의 효율은 증가된다<sup>[12]</sup>.

$$W = \frac{\lambda_{f_{\max}}}{2} \quad (3)$$

$$d_n = \frac{S_n \lambda_{f_{\min}}}{N \cdot 2} \quad (4)$$

표 1. 이차 나머지 행렬연산으로 얻어진 QRD의 깊이  
Table 1. Depth values of wells by calculation the quadratic residue sequence.

Type	n	S <sub>n</sub>	d <sub>n</sub> [mm]	d <sub>n</sub> (shift)
m = 2, N = 17	0	0	0	115
	1	1	9	132
	2	4	35	18
	3	9	79	71
	4	16	141	141
	5	8	71	79
	6	2	18	35
	7	15	132	9
	8	13	115	0
	9	13	115	9
	10	15	132	35
	11	2	18	79
	12	8	71	141
	13	16	141	71
	14	9	79	18
	15	4	35	132
16	1	9	115	

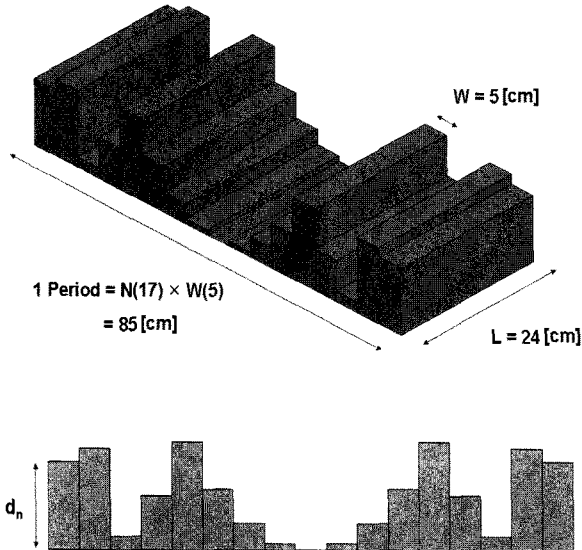


그림 3. 설계된 Schroeder QRD (m = 2, N = 17)  
Fig. 3. Geometry of the designed Schroeder QRD. (m = 2, N = 17).

$$N = 2m \frac{\lambda_{f_{min}}}{\lambda_{f_{max}}}, m = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

여기서  $\lambda_{f_{min}}$  와  $\lambda_{f_{max}}$  은 QRD의 적용 주파수인 1 GHz 와 3 GHz에서의 파장이다. 표 1은 이차 나머지 행렬을 계산하여 얻어진 QRD (m = 2, N = 17)의 깊이를 나타

낸다. QRD는 깊이(d<sub>n</sub>)를 이동시켜 좌우 대칭형으로 설계 하였다.

일반적으로 m과, 주기 N은 클수록 좋으나<sup>[12]</sup>, 본 논문에서는 QRD가 부착되는 한쪽 내벽 (YZ평면)의 면적을 고려하여 QRD를 m = 2, N = 17 로 설계하였다. 또한 세로길이(L)는 최적 잔향실 면적비<sup>[13]</sup>를 고려하여 Y = 80 cm의 30%인 24 cm 로 설계하였다. 그림 3은 설계된 QRD를 보여준다.

### 3. 원통형 확산기의 설계

그림 2의 좌측과 같은 기존의 직사각형 형태의 좌우 대칭형 QRD에서 중앙의 Well을 중심으로 원형으로 돌려 그림 2의 우측과 같은 형태의 원통형 확산기를 제안 하였다. 기본적인 설계방법은 QRD와 동일하나 본 논문

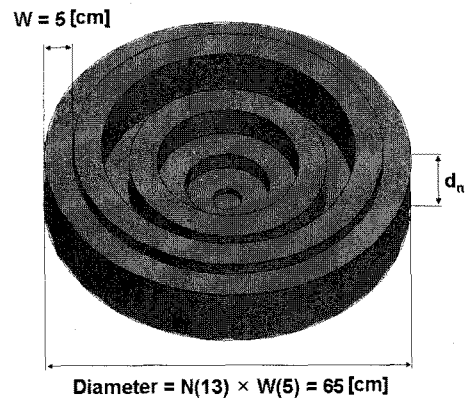


그림 4. 설계된 원통형 확산기 (m = 2, N = 13)  
Fig. 4. Geometry of the Cylindrical Diffuser. (m = 2, N = 13).

표 2. 이차 나머지 행렬연산으로 얻어진 원통형 확산기의 깊이

Table 2. Depth values of wells by calculation the quadratic residue sequence.

Type	n	S <sub>n</sub>	d <sub>n</sub> [mm]	d <sub>n</sub> (shift)
m = 2, N = 13	0	0	0	115
	1	1	12	139
	2	4	46	35
	3	9	104	104
	4	3	35	46
	5	12	139	12
	6	10	115	0
	7	10	115	12
	8	12	139	46
	9	3	35	104
	10	9	104	35
	11	4	46	139
12	1	12	115	

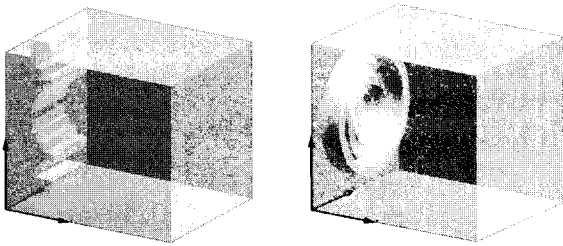


그림 5. 잔향실 내부에 확산기를 부착한 모습  
Fig. 5. Reverberation Chamber with Diffusers.

에서는 잔향실의 높이(85 cm)와 너비(80 cm)를 고려하여 그림 4와 같은  $m = 2, N = 13$ , 지름 65 cm 의 원통형 확산기를 설계하였다.

표 2는 이차 나머지 행렬을 계산하여 얻어진 원통형 확산기 ( $m = 2, N = 13$ )의 깊이를 나타낸다. 원통형 확산기는 기존의 QRD와는 달리 세로길이(L)를 고려하지 않아도 주기 N값과 Well의 폭(W)으로 지름이 결정되는 것이 특징이라 할 수 있겠다.

그림 5는 전자파 확산을 위해 각각 설계된 QRD와 원통형 확산기를 전자파 잔향실(그림 1) 내부의 벽면(YZ평면)에 부착한 모습을 나타낸다.

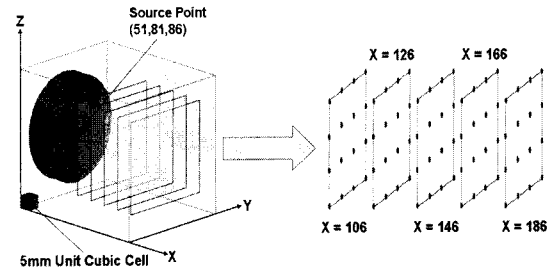
본 논문에서는 그림 5와 같이 QRD, 원통형 확산기를 각각 부착시킨 전자파 잔향실과 확산기를 부착하지 않은 기준 전자파 잔향실(Reference Chamber)내 정해진 시험공간(Test Volume)에 분포되는 전기장의 표준편차, 전기장 세기 및 평균, 공차 (Tolerance, 최대값, 최소값의 차)를 비교, 평가하였다.

### III. 잔향실 내부의 전기장분포 시뮬레이션

#### 1. 수치 해석을 위한 전자파 잔향실의 모델링

전자파 잔향실 내부의 전기장 분포를 조사하기 위해 FDTD 수치 해석 방법이 적용된 상용 소프트웨어인 Remcom사의 XFDTD 6.0을 사용하였다. 이 시뮬레이션 틀에서는 시간과 공간에 대한 전자계 분포를 해석하기 위해 Yee 알고리즘<sup>[14]</sup>이 적용되며 유한 차분 방정식이 사용된다. 전자파 잔향실과 시험공간은 그림 6과 같이 모델링 하였으며, 적용주파수 2 GHz에서 전기장 특성을 파악하기 위해 기본 셀의 크기는 확산기의  $d_n$  및  $\lambda_{f_{max}}$  를 고려하여  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z = 5[mm]$ 로 설정하였다.

잔향실의 크기는  $200 \times 160 \times 170$  (Cells) 이고 Courant-Friedrick-Lewy (CFL) 안정성 조건<sup>[15]</sup>을 만족시키기 위하여 이산 시간을  $9.629 \text{ ps } (= \Delta t)$  간격으로



(a) (b)

그림 6. (a) 수치해석을 위한 전자파 잔향실 모델링  
(b) 시험 평면 및 평면내의 80개 시험 points  
Fig. 6. (a) Modeling of a reverberation chamber for numerical analysis. (b) Test planes and 80 test points.

결정하였으며, 전체 시간 간격 수는 35,000으로 설정하였다.

전기장 발생을 위한 소스는 2 GHz, 1 V 정현파 포인트 소스를 사용하였고, Cell (51, 81, 86)에서 (-)X 방향으로 복사하였다.

전자파 잔향실 및 확산기의 매질은 PEC (Perfect Electric Conductor) 셀로 모델링 하였으며, 외부 경계 조건은 Liao의 ABC (Absorbing Boundary Condition) 로 하였다.

그림 6(a)에서 QRD와 원통형 확산기의 중심을 잔향실의  $x=2$  평면의 중심인 Cell (2, 81, 86)에 위치시켰다.

전기장 분포를 조사하기 위하여 그림 6(b)와 같이 5개의 시험 평면으로 둘러싸인 시험 공간에서 각 평면당 16개씩 총 80개의 시험 포인트를 설정하여 전기장 세기를 추출하였고<sup>[16]</sup>, 시험 공간은 IEC 61000-4-21에 설명된 무반사실에 대한 정의를 고려하여 결정하였다<sup>[5]</sup>.

#### 2. 수치 해석 결과

표 3은 Non-diffuser(Reference Chamber)의 경우, QRD를 부착한 경우, 원통형 확산기를 부착한 경우의 전자파 잔향실내 시험공간(그림 6(b))에서 추출한 80개의 전기장 세기 값 중 75%<sup>[16]</sup>인 60개의 샘플에 대한 평균값, 표준편차, 최대값, 최소값, 공차의 결과를 나타내며, 그림 7은 60개 샘플에 대한 전기장 세기를 각각 내림차순으로 보여준다.

표 3에 의하면, 확산기를 사용하였을 경우에는 기준 전자파 잔향실과 비교하여 전기장 균일도의 지표중 하나인 표준편차가 확연히 감소하였음을 알 수 있다.

QRD를 사용하였을 경우 기준 전자파 잔향실의 4.99 dB에 비해 1.52 dB 감소한 3.47 dB이었고, 원통형 확산

표 3. 시험 평면 전기장 세기의 샘플 중 75 %의 특성  
Table 3. 75 % of sampled electric field intensity at test plane.

Diffuser	E				
	평균 (dBmV/m)	표준편차 (dB)	최대값 (dBmV/m)	최소값 (dBmV/m)	공차 (dB)
Non-diffuser	39.4	4.99	50.3	40.8	9.45
QRD	36.6	3.47	44.9	39.1	5.83
원통형 확산기	43.2	3.36	51.8	46.4	5.40

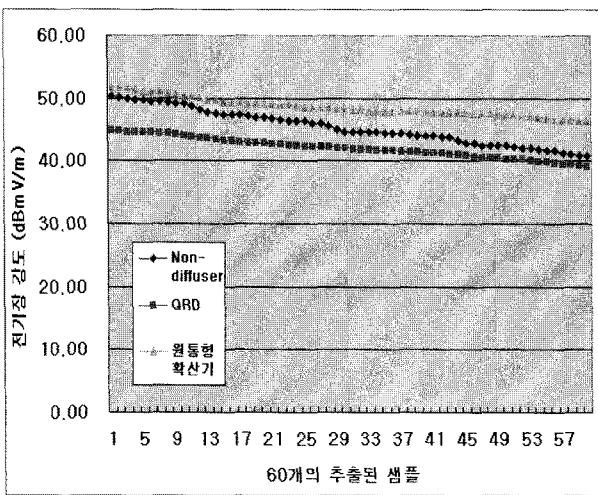


그림 7. 각 샘플의 전기장 세기  
Fig. 7. Electric field intensity of each sample.

기를 사용하였을 경우 기준 전자파 잔향실에 비해 1.63 dB 감소한 3.36 dB를 나타내었다. 여기서 원통형 확산기를 사용한 경우가 기존의 QRD를 사용한 경우에 비해 표준편차가 0.11 dB 감소하여 전기장 균일도 면에서 QRD보다 개선되었음을 알 수 있었다.

전자파 잔향실의 특성중 하나인 전기장 세기는 QRD를 사용하였을 경우의 평균값이 기준 전자파 잔향실의 평균값인 39.4 dBmV/m에 비해 감소한 36.6 dBmV/m이었으며, 원통형 확산기를 사용하였을 경우 오히려 기준 전자파 잔향실의 경우보다 상승한 43.2 dBmV/m이었다. 원통형 확산기를 사용하였을 때가 QRD를 사용하였을 때보다 높은 전기장 세기 값을 보여주어 전력 효율 면에서도 QRD보다 개선되었음을 알 수 있었다.

최대값에서 최소값을 뺀 공차는 QRD를 사용하였을 경우와 원통형 확산기를 사용하였을 경우 각각 5.83 dB, 5.40 dB로서 두 경우 전부 전기장 균일도의 조건인 6 dB<sup>[16]</sup>를 만족하였음을 알 수 있었다.

표 4는 전기장의 편파 특성인  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$  각 성분에

표 4.  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$  에 대한 평균( $m$ )과 표준편차( $\sigma$ )  
Table 4. Mean and standard deviation of  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$  components.

E (dBmV/m)	$E_x$		$E_y$		$E_z$	
	$m_x$	$\sigma_x$ (dB)	$m_y$	$\sigma_y$ (dB)	$m_z$	$\sigma_z$ (dB)
Non-diffuser	44.1	3.68	32.7	3.92	37.9	3.02
QRD	35.1	3.51	39.3	2.51	34.8	3.43
원통형 확산기	42.5	3.69	44.4	2.54	42.7	3.76

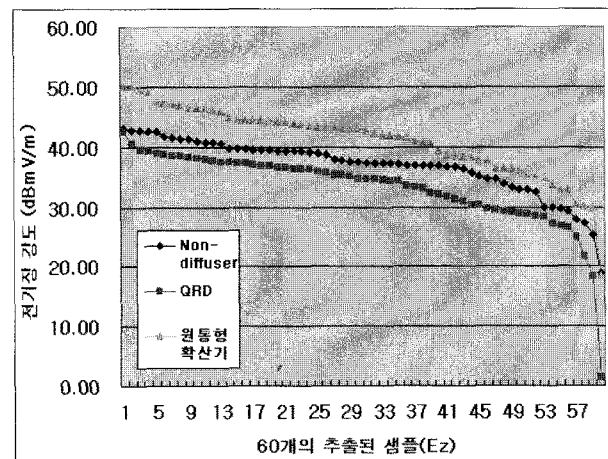
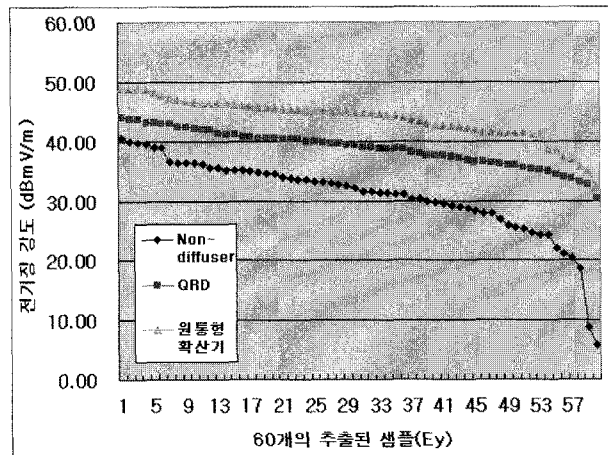
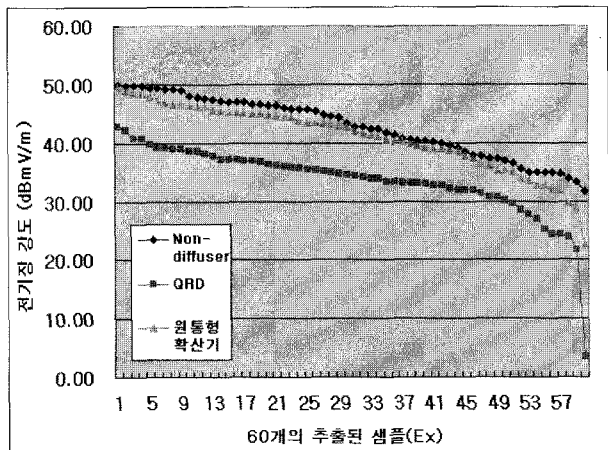


그림 8. 60개 샘플의  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$  값  
Fig. 8. Values of  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$  at 60 samples.

대한 평균과 표준 편차를 나타내며, 그림 8은 Non-diffuser, QRD를 사용하였을 경우, 원통형 확산기를 사용하였을 경우 각각의 60개의 샘플에 대한  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$  각 성분의 전기장 세기를 내림차순으로 보여준다.

표 4와 그림 8에서 볼 수 있듯이 확산기를 부착하지 않은 기준 전자파 잔향실내에서의 전기장 성분은  $E_x$  편파에 대해 영향을 가장 크게 받는 것을 알 수 있다. 하지만 QRD와 원통형 확산기를 부착한 전자파 잔향실의 경우에는  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$  각 편파 성분이 확산기를 부착하지 않은 경우보다 좀 더 균일해진 것을 알 수 있었고, 특히 원통형 확산기를 사용하였을 경우  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$  각 편파 성분이 거의 일정한 값을 갖는 것으로 나타났다.

표 4에 의하면  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$  각 성분의 샘플별 표준편

차는 확산기를 부착하지 않았을 경우  $E_y$  성분이 3.92 dB로 가장 큰 것으로 나타났으나, 확산기를 사용하였을 경우,  $E_y$  성분이 각각 2.51 dB, 2.54 dB로 다른 성분에 비하여 작은 표준편차 값을 나타내었다. 반면 확산기를 사용하였을 경우 확산기를 사용하지 않았을 경우에 비해  $E_x$ ,  $E_z$  성분이 각각 QRD는 3.51 dB, 3.43 dB, 원통형 확산기는 3.69 dB, 3.76 dB 로 다소 높은 표준편차 값을 보여주었다. 이는 확산기를 사용함으로써 y 편파 방향으로의 확산이 x, z방향보다 잘 이루어지고 있음을 보여준다. 그림 9는  $x = 146$  인 YZ 평면에서 각각의 전기장 분포 결과를 나타낸다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 무선 랜, 와이브로 등의 무선기기들이 주로 사용하는 주파수 1~3 GHz 대역의 전자파 확산기(QRD, 원통형 확산기)를 설계하고, 각각을 전자파 잔향실에 적용하여, 확산기를 부착한 전자파 잔향실과 부착하지 않은 기준 전자파 잔향실을 FDTD 방법으로 시뮬레이션 한 결과를 비교분석 하였다.

시험 공간에서의 전기장 분포를 살펴보았을 때 원통형 확산기를 사용한 경우 QRD에 비하여  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$  성분의 크기가 고르게 분포되어 편파특성이 좋음을 알 수 있었으며, 전기장 세기의 표준편차에서도 3.36 dB로 가장 좋은 전기장 균일도를 나타내었다.

전력효율 면에서도 원통형 확산기의 경우 QRD를 사용했을 때의 평균 36.6 dBmV/m 보다 높은 평균 43.2 dBmV/m의 전기장 세기 값을 보여주었다.

공차는 확산기를 사용한 두 경우 전부 6 dB 이하<sup>[16]</sup>를 만족시켜 QRD와 원통형 확산기의 성능을 입증하였고, 특히 원통형 확산기를 사용하였을 경우 QRD에 비해 공차가 0.43 dB 감소하여 공차특성에서 좋은 결과를 보여주었다.

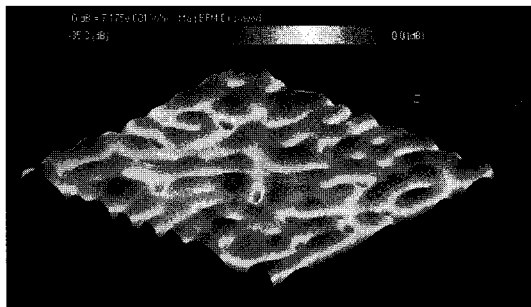
따라서 소형 전자기기의 전자파 장해 및 복사 내성 측정을 위한 대응시험 시설로 전자파 잔향실을 제작할 때, 원통형 확산기를 사용하면 QRD에 비하여 표준 편차, 전기장 세기의 평균(전력 효율), 전기장 편파 및 공차 측면에서 우수한 특성을 가질 수 있을 것으로 판단 된다.

#### 참 고 문 헌

[1] H. W. Ott, "Noise reduction techniques in



(a)



(b)



(c)

그림 9.  $x = 146$  인 YZ 평면에서의 전기장 분포  
(a) Non-diffuser (b) QRD (c) 원통형 확산기  
Fig. 9. Simulation results of E-field magnitude at YZ plane of  $x = 146$ .  
(a) Non-diffuser (b) QRD (c) Cylindrical diffuser.

electronic systems,” John Wiley & Sons, 2nd, pp. 1-4, 1988.

[2] M. L. Crawford and G. H. Koepke, “Design, evaluation and use of a reverberation chamber for performing electromagnetic susceptibility/vulnerability measurements,” NBS technical Note 1092, National Bureau of Standards, Apr. 1986.

[3] M. Petirsch and A. J. Schwab, “Investigation of the Field Uniformity of a Mode-Stirred Chamber Using Diffusers Based on Acoustic Theory,” IEEE Trans. on EMC, vol 41, no. 4. pp. 446-451, Nov. 1999.

[4] 이광순, 이중근, 정삼영, “전자파 확산방식을 이용한 잔향실 내부의 필드 분포 해석,” 한국전자과학기술논문지, 제11권, 제5호, 839-848쪽, 2000년 8월

[5] IEC 61000-4-21: “Testing and Measurement techniques-Reverberation chamber test methods,” 2003.

[6] 김성철, 이중근, “Schroeder 확산기를 적용한 삼각형 전자파 잔향실의 필드 균일도 특성,” 한국전자과학기술논문지, 제13권, 제4호, 373-378쪽, 2002년 4월

[7] 김정훈, 이중근, “원통형 구조 전자파 잔향실 내 모드 및 필드 분포 특성,” 한국전자과학기술논문지, 제14권, 제5호, 431-436쪽, 2003년 5월

[8] 정삼영, 이중근, 이황재, “비대칭적 구조 전자파 잔향실 전자기장 균일도 해석,” 한국전자과학기술논문지, 제12권, 제5호, 837-843쪽, 2001년 8월

[9] 이광순, 이중근, 정삼영, “전자파 잔향실 내 확산기 배열 조건에 따른 필드분포 특성,” 한국전자과학기술논문지, 제21권, 제2호, 227-233쪽, 2001년 2월

[10] 임옥채, 이중근, “이중 대역 확산기를 이용한 전자파 잔향실 시험 주파수 대역 확장 및 전자기장 균일도 향상에 관한 연구,” 한국전자과학기술논문지, 제17권, 제1호, 74-80쪽, 2006년 1월

[11] 양옥, 이중근, “2D 확산기를 이용한 전자파 잔향실 내의 필드 분포 특성,” 한국전자과학기술논문지, 제16권, 제4호, 373-379쪽, 2005년 4월

[12] M. Mehta, J. Johnson, “Architectural Acoustics Principles and Design, Prentice Hall, 1999.

[13] 김정훈, 이중근, “Schroeder 확산기를 이용한 전자파 잔향실내의 필드 균일도 향상 및 최적화에 관한 연구,” 한국전자과학기술논문지, 韓波文18卷, 372-378쪽, 2007년 4월

[14] K. S. Yee, “Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time dependent Maxwell’s equation,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 14, pp. 302-307, 1966.

[15] G. M. Smith, “Numerical Solution of Partial Differential Equation: Finite Difference Method,” Oxford Clarendon Press, 1985.

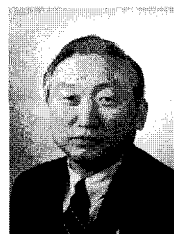
[16] IEC 61000-4-3: “Testing and measurement techniques - Radiated, radio - frequency, electromagnetic field immunity test,” 3rd, 2006.

저 자 소 개



이 용(정회원)  
 2006년 한양대학교 전자컴퓨터  
 공학부 (공학사)  
 2008년 한양대학교 전자전기제어  
 계측과 (공학석사)  
 2008년 삼성전자 정보통신총괄  
 무선사업부

<주관심분야 : EMI/EMC, 안테나, Camera  
 Module>



이 중 근(평생회원)  
 1967년 서울대학교 전기공학과  
 (공학사)  
 1973년 미국 남플로리다 주립대학  
 (공학석사)  
 1979년 미국 남플로리다 주립대학  
 (공학박사)

1979년~1988년 국방과학연구소 책임연구원  
 1990년~1991년 한국전자과학기술학회 회장  
 1988년~현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수  
 <주관심분야 : EMI/EMC, MW부품, 칩 안테나>