

전자파 확산방식을 이용한 잔향실 내부의 필드 분포 해석

Electromagnetic Field Distribution Analysis of Reverberation Chamber using Electromagnetic Diffusion Method

이광순* · 이종근* · 정삼영**

Kwang-Soon Lee* · Joong-Geun Rhee* · Sam-Young Chung**

요 약

본 논문은 전자파 장애 및 복사내성 측정에 사용되는 전자파 무반사실의 대응 방법으로 활용될 수 있는 전자파 잔향실의 전자기장 특성에 관하여 연구하였다. 체적이 동일한 직사각형 및 삼각형 구조의 잔향실 내부 필드 균일성을 확보하기 위하여 Schroeder diffuser 방식을 적용하였으며, FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 방법을 사용하여 잔향실 내부의 필드 특성을 조사하였다. 앞에서 언급한 두 가지 형태의 잔향실 내부에서 필드 특성을 조사하기 위해 시험공간 내의 75% 샘플을 가지고 분석하였다. 직사각형 잔향실의 경우 최대 ±3 dB, 삼각형 잔향실의 경우 최대 ±4.4 dB 내의 tolerance를 나타내었으며, 또한 직사각형 잔향실의 경우 편파에 대해서도 독립적이라는 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract

This paper presents the results of an electromagnetic field analysis for a reverberation chamber that is an alternative method of a shielded anechoic chamber, which is widely used for the analysis and measurement of electromagnetic interference and immunity test. Inside the defined test volume of the rectangular and triangular type, the Schroeder Quadratic Residue Diffuser was employed. FDTD (Finite-Difference Time-Domain) simulation method was applied to produce the field characteristics inside those reverberation chambers. According to the results, field uniformities on the aforementioned two types of reverberation chambers were correlated within ±3 dB, and ±4.4 dB tolerances, and rectangular type reverberation chamber shows an independent polarization result.

I. 서 론

전자파 잔향실은 1968년 미국 Mendes에 의해 처음으로 제안^[1]되어 전자파장애 및 복사 내성 측정을 위한 대응시험 시설로서 사용될 수 있는 가능성을 보였다. 그 후 미국 표준연구소(National Institute of Standards and Technology)등에서 연구가 수행되고 있으나, 전자파 장애 및 내성시험을 위한 대응시설로서 이용하기 위한 국제 표준으로는 정립되어 있

지 못하다가 최근 전파장애특별위원회(International Special Committee on Radio Interference)에서 전자파 장애 및 내성 시험을 위한 대응시험 시설로써 활용하기 위한 규격 제정 단계에 있다. 또한 최근 전자파 장애 방지를 위한 규제 주파수가 1~18 GHz까지 확장됨에 따라 이 주파수 대역에서 시험장으로 활용할 수 있는 전자파 잔향실이 새롭게 부각되고 있다.

전자파 잔향실은 기본적으로 공진 모드^[2]를 활용

* 한양대학교 전자공학과 (Dept. of Electronic Engineering, Hanyang University)

** 전파연구소 EMC 연구실 (Radio Research Laboratory)

· 논문 번호 : 20000525-060

· 수정완료일자 : 2000년 7월 25일

하기 때문에 일정한 크기의 잔향실 내부에서 전자파 균일성을 확보할 수 있는 모드 수에 의해 하한 주파수가 결정된다. 주파수가 증가함에 따라 모드 수는 증가하기 때문에 하한 주파수 이상의 대역에 대한 시험시설로 활용할 수 있으며, 특히 GHz 대역에서 사용하기에 적합한 대응시험시설이라고 볼 수 있다^[1].

전자파 잔향실을 설계하는데 있어 우선적으로 고려되어야 할 사항이 잔향실 내에서 발생 가능한 총 모드 수이다. 이것은 주파수 잔향실의 체적에 따라서 변하게 되는데^{[4]~[6]}, 일정한 체적에서 가급적 많은 수의 모드 수를 확보하기 위하여 비대칭적 구조의 잔향실^[2], 표면의 비 균일성 유지^[7] 등 다양한 구조의 잔향실에 대한 연구의 진행이 있었으며, 또한 잔향실 내부의 필드 균일성을 확보하기 위하여 stirrer 대신 음향학 분야에서 음향학적인 잔향을 위해 사용되는 diffuser를 사용하여 잔향실 내부 필드의 균일성을 개선하는 방식도 제안되었다^[8].

본 논문에서는 잔향실의 구조적인 측면에서, 동일한 체적일 경우보다 개선된 모드 분포와 필드 분포를 갖는 잔향실 구조를 도출하고자 일반적으로 많이 사용되는 직사각형 구조와 모드 수 측면에서 보다 나은 분포를 갖는 삼각형 구조를 사용하였으며, 잔향실 내부 필드의 균일성을 얻기 위하여 기존 Stirrer 방식 대신에 음향학 분야에서 사용되는 Schroeder Quadratic Residue Diffuser^{[9]~[11]}방식을 적용하였다.

각각 잔향실 구조에 대해서 수식적 전개를 통하여 발생 가능한 총 모드 수를 추출하였으며, 잔향실 내부의 필드 균일성을 개선하기 위하여 사용될 diffuser를 설계하였다. 전자파 잔향실 내부의 필드 분포는 유한 차분법(Finite Difference Method)을 기초로 하는 FDTD방식을 적용하여 주파수 3 GHz 대역에서 결과를 추출하였다.

Schroeder diffusers 사용에 따른 필드 개선효과를 조사하기 위하여 적절히 선정된 시험공간(Test Volume) 내부에서 추출한 전계 세기로 잔향실의 구조적 변화에 따른 필드의 변화 상태를 비교 분석하였으며, 또한 잔향실 내부 임의의 지점에서 시간 변화상태에 따른 전계 세기의 정보를 추출한 후, 확률적 통계기법을 이용하여 편파특성을 조사하였다.

II. 전자파 잔향실 설계

전자파 잔향실은 일정 구조의 공간에서 균일한 필드를 확보하기 위하여 최소 요구되는 모드 수를 만족하여야 한다. 본 논문에서는 기존에 많이 이용되는 직사각형 구조와 모드 수에 있어 더욱 특성이 우수한 동일 체적의 삼각형 구조를 사용하였다^[12].

2-1 잔향실 내부에 발생하는 모드 해석

잔향실로 사용될 두 구조에 대한 모드 분포를 조사하기 위해서, 우선 도파관 구조에 대한 공진 주파수(resonant frequency)를 구한다.

잔향실 내부의 매질을 공기로 가정할 경우, 삼각형 구조의 잔향실에 대한 공진 주파수는 다음과 같으며,

$$f_{mnp} = 150 \sqrt{\left(\frac{1}{a^2}\right)(m^2 + n^2) + \left(\frac{p}{c}\right)^2} \text{ MHz} \quad (1)$$

직사각형 구조에 대한 공진 주파수는 다음과 같다.

$$f_{mnp} = 150 \sqrt{\left(\frac{m}{d}\right)^2 + \left(\frac{n}{e}\right)^2 + \left(\frac{p}{f}\right)^2} \text{ MHz} \quad (2)$$

공진 주파수를 이용하여 각각의 잔향실 내부에 존재하는 전체 모드 수를 구하면, 삼각형 구조에 대한 전체모드 수는 다음과 같으며^[12],

$$N(f) = \frac{\pi}{3} a^2 c \left(\frac{f}{150}\right)^3 \times \frac{1}{2} = \frac{\pi}{6} a^2 c \left(\frac{f}{150}\right)^3 \quad (3)$$

직사각형 구조에 대한 전체모드 수는 다음과 같은 근사식으로 구해진다^[2].

$$\begin{aligned} N(f) &= \frac{4\pi}{3} \text{def} \left(\frac{f}{150}\right)^3 \times \frac{1}{8} \times 2 \\ &= \frac{\pi}{3} \text{def} \left(\frac{f}{150}\right)^3 \end{aligned} \quad (4)$$

그림 1 구조의 잔향실에 대하여 사용 가능한 하한 주파수를 결정하고자 주파수에 따른 잔향실 내부의 모드분포를 계산한 결과는 그림 2와 같다. 1986년도에 발표된 미국 NBS(National Bureau of Standards) Technical Note 1092에 의하면 잔향실 내부에서 사용

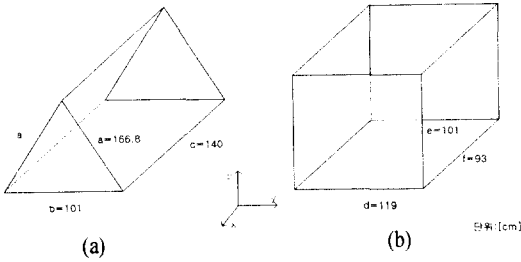


그림 1. 전자파 잔향실의 외부구조

(a) 삼각형 구조, (b) 직사각형 구조

Fig. 1. Outer structures of reverberation chamber.

(a) Triangular structure, (b) Rectangular structure.

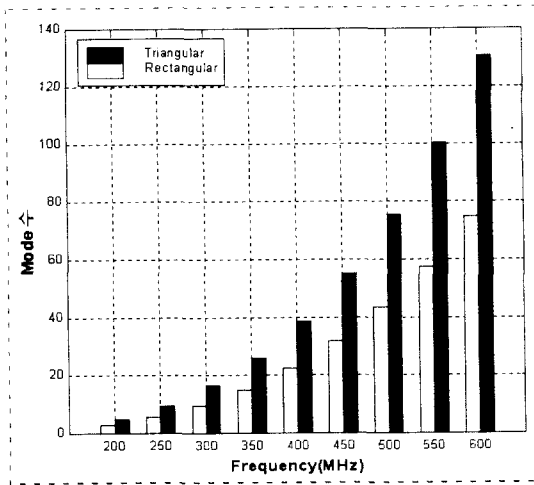


그림 2. 주파수에 따른 전자파 잔향실 내부의 모드 분포

Fig. 2. Mode distribution of reverberation chamber varying as frequencies.

될 주파수에 대하여 균일 필드 분포를 얻기 위해 최소 60개 이상의 모드 수를 요구하고 있다^[2].

그림 2 결과에 의하면 본 연구에 사용한 삼각형 구조에 대해서는 500 MHz, 그리고 직사각형 구조에 대해서는 600 MHz 이상의 주파수에서 전자파 잔향실로 이용될 수 있음을 알 수 있다.

2-2 Quadratic Residue Diffuser의 설계

1975년 독일 Schroeder에 의해 음향학 분야에서 처음 소개되었던 Quadratic Residue diffuser는 녹음실,

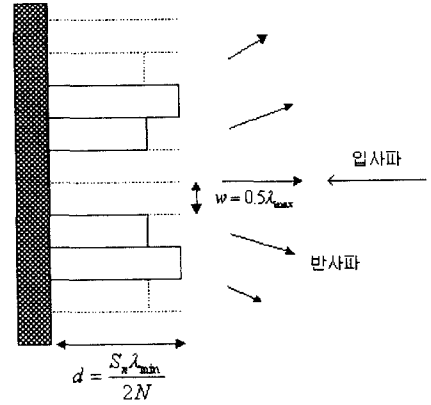


그림 3. Diffuser의 원리

Fig. 3. Principle of diffuser.

오페라 하우스, 공연장 등에서 음향효과의 극대화를 위해 이용되어 왔으며, 1999년 독일 Markus Petrich와 Adolf Josef Schwab에 의하면 직사각형 구조의 전자파 잔향실에서 Schroeder diffuser를 이용하여 모드를 주파수축에 대하여 균일하게 분포하도록 함으로써 전자장치의 균일도를 확보할 수 있다는 실험적 연구결과가 있었다^[8].

본 연구에서는 전자파 잔향실에서 요구되는 필드의 균일성을 확보하기 위하여, 잔향실의 구조로 많이 활용되는 직사각형 구조의 잔향실과 모드 분포에서 더욱 좋은 결과를 나타내는 삼각형 구조의 잔향실에 Schroeder diffuser 방식을 적용하고자 그림 1 구조에 응용될 Quadratic Residue diffuser를 설계하였다^[13].

Diffuser의 구조는 사용될 주파수의 범위에 따라 크기가 정해지며 여기에서는 주파수 범위 2~3 GHz에서 적용될 diffuser를 설계하였다.

Quadratic Residue diffuser에서 각 well의 폭(width)은 다음과 같이 결정된다.

$$w = 0.5 \lambda_{\max} \rightarrow 0.5 \times 10 \text{ cm} = 5 \text{ cm} \quad (5)$$

여기에서, λ_{\max} (=10 cm)는 상한주파수 f_{\max} (=3 GHz)에 의해서 결정된다.

Quadratic Residue diffuser의 1주기를 나타내는 N(well의 수)은 다음 식에서 구해질 수 있다.

$$N = \frac{2mf_{\max}}{f_{\min}}, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

여기에서 m 이 크면 클수록 성능이 우수한 diffuser를 얻을 수 있으나, 반면에 공간을 많이 차지하는 단점이 있어, 본 연구에서는 $m=4$ 인 경우에 대해서 설계하였다.

$$N = \frac{8f_{\max}}{f_{\min}} = 12, \quad \text{for } m = 4 \quad (7)$$

여기에서 전체 폭(total width)이 결정된다. 즉,

$$\text{Total width} = N \times W = 60 \text{ cm} \quad (8)$$

Well의 깊이(depth)는 하한주파수($f_{\min} = 2 \text{ GHz}$)에 따라 결정된다.

$$d_n = \frac{S_n \lambda_{\min}}{2N} \quad (9)$$

여기에서 $S_n = |n^2 - j\bar{N}|$ 은 n 번째 sequence를 나타낸다. n 은 각각의 well을 나타내고, j 는 $0 \leq n^2 - j\bar{N}$ 이 만족하는 최대값을 선택함으로써 결정된다.

Diffuser 깊이(Depth)에 따른 1주기에 해당되는 결

표 1. Diffuser의 깊이에 따른 1주기에 대한 결과 값
Table 1. 1 period result as diffuser depth.

n	S_n	d_n (cm)
0	0	0
1	1	0.625
2	4	2.5
3	9	5.625
4	4	2.5
5	1	0.625
6	0	0
7	1	0.625
8	4	2.5
9	9	5.625
10	4	2.5
11	1	0.625
12	0	0

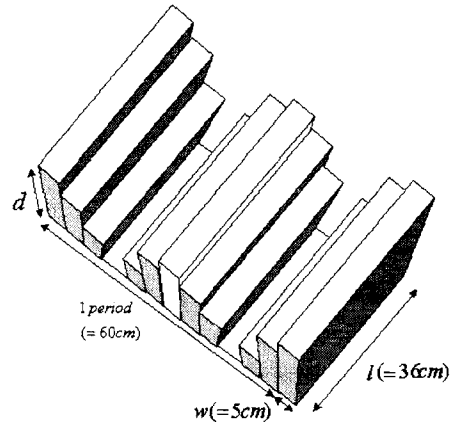


그림 4. 설계된 Quadratic Residue diffuser
Fig. 4. Designed Quadratic Residue diffuser.

과 값은 표 1과 같으며, 최종적으로 설계된 diffuser의 구조는 그림 4와 같다. 길이 l 과 1주기에 해당하는 전체 폭이 크면 클수록 diffuser의 효율이 증가되지만, 본 논문에서는 그림 1의 전자파 잔향실 내부 공간을 고려해서 설계하였다.

Ⅲ. 잔향실 내부 필드분포 해석

3-1 전자파 잔향실의 모델링

일정한 체적의 전자파 잔향실에 설계된 Quadratic Residue diffusers를 사용했을 때 각 구조는 그림 5와 같으며 잔향실 내부 필드분포를 조사하기 위해 FDTD방식을 적용하여 시뮬레이션 하였다. 이 해석

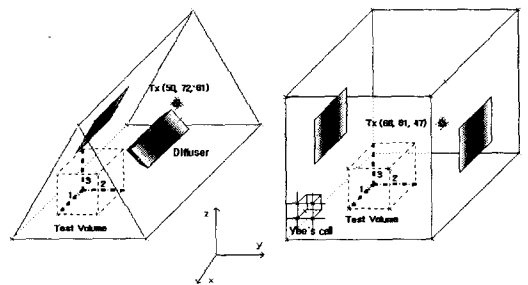


그림 5. 설계된 diffusers를 적용한 전자파 잔향실의 수치해석을 위한 모델링

Fig. 5. Modeling of reverberation chambers with diffusers for simulation.

방식은 Yee알고리즘^[14]이 적용되는데, 시간과 공간에 대한 전자계 필드를 해석하기 위하여 유한 차등방정식을 이용하여 해석된다.

전자파 잔향실에 대한 구조는 다음과 같이 모델링 되었다. 주파수 3 GHz에 대해서 필드 분포를 얻기 위하여, 주파수를 고려하여 기본 셀 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z=1\text{ cm}$ 로 설정하였다. 그리고 Courant 안정성 조건^{[15],[16]}을 만족시키기 위하여 이산 시간을 19.25 ps ($=\Delta t$)의 이산시간 간격으로 20,000번 수행하였다.

전자파 잔향실을 해석하기 위해 경계조건을 고려한 전체 셀의 크기는 다음과 같다. 삼각형 구조에 대해서는 $183\Delta X \times 144\Delta Y \times 202\Delta Z$, 직사각형 구조에 대해서는 $136\Delta X \times 162\Delta Y \times 144\Delta Z$ 로 설정하였다. 경계조건은 Liao 흡수경계조건^[17]이 사용되었는데, 일반적으로 Liao 형태의 경계조건은 radiating geometry와 바깥쪽(Outer) 경계사이에 충분한 공간이 있어야 된다. 따라서, Liao 경계조건을 고려해서 전자파 잔향실과 바깥쪽 경계사이에 20셀 공간을 주었고, 매질은 자유공간(Free Space)으로 설정했다. 전계에 대한 차폐효과는 1차 면에 대해서만 고려해 주면 되므로 전자파 잔향실 모델링은 1개의 셀을 가지고 PEC(Perfect Electric Conductor)로 외부도체 면을 구성하였고, 전자파 잔향실에 장착된 diffuser에 대해서도 PEC로 구성, 그리고 내부공간은 자유공간으로 설정했다. Diffusers는 잔향실 내부에 폭($w=60$ 셀), 길이($l=36$ 셀)의 크기로 각각 2개씩 장착 시켰으며, 잔향실 내 diffusers의 중심 셀 위치는 다음과 같다.

삼각형 구조에서는 (94, 47, 101), (94, 97, 101), 직사각형 구조에서는 (68, 23, 72), (71, 141, 72)로 설정하였다. 필드 발생을 위한 소스는 sinusoidal 포인트 소스를 사용하였는데, 삼각형 구조에서는 (50, 72, 61), 직사각형 구조에서는 (68, 81, 47)에 위치시켰다.

전자파 잔향실 내부의 필드 균일도를 평가하기 위해 설정한 시험공간은 그림 5와 같이 전체공간을 고려하여 벽면으로부터 최소 1 파장 이상 떨어진 지점에서, 균일 지역으로 정의된 volume의 형태로 설정^[18]하였으며, 삼각형 구조에서 라인 1은 (122, 57, 32) ~ (152, 57, 32), 라인 2는 (122, 57, 32) ~ (122, 87, 32), 라인 3은 (122, 57, 32) ~ (122, 57, 62)이다. 사각형 구조에서 라인 1은 (75, 67, 32) ~ (105, 67,

32), 라인 2는 (75, 67, 32) ~ (75, 97, 32), 라인 3은 (75, 67, 32) ~ (75, 67, 62)이다. '균일 지역'의 정의는 유럽 표준 EN 61000-4-3에 설명되어진 무반사실에 대한 정의^[19]를 고려하여 결정했다. 무반사실의 경우는 전자파 잔향실과 달리 필드의 변화가 받아들일 수 있을 정도의 작은 가상 수직평면으로 균일 지역이 정의되는데, 정의된 영역에서 필드의 크기가 표면의 75% 이상에서 측정값의 $\pm 3\text{ dB tolerance}$ 내에 있으면 필드가 균일하다고 정의한다. 그러나 전자파 잔향실의 경우 필드분포 특성상 '균일 체적'으로 고려될 수 있으므로, 본 논문에서는 적절하게 선택된 시험공간상의 라인에 대해서 이를 적용하여 분석하였다. 또한 전자계 분포는 steady-state의 전자계 세기들에 대한 평균(time-averaged) 값으로 계산하였다.

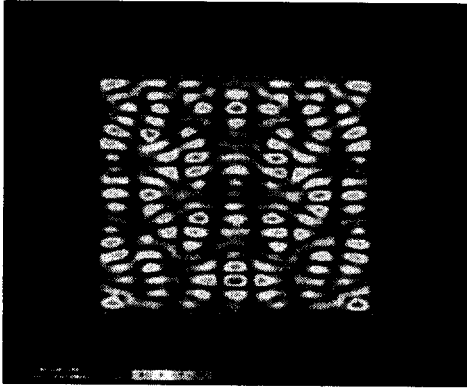
3-2 해석결과

각각의 구조에 대하여 diffusers를 사용하였을 경우와 사용하지 않았을 경우, 삼각형 구조(122, y, z)와 직사각형 구조(75, y, z)에 대한 y-z 평면에 대한 전계 세기 분포결과는 그림 6과 같았다. 시뮬레이션 결과 두 구조의 모든 경우, 설계된 diffuser를 사용하였을 때, 훨씬 개선된 필드의 균일성을 확보할 수 있다는 결과를 나타내고 있다. 또한 두 구조의 해석 결과 동일한 소스에 대해서 삼각형 구조가 직사각형 구조에 비해 더 높은 전계 세기 분포를 보이고 있으나, 필드의 균일도 측면에서는 직사각형 구조가 보다 우수하다는 것을 알 수 있다. 그림 5의 라인 1, 2, 3에 대한 전계 세기의 75% 샘플 값^[19]으로 계산된 평균값, 표준편차, 최대값, 최소값, tolerance 결과는 표 2와 같다.

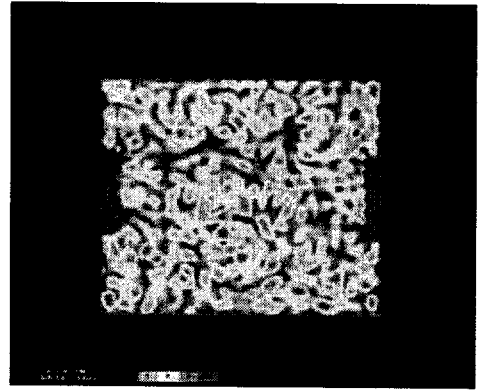
표 2의 결과에 따르면 diffuser를 사용함으로써 잔향실 내부에 형성되는 전계 세기는 평균적으로 2~3 dB 증가할 뿐 아니라, 필드 균일도 측면에서도 개선된 것을 확인할 수 있다.

시험 공간(Test Volume)의 라인 1, 2, 3에 대해 추출한 75%셀에 대한 전계 세기를 막대 그래프로 비교한 결과는 그림 7과 같다.

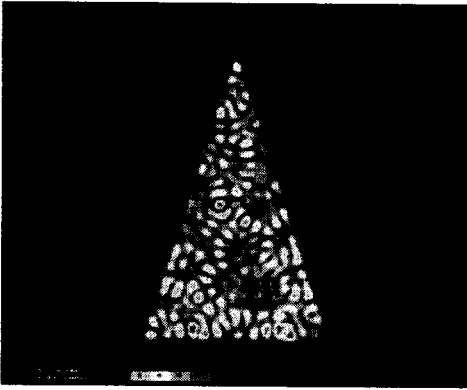
그림 7 결과에 따르면 diffusers를 부착하였을 때, 삼각형 구조에서 최소 7.96, 최대 16.3 dB의 세기를 나타내며 최대 7.36 dB의 tolerance를 가지며 분포하



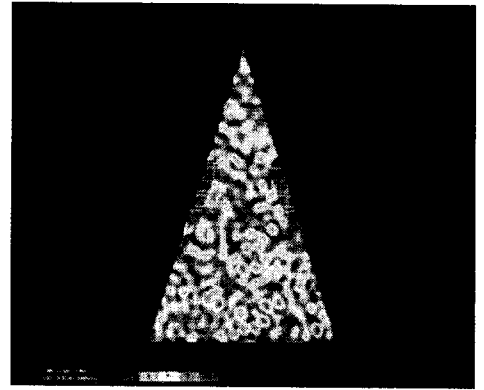
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6. y-z 평면에 대한 시뮬레이션 결과

(a) 직사각형 구조, (b) 직사각형 구조-diffusers, (c) 삼각형 구조, (d) 삼각형 구조-diffusers

Fig. 6. Results of simulation at y-z plane.

(a) Rectangular structure without diffusers, (b) Rectangular structure with diffusers,

(c) Triangular structure without diffusers, (d) Triangular structure with diffusers.

표 2. Line 1, 2, 3 전계 세기의 75% 샘플 값

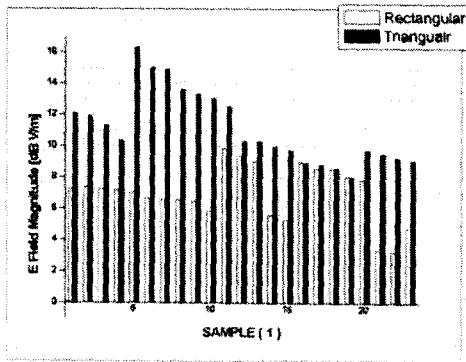
Table 2. 75% Sampled electric field intensity for line 1, 2, 3.

E (dBV/m)	Rect.	Rect. diffusers	Tri.	Tri. diffusers
평균	5.82	7.36	9.89	12.19
표준편차	3.40	1.32	2.64	1.77
최대값	13.2	9.96	16.2	16.3
최소값	0.3	4.43	4.8	7.96
Tolerance[dB]	12.9	5.53	11.4	7.36

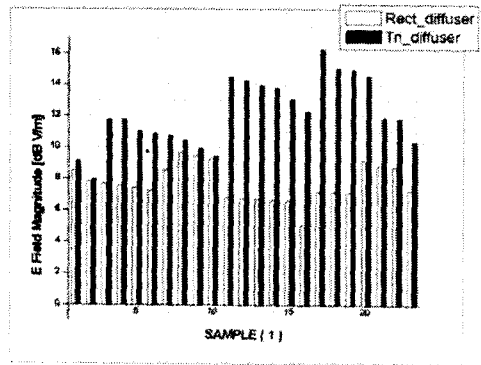
고, 직사각형 구조에서는 최소 4.43, 최대 9.96 dB의 세기를 나타내며 최대 6 dB 범위 내에 분포됨을 알 수 있다.

간향실 내부에 diffusers를 부착했을 경우 임의의 셀에 대한 전계 세기의 시간변화 상태를 조사하고자, 시험 공간(Test Volume) 중앙에 위치한 셀의 E_x , E_y , E_z 에 대한 각각의 20,000개 값들을 추출하였고, 그 중 75% 샘플^[19]에 대해서 누적분포 함수를 구하였다. 전체적인 분포는 그림 8과 같이 카이제곱(Chi-Squared)분포를 따르고 있다.

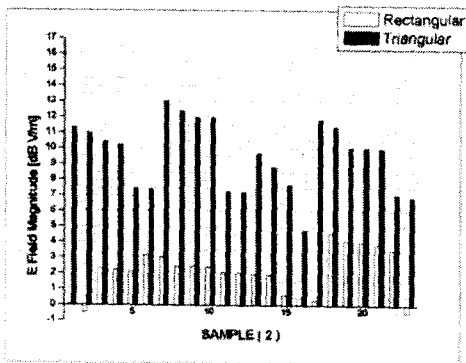
그림 8과 표 3에 따르면 diffusers를 부착하지 않은



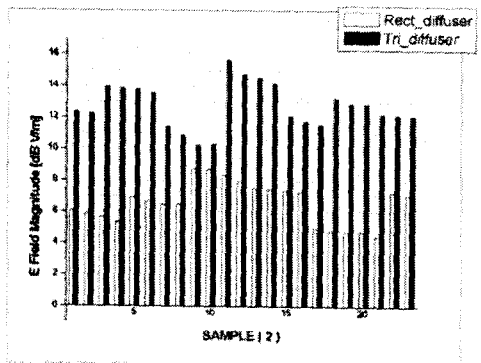
(a)



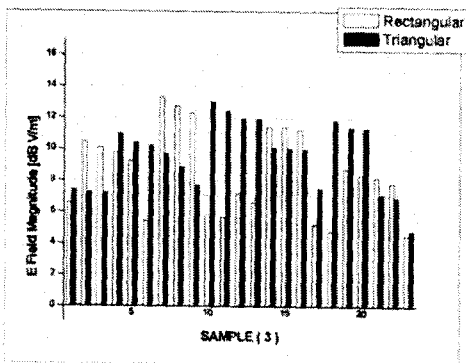
(b)



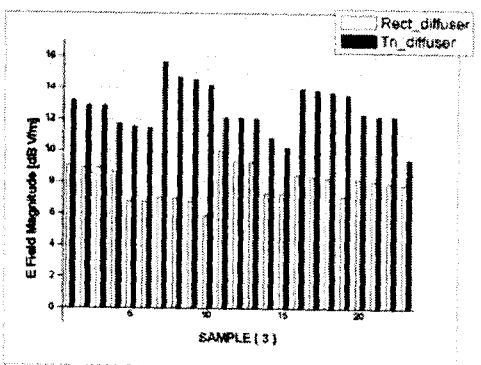
(c)



(d)



(e)



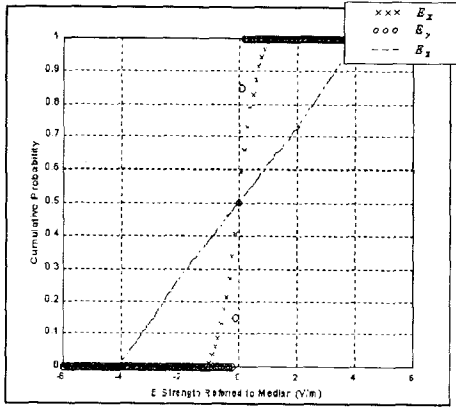
(f)

그림 7. 시험공간의 Line 1, 2, 3 각각에 대한 75% 전계 세기 분포

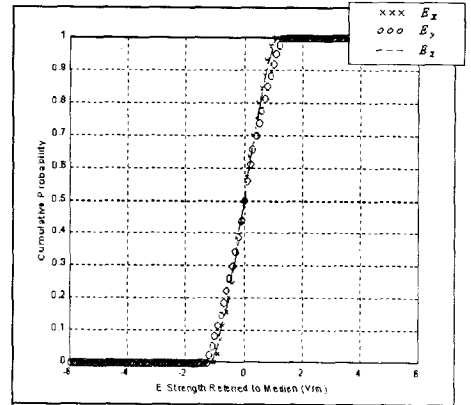
(a) diffusers가 없을 때 (line 1 샘플), (b) diffusers가 있을 때 (line 1 샘플), (c) diffusers가 없을 때 (line 2 샘플), (d) diffusers가 있을 때 (line 2 샘플), (e) diffusers가 없을 때 (line 3 샘플), (f) diffusers가 있을 때 (line 3 샘플)

Fig. 7. 75% electric field intensity distribution for each line 1, 2, 3 within test volume.

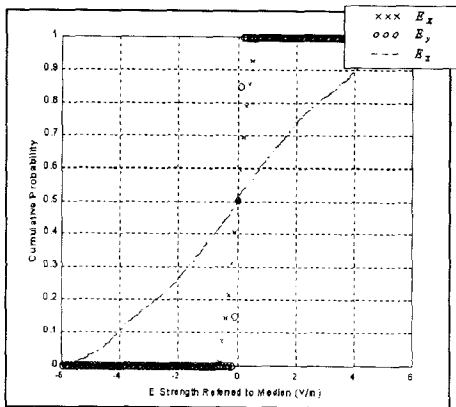
(a) Without diffusers (line 1 samples), (b) With diffusers (line 1 samples), (c) Without diffusers (line 2 samples), (d) With diffusers (line 2 samples), (e) Without diffusers (line 3 samples), (f) With diffusers (line 3 samples).



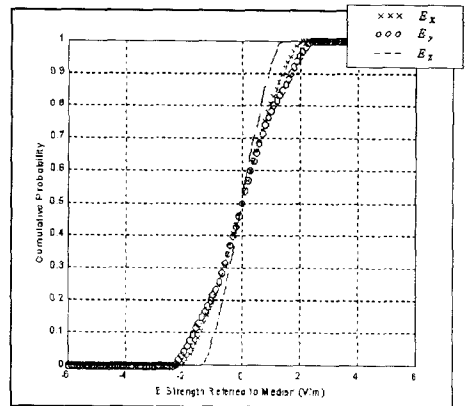
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8. E_x , E_y , E_z 성분에 대한 누적 분포함수

(a) 직사각형 구조, (b) 직사각형-diffusers, (c) 삼각형 구조, (d) 삼각형-diffusers

Fig. 8. Cumulative distribution Function for E_x , E_y , E_z components.

(a) Rectangular structure without diffusers, (b) Rectangular structure with diffusers,

(c) Triangular structure without diffusers, (d) Triangular structure with diffusers.

표 3. E_x , E_y , E_z 성분에 대한 표준편차

Table 3. Standard deviation for E_x , E_y , E_z components.

E (V/m)	E_x	E_y	E_z
Rect.	0.49	0.08	2.42
Rect. diffusers	0.51	0.67	0.55
Tri.	0.33	0.09	2.87
Tri. diffusers	1.03	1.18	0.68

경우에 대해서는 E_z 에 대한 특정 편파 특성을 보였는데, 그러나, diffusers를 부착함으로써 특정 편파의 영향이 현저하게 감소됨을 알 수 있다. 또한 diffuser를 부착한 직사각형 구조와 삼각형 구조를 비교해 보았을 때, 직사각형 구조가 전체 성분 E_x , E_y , E_z 값들이 보다 더 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에 사용된 전자파 잔향실 두 구조에 대해

발생 가능한 모드 수를 계산해 본 결과 직사각형보다 삼각형 구조가 많은 모드 분포를 가지고 있음을 알 수 있었다. 따라서 잔향실 내부의 필드 균일성 확보에 있어서 삼각형 구조가 보다 효율적으로 이용될 수 있다는 가능성을 확인하였다. 그러나 이들 두 구조에 대해 주파수 대역 2 ~ 3 GHz 대에 설계된 diffusers를 부착하여 시뮬레이션한 결과 동일 소스에 대해서 전력의 효율 면에서는 삼각형 구조가 직사각형의 구조보다 우수하였으나, 필드의 균일도 면에서는 직사각형 구조에 비해 성능이 다소 떨어지는 결과를 보였으며, 직사각형 구조의 경우 최대 tolerance ± 3 dB 이내의 필드 균일도를 나타내어 전자파 대응시험시설로서 충분히 사용될 수 있는 결과를 보였다. 삼각형 구조의 경우 균일도가 다소 떨어지나 모드 수 분석의 결과에 비추어 diffusers 크기에 비해 잔향실 공간의 협소함, 즉 실제 잔향실 공간의 축소로 인해 균일 필드의 확보에 문제점의 발생과 이로 인한 diffusers의 효율이 저하된 것으로 여겨지며, 따라서 보다 큰 체적의 삼각형 구조에 diffusers를 부착하였을 경우 요구되는 필드 균일성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

전자파 잔향실 내 임의의 한 셀에 대해서 시간에 따른 전계 성분 E_x , E_y , E_z 에 대한 누적분포를 분석한 결과 삼각형 구조보다 직사각형 구조의 전자파 잔향실이 편파에 대해서 독립적이라는 것을 알 수 있었다. 필드 균일도 측면에서 비추어 볼 때, 삼각형 구조에 비해 직사각형 구조 잔향실의 경우 diffusers로 인해 모드들을 보다 안정적으로 확산시킴으로써 균일한 필드 분포를 얻을 수 있었으며, 이러한 결과로부터 안정적인 확산은 균일 필드뿐만 아니라 특정 편파에 무관한 필드특성을 확보할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Mendes H. A. A new approach to electromagnetic field-strength measurements in shielded enclosures wescon Tech. Paper, CA, USA, pp. 20-23, August, 1968.
- [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, April, 1986.
- [3] IEC 61000-4-3: Annex XX: Alternative method Reverberation chamber method (Draft document 77B/215/CD).
- [4] Hatfield, M. O. and Slocum, M. B. Frequency Characterization of Reverberation Chambers, *IEEE Symposium on EMC*, 1996.
- [5] Crawford, M. L., Koepke, G. H. and Ladbury, J. M., "EMR Test Facilities-Evaluation of Reverberating Chamber Located at RADC, Griffiss AFB, Rome, NY", *NBSIR 87-3080*; December, 1987.
- [6] Crawford, M. L., Koepke, G. H., "EMR Test Facilities Evaluation of Reverberating Chamber Located at Naval Surface Weapons Center, Dahlgren, Virginia", *NBSIR 86-0351*; June, 1986.
- [7] Frank B. J. Leferink, "High Field Strength in a Large Volume: The Intrinsic Reverberation Chamber." *IEEE Symposium on EMC*, pp. 24-27, 1998.
- [8] Markus Petirsch, and Adolf Josef 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, November, 1999.
- [9] M. R. Schroeder, "Diffuse Sound Reflection by Maximum Length Sequences," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 57, pp. 149-150, Jan., 1975.
- [10] M. R. Schroeder and R. Gerlach, "Response to 'Comments on Diffuse Sound Reflection by Maximum Length Sequences,'" *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 60, p. 954, Oct., 1976.
- [11] M. R. Schroeder, "Binaural Dissimilarity and Optimum Ceilings for Concert Halls: More Lateral Sound Diffusion," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 65, pp. 958-963, 1979.
- [12] Yi Huang, "Conducting triangular chambers for EMC measurements", *Measurement Science & Technology*, vol. 10 no. 3, L21-L24, March, 1999.

- [13] Madan Mehta and James Johnson, "Architectural Acoustics Principles and Design", Prentice Hall, 1999.
- [14] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media." *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 14, pp. 302-307, 1966.
- [15] A. Taflove, and M. E. Brodwin, Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time dependent Maxwell's equation, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* 23(8), pp. 623-630, 1975.
- [16] G. M. Smith, *Numerical Solution of Partial Differential Equation: Finite Difference Method*, 8th Edition, Oxford Clarendon Press, 1985.
- [17] Z. P. Liao, H. L. Wong, B. P. Yang, and Y. F. Yuan, "A transmitting boundary for transient wave analyses," *Scientia Sinica (series A)*, vol. XXVII, pp. 1063-1076, 1984.
- [18] Lizhou Bai, Lin Wang, Baikuan Wang, Jianjian song "Reverberation Chamber Modeling Using FDTD", *IEEE Symposium on EMC*, 1999.
- [19] EN 61000-4-3, Electromagnetic Compatibility, Part 4. Testing and measurement techniques, Section 3. Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity, 1997.

이 중 근



1967년: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1973년: 미국 남플로리다 주립대학 (공학석사)
 1979년: 미국 남플로리다 주립대학 (공학박사)
 1979년 ~ 1988년: 국방과학연구소

책임연구원

1990년~1991년: 한국전자파기술학회 회장

1988년~현재: 한양대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] EMI/EMC, IMT-2000 관련 M·W 부품

이 광 순



1999년 2월: 순천향대학교(공학사)
 1999년 3월 ~ 현재: 한양대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] EMI/EMC, 마이크로파

정 삼 영



1988년 8월: 연세대학교 물리학과 (이학석사)
 1998년 3월~현재: 한양대학교 전자통신전파공학과 박사과정
 1991년 6월~현재: 전파연구소 EMC 기준 연구실, 국내 IEC TC77 B/C (전자파 적합성) 전문위원

[주 관심분야] EMI/EMC 국제표준, 전자파 측정 및 수치해석