

전자파 잔향실 내 확산기 배열 조건에 따른 필드분포 특성

Field Distribution Characteristics of A Reverberation Chamber with Different Conditions of Diffuser Arrangement

이광순* · 이증근* · 정삼영**

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

요 약

본 논문에서는 전자파 장애 및 복사내성 측정의 대응 시험시설로서 활용될 수 있는 전자파 잔향실의 전자기장 특성에 관하여 연구되었다. 전자파 잔향실 내부에서의 필드 균일성을 확보하기 위하여, Schroeder 방식의 Quadratic Residue 확산기(diffuser)를 설계한 후, 확산기의 방향에 따른 3가지 배열 형태로 잔향실 내부에 적용하여, 필드 분포를 해석하였다. FDTD(Finite-Difference Time-Domain) 수치해석 방식을 이용하여 잔향실 내부의 필드 특성을 연구한 결과 확산기를 부착한 3가지 형태 모두 최대 변화범위 ± 3 dB 이내의 필드 균일도를 나타내었으며, type 3, 대칭형 구조의 확산기 형태가 효율이 가장 우수하다는 결과를 나타내었다.

Abstract

Electromagnetic field characteristics of Reverberation chamber which could be applicable for an alternative test facility of electromagnetic interference and radiated electromagnetic susceptibility have been investigated. To obtain the required field uniformity of reverberation chamber, Schroeder method Quadratic Residue Diffuser was designed to be applied to chamber. In this paper, 3 different types of diffusers depending on diffuser's periodic direction have been used to investigate field characteristics of each type by using FDTD numerical method. The results show all 3 types of reverberation chambers have below ± 3 dB tolerance of field uniformity characteristics, and the symmetrical, type 3, structure show better results among them.

I. 서 론

전자파 잔향실은 기본적으로 공진 모드^[1]을 활용하기 때문에 일정한 크기의 잔향실 내부에서 전자파 균일성을 확보할 수 있는 모드 수에 의해 하한 주파수가 결정되며, 주파수의 증가에 따라 모드 수가 증가하기 때문에 하한 주파수 이상의 대역에서 활용하는 방법에 대하여 많은 연구들이 진행 중에 있고, 특히 GHz 대역에서 사용하기에 적합한 전자파 장애 및 복사내성 대응시험 시설이라고 볼 수 있다^[2].

전자파 잔향실 내에 균일한 필드를 확보하기 위해서는, 잔향실 내부에 발생 가능한 총 모드 수, 스티러(stirrer) 또는 확산기의 효율, 그리고 잔향실 제작을 위해 사용된 매질(도체)의 Q인자 등에 의해서 결정된다^[1].

본 논문에서는 잔향실 내부의 필드 균일성을 개선하기 위하여 3가지 형태의 Schroeder 방식의 확산기를 설계하였다. 각 설계된 3가지 형태의 확산기에 대한 전자파 잔향실 내부의 필드 분포는 유한 차분법(Finite Difference Method)을 기초로 하는 FDTD

*한양대학교 전자통신전파공학부(Dept. of Electronic Communication Radio Science and Engineering, Hanyang Univ.)

**전파연구소 EMC 연구실(EMC Lab., RRL.)

· 논문 번호 : 20001018-118

· 수정완료일자 : 2001년 1월 30일

방식을 적용하여 주파수 3 GHz 대역에서 수치해석을 하였고, 3가지 형태의 확산기에 대해서 필드 개선효과^{[3]~[8]}를 조사하기 위하여 적절히 선정된 시험 평면(test plane)에서 추출한 전계 세기로 필드 변화 상태를 비교 분석하였다. 또한, 확률적 통계기법을 이용하여, 편파특성을 조사하였다.

II. 전자파 잔향실 설계

전자파 잔향실은 필드 균일성을 만족시키기 위해 최소 시험 주파수(LUF : Lowest Useable Frequency)에 대해서 다중모드 전자기 환경 (multi-mode electro-magnetic environment)을 유지하기 위한 적절한 크기를 가져야 한다.

전자파 잔향실 내부에 발생하는 실제 모드 수는 잔향실의 크기뿐만 아니라 튜너나 확산기의 사용에 따른 전력효율에 따라 결정되어진다^[9]. 따라서 튜너 및 확산기의 효율을 높여줌으로써 유효 모드밀도를 높일 수 있고 아울러 최소 시험 주파수를 보다 낮출 수 있다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 그림 1과 같은 크기를 갖는 잔향실에 대해서 연구하였다.

2-1 Schroeder 방법의 확산기 설계

1975년 독일 Schroeder에 의해 음향학 분야에서 처음 소개되었던 Quadratic Residue 확산기는 녹음실, 오페라 하우스, 공연장 등에서 음향효과의 극대화를 위해 이용되어 왔다, 최근에는 전자파 잔향실

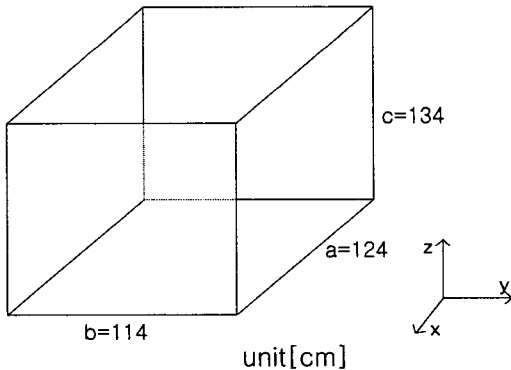


그림 1. 전자파 잔향실 구조
Fig. 1. Structure of reverberation chamber.

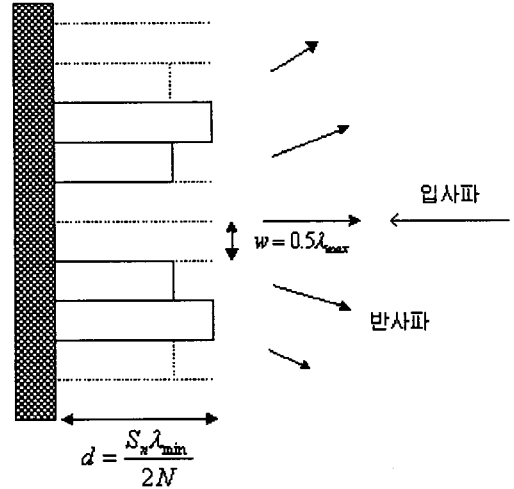


그림 2. 확산기의 원리
Fig. 2. Principle of diffuser.

에 응용되어 잔향실 내에서 모드를 주파수축에 대하여 균일하게 분포하도록 함으로써 전자기장의 균일도를 확보하기 위해 활용되어지고 있고^[10]. 확산기의 기본 원리는 그림 2와 같다.

본 연구에서는 전자파 잔향실에서 요구되는 필드의 균일성을 확보하기 위하여, Schroeder 방식의 확산기를 적용하고자 그림 1 구조에 응용될 Quadratic Residue 확산기를 설계하였다.

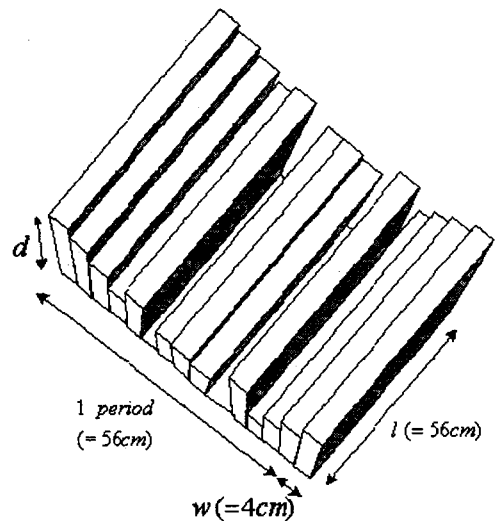


그림 3. 설계된 Schroeder 방식의 확산기
Fig. 3. Designed Schroeder method diffuser.

확산기의 구조는 사용될 주파수의 범위에 따라 크기가 정해지며, 본 연구에서는 수치해석 되어질 주파수를 고려하여, 주파수 범위 2.5~3.5 GHz 에서 적용될 확산기를 설계하였다^{[4],[11]}.

설계된 Shroeder 방식의 확산기에서 well의 폭 (width)은 $\lambda_{max}(f_{max})$ 에 의해, 깊이(depth)는 $\lambda_{min}(f_{min})$ 에 의해 결정되어졌다. 확산기의 깊이에 대한 1 주기에 대해서 설계된 확산기의 형태는 그림 3과 같다.

세로 길이 l(length)과 1 주기에 해당하는 확산기의 전체 폭은 크면 클수록 효율이 증가되지만, 본 논문에서는 전자파 잔향실의 크기를 고려해서 설계 하였다^[11].

III. 잔향실 내부 필드분포 해석

3-1 전자파 잔향실의 모델링

전자파 잔향실에 그림 3과 같이 설계된 Shroeder 방식의 확산기를 이용하여 그림 6과 같이 3가지 형태의 확산기를 고안하였다. 또한 잔향실 내부의 필드 분포를 조사하기 위하여 FDTD 수치해석 방식을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 이 해석 방식은 Yee 알고리즘^[12]이 적용되는데, 시간과 공간에 대한 전자계 필드를 해석하기 위하여 유한 차분 방정식을 이용하여 해석된다.

전자파 잔향실에 대한 구조는 그림 5(a)와 같이

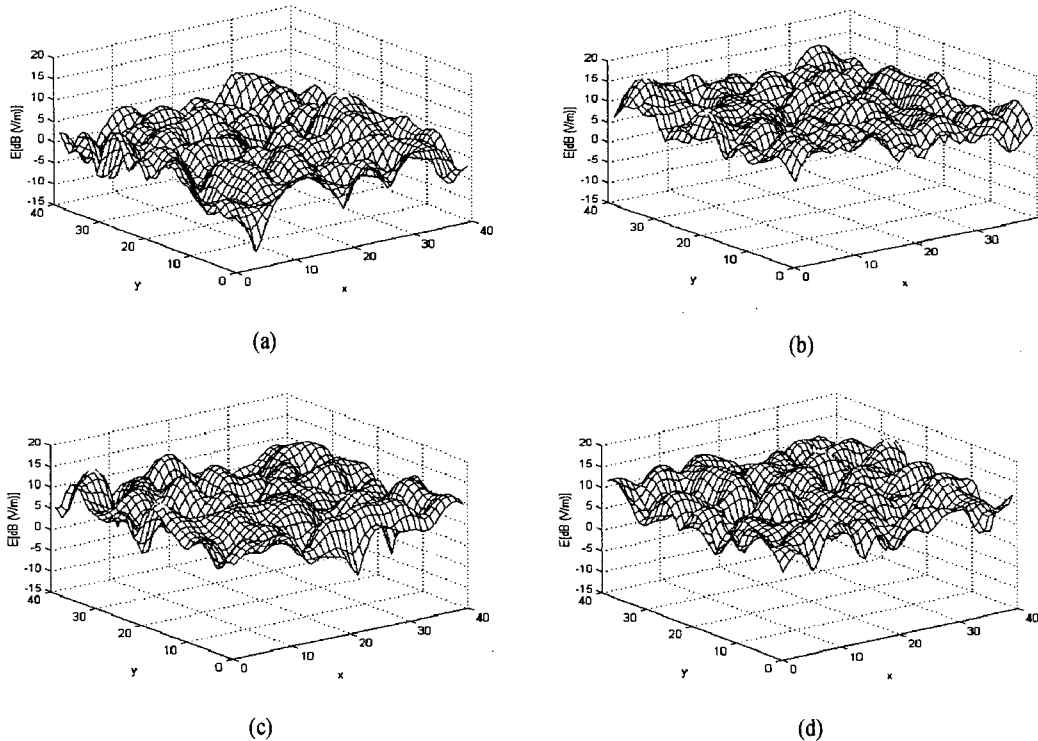


그림 4. $y=51$ 에서의 x - z 평면에서의 전계 크기 분포

- (a) 확산기를 부착하지 않은 잔향실
- (c) Type 2의 확산기를 부착한 잔향실

- (b) Type 1의 확산기를 부착한 잔향실
- (d) Type 3의 확산기를 부착한 잔향실

Fig. 4. Time-averaged electric field magnitude distributions on x - z plane at $y=51$.

- (a) Reverberation chamber without diffuser
- (b) Reverberation chamber with type 1 diffuser
- (c) Reverberation chamber with type 2 diffuser
- (d) Reverberation chamber with type 3 diffuser

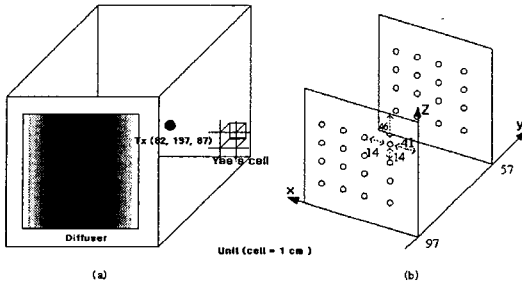


그림 5. (a) 수치해석을 위한 전자파 잔향실 모델링, (b) 시험 평면
 Fig. 5. (a) Reverberation chamber modeling for numerical analysis, (b) Test plane.

모델링 되었으며, 주파수 3 GHz에 대해서 필드 분포를 얻기 위해, 주파수를 고려하여 기본 셀을 ΔX , ΔY , $\Delta Z=1$ cm로 설정하였다.

그리고 CFL(Courant-Friedrick-Lewy) 안정성 조건^{[13],[14]}을 만족시키기 위하여 이산 시간을 19.25 ps ($=\Delta t$), 전체 시간 간격 수를 20,000으로 설정하였다. 본 논문에서 잔향실 크기는 $124\Delta X \times 114\Delta Y \times 134\Delta Z$ 로 설정하였다. 필드 발생을 위한 소스는 sinusoidal 포인트 소스를 사용하였고, 셀 (61, 86, 67)에 위치시켰다. 전자파 잔향실은 PEC (Perfect Electric Conductor)셀로 모델링 하였고, 확산기 매질과 외부 경계조건 또한 PEC로 설정하였다.

확산기는 그림 5, 6과 같이 각 3 가지 형태에 대해서 잔향실 내부 x-z 평면 끝 부분중앙에 위치시켰다. 필드 분포를 조사하기 위하여 그림 5 (b)의 시험 평면(test plane)에서 전계 세기를 추출하였다.

3-2 해석결과

전자파 잔향실에 확산기를 사용하였을 경우와 사용하지 않았을 경우, $y=51$ 에서의 x-z 평면에 대한 시뮬레이션된 전계 세기 분포결과는 그림 4와 같다. 확산기를 사용함으로써, 전력효율이 향상되었다.

확산기를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 수치해석 결과를 이용하여, 그림 5 (b)의 시험 공간에서 32개 전계 세기 값 중 75%^[9]인 24 개의 샘플에 대한 평균값, 표준편차, 최대 값, 최소 값, tolerance 결과는 표 1과 같다.

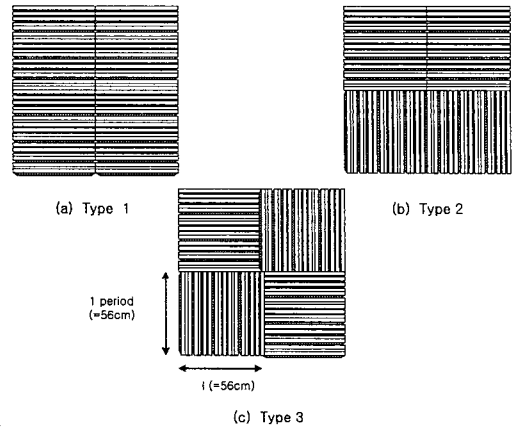


그림 6. 전자파 잔향실 내부 부착될 3가지 형태의 확산기 구조
 Fig. 6. 3 different diffuser structures to be attached at reverberation chamber.

표 1. 시험 평면 전계 세기의 샘플 값중 75 %
 Table 1. 75 % of sampled electric field intensity at test plane.

E (dBV/m)	잔향실	확산기+ Type 1	확산기+ Type 2	확산기+ Type 3
평균	5.98	8.85	9.13	7.48
표준편차	2.06	1.46	1.77	1.36
최대 값	9.48	11.2	12.2	10.2
최소 값	2.08	5.81	6.38	5.00
Tolerance[dB]	7.40	5.39	5.82	5.20

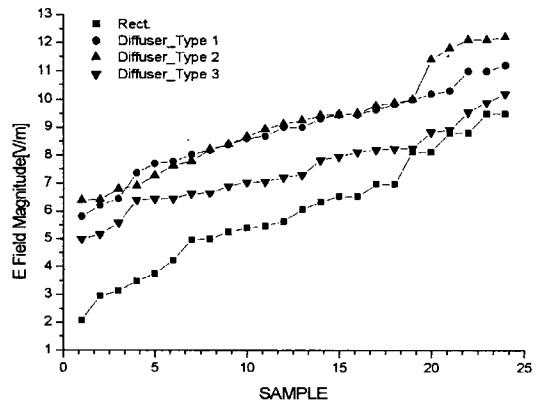


그림 7. 시험평면의 전기장 분포 (75 % of samples)
 Fig. 7. Electric field distribution at test plane (75 % of samples).

정의된 시험 평면에 대한 75 %의 전체 세기 샘플을 그래프로 비교하면 그림 7과 같다.

그림 7과 표 1에 의하면, 시뮬레이션 결과 동일한 소스에 대해서 확산기를 부착한 경우 전력 효율이 향상되었을 뿐만 아니라, 필드의 균일성 또한 개선됨을 알 수 있다.

잔향실 내부에 확산기를 부착했을 경우 편파 특성을 조사하기 위해, x-z 평면 y=57 단면의 16,616 개 셀에 대한 E_x , E_y , E_z 의 값을 추출한 후, 그 중 75 % 샘플에 대해서 누적분포 함수를 구하였다. 전

체적인 분포는 그림 8과 같이 카이제곱(Chi-Squared)분포를 따르고 있다. 이에 대한 E_x , E_y , E_z 성분에 대한 표준편차의 결과는 표 2와 같다.

그림 8과 표 2에 따르면 고안된 확산기를 부착하지 않은 경우에 대해서는 E_z 에 대한 특정 편파 특성을 보였다. 반면에, 확산기를 부착함으로써 특정 편파의 영향이 현저하게 감소되었다. 또한 확산기를 부착한 3가지 type에 대해서는 type 1, type 2, type 3 순서로 전체 성분들이 잘 일치하였으며 이는 편파 특성이 향상되었음을 보여준다.

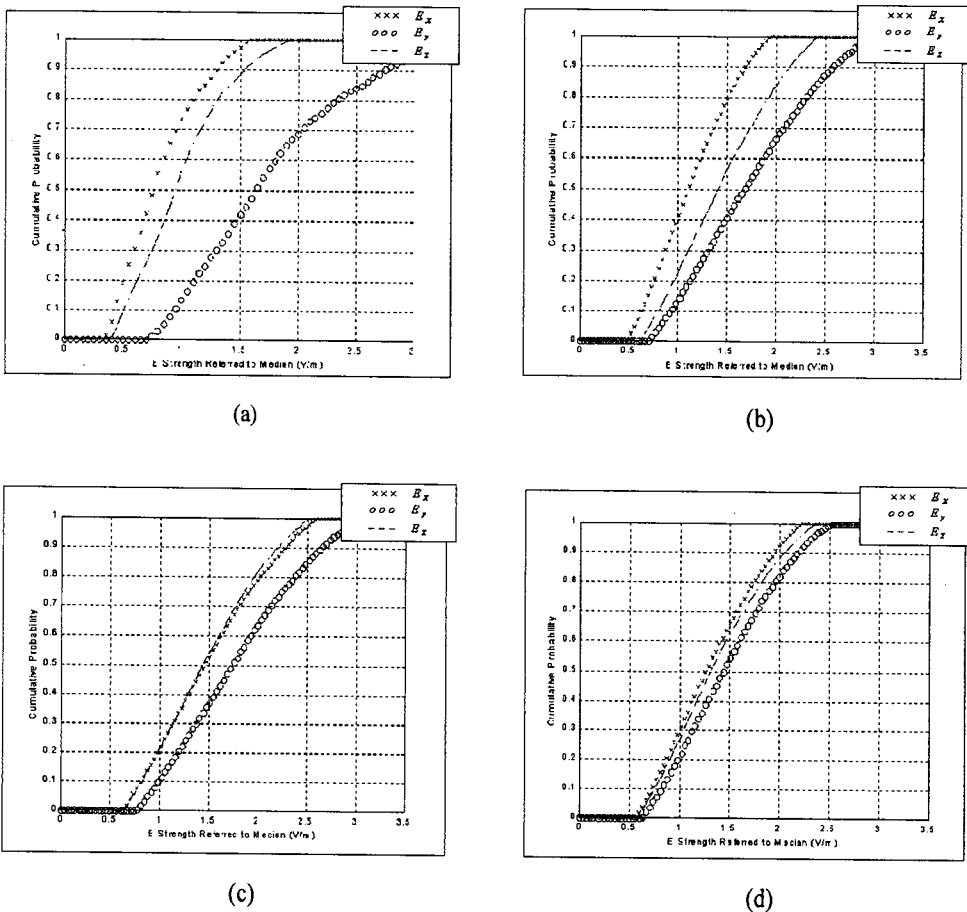


그림 8. y=57 일 때 x-z 평면에서 E_x , E_y , E_z 성분의 누적 분포

- (a) 확산기를 부착하지 않은 잔향실
- (b) Type 1의 확산기를 부착한 잔향실
- (c) Type 2의 확산기를 부착한 잔향실
- (d) Type 3의 확산기를 부착한 잔향실

Fig. 8. Cumulative distributions of E_x , E_y , E_z components on x-z plane at y=57 of test plane.

- (a) Reverberation chamber without diffuser
- (b) Reverberation chamber with type 1 diffuser
- (c) Reverberation chamber with type 2 diffuser
- (d) Reverberation chamber with type 3 diffuser

표 2. E_x, E_y, E_z 크기 성분에 대한 표준편차
Table 2. Standard deviations of E_x, E_y, E_z magnitude components.

E (V/m)	E_x	E_y	E_z
잔향실	0.10	0.65	0.20
확산기+Type 1	0.38	0.60	0.48
확산기+Type 2	0.53	0.60	0.50
확산기+Type 3	0.44	0.49	0.46

IV. 결 론

주파수 2.5~3.5 GHz 대역에 전자파 확산 가능한 확산기를 설계하고 이를 적절하게 조합하여 3가지 형태의 확산기를 고안한 후, 각각의 확산기를 전자파 잔향실에 부착하여 시뮬레이션 한 결과, 확산기를 부착하지 않은 경우와 비교해 보았을 때 전력 효율의 향상되었으며, 필드 균일도 측면에서도 우수하다는 결론을 얻었다. 또한 적용된 3가지 type의 확산기 모두 최대 tolerance ± 3 dB 이내의 필드 균일도를 나타내었으며, 3 가지 type 중 type 3의 확산기가 효율이 가장 우수하였다. 또한 전자파 잔향실의 동일한 평면에 대한 E_x, E_y, E_z 의 누적분포함수를 통한 편파에 대해 조사한 결과 확산기를 부착함으로써 특정 편파에 대한 영향이 감소되었고, type 1, type 2, type 3 순서로 편파특성이 개선됨을 알 수 있었다.

전자파 잔향실에 적용될 확산기 설계 시, type 1과 같은 단순한 확산기보다는 배열을 고려하여 설계하였을 때, 필드 균일성, 전력효율 및 편파측면에 있어서 우수한 특성을 갖는 전자파 잔향실을 설계할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 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.

[2] *IEC 61000-4-3: Annex XX: Alternative method Reverberation chamber method* (Draft document 77B/215/CD).

[3] Sam-Young Chung and Joong-Geun Rhee, "Field Uniformity Analysis of Reverberation Chamber by FDTD(finite-Difference Time-Domain) Simulation Method", *International Electro-technical Commission/CISPR(International Special Committee on Radio Interference)*, St. Petersburg, Russia, May, 2000.

[4] 이광순, 이중근, 정삼영, "전자파 확산방식을 이용한 잔향실 내부의 필드 분포 해석", *한국전자파학회지*, vol. 11, no. 5, pp. 839-848, 2000, 8.

[5] 이광순, 이중근, 정삼영, 김성철 "Schroeder Diffuser를 이용한 전자파 잔향실 내부의 필드 해석" *춘계마이크로파 및 전파 학술대회 논문집*, vol. 23, no. 1, pp. 497-500, 2000, 5.

[6] 이광순, 이중근, 정삼영, 김해광, "전자파 잔향실의 필드 균일성 확보를 위한 Schroeder 방식의 Diffuser 설계" 2000년도 한국음향학회 학술대회 논문집, vol. 19, no. 1(s), pp. 211-214, 2000, 7.

[7] 이광순, 이중근, 정삼영, 김성철, "Diffuser 배열에 따른 전자파 잔향실내 필드 편파 특성 향상" *춘계마이크로파 및 전파 학술대회 논문집*, vol. 23, no. 2, pp. 263-266, 2000, 9, 23.

[8] 정삼영, 이광순, 이황재, 이중근, "전자파 장해 및 복사 내성 측정용 전자파 잔향실 내부의 필드 특성" *국방부 학술대회 논문집*, pp. 3B, 58-62, 2000, 9, 22.

[9] *EN 61000-4-3, Electromagnetic Compatibility, Part 4. Testing and measurement techniques, Section 3. Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity*, 1997.

[10] 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.

[11] Madan Mehta and James Johnson, *Architectural Acoustics Principles and Design*, Prentice Hall, 1999.

[12] 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.

[13] 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.

[14] G. M. Smith, *Numerical Solution of Partial Differential Equation: Finite Difference Method*, 8th Edition, Oxford Clarendon Press, 1985.

이 광 순



1999년 2월: 순천향대학교(공학사)
 1999년 3월~현재: 한양대학교 전자공학과 석사과정 재학 중
 [주 관심분야] EMI/EMC, Microwave 및 수치 해석

정 삼 영



1988년 8월: 연세대학교 물리학과 (이학석사)
 1998년 3월~현재: 한양대학교 전자통신전파공학과 박사과정
 1991년 6월~현재: 전파연구소 EMC 기준 연구실, 국내 IECTC77 B/C(전자파 적합성) 전문위원
 [주 관심분야] EMI/EMC 국제표준, 전자파 측정 및 수치 해석

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 전자통신전파공학과 교수
 [주 관심분야] EMI/EMC, Ant., Eilter 및 IMT-2000 Microwave 부품