

EMC 측정 대응 시설로 논의되고 있는
Reverberation Chamber의 기술적 연구 동향

이 중 근

한양대학교

I. 서 론

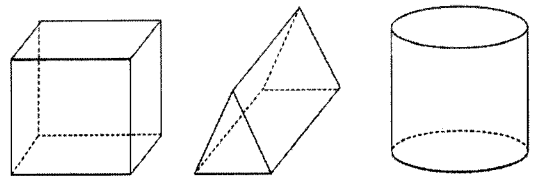
최근 과학 기술의 발전으로 전기 전자 제품 및 통신 기기의 사용 빈도가 증가함에 따라 가정, 사무실, 산업 현장에서의 전자파 환경이 악화되고 있다. 불요 전자파로 인한 기기 상호간 장애 현상을 방지하기 위해 전기 전자 통신 기기의 불요 전자파 허용 기준치와 측정 방법을 규정하였으며, 이를 만족시키기 위해 설계 제작 단계부터 EMC(Electromagnetic Compatibility)를 고려해야 하며, 제품이 판매되기 위해서는 EMC 테스트를 만족시켜야 한다^[1].

전자파 장애 및 복사 내성 측정을 위한 대응 시험 시설로서 전자파 잔향실(Reverberation Chamber)이 미국 표준과학연구원(NIST: National Institute of Standards and Technology)의 연구 결과로 발표되었으며^[2], 국제 전자파 장애 특별 위원회(CISPR: International Special Committee on Radio Interference)는 IEC 61000-4-21에서 전자파 잔향실에 대한 사양을 규정하였다^[3]. [그림 1]과 [그림 2]는 전자파 잔향실의 다양한 형태와 전형적인 전자파 잔향실 시설을 보여준다.

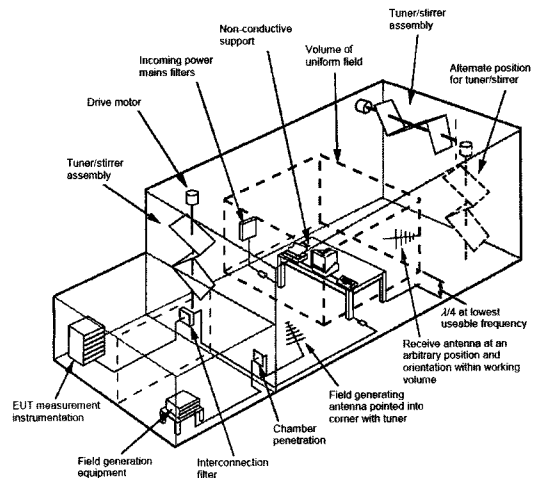
전자파 잔향실은 잔향실 내부의 전기장 균일도를 확보할 수 있는 모드(Mode) 수에 의해 하한 주파수(LUF: Lowest Usable High Frequency)가 결정되며, 주파수가 증가함에 따라 모드 수도 증가하므로 하한 주파수 이상에서 잔향실로 사용 가능하다. 일반적으로 잔향실의 하한 주파수를 낮추기 위해 스티러(Stirrer) 또는 확산기(Diffuser)를 사용하여 전기장의 균일도를 확보하였다^{[4]~[6]}. 전기장 균일도는 잔향실 내 발생 가능한 총 모드 수, 잔향실 제작을 위해 사용된 매질의 Q 인자, 스티러 및 확산기 효율 등에 의해 결정된다^[2].

현재까지 Schroeder 방식의 QRD(Quadratic Residue Diffuser)를 이용한 잔향실에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, QRD를 사용한 잔향실은 스티러를 사용한 잔향실에 비해 측정 소요 시간이 짧은 장점이 있다. 또한, 전자파 잔향실, 스티러, 확산기의 형태와 크기 변화에 따른 필드 균일도의 향상을 위한 연구가 다양한 형태로 이루어지고 있다.

특히 오늘날에는 기존에 연구되었던 QRD보다 전기장 확산에 유리한 CRD(Cubical Residue Diffuser)에



[그림 1] 전자파 잔향실의 다양한 형태



[그림 2] 전형적인 전자파 잔향실 시설

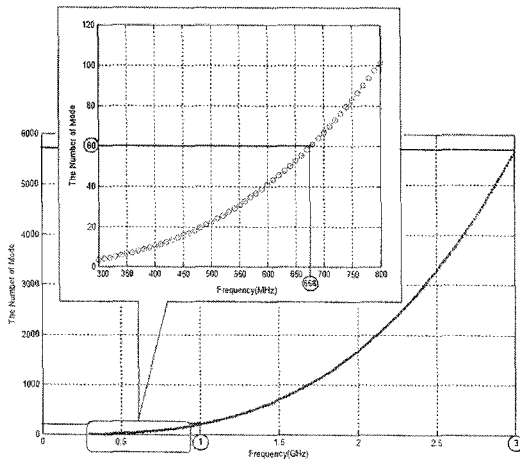
대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

II. Mode

전자파 잔향실 내에서 발생 가능한 총 모드 수는 전자파 잔향실의 특성을 결정하는 중요한 요소 중 하나이다. 이러한 이유로, 전자파 잔향실 내에서의 모드 수를 증가시키려는 연구는 과거로부터 현재까지 꾸준히 진행되어 오고 있다. 필드 균일도(Field Uniformity)에 관한 요구조건을 만족시키기 위해, National Bureau of Standards(NBS) Technical Note 1092는 최소 60 모드를 제안하고 있으며, 전자파 잔향실 내에서의 필드 균일도 또한, ± 6 dB Tolerance와 ± 3 dB Standard Deviation 내에 들어올 것을 제시하고 있다^[2]. [그림 3]은 주파수 변화에 따른 전자파 잔향실 내에서의 모드 수의 변화를 나타낸 예이다.

III. Diffuser

1975년 M. R. Schroeder에 의해 음향학 분야에서 처음 소개되었던 Quadratic Residue Diffuser는 녹음실, 오페라 하우스, 공연장 등에서 음향 효과의 극대



[그림 3] 전자파 잔향실 내에서의 주파수 vs. 모드 수 예

화를 위해 이용되어 왔다. 1999년 Markus Petrisch와 Adolf Josef Schwab는 직육면체 구조의 전자파 잔향실에 Schroeder 확산기를 적용하여, 모드 수를 균일하게 분포시켜 전자기장의 균일도가 향상됨을 밝히고 이에 관한 연구 결과를 발표하였다^[7].

Schroeder 방식의 확산기는 QRS(Quadratic Residue Sequence)를 이용하여 설계한 QRD이다^[8]. QRS의 Sequence S_n 은 식 (1)과 같다. 여기서 n 은 0부터 $(N-1)$ 까지의 정수이고, j 는 $0 \leq n^2 - jN$ 을 만족하는 최대 정수이며, N 은 소수이다. 이러한 Sequence는 N 주기로 N 개의 난수가 반복된다.

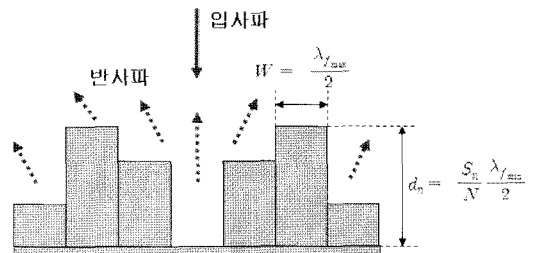
$$S_n = |n^2 - jN| \quad (1)$$

Schroeder 방식 확산기는 [그림 4]와 같은 기본 구조를 가지며, 확산기의 구조는 사용될 주파수의 범위에 따라 크기가 정해진다.

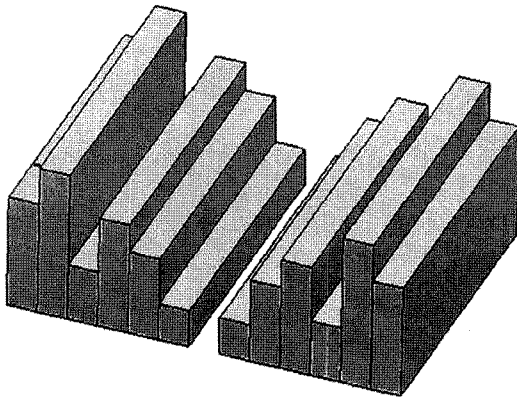
[그림 5]는 QRD와 CRD의 일반적인 모습을 보여준다.

IV. Field Analysis

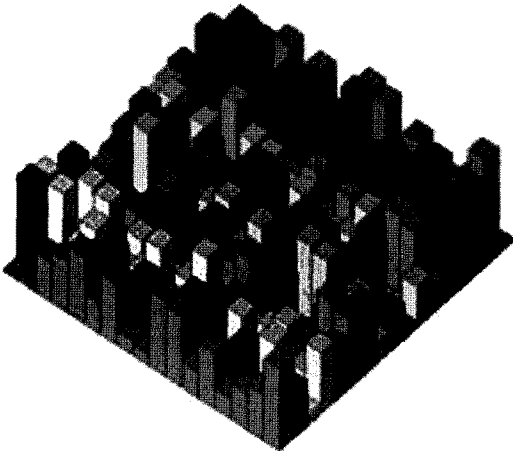
전자파 잔향실 내에서의 필드 분포는 일반적으로 Finite Difference Time Domain(FDTD) 방법에 기초하여 분석되며, 필드 분포의 Evaluation은 IEC draft 61000-4-21에 명시된 Cumulative Probability Distribution에 의해 실행된다^[3]. FDTD 방법에 기초한 XFDTD 시뮬레



[그림 4] Schroeder 방식 확산기의 기본 구조



(a) Quadratic Residue Diffuser(QRD)

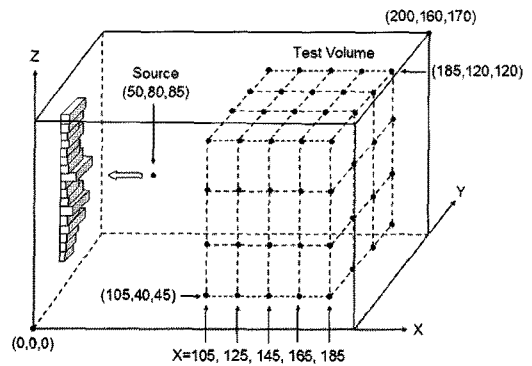


(b) Cubical Residue Diffuser(CRD)

[그림 5] 다양한 구조의 Diffuser

이전 Setup의 예가 [그림 6]에 나타나 있으며, 확산기 설치 유무에 따른 전자파 잔향실 내 전자파의 산란 모습은 [그림 7]과 같다.

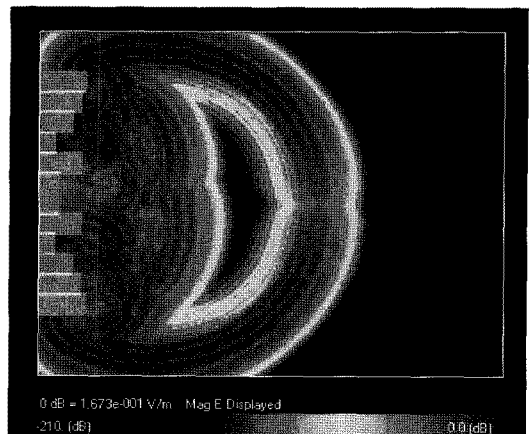
IEC draft 61000-4-21은 전자파 잔향실 내 필드 균일도가 시변(Time-varying)하기 때문에, 필드 분석을 위해 75 % Sampling의 Cumulative Distribution Function을 권고한다^[3]. 확산기를 설치한 전자파 잔향실 내 E_x , E_y , 그리고 E_z Polarization Component의 Electric Field Cumulative Distribution이 확산기를 미설치한 전자파 잔향실 내의 그것보다 작음을 [그림 8]에서 볼 수 있다.



[그림 6] 시뮬레이션 Setup의 예

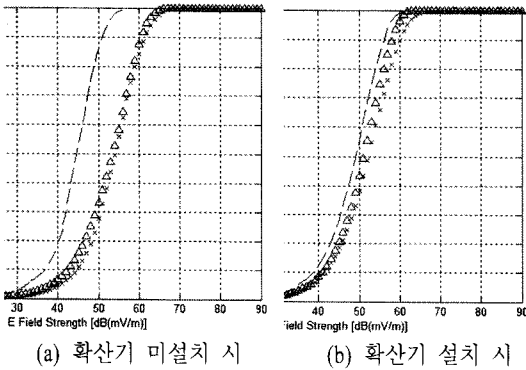


(a) 확산기 미설치 시



(b) 확산기 설치 시

[그림 7] 전자파 잔향실 내 전자파 산란 모습



[그림 8] Components의 field cumulative distribution function(Matlab. 사용)

V. IEC 61000-4-21

초고속 프로세스를 탑재한 전자기기들이 수없이 출시되고 있는 오늘날의 추세에 대응하기 위해, IEC Subcommittee 77B(Title: High Frequency Phenomena)는 IEC 61000-4-21(ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC)-Part 4-21: Testing and Measurement Techniques-Reverberation Chamber Test Methods)^[3] 문서를 보완하고 있다. 2003년 8월에 제정된 IEC 61000-4-21 Ed. 1은 2005년 10월 이후로 현재까지 세계 여러 나라의 전문가들에 의해 수정, 보완 작업이 진행 중이다. IEC 61000-4-21 Ed. 2의 CD1은 2007년 3월에 처음으로 이슈화되어 84개국의 해당 위원회로부터 Comment를 받았으며(77B/543/CC), 이러한 의견들을 수렴하여 반영 후 2008년 9월에 발표된 IEC 61000-4-21 Ed. 2의 CD2는 현재까지 각국의 해당 위원회 사이에 회람, 검토되고 있다.

IEC 61000-4-21 Ed. 2 CD2는 77/543/CC 문서 내용 중 열거된 각국의 해당 위원회로부터 제안된 Comment들을 포함한 수많은 관련 소 항목들이 변경되었고, 문서 내용 중 일부는 좀 더 논리적인 위치로 옮겨졌으며, 관련된 기타 문서에 관한 Reference 역시 수정, 보완되었다.

기존의 IEC 61000-4-21 Ed. 1에 비해 IEC 61000-4-21 Ed. 2 CD2에서 수정된 사항들은 대략 다음과 같다. 본문 중 Definitions와 Acronyms, General Considerations, Sweep Capability of RF Signal Generators or Synthesizers, Specification of Receiver, Specification of a Directional Coupler, Use of Absorbers for Use with Pulsed Measurements, Use and Calibration of Field Probes 관련 항목들이 수정 및 추가되었으며, Annex A (Overview of Reverberation Chambers), Annex B(Chamber Validation for Mode Tuning), Annex C(Mode Stirring), Annex D(Radiated Immunity Testing), Annex E(Radiated Emissions Measurements), Annex I(Antenna Efficiency Measurements), Annex J(Field Anisotropy Coefficient Evaluation) 중 일부 내용, 그림, 표가 수정 및 보완되었다. 반면에, Annex F, G, H(Measurement of Shielding Effectiveness)는 기존 Ed. 1을 유지하였으며, Annex K(Measurement Uncertainty)를 새롭게 추가하였다.

참 고 문 헌

- [1] H. W. Ott, *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems*, John Wiley & Sons, 2nd, pp. 1-4, 1988.
- [2] M. L. Crawford, 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] IEC 61000-4-21: Testing and Measurement Techniques - Reverberation Chamber Test Methods, 2003.
- [4] 이광순, 이중근, 정삼영, "전자파 확산방식을 이용한 잔향실 내부의 필드 분포 해석", 한국전자파 학회논문지, 11(5), pp. 839-848, 2000년 8월.
- [5] 이광순, 이중근, 정삼영, 김성철, "Schroeder Diffuser를 이용한 전자파 잔향실 내부의 필드 해석", 춘계마이크로파 및 전파 전파 학술대회 논문집,

- 23(1), pp. 497-500, 2000년 5월.
- [6] 정삼영, 이광순, 이황재, 이중근, "전자파 장애 및 복사내성 측정용 전자파 잔향실 내부의 필드 특성", 국방부 학술대회 논문집, pp. 58-62, 2000년 9월.
- [7] M. Petirsch, A. J. Schwab, "Investigation of the field uniformity of a mode-stirred chamber using diffusers based on acoustic theory", *IEEE Trans. on EMC*, 41(4), pp. 446-451, Nov. 1999.
- [8] M. Mehta, J. Johnson, *Architectural Acoustics Principles and Design*, Prentice Hall, 1999.

≡ 필자소개 ≡

이 중 근



1967년: 서울대학교 공과대학 전기공학과 (공학사)

1973년: Univ. of South Florida 전자공학과 (공학석사)

1979년: Univ. of South Florida 전자공학과 (공학박사)

1990년:(사)한국전자과학회 회장

1993년~1997년: 한국 아마추어 무선연맹 이사장

1998년~현재: 한양대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

[주 관심분야] EMC, MW 부품, Antenna, CISPR, ITU-R