

전자파 잔향실 및 야외시험장의 복사 방출

측정결과의 상관성 추출

이 증 권

한양대학교 공학대학
전자컴퓨터공학부

I. 개 요

전자파 잔향실(Reverberating Shielded Enclosure)의 개념은 전자파 차폐실(Shielded Enclosure)에서 얻어진 측정결과를 개선하기 위하여 1968년도에 제안되었다. 이후 Reverberating 또는 Mode-Stirred Chamber는 EM Immunity 측정뿐만 아니라 EMI 측정에서도 많이 적용되어 왔지만, 국제 표준 방식으로 적용되어 오지 못하다가 최근 EMI 복사 전력 측정 및 EM Immunity 측정시설로 유용하게 사용될 수 있다는 점이 부각되어 국제 표준 방식으로 적용하자는 분위기가 무르익어 이에 대한 활발한 논의가 계속되어 오고 있다.

이러한 전자파 잔향실을 이용하여 EMI 및 EMS 시험을 실시할 수 있는 방법을 규격화시키자는 제안이 '96년 프랑스 Mandelieu 국제 전자파 장애 특별위원회(CISPR : International Special Committee on Radio Interference)회의에서 검토된 후' 97년 일본 Yokosuka CISPR 회의에서 정식 의제로 채택되었다. 이 안건에 대하여 대부분의 국가들이 제안 취지에 찬성하여 NWIP(New Work Item Proposal) 문서가 각국에 회람되었다. 초기 전자파 잔향실은 전자파 장애 및 복사 내성 측정을 위한 대용시험 시설로서 1968년 미국 Mendes에 의해 전자파 차폐실 구조에 Stirrer를 이용하여 필드의 균일도를 확보할 수 있다는 전자파 잔향실 개념이 처음으로 제안되었다. 이후 이 분야의 연구는 미국 표준 기술 연구소(NIST : National Institute of Standard and Technol-

ogy)등에서 연구가 활발히 진행되고 있으며, 국제 표준화 기구인 CISPR에서 전자파 장애 및 내성 시험을 위한 대용시험 시설로서 활용하기 위하여 규격 작업이 진행 중에 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 모드를 활용하기 때문에 일정한 크기의 잔향실 내부에서 전자파 균일성을 확보할 수 있는 모드 수에 의해 하한 주파수가 결정되며 충분한 모드 분포상태에서 Stirrer를 사용하여 필드 경계를 이동시킴으로서 확률적으로 균일한 필드분포를 확보하게 된다. 주파수가 증가함에 따라 모드 수는 증가하기 때문에 하한 주파수 이상의 대역에 대한 시험시설로 활용할 수 있으며, 특히 GHz 대역에서 사용하기에 적합한 대용시험시설이라고 볼 수 있다.

II. 전자파 측정 시설

<표 1>은 다양한 종류의 전자파 측정 시설간 용도 및 장 단점을 요약하고 있다.

III. 전자파 잔향실의 내부구조

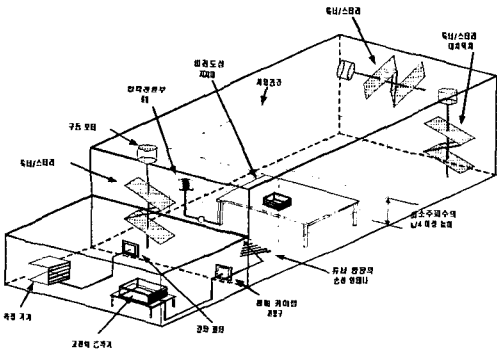
([그림 1]) 참조

IV. 전자파 잔향실내의 전자파 산란 이론

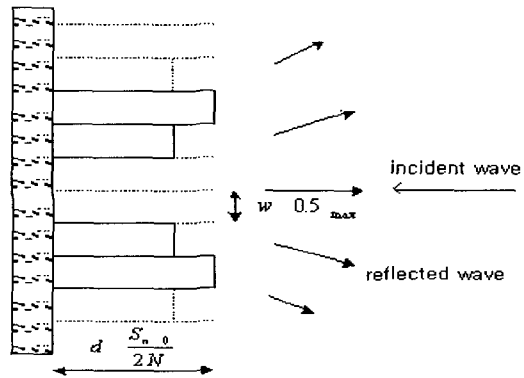
차폐실 내부 TE, TM Mode 분포를 물리적 산란

〈표 1〉 전자파 측정 시설간 용도 및 장 단점.

종 류	용 도	장 점	단 점
야외시험장 (Open Area Test Site)	전자파 장애, 복사내성 측정	표준시험장 제작비용저렴	외부전자파 환경에 민감, 부지확보
Anechoic Chamber	Semi Anechoic	전자파 장애측정	외부 전자파 영향이 없음 측정결과 정확
	Full Anechoic	전자파 복사내성 전자파 장애측정	외부 전자파 영향이 없음 측정결과 정확
TEM cell	전자파장애, 복사내성, 프로브 교정	이동기능, 제작간편, 낮은가격	큰 EUT에 제약 높은 주파수 제한 측정결과 해석 어려움
Reverberation Chamber	전자파 장애 내성 측정, 차폐효과 측정	넓은 주파수 측정간편 낮은 제작비용	측정결과 해석 어려움, 편파정보 손실



[그림 1] Mode Stirred Reverberation Chamber.



[그림 2] Schroeder Diffuser 구조.

체(Diffuser)를 이용 이동시킴으로써, 확률적 균일 필드를 유지한다. 차폐실 내부의 구조는 Shielded Enclosure + Stirrer or Tuner + Schroeder Diffuser이고, EMI/EMS 대응시험장으로서의 조건으로서는 잔향실내의 전자계 균일도, 전자계 편파특성 및 표준 시험장에서 측정결과와의 상관성 관계 입증이다.

Schroeder Diffuser는 기본적으로 Quadratic Residue Sequence를 이용하여 설계한 Quadratic Residue Diffuser이다. Quadratic Residue Sequence, S_n 은 다음과 같다.

$$S_n = n^2 \cdot \text{modulo}(N)$$

여기서 n 은 정수이고, N 은 홀수인 소수이다.

S_n 은 n^2 을 N 으로 나눈 나머지며 $0 \leq S_n < N$ 의 정수가 된다. 이러한 Sequence는 N 을 주기로 N 개의 난수가 반복된다.

Schroeder Diffuser를 설계할 경우, Well의 폭 w_n 은 다음과 같다.

$$w_n = \frac{\lambda_H}{2}$$

여기서 λ_H 는 상한주파수, f_H 에 대한 파장이고

λ_L 은 하한주파수, f_L 에 대한 파장이며, Well의 수, N , 은 다음과 같다.

$$N = 2m \frac{\lambda_L}{\lambda_H}, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

N 은 홀수인 소수이고 계산된 값보다 커야 한다. Well의 깊이, d_n 은 다음과 같다.

$$d_n = \frac{S_n}{N} \frac{\lambda_L}{2}$$

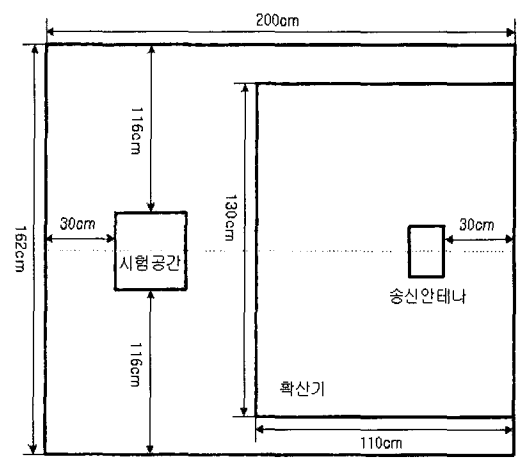
반파장을 N 단계로 양자화 시켜 Well에 수직으로 입사한 파에 대해 최대 N 개의 위상 변환이 가능하도록 d_n 을 정할 수 있고 Well에 수직으로 입사한 파의 위상은 $2d_n \frac{2\pi}{\lambda_{\min}}$ 로 변하게 된다. 그러므로 N 값을 정할 때는 N 이 클수록 좋고 가능한 N 에 가까운 개수의 d_n 값이 되도록 하는 것이 좋다. Well에 수직으로 입사한 파가 위상이 서로 다른 파로 반사 및 회절이 되어 확산할 때 서로 중첩되어 필드의 균일도를 향상시킨다고 할 수 있다. 이러한 확산성은 f_L 의 정수배(N 이하)에 해당하는 주파수에 대해서도 동일하며 정수배가 아닌 주파수에서도 좋은 확산성을 가진다. 또한 수직으로 입사하지 않은 파에 대해서도 Scattering이 잘 일어난다.

V. 삼각형 구조의 전자파 잔향실내 전자계 해석

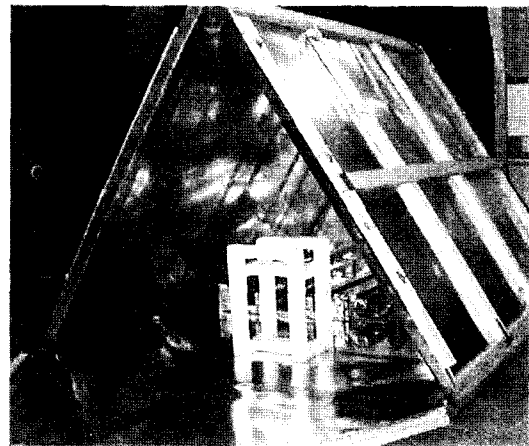
5-1 분 연구에서는 직사각형 잔향실에 비해 발생 가능한 총 모드 수의 분포가 우수하고 낮은 주파수 대역에서도 많은 분포를 나타내는 삼각형 구조에 대해 Schroeder 방식 Diffuser를 적용하여 전자파 잔향실 내의 필드 분포를 해석하였다. 잔향실 구조들에 대하여 발생 가능한 총 모드 수를 계산하였으며, 차폐효과는 50 dB 이상이고, 전자파 잔향실 내의 필드 분포는 FDTD(Finite Difference Time Domain) 방식으로 분석하였다. 전자파 잔향실 내의 필드 균일

도를 해석하기 위하여 시험공간 내부의 한 면에서 추출한 전계 세기로 잔향실의 형태 변화에 따른 필드 변화 상태를 비교 분석하였다. 정삼각형 구조의 전자파 잔향실과 Schroeder Diffuser에 대하여 설계 제작한 후 주파수별 전계 세기를 측정하여 필드 균일도를 평가하였다.

[그림 3]은 본 연구를 위하여 제작된 삼각형 구조



[그림 3] 삼각형 구조의 전자파 잔향실내 상대적 구조.



[그림 4] 제작된 삼각형 구조의 전자파 잔향실.

의 전자파 잔향실내의 상대적 구조를, [그림 4]는 실제 제작된 삼각형 구조의 잔향실 전경을 사진으로 보여주고 있다.

5-2 삼각형 구조의 전자파 잔향실 필드 측정 결과

〈표 2〉는 삼각형 구조의 전자파 잔향실내 8개 시험지점에서 전계측정을 Schroeder Diffuser를 적용 전후하여 시행 한 결과이다.

[그림 3]은 부착되는 Diffuser가 차지하는 부피가 전체 전자파 잔향실 부피의 20%일 경우, Diffuser 부착전의 경우와 비교하여 Diffuser를 부착한 후, 전자계 균일도가 향상되는 경향을 보이는 분석 결과이다.

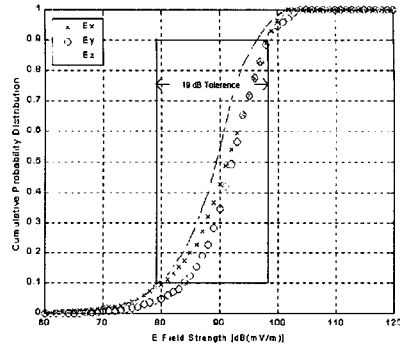
5-3 사각형 구조의 전자파 잔향실 Modeling

Computer Simulation을 위한 사각형 구조 전자파 잔향실 경우, 경계조건은 〈표 3〉과 [그림 6]과 같이 정하였다.

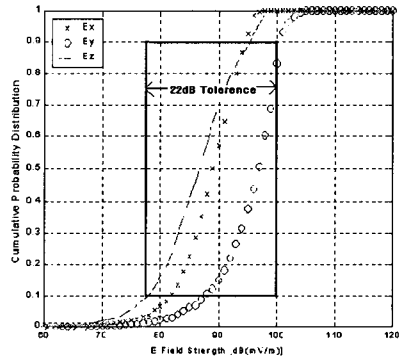
다음 그림은 사각형 구조의 전자파 잔향실내 전자파의 편파특성을 Diffuser를 부착하기 전과 Diffuser의 부피가 0.9%, 1.35%일 때의 경우 측정된 결과이다. 이 측정에서 Diffuser를 부착한 경우가 부착 전보다는 우수한 결과를 보이나 0.9%와 1.35%

〈표 2〉 8개 시험지점에 대한 전계 측정 결과.

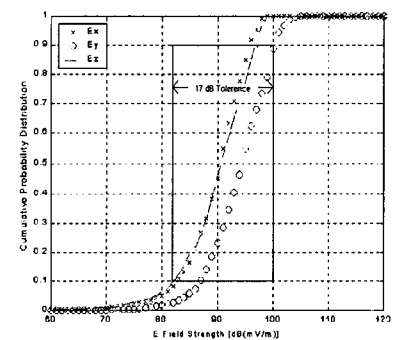
측정조건	Schroeder Diffuser 적용		Schroeder Diffuser 미적용	
	평균값	표준편차	평균값	표준편차
측정항목				
주파수	[dBmV/m]	[dB]	[dBmV/m]	[dB]
1 GHz	76.5	1.84	73.0	2.73
2 GHz	75.1	3.66	78.2	4.24
3 GHz	87.0	2.28	86.4	6.48



(a) Diffuser 부착전 (19 dB)



(b) Diffuser 부착후 (22 dB)

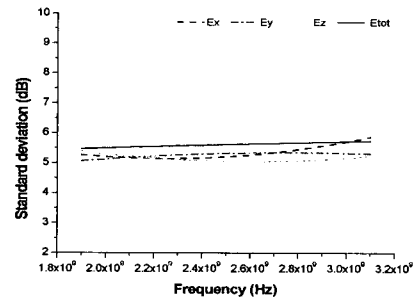
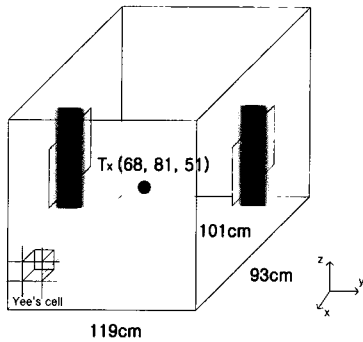


(c) 비대칭구조의 잔향실내 RMD(Random Mode Diffuser) 부착후 (17 dB)

[그림 5] 전자계 균일도 향상 경향.

〈표 3〉 사각형 구조의 전자파 잔향실 경계조건.

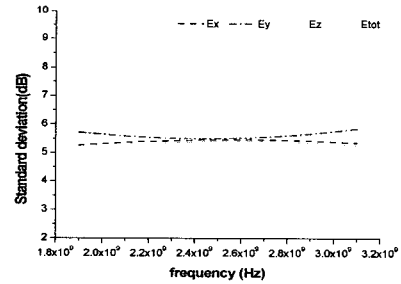
크기[cm ³]	Chamber와 QRD Diffuser의 재료 특성		경계조건	입력 신호
137 Δx × 163 Δy × 145 Δz	Conductivity	Permittivity	Mur's Absorbing 20 Cells	2.5 GHz (Sinusoidal wave) Gaussian Pulse
	9 × 10 ⁶ [S/m]	1.0 [H/m]		



(b) Diffuser 0.9 % 부착 후 (SD : 약 5 dB)

[그림 6] 사각형 구조 전자파 잔향실 경계조건.

부착 후의 경우 성능향상은 별 차이를 보이지 않고 있어 Diffuser의 부착은 매우 중요하여 전자파의 산란효과를 가져오나, 어느 정도 이상의 Diffuser 부피 증가에 따른 효과는 미미한 것으로 판단되었다.

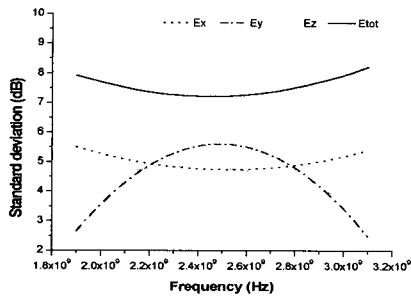


(c) Diffuser 1.35 % 부착 후 (SD : 약 5 dB)

5-4 개발된 수치해석 결과 분석 프로그램

(그림 8 참조)

[그림 7] 전자계 편파특성 편이.



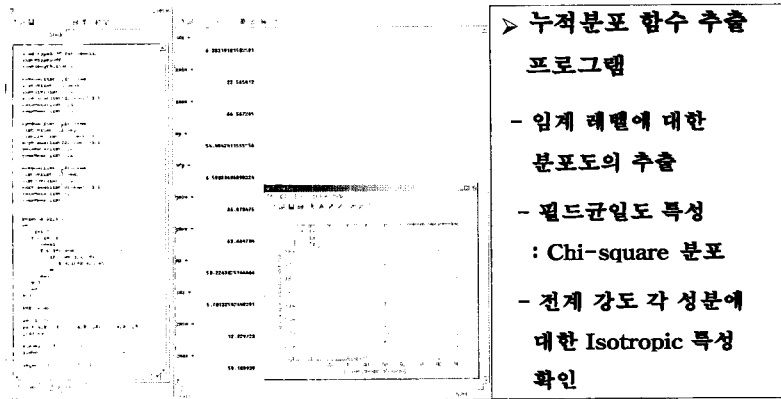
(a) Diffuser 부착전 (Standard Deviation : 약 8 dB)

5-5 3차원 전자계 Contour Map 분석 프로그램

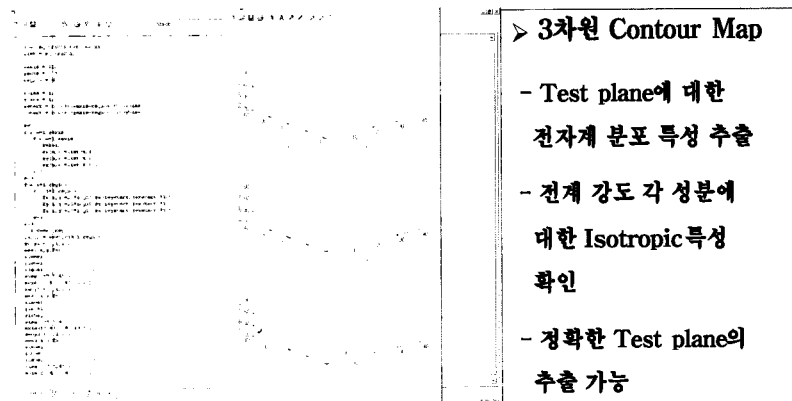
(그림 9 참조)

VI. 결 론

전자파 장애 및 복사 내성 측정시설 개발과 관련하여, 삼각형 구조의 전자파 잔향실을 설계 및 제작하여 주파수 대역 1 GHz~40 GHz에서 필드 균일도 및 편파특성을 조사하였고, 전자파의 방출 및 측정



[그림 8] Matlab을 이용한 프로그램.



[그림 9] Matlab을 이용한 프로그램.

을 위하여는 혼 안테나 및 전계 프로브를 사용하였다. 제작된 Chamber 특성은 필드 균일도가 3 dB (IEC 기준 만족) 이내로 차폐효과 특성은 50 dB이다. IEC 61000-4-21 보고서 및 NIST 보고서를 분석하여 삼각형 구조의 전자파 잔향실 평가에 적용하였다.

Mode-tuned Stirrer 방식 전자파 잔향실 평가 절차 확립에 있어서는, 실제 측정을 통한 평가를 통해 Chamber 성능 평가 절차와 필드 균일도 향상을 위한 최적 조건 추출 연구를 수행하였다.

연구 결과물로서는 한국전자과학회 논문 발표 2건과, Tuner의 효율 향상에 대해서는 Tuner 효율 개

선을 위한 Schroeder Diffuser의 적용에 대한 국외논문(Simulation on the Field Uniformity in a Triangular Reverberation Chamber) 발표를 SCI등재 논문지(International Journal of RF & MW Computer Aided Engineering)에 수록할 수 있었다(2001년 8월).

전자파 잔향실 균일성 유지를 위한 최소모드 이하의 주파수에서 사용할 수 있는 기법 개발(수치해석 방법에 대해서 기존의 직사각형 구조 Chamber 대신 비대칭형 Chamber를 이용하여 FDTD 수치해석 방법을 통한 필드 균일도 특성 조사 및 2001 몬트리올 IEEE Symposium on EMC에서 논문(Field

Uniformity Characteristic of Asymmetric Structure Reverberation Chamber by FDTD Method)을 발표하였고, Schroeder 방식의 Diffuser를 이용한 전자파 잔향실 개발관련, Diffuser의 최적 체적 비 추출에 관한 연구를 수행하였으며, 그 결과를 2001 12월 대만 APMC에서는 논문 (An Improvement of Field Uniformity of Reverberation Chamber by Variance of Diffuser Volume Ratio)을 발표하였다.

국제 표준화 관련 활동으로는, 2000년 러시아 St. Petersburg에서 열린 CISPR 회의에 참석을 하여, CISPR/A/TC77 Reverberation Chamber JTF 참여를 하는 등의 활동을 하였으며, 여기에서 “Stirred-mode 방식을 적용한 전자파 잔향실 필드 균일”이라는 논문(Field Uniformity Analysis of Reverberation Chamber by FDTD Simulation Method)으로 필드 균일도의 해석 결과를 발표하였다. 최근에 개최된 2001년 6월 영국 Bristol에서도 CISPR G에 참석, 논문(Field Uniformity Characteristics on Asymmetric Structure Reverberation Chamber by FDTD Method)을 발표, Schroeder Diffuser 방식을 적용한 전자파

잔향실 필드 균일도 해석 결과를 발표하는 등의 활동을 하였다.

이외에도 국내 활동으로는 한국전자과학회 및 전파연구소 주최 기술워크샵 EMC KOREA 2001에서 EMC 국제규격 동향 및 표준화 관련 “CISPR SC-A, 및 Steering Committee 회의결과”라는 제목의 발표를, 대한전자공학회/한국통신학회/한국전자과학회/IEEE/MTT/AP/EMC/URSI Korea Chapter 공동주최 2001 5월 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회(숭실대)에서는 “잔향실 내부 Diffuser 체적비 변화에 따른 Field 특성”제목의 논문을 발표하였다.

또한 현재 “Electromagnetic Field Uniformity Characteristics of a Triangular Reverberation Chamber with Schroeder Diffusers”라는 제목의 논문이 한국전자과학회에 제출되어 심사 중에 있다.

끝으로 본 연구가 수행될 수 있도록 EMC 표준화 과제를 기획, 지원해준 전파연구소 및 한국전자과학회에 감사를 표하고, 잔향실과 야외시험장에서의 복사 방출 측정 결과와의 상관성 추출에 관련된 연구 분야는 지속적인 학계의 관심이 필요하다고 하겠다.

≡ 필자소개 ≡

이 중 근



- 1967년: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
- 1973년: 미국 남플로리다 주립대학 (공학 석사)
- 1979년: 미국 남플로리다 주립대학 (공학 박사)
- 1979년~1988년: 국방과학연구소 책임연구원

구원

- 1990년~1991년: 한국전자과학기술학회 회장
- 1988년~현재: 한양대학교 전자공학과 교수
- [주 관심분야] EMI/EMC, IMT-2000 M·W 부품