

전자파 잔향실 내의 필드 균일성 확보를 위한 Shroeder 방식의 Diffuser 설계

이광순 · 이종근 · 정삼영 · 김혜광
한양대학교 전자공학과

Design of Schroeder Method Diffusers To obtain Field Uniformity Characteristics of Reverberation Chamber

Kwang-Soon Lee · Joong-Geun Rhee · Sam-Young Chung · Hye-Kwang Kim
Department of Electronics Engineering, Hanyang University
webew@hymail.hanyang.ac.kr

요 약

본 논문은 전자파 장해 및 복사내성 측정의 대응 시험 시설로 활용될 수 있는 전자파 잔향실의 전자기장 특성에 관하여 연구하였다.

전자파 잔향실 내부 균일성을 확보하기 위하여, 음향효과 극대화를 위해 인간의 가청 주파수대인 16 ~ 20,000 Hz 범위, 음속(340 m/sec)에 적용하여 활용되고 있는 Schroeder Quadratic Residue Diffuser를 무선 주파수 대역 30 KHz ~ 3 THz인 범위로 확장, 3가지 형태의 Diffuser를 설계하여 잔향실 내부에 적용하였다.

FDTD(Finite-Difference Time-Domain) 수치해석 방식을 이용하여 잔향실 내부의 필드 특성을 조사한 결과 Diffuser를 부착한 3 가지 형태 모두 최대 tolerance ± 3 dB 이내의 필드 균일도를 나타내었으며, Type 3, 대칭형 구조의 Diffuser 형태가 효율이 가장 우수하다는 결과를 나타내었다.

I. 서론

전자파 잔향실은 기본적으로 공진 모드를 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 장해 및 복사내성 대응시험시설이라고 볼 수 있다[1].

본 논문에서는 직사각형 잔향실 구조에 대해서 수직적 전계를 통하여 발생 가능한 총 모드 수를 추출하였으며, 잔향실 내부의 필드 균일성을 개선하기 위하여 3 가지 형태의 Schroeder 방식의 Diffuser를 설계하였다. 각 설계된 3가지 형태의 Diffuser에 대해서 전자파 잔향실의 내부의 필드 분포는 유한 차분법(Finite Difference Method)을 기초로 하는 FDTD방식을 적용하여 주파수 3 GHz 대역에서 결과를 추출하였다.

Schroeder Diffuser 형태에 따른 다른 필드 개선효과[2]를 조사하기 위하여 적절히 선정된 시험평면(Test

Plane)에서 추출한 전계 세기로 필드 변화 상태를 비교 분석하였다.

II. 전자파 잔향실 설계

전자파 잔향실은 일정 구조의 공간에서 균일한 필드를 확보하기 위하여 최소 요구되는 모드 수를 만족하여야 한다. 본 논문에서는 그림 1과 같은 크기를 갖는 직사각형 형태의 전자파 잔향실에 대해서 연구하였다.

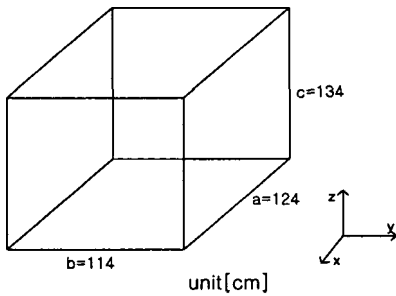


그림 1. 전자파 잔향실 구조

1. 잔향실 내부에 발생하는 모드 해석

잔향실로 사용될 두 구조에 대한 모드 분포를 조사하기 위하여, 우선 도파관 구조에 대한 공진 주파수 (Resonant Frequency)를 구한다.

잔향실 내부의 매질은 공기로 가정할 경우, 공진 주파수는 다음과 같다[3].

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

공진 주파수를 이용하여 잔향실 내부에 존재하는 전체 모드 수를 구하면, 다음과 같은 근사 식으로 구해진다 [3].

$$N(f) = \frac{4\pi}{3} abc \left(\frac{f}{150}\right)^3 \times \frac{1}{8} \times 2 = \frac{\pi}{3} abc \left(\frac{f}{150}\right)^3$$

그림 1 구조의 잔향실에 대하여 사용 가능한 하한 주파수를 결정하고자 하한 주파수 범위에 대한 모드 수 분포를 계산한 결과는 그림 2 와 같다. 1986년도 발표된 미국 NBS(National Bureau of Standards) Technical Note 1092에 의하면 잔향실 내부에서 사용될 각 주파수에 대하여 균일 필드 분포를 얻기 위해 요구되는 최소 모드 수는 60 모드 이상이 되어야 한다고 한다[3].

그림 2 결과에 의하면 500 MHz 이상의 주파수에서 전자파 잔향실로 이용될 수 있음을 알 수 있다.

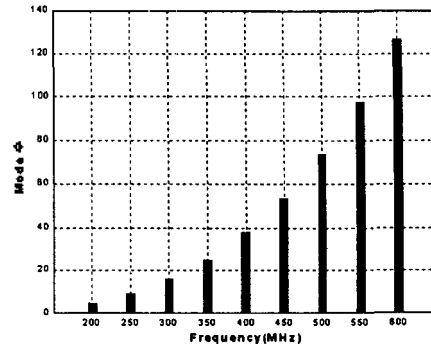


그림 2. 주파수에 따른 전자파 잔향실 내부의 모드 분포 계산 결과

2. Schroeder 방법의 Diffuser 설계

잔향실에 Schroeder Diffuser를 적용하였을 경우 분포되는 필드 특성을 조사하기 위하여 다음과 같이 Diffuser를 설계하였다.

Diffuser의 구조는 사용될 주파수의 범위에 따라 크기가 정해지며 본 논문에서는 주파수 범위 2.5~3.5 GHz에서 적용될 Diffuser를 설계하였다.

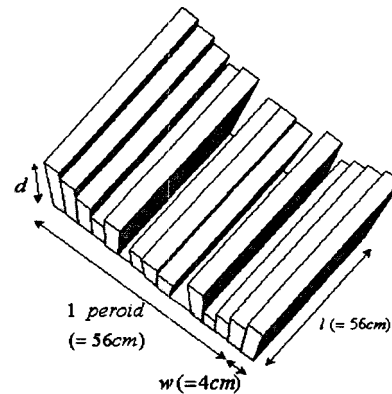


그림 3. 설계된 Schroeder 방식의 Diffuser

Quadratic Residue Diffuser에서 well의 폭(Width)은 $\lambda_{\max}(f_{\max})$ 에 의해, 깊이(Depth)는 $\lambda_{\min}(f_{\min})$ 에 의해 결정되어진다. Diffuser의 깊이(Depth)에 대한 1 주기에 대해서 설계된 Diffuser의 모습은 그림 3과 같다. 세로 길이 1과 1 주기에 해당하는 Diffuser의 전체 폭은 크면 클수록 효율이 증가되지만, 본 논문에서는 제작된 전자파 잔향실의 크기를 고려해서 설계하였다[4].

III. 잔향실 내부 필드분포 해석

1. 전자파 잔향실의 모델링

전자파 잔향실에 그림 5의 3가지 형태의 Diffuser를 사용하였으며, 잔향실 내부의 필드 분포를 조사하기 위하여 FDTD 수치해석 방식을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

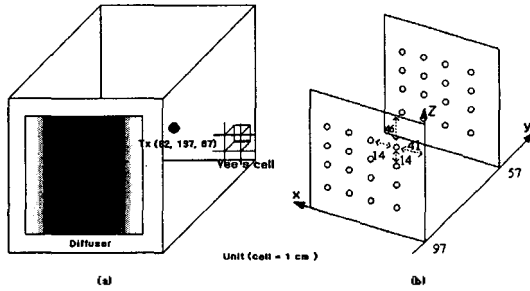


그림 4. (a) 수치해석을 위한 전자파 잔향실 모델링
(b) 시험 평면

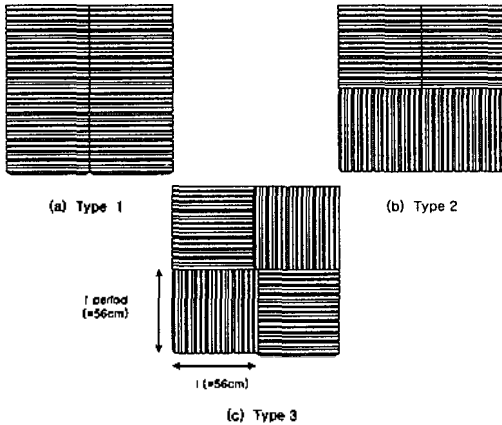


그림 5. 전자파 잔향실에 내부에 부착될 3가지 형태의 Diffuser

전자파 잔향실에 대한 구조는 다음과 같이 모델링 되었으며, 주파수 3 GHz에 대해서 필드 분포를 얻기 위하여, 주파수를 고려하여 기본셀 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z = 1\text{cm}$ 로 설정하였다. 그리고 CFL(Courant-Friedrick-Lewy) 안정성 조건을 만족시키기 위하여 이산 시간을 19.25 ps ($= \Delta t$)이고, 전체 시간 간격 수를 10,000으로 설정하였다. 본 논문에서 잔향실 크기는 $124\Delta X \times 114\Delta Y \times 134\Delta Z$ 로 설정하였다. Diffuser는 그림 4, 5와 같이 각 3가지 형태에 대해서 잔향실 내부 x-z 평면 끝 부분 중앙에 위치시켰다. 필드 분포를 조사하기 위하여 그림

4 (b)의 시험 평면(Test Plane)에서 전계 세기를 추출 하였다.

2. 해석결과

Diffuser를 사용 한 경우와 사용하지 않은 경우의 수치 해석 결과를 이용하여, 그림 4 (b)의 시험 공간에서 32 개 전계 세기 값 중 75%[5]인 24 개의 샘플에 대한 평균값, 표준편차, 최대 값, 최소 값, tolerance 결과는 표 1과 같다.

표 1. 시험 평면 전계 세기의 75% 샘플 값

E (dBV/m)	Rect.	Diffuser +Type 1	Diffuser +Type 2	Diffuser +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

정의된 시험 평면에 대한 75% 전계 세기 샘플을 그래프로 비교하면 그림 6과 같다.

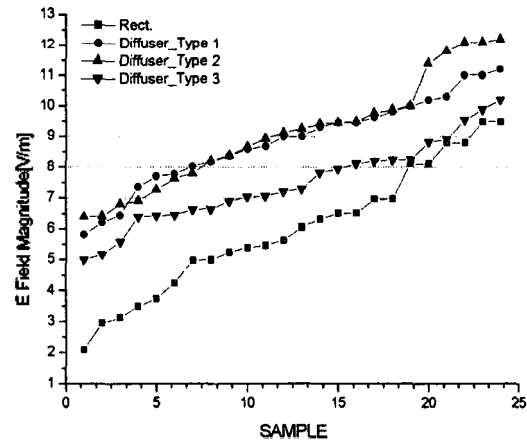


그림 6. 시험 평면에서의 전계 세기 분포

그림 6과 표 1에 의하면, 시뮬레이션 결과 동일한 소스에 대해서 Diffuser를 부착한 경우 전력 효율이 보다 우수하며 필드의 균일성이 개선되었음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서 사용한 전자파 잔향실의 발생 가능한 모드 수를 계산해 본 결과 500 MHz 이상에서 전자파 잔향실로 이용될 수 있다는 가능성을 보였다.

주파수 2.5~3.5 GHz 대역에 Diffuser를 3가지 형태로 설계한 후 각각의 경우를 전자파 잔향실에 부착하여 시뮬레이션 한 결과, Diffuser를 부착하지 않은 경우와 비교해 보았을 때 전력의 효율이 개선 되었으며, 필드 균일도 측면에서도 우수하다는 결론을 얻었다. 또한 적용된 3가지 Type의 Diffuser 모두 최대 tolerance ± 3 dB 이내의 필드 균일도를 나타내었으며, 3가지 Type 중 Type 3의 Diffuser가 효율이 가장 우수하였다.

참고문헌

- [1] IEC 61000-4-3: Annex XX: Alternative method Reverberation chamber method(Draft document 77B/215/CD)
- [2] 이광순, 이중근, 정삼영, 김성철 “Schroeder Diffuser를 이용한 전자파 잔향실 내부의 필드 해석” 추계마이크로파 및 전파 학술대회 논문집 Vol. 23, No.1 2000/5/20
- [3] Crawford, M.L. and Koepke, G.H., “Design, Evaluation, and Use of a Reverberation Chamber for performing Electromagnetic Susceptibility /Vulnerability Measurements”, NBS Technical Note 1092, April, 1986.
- [4] Madan Mehta and James Johnson, “Architectural Acoustics Principles and Design”, Prentice Hall, 1999
- [5] EN 61000-4-3, Electromagnetic Compatibility, Part 4. Testing and measurement techniques, Section 3. Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity, 1997.