

# GTEM-CELL의 균일한 필드구조를 갖기위한 최적화 분석

## Optimization Analysis for Homogeneous Field Structure of GTEM-CELL

金 鍾 聲\*, 康 徐\*, 鄭 成 一\*\*, 李 漢 瑩\*, 李 鍾 岳\*

Jong-seong Kim\*, Seo Kang\*, Seong-IL Jeong\*\*, Han-Young Lee\*, Jong-Arc Lee\*

### 요 약

전자파 방사 및 측정 시험설비로 표준 시험장인 야외시험장을 사용하고 있으나 시험장 구축의 어려움으로 이를 대체할 수 있는 대용시험장을 사용하여 측정시험을 할 수 있도록 하고 있다. 본 논문에서는 최적화된 측정시스템을 구성하기 위한 대용시험시설인 GTEM CELL(Gigahertz Transverse Electro Magnetic Cell)의 구조분석 및 설계를 하기 위하여 내부도체(Septum)의 넓이 및 두께 변화에 따른 내부도체의 특성임피던스 변화를 살펴 보았다.

### Abstract

Even if using the standard field test which radiation of electric wave and measurement test equipment there are difficult thing that building test equipment. so, we can use the substitution test field. In this paper, for optimization analysis for homogeneous field structure of GTEM-CELL (Giga hertz Transverse Electro Magnetic Cell) that calculate electromagnetic field characteristic for variable of each structure and characteristic impedance inner conductor.

**keyword : gtem-cell , septum , homogeneous field**

### 1. 서론

정보통신의 발달로 인공잡음이 증가하여 기존에 전자파장해 측정 표준시험장으로 사용하고 있는 야외시험장에서의 시험이 점점 어려워지고 있어 대용 시험

장에서의 전자파장해 측정기술에 대한 다방면의 연구가 요구되어지고 있다. 현재 IEC/CISPR에서는 기존에 복사내성 측정을 위해 사용되어 지고 있는 FAR/FAC (FullyAnechoic Rooms /Chambers)를 전자파장해 측정용 대용시험시설로 사용하기 위한 표준화연구로 지정하였다. 전자파장해 측정 대상 주파수가 마이크로파대역으로 높아져가고 있으므로 1GHz 이상 대역에서의 전자파장해 측정 기술에 대한 신규측정표준기술을 국내 관련기관이 신속히 도입, 적용할 수 있는 기술기반을 구축하고, CISPR의 측정표준으로 개발되고 있는 신규측정의 기술동향자료를 파악하여 연구하고자 하였다. 복사내성의 시험을 위해서는 피시험

\* 建國大學校 電子情報通信工學部  
(Dept of Electrical, Electronics, and Computer Engineering, konkuk Univ.)

\*\* 안소프트 코리아 (AhnSoft Korea )

接受日:2003年 8月 17日, 修正完了日:2003年 11月 17日

기기에 충분한 크기의 균일한 전기장을 인가시킬 수 있어야 하며, 기본적으로 전자파무반사실의 사용을 권고한다. 대체 시험설비로서 TEM cell, strip line, 전자파차폐실, 부분적으로 전파흡수체를 배열한 전자파차폐실, 야외시험장이 있다. 그러나 이러한 대체 시험시설은 균일한 전기장의 크기, 사용 주파수대역, 또는 시험장에 적용되는 전파관리법규 등에 의해 제한되며, 전자파무반사실과 동등한 시험조건을 필요로 한다. 여기에서, 복사된 전기장 세기가 피시험기기의 표면에 75%이상의 영역에서 규정된 인가 전기장의 세기의 0~6dB 내의 범위에 속하면 균일한 것으로 규정한다. 이러한 전기장 균일도는 피시험기기의 3/4이상의 영역에 균일한 크기의 전기장을 인가시켜 시험결과의 재현성을 얻기 위해 규정한 것으로서 복사방출 측정환경으로서의 적합성 기준인 시험장 감쇠량과 대별되는 것이다. 본 논문에서는 치수가 공개되지 않은 GTEM-CELL을 자체 해석에 의한 설계를 시도하였고, 임피던스 정합을 위한 정확한 구조파악은 중요하기 때문에 외부도체와 septum이 이루는 특성임피던스 해석에 중점을 두었다.

## II. GTEM-CELL의 구조 및 분석

### 2-1 GTEM-CELL의 구조

GTEM-CELL의 구조는 아래 그림2-1과 같이 나타낼 수 있다. 이 구조는 기존의 TEM Cell을 변형시킨 형태인데, 밀폐된 공간내에서 직류(DC)부터 최초의 고차모드의 차단 주파수까지 TEM파를 발생한다. GTEM-Cell의 외부는 차폐 금속체를 접지하고 있으며, 전송 케이블과 septum이 연결된 장방형 구조이며, 50[Ω]동축케이블 외부도체의 가로와 세로의 비를 3:2인 네모난 형태로 소반사 이론에 따라 점점 넓게하여 임피던스 정합을 이루고 있다.

내부도체(Septum)는 평판으로 서서히 면적을 크게 하고 종단 종단저항 4000여개를 매트릭스(Matrix)상태로 PCB상에 취부하여 내부도체의 전류분포를 고르게 한 구조로 측정시료는 내부도체와 바닥의 1/3 높이에 놓고 측정한다.

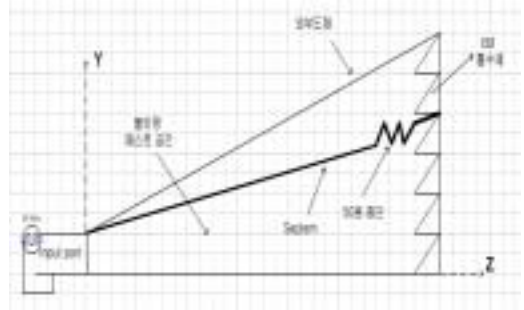


그림 2-1. GTEM-CELL의 구조  
Fig 2-1. Structure of GTEM-CELL

### 2-2 Overview of EUT type and 시험영역

일반적으로 EUT(Equipment Under Test)의 최대 크기가 최고 시험 주파수의 한 파장보다 적은 경우, 그리고 EUT에 어떠한 케이블도 연결되어 있지 않은 경우 EUT를 small로 정의하고 그 외의 모든 EUT들을 large로 정의한다. TEM 도파관의 "이용할 수 있는 시험 영역"은 도파관 내부의 "균일영역"에 달려 있다. 도파관에서 TEM모드의 전파방향(Z축)은 균일 영역(횡단면,xy면)에 수직이다. xy면에서 이용할 수 있는 시험영역의 전체 횡단면은 균일 영역의 요구 사항을 충족시켜야한다. EUT와 각 도체나 도파관의 흡수체 사이의 거리는 그림 2-2에 나타내었다.

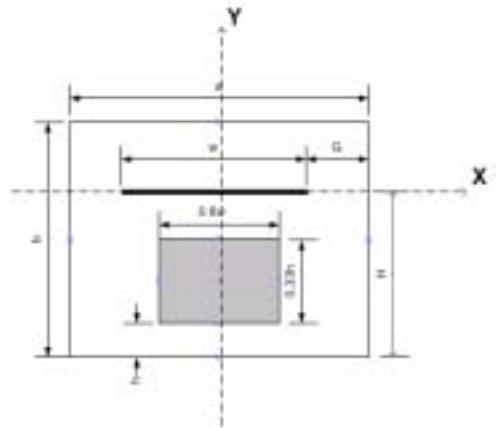


그림 2-2. GTEM-CELL 정면도 및 EUT 규격  
Fig 2-2.. EUT standard and front side of GTEM-CELL

EUT의 최대크기는 “이용할 수 있는 시험영역”의 크기와 관련이 된다. EUT는 0.6w\*0.6h보다 클 수 없다. ISO 11452-시리즈는 0.3w\*0.6h의 EUT크기를 권고한다. 모든 TEM도파관에 있어 EUT는 모든 회전 위치에 대해 이용할 수 있는 시험 영역 내에 적합해야한다.

**2-3 GTEM-CELL의 전장방정식**

맥스웰 방정식으로부터 전장방정식을 구하면

$$E = -\nabla \Phi - j\omega A \tag{1}$$

이고  $\Phi, A$ 는 3차원 파동 방정식으로부터 구한 헤르미트 스칼라, 벡터 포텐셜 함수이며,  $G$ 는 그린 함수이다.

$$\Phi(x, y, z) = \frac{1}{\epsilon} \int_V \rho(x', y', z') G(x, y, z | x', y', z') dv \tag{2}$$

$$A(x, y, z) = \mu \int_V \tau(x', y', z') G(x, y, z | x', y', z') dv \tag{3}$$

식(1),(2),(3)으로부터 전장을 구할 수 있다. 경사벽면에 흐르는  $J_s$ 가 존재하므로 등가정리를 적용하여 경사 벽면이 cell 내에 미치는 영향을 그림 2-3의 등가면에 등가변위전류( $J_d$ )로 대체시킴으로써 등가면과 평행 도체판 벽면이 폐곡면을 형성함으로 확장경계조건을 만족하는 경계조건 방정식을 유도할 수 있다.

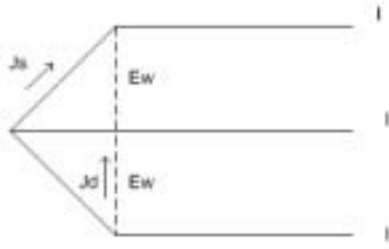


그림 2-3 위에서본 등가면(II)  
Fig 2-3. top view equivalent face

$$J_d = j\omega \epsilon E_d \tag{4}$$

전류밀도와 전하밀도를 각 경계면에서 구하여 식(1)의 전장을 구하게 된다. 이들 각각의구간 경계면에서 구하는 전류성분은 완전 도체의 접선성분과 완전도체의 전섭성분을 만족하도록 (I)면에서  $J_x, J_z$  그리고 위 그림 등가면(II)에서 전장  $E_x, E_y, E_z$ 성분으로부터 변위전류  $J_{x,y,z}$ 를 구한다.

$$E_{xI} = 0 = -\frac{\partial \Phi I}{\partial X} - j\omega \mu$$

$$= \int_I J_{xI} G dx dz + w^2 \epsilon \mu \int_{II} J_{xII} G dx dy \tag{5}$$

$$E_{xII} = 0 = -\frac{\partial \Phi II}{\partial X} - j\omega \mu$$

$$= \int_I J_{xI} G dx dz + w^2 \epsilon \mu \int_{II} J_{xII} G dx dy \tag{6}$$

$E_{xI}=0$ 은 I에서 전장의 접선 성분인,  $E_x$ 가 영이 되는 경계조건을 만족하기 때문이다.

경계면 I 면은 완전 도체면으로 가정하여 전장의 접선 성분이 영이 되는 사실과 II면의 등가전류를 이용하여 경계적분 방정식(5),(6)을 구성할 수 있으며, 공기 중 특성임피던스와 입력포트 크기 변화에 따른 특성임피던스 방정식(7)식은 다음과 같다.

$$Z_0 \cong \frac{376.7}{4[\frac{a}{b} - \frac{2}{\pi} \ln(\sinh \frac{\pi g}{2b})]} \tag{7}$$

**III. GTEM-CELL 균일임피던스를 위한 최적화**

입력 포트로부터 PCB종단 까지 정확한 구조를 파악하기 위해서, septem과 외부도체가 이루는 특성임피던스의 변화를 찾아내어 임피던스정합을 시도하고 균일한 전계형성을 위한 구조를 설계하였다.

**3-1 Termination PCB의 특성임피던스**

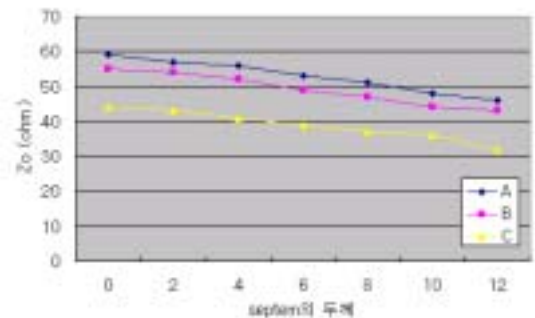


그림3-1. septem의 두께와 PCB면적과의 관계  
Fig 3-1. compare with Septem(H) and PCB(squar)

그림 3-1은 PCB면적에 비율과 septem 두께에 대한 특성임피던스 변화를 나타낸 것이다. A:  $a/b=0.8$ , B:  $a/b=0.7$ , C:  $a/b=0.5$  septum(mm)의 두께가 두꺼울 수록 임피던스 값은 작아지는 것을 볼 수 있다

3-2 캐패시턴스 및 특성 임피던스

외부 도체와 내부 도체가 이루는 평판 면적 효과가 줄어들고 따라서 캐패시턴스 값이 작아져 임피던스 값은 커진다.

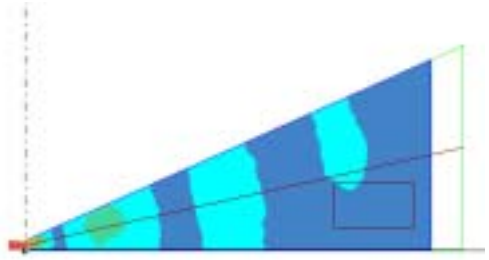


그림 3-3. 시험한 정면도 및 측면도

Fig 3-3. simulated front side and side face

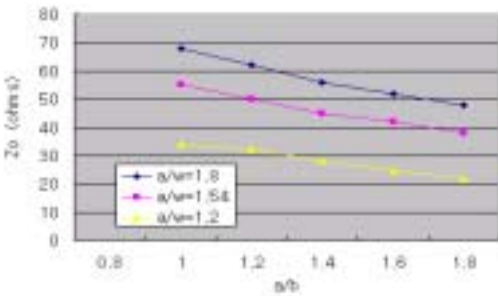


그림 3-2 septem의 넓이에 대한 임피던스의 변화

Fig 3-2. septem(squar) for impedance step

$a/b$  면적이 커지면 캐패시턴스와 임피던스와의 식으로부터 반비례 관계가 있어서 임피던스 값은 작아진다. 또한 septem의 기울기가 클수록 균일한 영역이 더 커짐을 관찰할 수 있었다. 그림3-3은 정해진 최대 규격으로 EUT를 넣은 상태에서 시뮬레이션한 정면도 모습이다. septem아래로 균일한 영역이 넓은 것을 관찰할 수 있다.

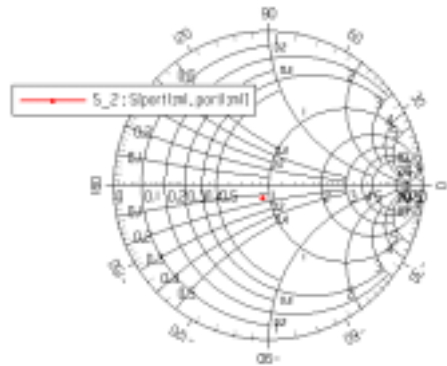
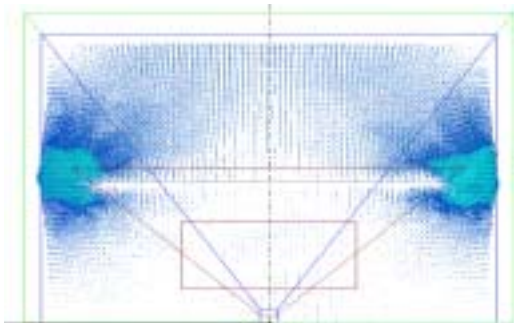


그림3-4. 스미스차트상의 S11 반사계수

Fig 3-4. S11 on the smith chart

특성임피던스를 50옴 기준으로 설정한 상태에서 최적화 구조를 찾아 실험을 하였지만 그림3-4에 나타난 것처럼 약간 어긋난 것을 볼 수 있다. 46옴으로 나타난 것은 임피던스정합이 제대로 이뤄지지 못한 것이며, taper region 에 대한 영향으로 mismatch 가 되어진 걸로 보여진다.

IV.결 론

GTEM cell과 TEM cell은 구조적인 차이로부터 후자는 평면파를 전파하고 전자는 구형파를 전파한다. 본 논문에서는 NIST의 실험치를 비롯한 기타 이론치들과 비교하여 시뮬레이션 하였다. 그래서 다양한 형태의 단면 따른 크기, septem의 두께, 기울기 변화에 따른 변화요소를 살펴보고 GTEM cell를 50옴의 임피던스 정합하였고, 균일한 필드를 형성하기위한 최적화

구조를 알아보았다. 앞으로 GTEM cell의 내부 septum에 연결되는 50옴 종단을 하기위한 저항체들로 이루어진 분포저항에 대한 설계를 비롯하여 시험 영역에 존재하는 구형파 및 고차모드들 간의 결합관계를 고려한 합리적인 구조설계 및 개발이 이루어져야 할 것이다.

**참 고 문 헌**

[1] John D. Kraus, Electromagnetics McGraw Hill, Inc.,1984  
 [2] Lawrence N. Dworsky, Moden transmission line theory and applications, John Willy & Sons, Inc., 1979  
 [3] 이애경, 조광윤, "15-방위 15-입력 알고리즘을 이용한 복사방출 측정방법 분석," Telecommunications Review, 제7권 6호,1997  
 [4] Brian C. Wadell. Transmission line design handbook. Artech House. Inc.,1991  
 [5] 이애경, 이상희, 김정기 "고차모드를 이용한 TEM cell의 대역제한", 대한 전자공학회 논문지 제28권 A편 제11호. 1991년 11월  
 [6] 윤재훈, 최익권, "모멘트법을 이용한 임의의 구형 내부도체를 갖는 TEM Cell특성분석,한국통신학회지. 1990.11  
 [7] S.K Das and B.K sinha."Numerical Solution of Higer Order Mode Cutoff Frequencies in Symmetric TEM Cell Using Finite Element Method." IEEE Trans. EMC32(4), Nov. 1990  
 [8] Roberto De Leo. T. Calo Sevara and Leonardo Zappelli. "Rogorous Analysis of the GTEM Cell." IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques. vol.39. No.3.Mar.1991

저 자 소 개

金 鍾 聲(學生會員)



1985.2 : 한양대학교 전자공학과 공학사.  
 1987. 8 : 한양대학교 산업대학원 전기전자공학석사.  
 2000년 3월~ 건국대학교 전자정보통신대학원 박사과정  
 주관심분야 : 마이크로파 회로

康 徐 (學生會員)

2002년 2월 원광대학교 전자공학과 학사, 2003년 건국대학교 대학원 석사과정  
 주 관심분야 : 안테나, 마이크로파 회로

鄭 成 一 (正會員)



1994.2 : 건국대 물리학과 졸업  
 1996.2 : 건국대 전자 정보 통신 공학과 석사 졸업  
 2003.2 : 건국대 전자 정보 통신 공학과 박사 졸업 (공학박사)  
 1999.7~ 현재 : 안소프트 코리아

관심분야 : Power Amplifier, Antenna , RFIC

李 漢 瑩(學生會員)



1998.2 : 세종대학교 자연과학 대학 물리학과 졸업  
 2002.2 : 국민대학교 전자공학과 공학석사 졸업  
 2002~현재 : 건국대학교 전자정보통신공학과 박사과정  
 현 대림대학 실습행정기사

주관심분야 : 안테나, 마이크로파

李 鍾 岳 (正會員)



1966년 한양대학교 전기과 공학사. 1970년 연세대학교 전기과 공학석사. 1974년 연세대학교 전기과 공학박사. 1976년~현재 건국대학교 전자 정보통신공학과 교수