

# 표준 전자파 발생용 원통형 결합 전송 라인 셀

정회원 윤재훈\*, 김진석\*, 김정기\*\*

## A Circular CTL cell for generating standard electromagnetic fields

Jae-Hoon Yun\*, Jin-Suk Kim\*, and Jung-Ki Kim\*\* Regular Members

### 요약

본 논문에서는 임의의 분극을 갖는 표준 전자파 발생용 원통형 결합 전송 라인 셀(CCTL cell: Circular coupled transmission line cell)을 제안하고 모멘트법을 통해 CCTL cell의 성능 및 특성 임피던스를 분석하였다. 또한 라인 당 선분의 수를 효과적으로 구하는 수치 알고리즘을 적용하여 적은 선분의 수로도 정확한 해석이 가능함을 볼 수가 있었다.

### ABSTRACT

A circular coupled transmission line (CCTL) cell to provide the standard electromagnetic fields with arbitrary polarization is proposed in this paper. The authors also analyze the field uniformity inside the cell and the characteristic impedance by using the moment method (MM) which can determine the number of segments per line efficiently.

#### I. 소개

근래에 EMC (Electromagnetic Compatibility) 분야에서 간이 전자파 내성 및 전자파 장해 측정용 시설로 개발된 TEM cell의 응용이 매우 활발하게 추진되고 있다. 우선 사용이 간편하고, 외부 전자파 환경과 무관하게 사용 가능하며, 가격이 저렴하고, 특히 야외 시험장 혹은 전자파 무반사실에서 전자파 장해를 측

정하는 경우 보다 측정 시간을 현격히 줄일 수 있기 때문이다. 근래에 개발된 TEM cell은 종류가 많으나 이들은 국제 규격 [1]에 근거하여 크게 두 종류로 구분할 수 있다. 즉 입출력 단자가 GTEM cell [2], WTEM cell [3], TTEM cell [4] 등에서와 같이 한쪽 면에만 존재하는 한단 TEM cell과 대칭형 TEM cell [5], 비대칭형 TEM cell [6], 6P-TEM cell [7] 그리고 CTEM cell [8, 9] 등에서처럼 양단에 입출력 단자를 갖고 있는 양단 TEM cell로 구분할 수 있다. 전자는 후자에 비해 사용 주파수 대역이 넓은 반면 임의의 전파 임피던스를 갖는 표준 전자파 발생이 불가능하고 후자

\*한국전자통신연구원 전자파환경연구팀  
 \*\*중앙대학교 전자공학과  
 論文番號: 97455-1212  
 接受日字: 1997年 12月 12日

는 가능하므로 이들은 서로 다르다고 볼 수 있다 [10]. 이러한 TEM cell 중에서 수직 수평 분극의 전자파를 동시에 지원할 수 있는 모델로는 TTEM cell, 6P-TEM cell 및 CTEM cell이 있다. 특히 CTEM cell은 TTEM cell 및 6P-TEM cell과는 달리 임의의 분극 및 전파의 입사 방향 조절이 가능한 기능을 지니고 있다. 이러한 기능은 전자파 장애 및 내성 측정 시 다양한 피시험체의 방위 변화에 대한 측정을 충족시킬 수 있기 때문에 매우 중요한 기술이다 [11, 12]. 본 논문에서는 이러한 CTEM cell의 특성을 지니면서 보다 균일도가 개선된 원통형 결합 전송 선로 셀 (CCTL cell: Circular coupled transmission line cell) 에 대해 제안하고, 수치 해석을 통해  $50\Omega$  특성 임피던스를 갖는 설계 구조를 찾아 내었다. 그리고 이러한 구조 중에 한 모델을 선정하여 내부 전계 균일도를 평가하고, 기존 CTEM cell [8, 9]과 그 성능을 비교한다.

II. CCTL cell의 구조에 대한 모멘트 법 적용

CCTL cell의 구조를 그림 1에 나타내었다. 그림처럼 내부도체 C1, C2는 상하로 놓이고 [00, 1800] 구간에서 Z축을 중심으로 회전할 수 있으며, 외부도체 C3는 원통형으로 제작하여 내부 도체들이 임의의 방향으로 회전 하여도 특성 임피던스가 일정하게 유지되도록 하였다. 내부도체가 어느 곳에 위치하는가에 따라 내부 전자파의 분극이 결정된다. 또한 셀 내부에는 일반 회전 타자를 설치하여 [00, 3600] 구간에서 임의로 피시험체를 Y축 방향에 대해 회전할 수 있도록 하였다.

이러한 구조를 갖는 CCTL cell에 대한 전기적인 특성을 분석하기 위해, 모멘트법 중에서 특히 기저 함수가 펄스 함수이고 가중 함수가 델타 함수인 포인팅 법을 적용하였다. 상기 포인팅 법은 임의의 형상에 대한 전기적인 해석이 용이하여 설계 구조를 추적하는 분야에 매우 유용한 수치 해석이다 [7, 9, 13, 14, 15]. 상기 CCTL cell은 TEM 모드 이외의 다른 고조 모드가 발생되는 차단 주파수까지 사용을 제한하고 있다. 왜냐하면 고조 모드 출현은 TEM 모드 특성을 왜곡시키고 내부 전자파의 균일도를 저해하는 요소로 작용하기 때문이다 [1]. 그러므로 CCTL cell은 준정적 근사에 의한 선전하 적분 방정식을 통해 정확한

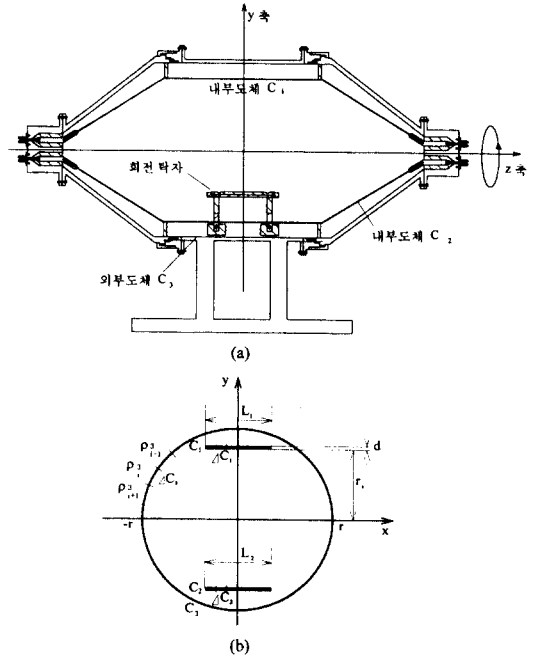


그림 1. CCTL cell (a) 정단면도, (b) 직각좌표상에서 측단면도의 위치.

Fig. 1 (a) Sectional front view of CCTL cell, (b) location of a cross section of CCTL cell in the coordinate system.

전기적인 특성 분석이 가능하다. 그림 1에서와 같이 도체 C<sub>q</sub>의 윤곽선의 길이를 L<sub>q</sub> 그리고 선분의 수를 N<sub>q</sub>라고 하자. 선분의 길이를 일정한 크기로 나누었을 때 선분의 길이 ΔC<sub>q</sub>는 L<sub>q</sub>/N<sub>q</sub>이 될 것이다(q=1, 2, 3). 또한 CCTL cell의 표면을 나타내는 총 윤곽선의 길이를 L<sub>r</sub>(=L<sub>1</sub>+L<sub>2</sub>+L<sub>3</sub>), 총 선분의 수를 N<sub>r</sub>(=N<sub>1</sub>+N<sub>2</sub>+N<sub>3</sub>)라고 정의하자. CCTL cell에서 내부도체 C<sub>1</sub>에 V volt 그리고 내부도체 C<sub>2</sub>에 -V volt, 즉 odd 모드 급전 방식으로 여기시키면 도체 C<sub>q</sub> 표면에 유기되는 선전하 ρ<sub>i</sub><sup>q</sup>는 다음과 같다 [14, 15].

$$\begin{bmatrix} \rho_i^1 \\ \rho_i^2 \\ \rho_i^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{ij}^{11} & z_{ij}^{12} & z_{ij}^{13} \\ z_{ij}^{21} & z_{ij}^{22} & z_{ij}^{23} \\ z_{ij}^{31} & z_{ij}^{32} & z_{ij}^{33} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} g_j^1 \\ g_j^2 \\ g_j^3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$z_{ij}^{pq} = \begin{cases} \frac{\Delta C_q}{2\pi\epsilon_0} \ln \left\{ \frac{1}{\sqrt{(x_j^p - x_i^q)^2 + (y_j^p - y_i^q)^2}} \right\} & (i \neq j) \\ \frac{\Delta C_q}{2\pi\epsilon_0} \left( 1 - \ln \left( \frac{\Delta C_q}{2} \right) \right) & (i = j) \end{cases} \quad (2)$$

$$g_j^p = \begin{cases} V & (p=1) \\ -V & (p=2) \\ 0 & (p=3) \end{cases} \quad (3)$$

단 상기 수식에서  $z_{ij}^{pq}$ 는  $N_p \times N_q$ 의 크기를 갖는 부행렬(sub-matrix)이며,  $(x_i^p, y_i^p)$ 는 관측 지점을 나타내고,  $(x_j^q, y_j^q)$ 는 원천 지점을 나타낸다. 그리고  $\epsilon_0$ 는 자유 공간의 유전율을 나타낸다.

상기와 같은 방법으로 선전하 값을 구하면, 앞 논문 [7, 9, 14, 15]에서 제시된 바와 같이 내부에서 전계 및 자계 분포, 특성 임피던스를 쉽게 구할 수 있다.

### III. 선분의 수를 결정하는 수치 알고리즘 적용

모멘트 법은 기저 함수의 종류 [16], 선분의 길이 [17], 가중 노드(node) 점의 배치, 선분의 수 [9] 등에 따라 해의 정확도가 결정된다. 2장에서 기술한 바처럼 기저 함수를 펄스 함수로 사용하고, 가중 함수가 델타 함수인 포인팅 법에서는 선분의 개별적인 길이, 선분의 수가 정확도에 지대한 영향을 줄 것이다. 전송 선로처럼 여러 라인(그림 1에서 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>)이 존재할 때 각 라인 당 선분의 수(그림 1에서 N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>)를 효과적으로 결정하는 다음과 같은 알고리즘 [9]을 적용한다.

(i) 우선 일반적인 방법인 각 선분의 길이가 일정하도록 각 라인 당 선분의 수( $N_k/NT = L_k/LT, k=1, 2, 3$ )로 나누어 전하 밀도를 구한다.

(ii) 각 라인 C<sub>k</sub>에서 전하 분포에 대한 변화 평균 팩터 T<sub>k</sub>를 다음 수식을 적용하여 계산한다

$$T_k = \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} \left( \left| \frac{\rho_{i+1}^k - \rho_i^k}{2\Delta C_k} \right| + \left| \frac{\rho_i^k - \rho_{i-1}^k}{2\Delta C_k} \right| \right) \quad (4)$$

(4)

(iii) 각 라인당 선분의 수 N<sub>k</sub>를 각 라인의 상기 변화 평균 팩터와 각 선분의 길이에 대한 자승 평방근으로 다음처럼 결정한다

$$N_k = N_T \frac{\sqrt{(L_k/L_T)^2 + (T_k/T_T)^2}}{\sum_{j=1}^3 \sqrt{(L_j/L_T)^2 + (T_j/T_T)^2}} \quad (5)$$

단 여기서 T<sub>T</sub> = T<sub>1</sub> + T<sub>2</sub> + T<sub>3</sub>이다. 이러한 알고리즘은 여러 라인을 갖는 다중 선로에서도 적용 가능하다.

CCTL cell에서 만일 내부 도체 C<sub>1</sub> 및 C<sub>2</sub>가 중심으로 부터 0.8r 만큼 떨어져 있는 경우, 내부 도체 길이(L<sub>1</sub> = L<sub>2</sub> = W)에 따른 특성 임피던스를 계산을 위해 상기 알고리즘을 적용하였다. 그 계산 결과와 일반적인 방법의 결과를 그림 2에 비교하였다. 일반적인 방법을 사용할 경우 총 선분의 수를 60개 즉 임피던스

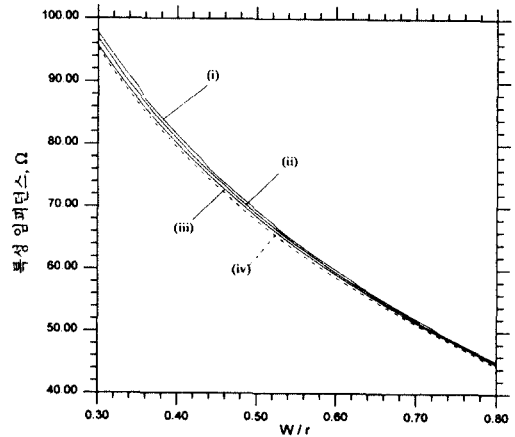


그림 2.  $2r_1/r = 0.8$  그리고  $d/r \approx 0$ 인 CCTL cell 구조에서  $W/r$ 에 따른 특성 임피던스.

- (i) 임피던스 행렬 크기가 60 × 60인 일반적인 방법
- (ii) 임피던스 행렬 크기가 120 × 120인 일반적인 방법
- (iii) 임피던스 행렬 크기가 300 × 300인 일반적인 방법
- (iv) 임피던스 행렬 크기가 60 × 60인 제안된 방법(점선)

Fig. 2 Characteristic impedance against  $W/r$  for CCTL cell with  $r_1/r = 0$  and  $d/r \approx 0$ .

- (i) General method with matrix size 60 × 60
- (ii) General method with matrix size 120 × 120
- (iii) General method with matrix size 300 × 300
- (iv) Proposed method with matrix size 60 × 60 (dotted line)

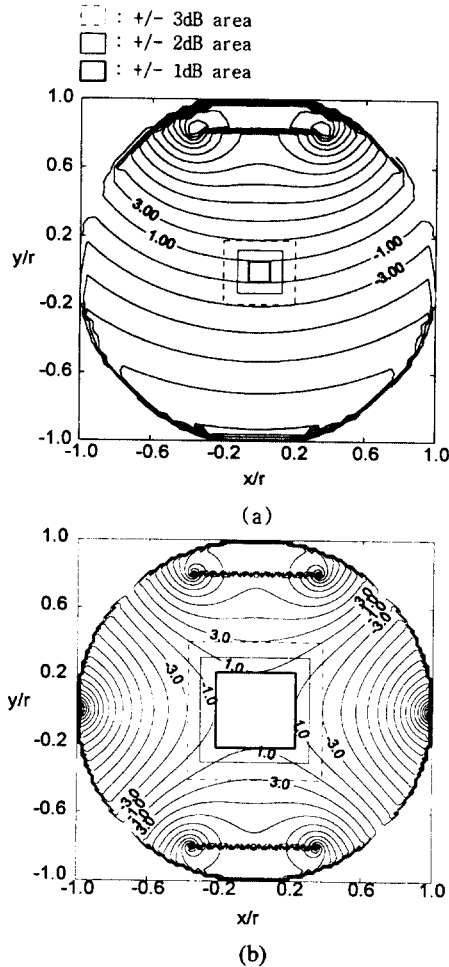


그림3. 내부 전계 dB 편차 분포도 셀 (a) 50 Ω CTEM cell [9], (b) 50 Ω CCTL cell.  
 Fig. 3 (a) dB deviation of the magnitude of electric field of 50 Ω CTEM cell [9],  
 (b) dB deviation of the magnitude of electric field of 50 Ω CCTL cell.

스 행렬 크기가 60×60 인 결과 (그림 2에서 (i)), 120×120 인 결과 (그림 2에서 (ii)), 300×300의 수식 결과 (그림 2에서 (iii)) 그리고 임피던스 행렬의 크기가 60×60일 때, 제안된 알고리즘을 적용한 결과 (그림 3에서 (iv))를 나타내고 있다. 상기에서 처럼 모멘트 법의 임피던스 행렬 크기가 60×60일 때 상기 알고리즘 적용 결과는 일반적인 방법에서 300×300의 결과와 거의 일치하고 있어, CTEM cell [9]에서 처럼 적은 수의

선분으로도 정확한 CCTL cell의 특성 임피던스의 계산이 가능함을 볼 수가 있다.

#### IV. CCTL cell의 전기적인 특성 분석

가. 50 Ω의 특성 임피던스를 갖는 CCTL cell의 구조 및 전력 효과

CCTL cell을 설계함에 있어, 50 Ω의 특성 임피던스를 갖는 구조를 찾아 내는 작업은 매우 중요하다. 이 미 앞서 개발된 모멘트법이 혼합된 뉴우튼 랩슨 법 [14, 15] 에 상기 알고리즘을 적용하여 계산된 결과를 표 1.에 나타내었다. 이 때 반복수는 7이고, 총 선분의 수는 150이다. 표 1에서  $r_c/r$  가 [0.7, 0.9] 구간 내에서 변화하는 구조가 50 Ω 특성 임피던스를 갖기 위해 계산된  $W/r$  값을 나타낸다. 상기 표에서  $\alpha$ 는 CCTL cell 중심 지점에서 전계 값  $E_c$  을 계산하기 위한 팩터로서

$$E_c = \frac{\alpha V}{r} \quad (6)$$

표 1.  $d/r=0$  일때, 50 Ω 특성 임피던스를 갖는 CCTL cell의 구조.

Table 1: Structures with 50 Ω characteristic impedance.

$r_c/r$	$W/r$	$\alpha$	$r_c/r$	$W/r$	$\alpha$
.700	.940	1.182	.810	.689	.796
.710	.921	1.147	.820	.662	.759
.720	.901	1.112	.830	.634	.721
.730	.881	1.077	.840	.605	.683
.740	.859	1.042	.850	.575	.651
.750	.837	1.007	.860	.544	.606
.760	.815	.978	.870	.511	.566
.770	.791	.942	.880	.479	.526
.780	.767	.906	.890	.446	.485
.790	.742	.870	.900	.411	.443
.800	.716	.833			

그 관계 수식은 다음과 같다.

상기 표의 결과에서  $r_c/r=0.8$ ,  $W/r=0.716$ , and  $d/r=0$  인 특정 CCTL cell 모델을 살펴보면  $\alpha$ 는 0.833을 나타내고 있다. 이는 외부도체의 반경  $r=1$  m 인 경우

내부도체 상하에 대해 각각 1 Volt 및 -1Volt로 여기시켰을 때 내부 중심에서 0.833 V/m의 전계를 발생시킴을 나타낸다. 상기 구조는 50Ω 구조를 갖고 있으므로 각 내부도체에 대해 입사 전력은 0.02 Watt이다 [1]. 그러므로 0.833 V/m를 발생시키기 위해서는 총 0.04 Watt가 필요하다. 상기와 동일한 외부도체 크기를 갖는  $r_c/r = 0.8$ ,  $W/r = 0.73$ , and  $d/r \approx 0$ 인 50Ω CTEM cell의 경우  $\alpha$ 는 0.405값을 갖는다 [9]. 이는 외부도체의 반경  $r = 1$  m인 경우 내부도체에 대해 2 Volt로 여기시켰을 때 내부 중심에서 0.81 V/m의 전계를 발생시킴을 나타낸다. 이러한 구조 또한 50Ω 구조를 갖고 있으므로 입사 전력은 0.08 Watt가 필요하다 [1]. 그러므로 본 논문에서 제안된 CCTL cell은 CTEM cell보다도 2배의 전력 효과를 갖는다. 즉 CCTL cell에서는 CTEM cell의 절반의 입사 전력으로도 동일한 크기의 전계를 발생시킬 수 있음을 볼 수가 있다.

나. 50Ω의 특성 임피던스를 갖는 CCTL cell의 내부 전계 균일도 평가

전자파 내성 측정 시설의 성능 평가는 조성된 전자계에 대한 균일도 평가로 이루어진다. 이는 피시험체가 위치하는 영역인 균일장 영역(uniform area)에서 전자계가 얼마나 균일한 분포를 갖는지를 나타내는 성능 평가이다. 이러한 평가 방식은 국제 규격에서 크게 2가지 방식을 제안하고 있다. 첫째는 CISPR Pub. 24 나 EN55101-3 규격에서 채택하고 있는 균일장 영역내에서 최대 최소 전계치의 dB 편차를 평가하는 방식, 그리고 둘째는 IEC 1000-4-3 에서 채택하고 있는 기준 전계치에 대해 6dB 이내를 점유하는 영역의 비율로 평가하는 방식이 있다. 본 논문에서는 전자의 평가 방식에 준하여 CCTL cell을 평가할 것이다. 위에서 일례로 선정한 모델인  $r_c/r = 0.8$ ,  $W/r = 0.73$ , and  $d/r \approx 0$ 인 50Ω CTEM cell과  $r_c/r = 0.8$ ,  $W/r = 0.716$ , and  $d/r \approx 0$ 인 기존 CCTL cell에 대한 전계의 dB 편차를 그림 3에 나타내었다. 전계의 dB 편차는 중심 지점에서의 전계 값에 대해 정규화 한 분포도를 나타낸다. 그림 3. a, b에서 볼 수 있듯이, 3dB 영역은 CTEM cell에서는  $0.19r \times 0.19r$ 인 반면 CCTL cell에서는  $0.76r \times 0.76r$ 임을 갖고 있어 균일도가 매우 개선되

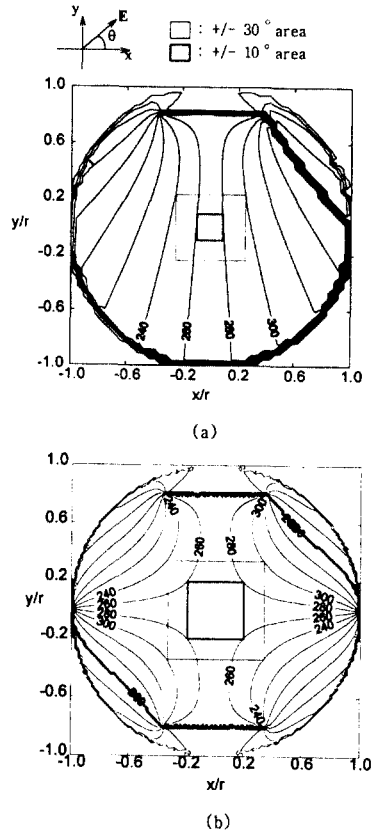


그림4. 내부 전계의 분극 분포도 ( $\theta$ ) (a) 50Ω CTEM cell [10], (b) 50Ω CCTL cell.

Fig. 4 (a) Variations of the electric field polarization ( $q$ ) inside a 50Ω CTEM cell [10], (b) variations of the electric field polarization ( $q$ ) inside a 50Ω CCTL cell.

었음을 볼 수 있다. 또한 2dB 영역은 CTEM cell에서는  $0.13r \times 0.13r$ 이고, CCTL cell에서는  $0.6r \times 0.6r$ 임을 갖고 있음을 볼 수가 있다. 그리고,  $\pm 1$ dB 영역은 CTEM cell에서는  $0.06r \times 0.06r$ 인 반면 CCTL cell에서는  $0.45r \times 0.45r$ 임을 갖고 있음을 볼 수가 있다.

전자파 내성 측정에 대한 국제 규격 (EN, CISPR, IEC 등)에서 전자파의 균일도를 전계 강도만을 평가하고 있으나, 전자파 특성상 분극에 대한 균일도를 배제한 표준 전자파 평가는 매우 비합리적이라고 볼 수 있다. 규격에서 정한 바는 없지만, 본 논문에서는 분극에 대한 균일도 비교 평가를 포함 시켰다. 그림

4. a, b에서 볼 수 있듯이,  $\pm 30^\circ$  분극을 갖는 영역은 CTEM cell에서는  $0.48r \times 0.48r$  인 반면 CCTL cell에서는  $0.68r \times 0.68r$  임을 볼 수 있고, 또한  $\pm 10^\circ$  분극을 갖는 영역은 CTEM cell에서는  $0.21r \times 0.21r$  인 반면 CCTL cell에서는  $0.41r \times 0.41r$  임을 볼 수가 있어 분극에 대한 균일도도 역시 매우 개선되었음을 볼 수가 있다. 그러므로 본 논문에서 제시된 CCTL cell은 기존 CTEM cell보다도 내부 전자파의 균일도가 전계 강도 뿐만 아니라 분극에 대해서도 매우 개선되었음을 볼 수가 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 임의의 분극을 갖는 표준 전자파 발생용 원통형 결합 전송 선로 셀 (CCTL cell) 에 대해 제안하고, 라인 당 선분의 수를 효과적으로 결정하는 수치 알고리즘을 적용하여 전기적인 특성을 분석하였다. 특히  $r/R = 0.4$ ,  $W/R = 0.73$ , and  $d/R \approx 0$  인 기존 50Ω CTEM cell 과  $r/R = 0.4$ ,  $W/R = 0.716$ , and  $d/R \approx 0$  인 50Ω CCTL cell 의 특성을 비교한 결과 전계 강도 및 분극 분포에 대한 균일도가 매우 개선되었고, 또한 낮은 입사 전력으로도 높은 표준 전자파 발생이 가능함을 볼 수 있었다. 그러므로 상기 셀은 전자파 장애, 전자파 내성 측정, 각종 프로브 교정 분야 등에 매우 폭 넓게 응용이 가능하다. 또한 라인당 선분의 수를 효과적으로 결정하는 수치 알고리즘을 적용하여 적은 메모리로도 정확한 분석이 가능하였으며, 상기 수치 알고리즘은 모멘트법을 적용함에 있어서 많은 수의 선분 분할을 요구하는 다중 전송 선로와 같은 문제에 대해 폭 넓게 적용 가능하다.

## 참 고 문 헌

1. IEC 1000-4-20, "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 20: Immunity and emission in TEM cells," 1995
2. D. Konigstein and D. Hansen, "A new family of TEM cells with enlarged bandwidth and optimized working volume," Proc. 7th Inter. Symp. on EMC, Zurich, pp.127~132, 1987
3. L. Carbonini, "Modal analysis of multi-connected waveguides," IEEE Trans. on MTT , 40, pp.665~671, 1992
4. F. B. J. Leferink, "A Triple TEM cell: three polarization in one setup," Proc. 10th Inter. Symp. on EMC, Zurich, pp.573~578, 1993
5. M. L. Crawford, "Generation of standard EM fields using TEM transmission cells," IEEE Trans. on EMC, 16, pp.189~195, 1974
6. M. L. Crawford and J. L. Workman, "Asymmetric versus symmetric TEM cell for EMC measurements," IEEE Symp. on EMC, Atlanta, pp.368~375, 1978
7. Jae-Hoon Yun, Hyuck-Jae Lee and Jung-Ki Kim, "Design and analysis of six port-TEM cell for generating standard electromagnetic field ," Electron. Lett., 32(23), pp. 2127~2128, 1996
8. Jae-Hoon Yun and at al., "回轉形 圓筒 TEM セル," Japanese patent, Application number of patent : 9-235377, 1997. 8. 15
9. Jae-Hoon Yun and Jung-Ki Kim, "Circular TEM cell for generating standard electromagnetic field, " Electron. Lett., 33(22), pp. 1853~1856, 1997
10. M. T. Ma, E. B. Larsen and M. L. Crawford, "Electromagnetic fields with arbitrary wave impedance generated inside a TEM cell, " IEEE Trans. on EMC, 33, pp.358~362, 1991
11. M. Kanda, and D. A. Hill, "A three-loop method for determining the radiation characteristics of an electrically small source, " IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, 34, (1), pp. 273~275, 1992
12. P. Wilson, "On correlating TEM cell and OATS emission measurements," IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, 37 (1), pp. 1~16, 1995

13. R.J. Spiegel, W.T. Joines, C.F. Blackman and A.W. Wood, "A method for calculating electric and magnetic fields in TEM cells at ELF," IEEE Trans. on EMC, Vol. EMC-29, No. 4, pp. 262~272, 1987.
14. 윤재훈, 최익권, "모멘트법을 이용한 임피던스의 구형 내부도체를 갖는 TEM cell의 특성 분석," 한국통신학회 논문지, Vol.15, No.11, pp. 898~908, 1990. 11.
15. 윤재훈, "8단자 가변 임피던스 전자파발생장치 이용한 표준 복사 전자기장 조성 연구," 한국통신학회 논문지, Vol.21, No.3, pp. 771~784, 1996. 3.
16. R.F. Harrington, Field computation by moment methods, Macmillan Series in Electrical Science, Ch.1, pp1~20, 1968.
17. Jin-Suck Kim and Nam Kim, "Analysis of EMI reduction by multilayers of image planes," Electron. Lett., 33(13), pp. 1112~1127, 1997

윤재훈 (Jae-Hoon Yun)정회원  
1996년 제21권 제3호 참조

김진석 (Jin-Suk Kim)정회원  
1998년 제23권 제4호 참조

김정기 (Jung-Ki Kim)정회원  
1996년 제21권 제5호 참조