

# 변형 TEM Cell의 최적 종단 처리를 위한 저항 어레이 망 설계에 관한 연구

## A Study on the Resistor Array Networks for The Optimum Termination of a Modified Large TEM Cell

이 중 근\* · 강 문 수\*

Joong Geun Rhee\* · Moon Soo Kang\*

### 요 약

분포 혼합 종단 처리 방식을 채택하고 있는 TEM Cell에 있어서, 내부 도체상의 전류 흐름 및 종단에서의 전류 흐름 해석 방법에 대하여 연구하였다. 회로 해석법을 적용하여 내부 도체 종단부에서의 전류 흐름의 직진성 개선 및 그에 따른 전력 소모를 고려한 최적 종단 저항 네트워크를 설계하였다. 기존의 각 저항들을 등간격으로 배치 시켜 구성한 저항 네트워크와 연구 결과 제안된 저항 네트워크의 종단 전류 흐름에 대한 수치 해석을 수행하였으며, 두 네트워크를 각각 제작하여 적외선 촬영을 한 결과, 수치 해석 결과와 일치함을 입증하였다.

### Abstract

This paper presents the optimum termination method of a TEM Cell, which utilizes hybrid distributed termination resistor array networks. Current stream on the septum, and on the terminal end of a TEM Cell is analyzed by numerical analysis. By circuit analysis, the optimum resistor array network is designed based on the result of the analysis, which assures efficient power dissipation, and current stream traveling straight and uniform. Thermovision photos were taken for comparing the conventional termination network on which each resistor is arranged at regular intervals, with the suggested optimum termination network on which each resistor is arranged for uniform current distribution. The comparison of the results of thermovision photos shows a good agreement with those obtained by numerical analysis.

### 1. 서 론

전자 부품의 고속화 및 고집적화에 의한 불요 전자파의 증가에 따라, 소자 또는 시스템간의 복사성 결합(radiation coupling) 또는 전도성 결합(conduction coupling)에 의한 상호 작용의 위험

성이 증대되고 있다. 따라서, EMC(Electromagnetic Compatibility)대책을 위한 전자파 시험 환경의 확보가 중요한 문제로 대두되고 있다.

전자파 장애(EMI : Electromagnetic Interference)와 전자파 감수성(EMI : Electromagnetic Susceptibility)을 포함하는 EMC 측정 환경으로는 야외 시험장(OATS : Open-Area Test

\* 한양대학교 전자공학과(Dept. Electronic Eng., Hanyang Univ.)

Site), 전자파 무반사실(Anechoic Chamber), TEM Cell 등이 있는데 [1][3], 그 중 TEM Cell 은 외부 기구나 전자파 환경의 영향을 받지 않고, 시험시 별도의 송수신용 안테나가 필요 없으며 전 계 균일성 확보가 용이하다는 이유로 최근 각광 받 고 있는 시험 장치로, 시험 영역 및 시험 주파수 영 역 확장, 전자계 균일성 확보, 임피던스 정합 등의 분야에 대한 연구가 진행되고 있다[7][12][13].

특히, 주파수 영역 확장을 위한 연구 노력의 예로 서 Diethard Hansen이 고안한 GTEM Cell을 들 수 있는데, 이 GTEM Cell은 NBS TEM Cell이 갖는 구조적 문제를 해결함으로써 그 시험 영역을 GHz 대역까지 확장시킬 수 있었다[8]. 그러나, GTEM Cell의 경우에는 종단 처리의 어려움이 있 다는 점과 분포 혼합 종단 처리 방식을 채택함으로 써 종단 부분에서의 전류 변화에 의한 전자계 특성 왜곡이 존재할 수 있는 단점이 있다. 따라서, 본 논 문에서는 경계 적분 방정식을 적용해 TEM Cell의 특성을 해석했던 기존의 방식을 바탕으로, 종단에 회로 해석법을 적용하여 전류의 흐름을 해석하고, 그 해석 결과를 이용하여 최적 종단 저항 네트워크 를 설계하였다.

## II. 중심 도체 상의 전하 밀도 분포와 종단 저항 네트워크

### 2-1. 중심 도체 상의 전하 밀도 분포 해석

본 논문에서는 Spigel이 1987년에 발표한 TEM Cell내의 전자계 해석 방식[9]을 이용하여 중심 도 체 상의 전하 밀도 분포(Charge Density Distri- bution)  $\rho$ 를 구하였다.

전하 밀도 분포  $\rho$ 는 스칼라 포텐셜  $\phi$ 의 근원으 로서 포와송 방정식(Poisson's Equation)의 해가 된다.

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon} \quad (1)$$

여기서, Cell의 크기가 파장에 비해 작다는 가정, 즉, 전하의 원천점에서 전계의 관측점까지의 거리 가 파장에 비해 짧다라는 가정이 주어졌을 때, 스칼 라 포텐셜  $\phi$ 는 다음과 같은 근사식을 얻는다[10].

$$\phi(\vec{r}) \approx \frac{1}{\epsilon} \int \rho(\vec{r}') G(\vec{r}, \vec{r}') dV \quad (2)$$

여기서,

$$\epsilon = 8.854 \times 10^{-12} \text{ [F/m]}$$

$\rho$  : Charge Density Distribution

$G$  : Green's Function

식(2)에 식(3)의 경계 조건을 적용하고, Cell의 임피던스 정합에 의해 전류의 진행 방향으로는 전 자계 변화가 없다는 가정을 하면 식(2)의 삼중 적 분식은 다음과 같은 이중 적분식이 된다.

$$\begin{aligned} \phi(x, y) &= 0 \text{ 외부 도체} \\ \phi(x, y) &= V \text{ 내부 도체} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\phi(x, y) = \frac{1}{2\pi\epsilon} \iint \rho(x', y') \ln$$

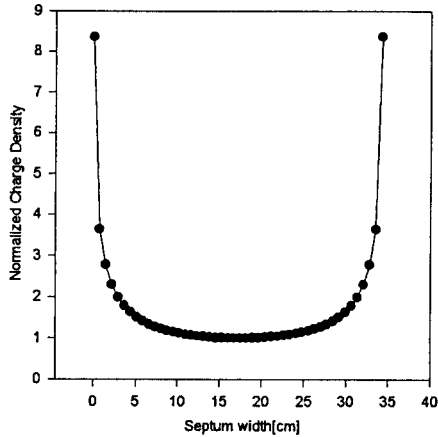
$$\left( \frac{1}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}} \right) dx' dy' \quad (4)$$

식 (4)을 모멘트법[11]을 이용하여 풀어 중심 도 체 상의 전하 밀도 분포  $\rho$ 를 구하였다.

그 결과, 비대칭 TEM Cell 중심 도체 상의 전하 밀도 분포 비는 [그림 1]과 같은 형태를 나타낸다. [그림 1]에서, 전하 밀도가 중심 도체의 양 모서리 부근에 집중하여 분포함을 알 수 있다.

### 2-2. 최적 종단 저항 네트워크 설계

GTEM Cell과 같이 분포 혼합 종단 처리 방식을 채택하는 기존의 TEM Cell은 동일한 저항치 및 배 치 간격을 갖는 분포 저항 네트워크를 사용한다. 본



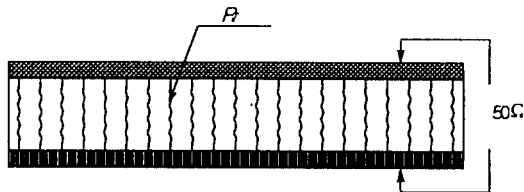
[그림 1] 중심 도체 상의 전하 밀도 분포

논문에서는 이러한 기존의 저항 네트워크의 예로 [그림 2]와 같은 종단 저항 네트워크를 구성하였다.

[그림 2]의 저항 네트워크는 동일한 저항치,  $R_t$ 를 갖는 저항들을 등간격으로 배치하여, 양단 저항값이  $50\Omega$ 이 되도록 구성되었다.

저항 값이  $50\Omega$ 이 되도록 구성되었다.

[그림 1]의 전하 밀도 분포 곡선과 같이 TEM Cell의 내부 도체 상의 전하 밀도 분포가 다르다는 점을 고려할 때, [그림 2]의 저항 네트워크를 종단 부하로 사용하는 TEM Cell의 경우, 그 종단에서의 전류 흐름 변화와 그에 따른 전자계 왜곡 및 TEM Cell 성능 저하가 예상된다.



[그림 2] 동일한 저항치 및 배치 간격을 갖는 종단 저항 네트워크

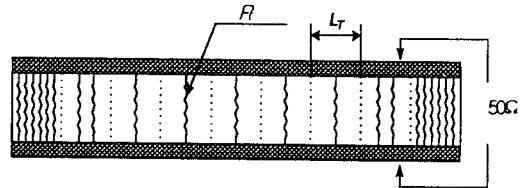
본 논문의 목적은 이러한 종단에서의 전류 흐름 변화를 최소화 하는 최적 종단 저항 네트워크를 설계하고, 그에 따른 성능 향상을 입증하는데 있다.

종단에서의 전류 흐름과 효율적인 전력 소모 문제를 동시에 해결하기 위하여 전류 밀도가 밀하고 소한 정도에 따라 저항 간의 배치 간격을 달리하여 종단 네트워크를 구성하였고, 그 구조는 [그림 3]과 같다.

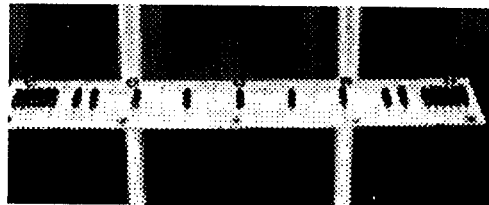
[그림 3]과 같이 중심 도체의 종단을 일정 길이  $L_t$ 를 갖는 구간으로 나눈다. 임의의 구간  $C_k$ 에서의 전하 밀도  $\rho_k$ 는 위의 전하 밀도 분포 해석 결과로부터 알 수 있다. 구간  $C_k$ 에 배치되는 저항 값  $R_{ck}$ 은  $\rho_k$ 에 반비례하는 값을 갖고, 이 구간에 배치될 저항의 갯수  $N_{ck}$ 는 다음 식에 의해 결정된다.

$$\frac{N_{ck}}{R_t} = \frac{1}{R_{ck}} \quad (5)$$

$$\sum_{k=0}^N \frac{1}{R_{ck}} = \frac{1}{50} \Omega \quad (6)$$



[그림 3] 중심 도체 상의 전류 밀도를 고려하여 성분 저항의 배치 간격을 변화시킨 저항 네트워크



[그림 4] 전류 밀도를 고려하여 제작한 종단 저항 네트워크

[그림 4]는 전류 밀도를 고려하여 식 (5)와 식 (6)을 만족하는 저항 네트워크를 실제 제작한 사진이다.

### III. 중심 도체 종단의 전류 흐름 해석 기법

통상, 전자기적 현상의 해석을 위해서는 Maxwell 방정식을 주어진 경계 조건에 맞게 풀어 그 해를 구하고 있다. 그러나 분포 종단 저항 네트워크의 변화에 의한 중심 도체상의 전류 흐름 변화에 따른 전자계 분포를 해석하기 위해서 Maxwell 방정식을 적요하면 그 경계 조건이 복잡하게 되어, 이러한 경우, 해석 대상을 집중 소자(Lumped Component)로 표현하여, 이를 회로 해석법으로 풀면, Maxwell 방정식을 적용한 경우처럼 정확한 값을 구할 수는 없지만 해석 대상이 어떻게 시스템 파라미터와 연관되어 있는가를 분명히 알 수 있다[4]. 따라서, 회로 해석법을 중심 도체 종단에 적용하였을 경우, 본 논문에서 구하고자 하는 종단 저항 네트워크에 따른 전류 흐름 변화를 충분히 해석할 수 있다.

#### 3-1. 전류 흐름 해석을 위한 가상 변환 네트워크 (Virtual Conversion Network)

따라서 중심 도체 상의 전류 흐름을 해석하기 위해서는 집중 소자를 이용한 새로운 모델이 필요하다.

본 논문에서는 ‘중심 도체의 크기가 TEM Cell 중심 도체 상의 전류에 의해 발생된 전자계의 파장에 비해 충분히 작다’라는 가정하에서 중심 도체의 종단 부분에서의 전류 흐름을 해석하기 위한 모델을 [그림 5]와 같이 설정하였다.

특성 임피던스로 정합되어 있는 TEM Cell 내부에는 전파 상수(propagation constant)  $\beta$ 를 갖는 진행파가 존재한다. 이때 표면 전류  $J$ 에 대한 표현식은 다음 식 (7)과 같다.

$$\nabla \cdot J = -j\omega\rho \quad (7)$$

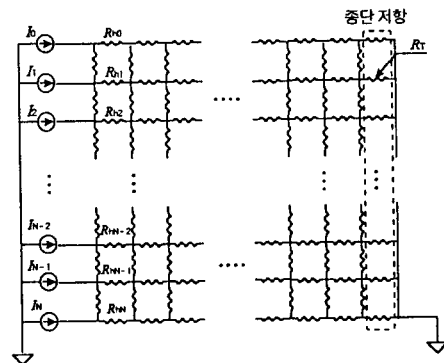
$\rho$ 는 표면 전하 밀도이다. 진행파의 진행 방향 이외의 전류 성분을 무시하면 식 (7)은 진행 방향으로의 전류  $J_z$ 에 대한 식으로 다음과 같이 표현된다.

$$J_z = (\omega/\beta)\rho \quad (8)$$

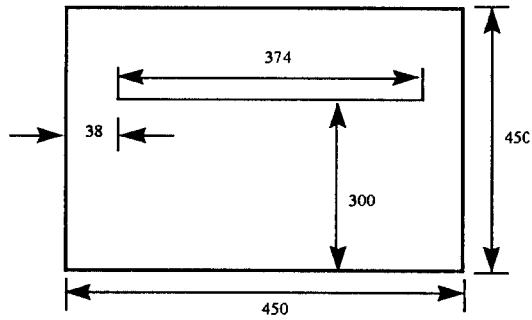
[그림 5]는 종단 저항 변화에 따른 종단 부분에서의 전류의 흐름을 해석하기 위한 모델이며, 입력  $I_k$ 는 중심 도체 단면 상의 미소 면적에 흐르는 전류량이다. 이용한 해석법이 정적 해석임을 고려할 때, 식 (8)에서  $J_z$ 는 주파수에 독립적인 식이 되고,  $I_k$ 를 각 미소 구간의 전하 밀도  $\rho_k$ 에 비례하는 값으로 설정한다. 또한 이 모델의 파라미터를 설정하는데 있어서 고려해야 할 사항은 입력 값  $I_k$ 의 비를 종단까지 변함없이 유지시켜 주어 종단 저항 값 및 종단 저항 배치 상황 변화에 따른 종단 전류의 비의 변화를 살펴 보는데 있다. 이를 위하여 전류 진행 방향 저항  $R_{ik}$ 를  $\rho_k$ 에 반비례하는 값으로 설정하였다.

#### 3-2. 해석 모델의 형태 및 해석 변수

본 논문에서 해석한 TEM Cell은 시험 영역 확



[그림 5] 중심 도체 종단의 전류 흐름을 해석하기 위한 가상 변환 네트워크



[그림 6] 해석 모델의 단면

장을 위해 중심 도체의 위치를 중심에서 위쪽으로 이동시킨 비대칭 TEM Cell이며, 그 단면은 다음 [그림 6]과 같다.

종단에서의 전류 흐름 변화를 해석하는데 있어서 고려한 파라미터는 다음과 같다.

- 1) 등간격으로 배치된 저항들의 저항 값 변화
- 2) 동일한 저항 값을 갖는 저항들 간의 배치간격 변화

이러한 파라미터를 3-1절의 가상 변환 네트워크의 종단 저항 부에 적용하고 2-1절에서 구한 전하 밀도 분포를  $\rho_k$ 에 적용한 후 가상 변환 네트워크 상의 각 노드(node)의 전위를 계산하여 등전위면을 구함으로써 저항 네트워크 변화에 따른 전류의 흐름을 해석하였다.

#### IV. 수치 해석

##### 4-1. 동일한 저항치 및 배치 간격을 갖는 종단 저항 네트워크

[그림 2]의 저항 네트워크를 [그림 5]의 종단 저항부에 적용한 후, 포와송 방정식을 풀어 구한 [그림 1]의  $\rho_k$ 에 비례하는 비를 네트워크에 인가한다.

네트워크의 각 성분 값을 설정한 후 각 노드의 전압을 구한 중심 도체 상의 등전 위면을 구한다.

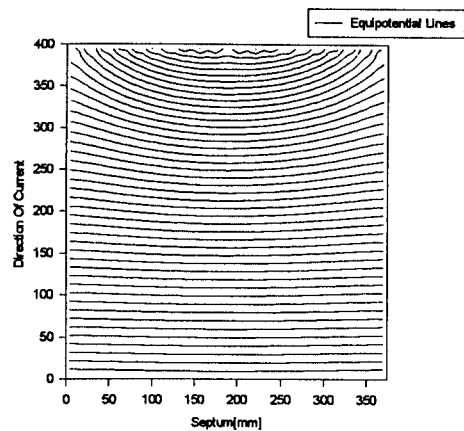
기존의 등간격으로 저항을 배치하여 구성된 저항 네트워크에 대한 종단에서의 전류 흐름 해석 결과는 [그림 7]과 같다.

[그림 7]을 통해 기존의 저항 네트워크를 적용했을 경우, 종단에서 볼록한 전위면이 형성되고, 이에 따라 전류가 내부 도체 중앙으로 그 흐름이 변화함을 알 수 있다. 이러한 TEM Cell종단에서의 전류 흐름 변화는 종단 부분에서의 전자계 왜곡을 의미한다.

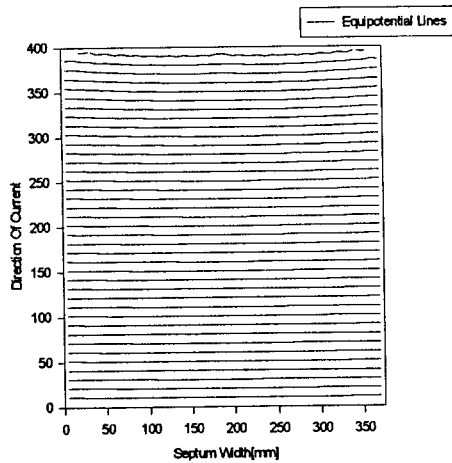
##### 4-2. 등간격으로 배치된 저항들의 저항치를 변화시킨 저항 네트워크

전류 흐름의 직진성 확보를 위한 파라미터로서 저항치 변화와 저항 배치 간격 변화를 설정하였다. 등간격으로 배치된 저항들의 저항치를 전하밀도  $\rho_k$ 에 반비례하는 값으로 설정했을 때의 등전위면을 [그림 8]에 제시하였다.

[그림 8]의 경우, [그림 7]의 경우보다 종단에서의 평평한 등전위면을 나타낸다. 이는 전류가 흐름의 변화없이 저항 네트워크를 통과하는 것을 보여



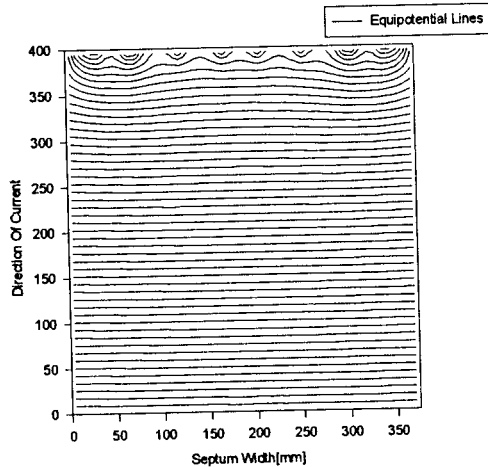
[그림 7] 동일한 저항치 및 배치 간격을 갖는 저항 네트워크를 적용했을 경우의 내부 도체 종단에서의 등전위면



[그림 8] 전류 밀도를 고려한 저항 값을 갖는 저항들을 등간격으로 배치한 경우의 내부 도체 종단에서의 등전위면

준다. 그러나 전류 밀도차에 따른 전력 소모를 고려하면 이러한 구조의 저항 네트워크는 개선의 여지가 남아있다.

#### 4-3. 동일한 저항치를 갖는 저항들의 배치 간격을 변화시킨 저항 네트워크



[그림 9] 동일한 저항치를 갖는 저항들을 전류 밀도를 고려하여 배치 간격을 변화시켰을 경우의 수치 해석 결과

2-2 절에서 기술한 방법으로 전류 밀도를 고려하여 종단 저항 네트워크를 구성할 경우, 중심 도체 종단에서의 등전위면은 [그림 9]와 같다.

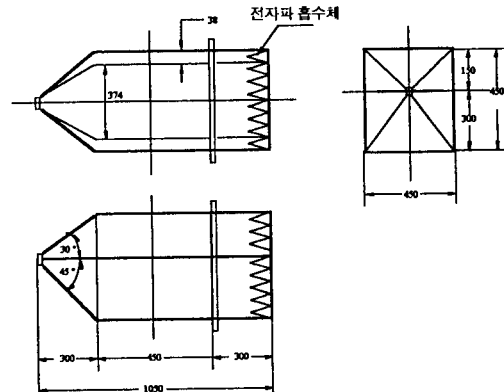
[그림 9]와 [그림 7]를 비교해 볼 때, [그림 9]의 등전위면이 [그림 7]의 등전위면에 비해 종단에서 상대적으로 평평하게 형성됨을 볼 수 있다. 따라서, 기존의 저항 네트워크에 비해, 전류가 그 흐름의 변화 없이 종단됨을 알 수 있다. 이는 종단에서의 전자계 왜곡을 줄임으로써 시험 영역을 종단부까지 확장할 수 있음을 의미한다.

## V. 실험 및 결과

### 5-1. 비대칭 변형 TEM Cell의 제작

수치 해석의 결과 얻어낸 설계 파라미터를 바탕으로 실제 제작된 비대칭 변형 TEM Cell의 도면은 [그림 10]에 나타낸 바와 같다.

셀의 입력단에는 N-Type 커넥터를 부착하여 고주파 발생기로의 접속을 용이하게 하였으며, 옆면에는 피시험체를 출입시킬 수 있는 RF 차폐문을 설치하였다. 출입문과 셀 측벽간의 차폐효과 약화를 방지하기 위해 베릴륨 동으로 제작된 핑거스톡(fingerstock)을 설치하였다.



[그림 10] 비대칭 변형 TEM Cell 설계 도면

종단면에 페라이트 타일을 시공하고 그 위에 전자와 흡수체를 설치하여 저주파 대역에서의 특성 향상을 꾀하였다.

셀 내부의 피시험체 동작 상태를 확인 점검하기 위해 출입문 중앙에 창을 설치하였다. 여기에도 차폐를 위해 금속 격자형 창문(Honeycomb Waveguide)으로 처리하였다.

### 5-2. 전압정재파비(VSWR) 측정

정재파비는 TEM Cell의 평가에 있어서 대단히 유용하게 이용되는 측정 항목으로 다음과 같은 식으로 표현된다[5].

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (9)$$

여기서,  $\Gamma$ 는 반사 계수로서 다음의 귀환손실(Return Loss)  $L_R$ 에 대한 식으로 표현된다.

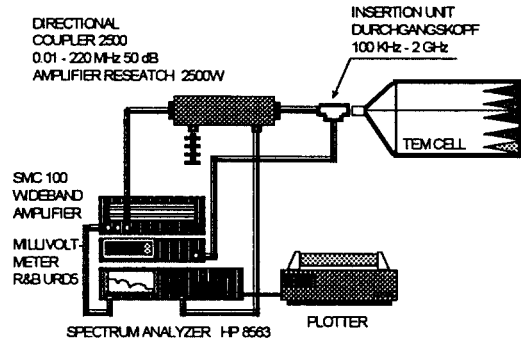
$$L_R = 10 \log \frac{P^+}{P^-} \text{ dB} \quad (10)$$

$$L_R = 10 \log \frac{1}{|\Gamma|^2} \text{ dB} \quad (11)$$

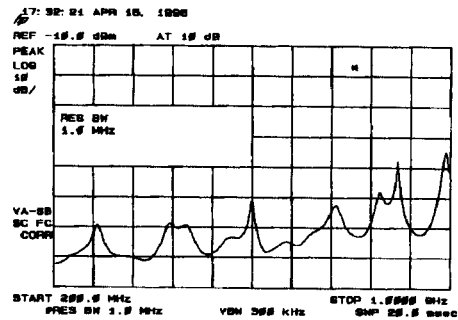
기존의 저항 네트워크와 전류 밀도를 고려하여 설계 제작한 최적 종단 저항 네트워크를 자작한 비대칭 변형 TEM Cell에 각각 적용하여 귀환손실을 측정하였다. [그림 11]은 귀환손실을 측정하기 위한 시스템 구성도이다.

트래킹 제너레이터가 내장된 스펙트럼 분석기를 이용하여 RF 신호를 TEM Cell 입력단에 인가하였다. 50dB 커플링 팩터를 갖는 디렉셔널 커플러의 입력 포트와 반사포트에서, 각각 전력을 측정하여 귀환손실을 측정하였다.

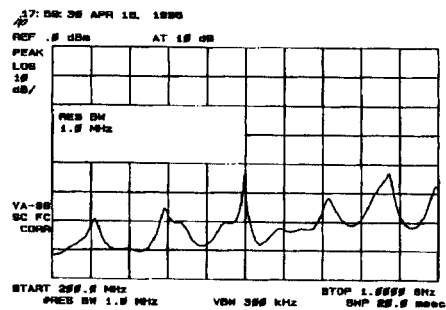
[그림 12]는 귀환손실 측정 결과이다. [그림 12]



[그림 11] 귀환 손실 측정 시스템 구성도



(a) 등간격 저항 네트워크를 적용했을 경우의 귀환 손실



(b) 전류 밀도를 고려한 저항 네트워크를 적용했을 경우의 귀환 손실

[그림 12] 귀환 손실 측정 결과

의 (a)와 (b)를 비교해 볼 때, 전류 밀도를 고려하

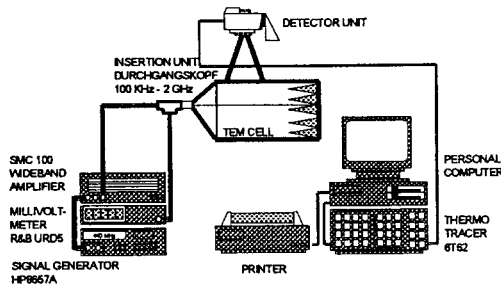
여 설계한 저항 네트워크를 사용하여도 정재파비에  
는 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

### 5-3. 분포 종단 저항의 적외선 촬영

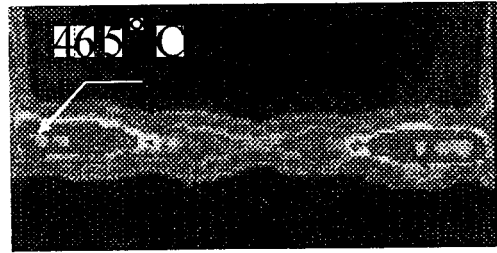
분포 종단 저항 네트워크에 대한 적외선 촬영을  
시도함으로써 수치 해석에 의한 전류 흐름 상황 및  
전력 소모 문제를 입증하였다. 이를 위한 전체 구성  
도는 [그림 13]과 같다.

정재파비가 낮은 440MHz를 측정 주파수로 선정  
하여 광대역 RF를 통해 RF 전압을 증폭하여 70W  
의 입력을 인가하였다. 이 때 종단 저항의 발열 효  
과 및 실험의 재현성을 위하여 60초간 신호를 인가  
하여 저항 발열량이 정상 상태에 도달한 후 적외선  
촬영을 실행하였다. 실험 대상인 기존의 저항 네트  
워크와 전류 밀도를 고려하여 배치 간격을 변화시  
킨 저항 네트워크에 대하여 같은 조건으로 실험을  
실시하였다. 실험 결과인 각 저항 네트워크에 대한  
열사진은 [그림 14], [그림 15]와 같다.

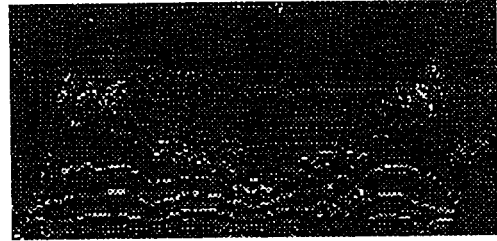
[그림 14](a)의 양쪽 끝 저항의 발열량이 [그림  
15](a)의 양쪽 끝 저항의 발열량에 못미침을 알 수  
있다. 따라서, 각 저항 값이 두 네트워크 모두 1kΩ  
임을 고려하면, [그림 14](a)의 경우 똑같은 조건의  
[그림 15](a)보다 양 끝 부분의 전류 밀도가 낮  
음을 알 수 있다. 이는 양 끝 부분의 전류 흐름이 종  
단에서 중앙으로 변했음을 의미하고, 입체 열 사진  
을 통해 더욱 명확히 알 수 있다. 또한, 전력 소모  
문제를 고려해 볼 때, 모든 저항이 균일하게 발열하



[그림 13] 적외선 촬영 시스템 구성도

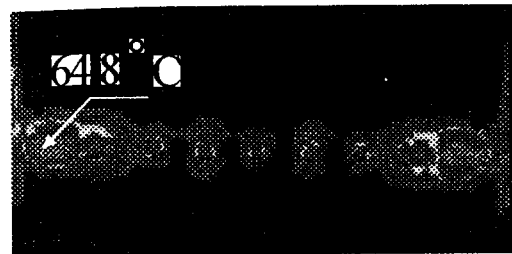


(a) 평면 사진

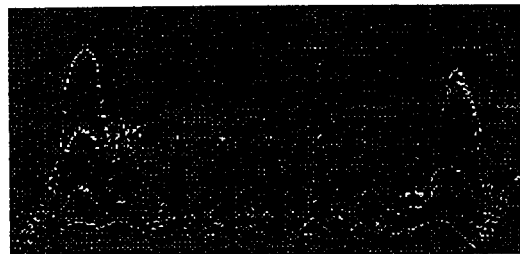


(b) 3 차원 사진

[그림 14] 등간격으로 배치된 종단 저항 네트워크의 열사진



(a) 평면 사진



(b) 3 차원 사진

[그림 15] 전류 밀도를 고려한 최적 종단 저항 네트워크



는 [그림 15(a)]의 경우가 고전력 시험시 우수한 특성을 보임을 알 수 있다.

## VI. 결 론

경계 적분 방정식을 적용하기 어려운 변형 TEM Cell 종단에 회로 해석법을 적용하여 중심 도체상의 전류 흐름에 대한 수치 해석을 실시하였다. 종단에서의 전류 흐름을 해석한 결과, 기존 방식의 등간격 저항 네트워크를 사용하여 전류를 종단시키는 경우에는 내부 도체 종단에서 전류 흐름이 변하는 것을 입증할 수 있었으며, 이를 고려하여 최적 종단 저항 네트워크를 설계하였다.

전류 밀도를 고려하여 설계된 저항 네트워크에 대한 수치 해석 결과, 종단에서 전류 흐름의 직진성이 개선됨을 입증하였으며, 이는 전류 흐름 변화에 따른 TEM 전자계 왜곡을 억제하고 전력을 효율적으로 소모할 수 있는 종단 처리 방법임을 의미한다. 따라서, 종단 부분까지 시험 영역을 확장할 수 있는 변형 Large TEM Cell용 최적 종단 처리 방식을 제안할 수 있었다.

수치 해석 결과에 의해 제작된 종단 저항 네트워크에 대한 적외선 촬영을 수행함으로써 수치 해석 결과와 일치함을 입증하였다. 따라서, 그 경계 조건이 어려워 경계 적분 방정식을 적용할 수 없는 경우, 회로 해석법을 이용한 근사적 해석이 효과적임을 알 수 있었다.

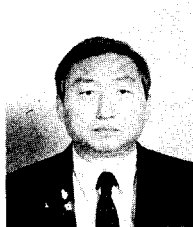
## 참 고 문 헌

[1] Clayton R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, John Wiley Interscience, 1992.  
 [2] Jasper J. Goedbloed, *Electromagnetic Compatibility*, Prentice Hall, 1990.  
 [3] Christopoulos, *Principles and Techniques of*

*Electromagnetic Compatibility*, CRC Press, Inc, 1995.

- [4] Henry W. Ott, *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems*, John Wiley & Sons.  
 [5] Peter A. Rizzi, *Microwave Engineering Passive Circuit*, Prentice Hall, Inc., 1988.  
 [6] 이중근, 전자파 내성 평가 기술, 기아 자동차, 한양대학교 산업과학 연구소, 1992.  
 [7] M. L. Crowder, *Generation of Standard EM Fields Using TEM Transmission Cells*  
 [8] D. Konigstein and D. Hansen, "A new family of TEM Cell with enlarged bandwidth and optimized working volume", in *proc. 7th Zurich Symp. and Techn., Exhib. On EMC*, Mar. 1987.  
 [9] R. J. Spigel, "A Method for Calculating Electric and Magnetic Fields in TEM Cells at ELF", *IEEE Trans. on EMC*, vol. 29-4, November, 1987.  
 [10] Robert E. Collin, *Fields Theory of Guided Waves*, 2nd Ed., IEEE Press, 1991.  
 [11] Matthew N. O. Sadiku, *Numerical Techniques in Electromagnetics*, John Wiley & Sons, Inc., 1989.  
 [12] M. Kanda, "Electromagnetic Field Distortion Due to a Conducting Rectangular Cylinder in a Transverse Electromagnetic Cell", *IEEE Trans. on EMC*, vol. 24-3, August, 1982.  
 [13] Kevin P. Slattery, Jeffrey Neal, "Filed Uniformity in Standard TEM Cell", *IEEE Internat. Symp. on EMC*, Atlanta, August, 1995.

이 중 근



1945년 4월 21일생  
1967년 : 서울대학교 전기공학과 졸업  
1973년 : 미국 플로리다 주립대학(석사)  
1979년 : 미국 플로리다 주립대학(박

사)

1979년~1988년 : 국방과학연구소 책임연구원

1988년~현재 : 한양대학교 전자공학과 교수

1989년~1991년 : 한국전자과학회 회장

강 문 수



1994년 : 한양대학교 전자공학과  
졸업  
1996년 : 한양대학교 대학원 졸업(석사)  
1996년~현재 : LG전자 연구원