

# 네모 동축선과 TEM 셀의 분산관계 해석

## Dispersion Analysis for Rectangular Coaxial Line and TEM Cell

조용희

목원대학교 정보통신공학과

Yong-Heui Cho(yhcho@mokwon.ac.kr)

### 요약

네모 동축선은 동축선과 도파관을 연결하는 대표적인 천이구조이다. 또한 TEM 셀은 DUT의 EMC 측정을 위해 광범위하게 사용되는 소자이다. 네모 동축선과 TEM 셀의 동작을 정확히 예측하기 위해서는 네모 동축선과 TEM 셀의 분산관계 해석이 필수적이다. 본 논문에서는 TEM 모드에 대한 분석을 기반으로 고차 모드인 TE와 TM 모드에 대한 분산관계를 단순하면서도 정확한 방법을 이용해 유도한다. 모드정합법과 그린 함수를 이용하여 네모 동축선과 TEM 셀의 분산관계를 해석적으로 정확히 다룬다. 이를 위해 네모 동축선의 구조를 4개의 L블록으로 나누고 중첩의 원리를 사용하여 전체 전자장 표현식을 쉽게 구한다. 분산관계 수렴성을 파악하기 위해 수치해석을 행하고 FDTD 결과와 비교한다.

■ 중심어 : | 네모 동축선 | TEM셀 | 분산관계 | 그린함수 | 모드정합법 |

### Abstract

A rectangular coaxial line is mainly utilized as a transition structure from a coaxial line to a rectangular waveguide. A TEM cell is also widely used to measure the EMC characteristics of a DUT. In order to understand the operations of a rectangular coaxial line and a TEM cell, it is essential to analyze the dispersion relations of a rectangular coaxial line and a TEM cell. In this paper, we present simple yet accurate dispersion relations of the TE and TM higher modes based on the TEM mode. Manipulating a mode-matching technique and a Green's function approach allows us to obtain the analytic dispersion equations of a rectangular coaxial line and a TEM cell. In our approach, a rectangular coaxial line is divided into four L-blocks and its electromagnetic fields representations are easily obtained with a superposition. To verify the convergence of our dispersion relations, we perform numerical computations and compare our results with those of FDTD.

■ keyword : | Rectangular Coaxial Line | TEM Cell | Dispersion Relation | Green's Function | Mode-Matching |

## 1. 서론

네모 동축선(rectangular coaxial line)[1-6]은 둥근 동축선(circular coaxial line)과 구형 도파관(rectangular

waveguide)을 연결하는 천이구조(transition structure)로 사용되는 대표적인 소자이다. TEM(Transverse ElectroMagnetic) 셀(cell)[7], [8]은 DUT(Device Under Test)의 EMC(ElectroMagnetic Compatibility) 측정에

광범위하게 사용되는 기본적인 전송선(transmission line) 구조이다. 등근 동축선과 TEM 셀의 연결 구조를 이해하기 위하여 분산관계 관점에서 다양한 연구가 수행되고 있다. 대부분의 응용에서 TEM 셀을 급전(feeding)하기 위하여 등근 동축선을 사용하고 있다. TEM 셀의 특성 임피던스(characteristic impedance)와 동축선의 특성 임피던스를 정합(matching)하여 전송선 이론(transmission line theory) 관점에서 반사를 줄일 수 있지만 정확한 반사 특성을 이해하고 설계하기 위해서는 네모 동축선의 분산관계를 얻는 것은 필수적인 과정이다.

네모 동축선 구조의 분산관계를 해석하기 위하여 [1-5]에서는 FDTD(Finite Difference Time Division), 다극자 방법(multipole method), 푸리에 변환(Fourier transform), 영상법(image method)을 사용하고 있다. [6]에서는 외부 전송선로와의 결합률(coupling)을 줄이기 위한 구조로 네모 동축선 구조를 제안하고 있다.

TEM 셀은 EMC 측정에서 필수적인 구조이다. EMI/EMC 특성을 정확히 얻기 위해서는 DUT가 삽입되지 않는 구조에 대한 정확한 산란(scattering) 특성 해석과 전파 모드(propagation mode)의 전자장 분포가 필요하다. 이를 위해 [7][8]에서는 FDM(Finite Division Method)과 변분법(variational method)에 기반을 둔 갤러킨 방법(Galerkin method)을 사용하고 있다. [7][8]에서 제시된 접근법을 좀 더 해석적인 관점에서 해결하기 위해 모드정합법(mode-matching technique)이 사용될 수 있다.

TEM 셀의 기본 도파 구조(waveguiding structure)는 [1-6]에서 연구된 네모 동축선이다. 갤러킨 방법을 사용한 TEM 셀 해석에서는 편의를 위해 내부 도체의 두께를 0으로 가정하고 있다[7][8]. 해석적인 모드정합법(mode-matching method)을 사용하면 내부 도체의 두께를 고려하면서 산란 해석과 전자장 분포를 구할 수 있으므로 갤러킨 방법에 비해서는 해석 방법의 적용을 광범위하게 할 수 있다. 하지만 모드정합법을 TEM 셀 구조에 적용하기 위해서는 기본 구조인 네모 동축선의 분산관계를 정확히 알아야 한다.

본 연구에서는 TEM 셀의 기본 구조인 네모 동축선

의 고차 모드 분산관계를 얻기 위하여 모드정합법과 그린함수(Green's function) 접근법[9-11]을 사용한다. 모드정합법과 그린함수 접근법은 해석적인 방법이므로 최종 분산관계식의 완전성은 자동적으로 확보된다.

## II. TE와 TM 모드 분산관계식

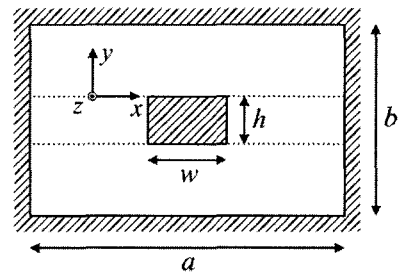


그림 1. TEM 셀의 기본 구조인 네모난 동축선

[그림 1]은 TEM 셀의 기본 구조인 네모난 동축선의 기하학적인 모양을 표시한다. [그림 1]과 같은 구조는 표준적인 모드정합법으로 계산할 수 있지만 수렴성이 높고 전자장 분포를 정확히 계산하기 위하여 [9-11]에서 제안된 모드정합법과 그린함수 접근법을 사용한다. 모드정합법과 그린함수 접근법을 효율적으로 적용하기 위해 중첩의 원리(superposition principle)를 이용하여 [그림 1] 구조를 분해한다.

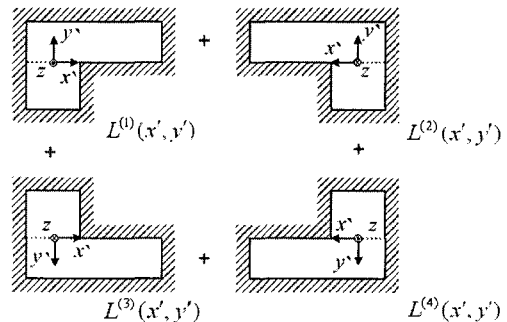


그림 2. 네모난 동축선을 4개의 L블록으로 분해한 모양

[그림 2]는 [그림 1]의 네모 동축선을 중첩의 원리를 이용하여 분해한 모양이다. 분해를 하면 4개의 L블록

(L-block)을 볼 수 있다. [그림 1] 구조를 해석적이며 수렴이 빠른 급수해(series solution)로 바꾸기 위해서는 [그림 2] 구조를 해석하고 중첩의 원리를 적용하면 된다. L블록을 해석하기 위하여 기본 구조로 [그림 3]과 같은 구조를 고려한다.

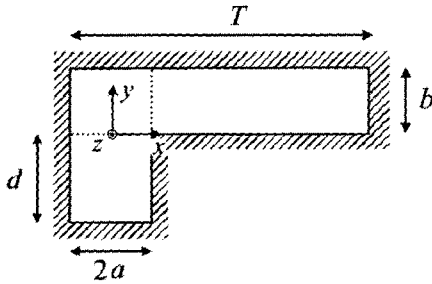


그림 3. L블록의 기하학적 구조

분산관계 해석을 위해 채택한 시간 약속(time convention)은  $e^{i(\omega t - \beta z)}$ 를 따른다. [그림 3]에 제시된 L블록을 해석하기 위하여 영역 (I) ( $-d < y < 0$ )의  $z$ 방향 자기장( $H_z$ , magnetic field)을 모드정합법으로 표현하고 영역 (II) ( $0 < y < b$ )의  $z$ 방향 자기장을 그린함수 접근법[9-11]으로 표현한다. 즉, TE(Transverse Electric) 모드(mode) 자기장 표현식은 다음과 같다.

$$H_z^I(x, y) = \sum_{m=0}^{\infty} q_m \cos a_m(x+a) \times \cos \xi_m(y+d) u_x(a) \quad (1)$$

$$H_z^{II}(x, y) = - \sum_{m=0}^{\infty} q_m \xi_m \sin(\xi_m d) \times [H_m^I(x, y) + R_m^H(x, y)], \quad (2)$$

여기서  $q_m$ 은 TE 모드 분산관계를 결정하는 미정계수(unknown coefficient)이고,  $a_m = m\pi/(2a)$ ,

$$\xi_m = \sqrt{k^2 - \beta^2 - a_m^2}, \quad k = \omega \sqrt{\mu\epsilon},$$

$$H_m(x, y) = \frac{\cos \xi_m(y-b)}{\xi_m \sin(\xi_m b)} \times \cos a_m(x+a) u_x(a) \quad (3)$$

$$R_m^H(x, y) = \frac{(-1)^m}{b} \sum_{v=0}^{\infty} \frac{\cos(\eta_v y)}{\alpha_v (\xi_v^2 - a_m^2)} \times f_H(x, a; \xi_v) \quad (4)$$

$$f_H(x, x'; \xi) = \{ \text{sgn}(x-x') [e^{i\xi(x-x')} - e^{i\xi(2T-|x-x'|)}] + e^{i\xi(2T-2a-x-x')} - e^{i\xi(2a+x+x')} \} \times \frac{1}{1 - e^{i2\xi T}}, \quad (5)$$

$u_x(a) = u(x+a) - u(x-a)$ ,  $u(\cdot)$ 는 단위 계단함수(unit step function), 그리고  $\text{sgn}(\cdot) = 2u(\cdot) - 1$ .

[그림 3]의  $z$ 방향 전기장( $E_z$ , electric field) 성분 표현식을 얻기 위하여 TM(Transverse Magnetic) 모드 전개를 하면 다음 수식을 얻을 수 있다.

$$E_z^I(x, y) = \sum_{m=0}^{\infty} p_m \sin a_m(x+a) \times \sin \xi_m(y+d) u_x(a) \quad (6)$$

$$E_z^{II}(x, y) = \sum_{m=0}^{\infty} p_m \sin(\xi_m d) \times [E_m^I(x, y) + R_m^E(x, y)], \quad (7)$$

여기서  $p_m$ 은 TM 모드 분산관계를 결정하는 미정계수이고,

$$E_m(x, y) = \frac{\sin \xi_m(b-y)}{\sin(\xi_m b)} \times \sin a_m(x+a) u_x(a) \quad (8)$$

$$R_m^E(x, y) = \frac{(-1)^m a_m i}{b} \sum_{v=1}^{\infty} \frac{\eta_v \sin(\eta_v y)}{\xi_v (\xi_v^2 - a_m^2)} \times f_E(x, a; \xi_v) \quad (9)$$

$$f_E(x, x'; \xi) = [e^{i\xi|x-x'|} + e^{i\xi(2T-|x-x'|)} - e^{i\xi(2T-2a-x-x')} - e^{i\xi(2a+x+x')}] \times \frac{1}{1 - e^{i2\xi T}} \quad (10)$$

식(1)-(10)의 표현식을 얻기 위해서는 [9], [10]에 제시된 그린 함수 방법론을 이용할 수 있다. 또한 식(4)와 (9)에 제시된 무한급수(infinite series)는 지수함수적으로 빠르게 수렴하므로 수치해석에 효율적이다.

중첩의 원리 관점에서 쓰면 TE 모드에 대한 전체 자기장(total magnetic field) 표현을 다음과 같이 얻을 수 있다. 블록을 중첩하여 전체 자기장을 형성하는 방법은 [9-11]에 자세히 소개되어 있다.

$$L_H(x, y) = L_H^{(1)}(x, y) + L_H^{(2)}(-x + \frac{a+w}{2}, y) + L_H^{(3)}(x, -y-h) + L_H^{(4)}(-x + \frac{a+w}{2}, -y-h), \quad (11)$$

여기서  $L_H^{(i)}(x, y)$ 는 [그림 2]에 제시된  $i$ 번째 L블록의  $z$ 방향 자기장을 표현한다. L블록의  $z$ 방향 자기장은 식(1), (2)를 이용하여 구한다.

TE 모드와 동일하게 TM 모드 전체 전기장(total electric field)을 표현하면 다음과 같다.

$$L_E(x, y) = L_E^{(1)}(x, y) + L_E^{(2)}(-x + \frac{a+w}{2}, y) + L_E^{(3)}(x, -y-h) + L_E^{(4)}(-x + \frac{a+w}{2}, -y-h), \quad (12)$$

여기서  $L_E^{(i)}(x, y)$ 는 [그림 2]에 제시된  $i$ 번째 L블록의  $z$ 방향 전기장을 표현한다. L블록의  $z$ 방향 전기장은 식(6), (7)을 이용하여 구한다.

식(11)이 주어진 경우  $H_z$  경계조건(boundary condition)을 불연속(discontinuity) 구간에 적용함으로

써 TE 모드 분산관계식을 쉽게 계산할 수 있다. 불연속 구간 ( $-a < x < a, y = 0$ ),

$$(\frac{a+3w}{4} < x < \frac{3a+w}{4}, y = 0),$$

$$(-a < x < a, y = -h),$$

$$(\frac{a+3w}{4} < x < \frac{3a+w}{4}, y = -h)$$

에  $H_z$  연속조건을 적용해서 4개의 TE 모드 분산방정식을 얻을 수 있다. 즉, 모드정합법을 이용하여 각각의 불연속 구간에 모드 함수인  $\cos a_m(x - x_0 + a)$ 를 곱하여  $x_0 - a < x < x_0 + a$ 에 대해 적분을 하면 4개의 TE 모드 분산방정식을 얻을 수 있다.

$$\int_{x_0-a}^{x_0+a} L_H(x, y) \cos a_m(x - x_0 + a) dx = 0, \quad (13)$$

여기서 식(13)이 각 불연속 구간을 표현하기 위해서는  $x_0 = 0, \frac{a+w}{2}, y = 0, -h$ 가 되어야 한다. 제시된  $(x_0, y)$  각각에 대해 식(13)이 성립하므로 4개의 분산방정식이 얻어진다. 또한 식(13)을 구성하는  $L_H(x, y)$ 는 초등함수로만 구성되어 있으므로 적분표를 이용하면 식(13)을 쉽게 적분할 수 있다.

또한, TM 모드 분산관계식을 얻기 위하여  $H_x$  경계조건을 불연속 구간에 적용한다.  $H_x$  자기장은 식(12)를 변형하여 유도할 수 있다. 식(12)와  $H_x$  연속조건을 이용하여 4개의 TM 모드 분산방정식을 얻을 수 있다.  $H_x$  연속조건을 적용하기 위해서는  $L_E(x, y)$ 를  $y$ 방향으로 미분하여야 한다. TE 모드와 유사하게 모드정합법을 이용하여 각각의 불연속 구간에 모드 함수인  $\sin a_m(x - x_0 + a)$ 를 곱하여  $x_0 - a < x < x_0 + a$ 에 대해 적분을 하면 4개의 TM 모드 분산방정식을 얻을 수 있다.

$$\int_{x_0-a}^{x_0+a} \frac{\partial}{\partial y} L_E(x, y) \sin a_m(x - x_0 + a) dx = 0. \quad (14)$$

### III. 수치 해석

네모 동축선의 분산관계를 구하는 것은 식(13)과 (14)를 만족하는  $\beta$ 를 찾는 것이다. 본 논문에서 도체 표면은 PEC(Perfect Electric Conductor)로 가정하였으므로  $\beta$ 는 실수 혹은 순허수가 된다. 이 경우 적절한 근찾기 알고리즘은 이분법(bisection method)이다. 이분법 알고리즘의 수렴속도는 느리지만 목적하는 구간에 존재하는 근은 정확히 찾을 수 있으므로 분산관계가 밀집되어 있는 네모 동축선의 분산관계를 찾기 위해 적당한 알고리즘이다.

상기에 제시한 모드정합법과 그린함수 접근법의 명확성을 확인하기 위해 네모 동축선에 대한 수치해석을 수행하고 FDTD 수치해석 결과인 [2]와 비교하였다. FDTD와 본 논문 해석법의 비교 결과는 [표 1]에 소개하고 있다.

표 1. TE 모드의 전파상수( $\beta$ [rad/m]) 수렴 특성  
( $a = 400\text{mm}$ ,  $b = 400\text{mm}$ ,  $h = 200\text{mm}$ ,  
 $w = 200\text{mm}$ ,  $f = 1\text{GHz}$ )

모드	TE <sub>10</sub>	TE <sub>11</sub>	TE <sub>20</sub>	TE <sub>12</sub>
$m = 0$	20.215	18.319	17.305	13.420
$m = 1$	20.196	18.307	17.140	13.398
$m = 2$	20.193	18.306	17.111	13.388
$m = 3$	20.192	18.306	17.100	13.383
$m = 4$	20.191	18.306	17.094	13.381
[2]	20.198	18.302	17.058	13.305

[표 1]은 식(11)을 활용한 네모 동축선 분산관계 수렴 특성을 표현하고 있다. 모드 개수가  $m = 4$ 인 경우는 [2]의 결과와 아주 유사한 값을 가지고 있다. 또한 우세 모드(dominant mode)인  $m = 0$ 의 결과식은 고차 모드인  $m = 4$  결과와 [표 1]에 제시된 모든 TE 모드에서 1% 이하의 오차에서 만족이 된다. 즉, 모드 특성을 정확히 이해하기 위해  $m = 4$ 를 사용할 필요 없이  $m = 0$ 인 우세 모드 결과를 활용해도 충분함을 알 수 있다.

TEM 셀의 TE와 TM 모드 분산관계를 이해하기 위하여 수치해석을 수행한다. [표 2]는 식(11)을 이용하여

TE 모드의 전파상수(propagation constant) 수렴 특성을 계산한 것이다. 마찬가지로 [표 3]은 식(12)를 사용하여 TM 모드의 감쇄상수(attenuation constant) 수렴 특성을 보인 것이다. 감쇄상수 계산을 위해 도체 표면은 PEC로 가정하였다. 우세 모드(dominant mode)인  $m = 0$ 를 고차 모드와 비교하면 제시된 분산관계식(11)과 (12)의 수렴특성이 매우 우수한 것을 확인할 수 있다.

[그림 4]와 [그림 5]는 TEM 셀에 형성되는 TE와 TM 모드 전자장 분포를 보여준다. TEM 셀의 구조는 [표 2]와 [표 3]에 제시된 것과 동일하다. 모든 경계영역에서 전자장의 연속성이 확보되어 있어 본 접근법의 명확성을 다시 확인할 수 있다. [그림 4]와 [그림 5]의 TE와 TM 모드 전자장 분포를 확인하기 위해 모드 개수  $m = 5$ 와  $m = 6$ 을 활용하였다.

표 2. TE 모드의 전파상수( $\beta$ [rad/m]) 수렴 특성  
( $a = 400\text{mm}$ ,  $b = 330\text{mm}$ ,  $h = 30\text{mm}$ ,  
 $w = 280\text{mm}$ ,  $f = 1\text{GHz}$ )

모드	TE <sub>01</sub>	TE <sub>10</sub>	TE <sub>11</sub>	TE <sub>20</sub>	TE <sub>21</sub>	TE <sub>02</sub>
$m = 0$	20.239	19.518	17.832	14.322	12.308	5.4759
$m = 1$	20.224	19.516	17.818	14.269	12.299	5.4671
$m = 2$	20.221	19.515	17.814	14.260	12.299	5.4645
$m = 3$	20.220	19.515	17.813	14.257	12.299	5.4634
$m = 4$	20.220	19.515	17.812	14.256	12.299	5.4629
$m = 5$	20.220	19.515	17.812	14.256	12.299	5.4626

표 3. TM 모드의 감쇄상수( $\alpha$ [Np/m]) 수렴 특성  
( $a = 400\text{mm}$ ,  $b = 330\text{mm}$ ,  $h = 30\text{mm}$ ,  
 $w = 280\text{mm}$ ,  $f = 1\text{GHz}$ )

모드	TM <sub>01</sub>	TM <sub>02</sub>	TM <sub>11</sub>	TM <sub>12</sub>	TM <sub>13</sub>	TM <sub>14</sub>
$m = 1$	23.156	23.340	30.883	31.161	36.794	37.008
$m = 2$	23.123	23.314	30.850	31.140	36.760	36.992
$m = 3$	23.113	23.306	30.840	31.133	36.749	36.987
$m = 4$	23.108	23.303	30.835	31.130	36.744	36.985
$m = 5$	23.105	23.301	30.833	31.128	36.741	36.983
$m = 6$	23.104	23.300	30.831	31.127	36.739	36.982

[그림 6]은 TEM 셀의 TE 모드 분산관계(dispersion relation)를 보여준다. [그림 6]은 [표 2]를 기반으로 계

산되었다. 알려진 대로 주파수가 올라갈수록 각 모드간의 전파상수 차이가 줄어들어 각각의 모드를 분리할 때 문제가 될 수도 있음을 알 수 있다. 이 부분을 명확히 보기 위하여 [표 4]를 제시하였다. 예를 들어 1 GHz인 경우는  $TE_{01}$ 과  $TE_{10}$  모드는 3% 정도 차이가 나지만 3 GHz인 경우는 0.3%가 되어 모드간 전파상수의 차이가 더욱 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이 경우는 분산관계를 검색하기 위해 사용하는 근삿기 알고리즘의 해상도를 더욱 높여 해결해야 한다.

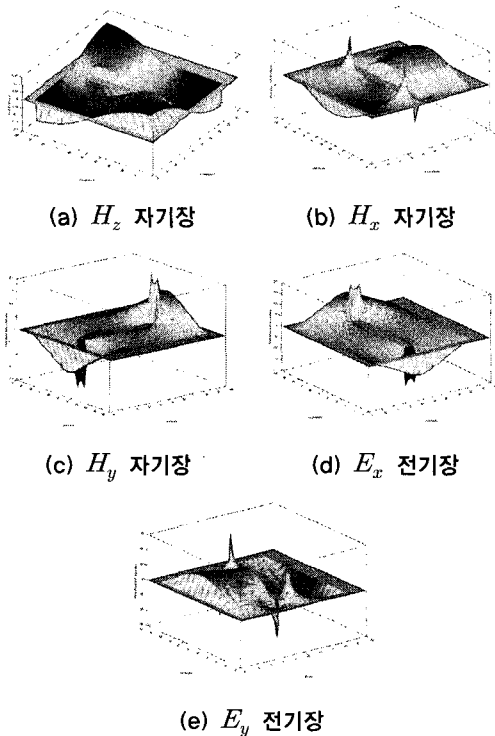


그림 4. TEM 셀의 TE11 모드 전자장 분포

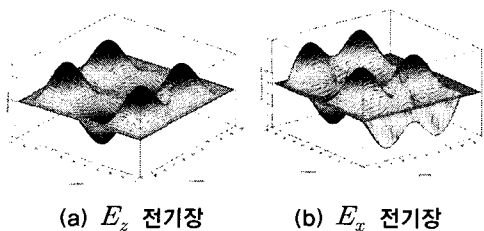


그림 5. TEM 셀의 TM31 모드 전자장 분포

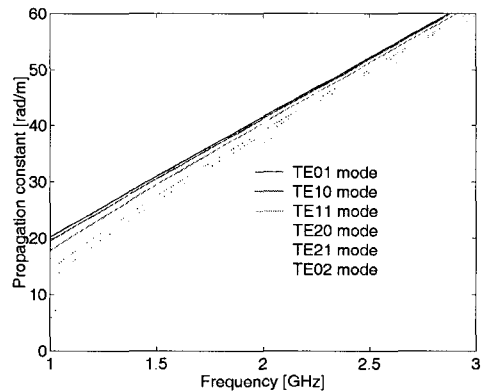


그림 6. TEM 셀의 TE 모드 분산관계

표 4. TEM 셀의 TE 모드 분산관계( $\beta$ [rad/m]) 특성표

모드	1 GHz	1.5 GHz	2 GHz	2.5 GHz	3 GHz
$TE_{01}$	20.115	30.882	41.502	52.065	62.599
$TE_{10}$	19.439	30.446	41.178	51.807	62.385
$TE_{11}$	17.639	29.329	40.360	51.159	61.848
$TE_{20}$	13.903	27.247	38.873	49.994	60.888
$TE_{21}$	12.529	26.571	38.402	49.629	60.589
$TE_{02}$	8.4910	24.923	37.281	48.767	59.884

#### IV. 결론

네모 동축선과 TEM 셀의 분산관계를 해석하기 위해 모드정합법과 그린함수 접근법에 기반을 둔 새로운 방

법을 제시하였다. 본 논문에서 제시하는 접근법의 명확성을 확인하기 위해 FDTD 결과와 비교하고 TE와 TM 모드 전자장 분포를 계산하였다. 수치해석 결과를 보면 TE 모드에 대한 기존 FDTD 결과와 본 논문의 고차 모드 결과는 0.1% 이하의 오차를 보여주었다. 또한 우세 모드 분산관계 결과와 고차 모드 분산관계 결과는 1% 이하의 오차를 나타내므로 우세 모드를 이용하여 대략적인 분산관계를 빠르게 조사할 수 있다. 향후에는 제시된 접근법을 기반으로 TEM 셀 구조의 산란특성을 규명할 수 있을 것이다.

**참고 문헌**

[1] L. Gruner, "Higher order modes in square coaxial lines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.31, No.9, pp.770-772, Sept. 1983.

[2] E. A. Navarro and V. Such, "Study of TE and TM modes in waveguides of arbitrary cross-section using an FD-TD formulation," *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, Vol.139, No.6, pp.491-494, Dec. 1992.

[3] Q. Zheng, F. Xie, L. Ma, and J. Li, "Multipole theory analysis of TE and TM modes in a rectangular coaxial transmission-line family," *Microwave Optical Tech. Lett.*, Vol.24, No.6, pp.405-407, March 2000.

[4] Y. H. Cho and H. J. Eom, "Fourier-transform analysis of a ridge waveguide and a rectangular coaxial line," *Radio Science*, Vol.36, No.4, pp.533-538, July/Aug. 2001.

[5] Y. H. Cho, "Dispersion analysis of a rectangular coaxial line," *2003 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings*, Vol.1, pp.13-16, Nov. 2003.

[6] I. Jeong, B. J. Kim, and Y. S. Kwon, "Monolithic implementation of air-filled rectangular coaxial line," *Electron. Lett.*, Vol.36, No.3, pp.228-230, Feb. 2000.

[7] J. H. Yun, J. S. Kim, W. S. Cho, and J. K. Kim, "Performance of coupled transmission line cell for generating standard EM fields," *Electron. Lett.*, Vol.34, No.12, pp.1210-1211, June 1998.

[8] J. Yun, H. Lee, and J. Kim, "Numerical solution of higher order mode cutoff frequencies in asymmetric TEM cells by Galerkin method," *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, Vol.41, No.4, pp.273-279, Nov. 1999.

[9] Y. H. Cho and H. J. Eom, "Analysis of a ridge waveguide using overlapping T-blocks," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.50, No.10, pp.2368-2373, Oct. 2002.

[10] Y. H. Cho and H. J. Eom, "Overlapping T-block analysis of axially grooved rectangular waveguide," *Electron. Lett.*, Vol.39, No.24, pp.1734-1735, Nov. 2003.

[11] Y. H. Cho, "TM plane-wave scattering from finite rectangular grooves in a conducting plane using overlapping T-block method," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol.54, No.2, pp.746-749, Feb. 2006.

**저자 소개**

조용희(Yong-Heui Cho)

종신회원



- 1998년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
  - 2000년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)
  - 2002년 8월 : 한국과학기술원 전자전산학과 전기 및 전자공학 전공 (공학박사)
  - 2002년 4월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원(ETRI) 무선방송연구소 위촉·선임·초빙연구원
  - 2003년 3월 ~ 현재 : 목원대학교 정보통신공학과 조교수
- <관심분야> : 안테나, 초고주파, 전자파 산란 및 분산