

# 두 개의 경사진 금속봉을 가진 구형 도파관과 동축 선로의 접합부의 산란 특성

## The Scattering Performance of a Junction of Rectangular Waveguide to Coaxial Line with Two Skewed Conducting Posts

이 상 호 · 신 철 재\*

Sang-Ho Lee · Chull-Chai Shin\*

### 요 약

본 논문에서는 구형 도파관내에 경사진 두 금속봉을 근사화한 구조에 모드 매칭법과 일반 산란계수법을 적용하여 이들의 경사 각도에 따른 상호 작용에 의한 산란 특성을 구할 수 있었다. 여기서 경사진 두 금속봉 구조에 모드 매칭법을 적용하기 위하여 적당한 개수의 모드를 택하여 경사각도에 대한 산란특성을 구하였다. 그리고, 이들의 경사진 두 금속봉의 계산 과정을 도파관과 동축선로의 접합부에 적용하여서 산란 특성을 얻을 수 있었다. 이런 결과에 따라서 경사 각도가 50° 일 경우에 동축 선로와 도파관 출력 포트로의 전달 특성이 3 dB가 되는 것을 알 수 있었다. 그리고, 입력단의 반사 손실은 경사 각도에 따라서 선형적으로 감소하는 특성을 얻을 수 있었다.

### Abstract

To determine a scattering performance of a rectangular waveguide with two skewed conducting posts in approximation by the mode matching method and the generalized scattering method is presented in this paper. We determined the optimized result from effective analysis to select the adequate eigenmode number in mode matching method for the skewed two conducting posts. And we obtained the scattering performance of the junction of the waveguide to coaxial line with two skewed conducting posts by application of above method. By this result, it can be seen that the transmission performance at output port of waveguide to coaxial line is 3 dB at the angle, 50°. And we obtained the reflection performance to decrease linearly along the skewed angle at input port.

Key words : mode matching, rectangular waveguide transition, skewed conducting post

### I. 서 론

구형 도파관 내에서의 불연속인 금속봉이 존재할 때에 모드 정합법을 적용하여서 일반산란계수법으로 원통 형태인 일정한 높이의 금속봉의 특성 파라미터인 산란계수 행렬을 구할 수 있었다<sup>[1],[2]</sup>. 이

한 방법을 적용하여서 금속봉이 구형 도파관의 중심에 위치할 때와 중심의 위치에서 벗어난 위치에 존재할 때의 산란계수 행렬들을 구할 수 있었다<sup>[3]</sup>. 또한, 마찬가지로의 방법을 적용하여서 두 개의 금속봉이 구형 도파관 내부에 존재할 때, 모드 정합법과 일반산란계수법을 적용하여서 두 금속봉의 상호작

삼성전자(Samsung Electronics Co., Ltd.)

\* 아주대학교 전자공학과(School of Electronics Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20010920-131

· 수정완료일자 : 2002년 3월 19일

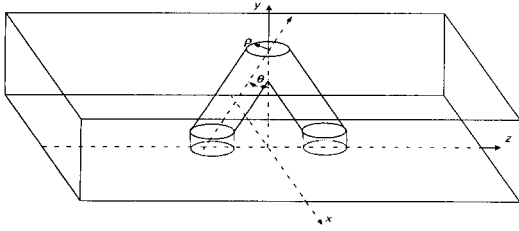


그림 1. 구형 도파관 내의 경사진 두 금속봉을 가진 구조

Fig. 1. The rectangular waveguide with the angled conducting cylindrical posts.

용에 의한 산란 계수 행렬을 얻을 수 있었다.

본 논문에서는 경사진 두 금속봉이 구형 도파관 내에 존재할 때에 모드 정합법과 일반산란계수법을 적용하여서 금속봉의 반경과 경사진 각도에 따라서 산란계수 특성이 일정한 형태로 변화하는 것을 얻고자 하였다. 여기서, 경사진 두 금속봉을 해석하는 과정에서 경사진 두 금속봉을 수직 금속봉으로 근사화 하여서 이들의 두 금속봉의 산란 특성을 앞에서 사용한 두 개의 금속봉에 의한 산란 계수를 구하는 방법을 변형하여서 적용하였다.

여기서, 두 금속봉의 경사진 각도는 두 금속봉간의 벌어진 각도가 아니고 수직상태에서 대칭적으로 같은 각도를 가지고 벌어진 각도를 가리키게 된다. 이때 구형 도파관은 X밴드용 WR-40을 기준으로 사용하였고, 해석에 사용된 주파수는 10 GHz로 선택하였다. 그리고, 두 금속봉의 벌어진 각도의 변화에 따른 산란계수 특성을 얻을 때에는 반경이 SMA 커넥터 타입의 내부 도체의 반경과 같게 하였다. 이것은 다시 해석된 산란특성을 구형 도파관과 동축선로의 접합구조에 적용하고자 한 의도이다. 여기서 동축 선로와의 접합부는 3포트 구조를 한 포트를 단락하여 2포트 구조로 특성을 계산하여서 하기 때문에 두 금속봉을 가진 구조에서 불연속 구간의 높이만 변하는 영역으로 표현할 수 있으면, 이곳에서 전자파의 수식적인 표현은 금속봉을 구형 도파관을 가진 것으로 볼수 있다<sup>[10]</sup>.

## II. 구형 도파관 내의 두 금속봉 해석

### 2-1 금속봉에 의한 전자계 표현

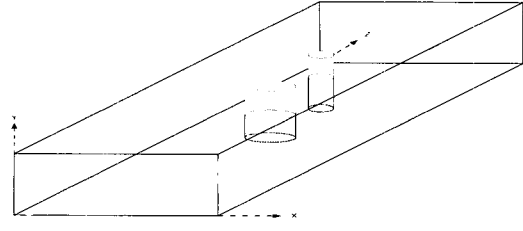


그림 2. 구형 도파관 내의 두 수직 금속봉을 가진 구조

Fig. 2. The rectangular waveguide with the conducting cylindrical posts.

구형 도파관 내부의 원통형의 금속봉에 의한 필드는 하나의 가상 경계면을 설정하여 방사형 도파관 영역과 구형 도파관 영역으로 나누어서 상이한 특성을 가진 두 영역으로 크게 나누어 해석하게 된다. 그림 2에 나타낸 두 개의 방사형 도파관 각각의 영역에서의 횡면 방향의 전계( $E_{cr}^q$ )와 자계( $H_{cr}^q$ ) 성분들은 [1]과 [3]에 나타난 것을 바탕으로 하여 다음과 같이 나타내었다.

$$E_{cr}^q(\rho, \phi, y) = \sum_{p=s,c} \sum_n \sum_m \left\{ C_{nm}^{qpc} J_n(\beta_{\rho m}^{qc} \rho) + D_{nm}^{qpc} Y_n(\beta_{\rho m}^{qc} \rho) \right\} \Gamma_{cinn}^{qpc}(\rho, \phi, y) + \sum_{p=s,c} \sum_n \sum_m \left\{ C_{nm}^{qph} J_n'(\beta_{\rho m}^{qh} \rho) + D_{nm}^{qph} Y_n'(\beta_{\rho m}^{qh} \rho) \right\} \beta_{\rho m}^{qh} \Gamma_{cinn}^{qph}(\rho, \phi, y) \quad (1)$$

$$H_{cr}^q(\rho, \phi, y) = \sum_{p=s,c} \sum_n \sum_m \left\{ C_{nm}^{qpc} J_n'(\beta_{\rho m}^{qc} \rho) + D_{nm}^{qpc} Y_n'(\beta_{\rho m}^{qc} \rho) \right\} \beta_{\rho m}^{qc} \Gamma_{cinn}^{qpc}(\rho, \phi, y) + \sum_{p=s,c} \sum_n \sum_m \left\{ C_{nm}^{qph} J_n(\beta_{\rho m}^{qh} \rho) + D_{nm}^{qph} Y_n(\beta_{\rho m}^{qh} \rho) \right\} \Gamma_{cinn}^{qph}(\rho, \phi, y) \quad (2)$$

여기서, 윗첨자들 중에서  $q$ 는 필드가 존재하는 영역을, 또한  $e$ 와  $h$ 는 TM(e-wave)과 TE(h-wave)의 고유 모드를 각각 의미하고,  $p$ 는  $\phi$ 방향의 고유모드의 함수가  $\sin$ 과  $\cos$ 함수인자를 나타낸다. 그리고,  $\Gamma_{cinn}^{qpc}$ 와  $\Gamma_{cinn}^{qph}$ 는 방사형 도파관 영역에 존재하는 특정한 고유 모드의 횡방향 전계와 자계들이며,  $J_n$ 와  $Y_n$ 은  $\rho$  방향의 전파상수의 자승( $\beta_{\rho m}^q = \beta^2 - \beta_{ym}^q \geq 0$ )에 의해서 제1종과 2종의 Bessel 함수가 되고,  $\beta_{\rho m}^q < 0$ 의 경우는 제1종과 2종의 Modified Bessel 함수들로 나타나게 되며,  $J_n'$ 와  $Y_n'$ 은 Bessel 함수의

도함수들을 나타낸다. 아래 첨자에서  $n$ 과  $m$ 는 횡방향의  $\phi$ 와  $y$ 방향에 대한 고유 모드수를 나타낸다. 마지막으로, 이 구조가 가지는 경계 조건에 의해  $y$ 방향의 전파상수( $\beta_{ym}^q$ )는  $\beta_{ym}^u = \frac{m \cdot \pi}{(b_2 - b_1)}$ 와  $\beta_{ym}^l = \frac{m \cdot \pi}{b}$ 로 각각 나타나게 된다.

그리고, 구형 도파관내에서 순수한 구형 도파관 구조에 의해 결정된 고유 모드를 갖는 필드성분들을 갖는 WR1과 WR2영역에서는 구형 도파관의 양 포트에서 입사된 TE<sub>10</sub>모드에 의해서 각 고유 모드들이 갖는 반사파와 진행파의 조합된 다음과 같은 형태로 표현된다.

$$\begin{Bmatrix} \vec{E}_{WR_1} \\ \vec{E}_{WR_2} \end{Bmatrix} (x, y, z) = \sum_{v=e,h} \sum_l \sum_i \left[ \begin{Bmatrix} A_{li}^1 \\ B_{li}^2 \end{Bmatrix} \vec{e}_{WR}^{vF} + \begin{Bmatrix} B_{li}^1 \\ A_{li}^2 \end{Bmatrix} \vec{e}_{WR}^{vB} \right] \quad (3)$$

$$\begin{Bmatrix} \vec{H}_{WR_1} \\ \vec{H}_{WR_2} \end{Bmatrix} (x, y, z) = \sum_{p=e,h} \sum_l \sum_i \left[ \begin{Bmatrix} A_{li}^1 \\ B_{li}^2 \end{Bmatrix} \vec{h}_{WR}^{pF} - \begin{Bmatrix} B_{li}^1 \\ A_{li}^2 \end{Bmatrix} \vec{h}_{WR}^{pB} \right] \quad (4)$$

여기서,  $A^1, A^2, B^1$ 과  $B^2$ 는 영역 WR1과 WR2에서의 진행파와 반사파 성분의 크기들이고, 윗첨자  $F$ 는 순방향 파를  $B$ 는 역방향 파를 나타내며,  $v$ 는  $h$ (TE 모드) 또는  $e$ (TM 모드)를 나타낸다. 또한,  $l$ 과  $i$ 는  $x$ 와  $y$ 방향에 대한 고유 모드수를 의미한다. 이때, 식 (3)와 (4)에서 직각 좌표계로 나타낸 구형 도파관내 고유 모드의 필드를 원통형 좌표계로 나타내면, 각 영역에서의  $\vec{e}_{WR}^q$ 와  $\vec{h}_{WR}^q$ 의 전개와 자계들은 다음과 같은 형태를 이루게 된다.

$$\begin{Bmatrix} \vec{e}_{WR}^{qF} \\ \vec{e}_{WR}^{qB} \end{Bmatrix} = (\vec{y}e_{yli}^{qWR} + \vec{\phi}e_{\phi li}^{qWR}) \cdot \exp^{\mp \gamma z} = \left\{ \vec{y}e_{yli}^{qWR} + \vec{\phi} \left( e_{xli}^{qWR} \cos \phi \mp e_{zli}^{qWR} \sin \phi \right) \right\} \cdot \exp^{\mp \gamma z} \quad (5)$$

$$\begin{Bmatrix} \vec{h}_{WR}^{qF} \\ \vec{h}_{WR}^{qB} \end{Bmatrix} = \pm (\vec{y}h_{yli}^{qWR} + \vec{\phi}h_{\phi li}^{qWR}) \cdot \exp^{\mp \gamma z} = \left\{ \vec{y}h_{yli}^{qWR} + \vec{\phi} \left( h_{xli}^{qWR} \cos \phi \mp h_{zli}^{qWR} \sin \phi \right) \right\} \cdot \exp^{\mp \gamma z} \quad (6)$$

여기서, 각 방향에 대한 특정한 고유 모드를 가지는 전개와 자계들은  $e_{li}^{qWR}$ 와  $h_{li}^{qWR}$ 로 표현하였고,  $\gamma$ 는  $z$ 방향의 전파상수를 의미한다.

## 2-2 산란계수의 유도

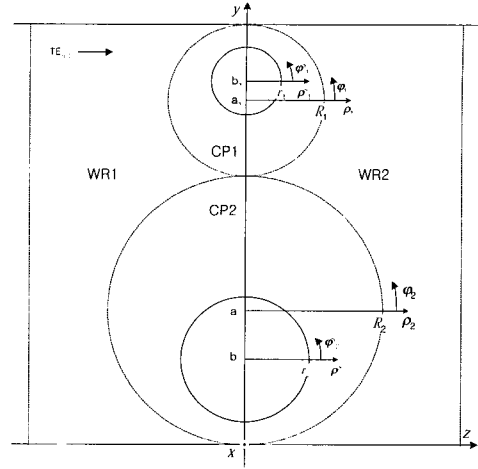


그림 3. 두 금속봉에 의한 경계 영역  
Fig. 3. The boundary by a angled conducting post.

방사형 도파관 영역내에서의 불연속에 의해서 파의 입사와 반사를 나타내는 행렬 함수 관계식으로 다음과 같은 수식으로 나타나게 된다.

$$\begin{bmatrix} [M_c] & [M_D] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_i \\ D_i \end{bmatrix} = 0 \quad (7)$$

여기서, 아래 첨자  $i$ 는 두 금속봉의 영역 CP1과 CP2를 가리키는 문자로서 1과 2로써 표시한다. 여기서, 두 개의 수직 금속봉의 각각의 입사와 반사의 행렬들은 그림 3과 같이 가상 경계 영역에서 먼저 계산이 되어진 후에 축변환 행렬<sup>[9]</sup>을 도입하여서 전체 구조의 입사와 반사 행렬들을 구하고자 한다.

그리고, 두 방사형과 구형 도파관간의 불연속 경계 지점에서 경계 조건에 의해 고유 모드  $C_i, D_i, A^1, A^2, B^1$ 과  $B^2$  벡터의 관계 행렬식은 다음과 같이 나타나게 된다<sup>[11]</sup>.

$$\begin{bmatrix} C_i \\ D_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [M_C^1F] & [M_C^2B] \\ [M_D^1F] & [M_D^2B] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A^1 \\ A^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [M_C^1B] & [M_C^2F] \\ [M_D^1B] & [M_D^2F] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B^1 \\ B^2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

그리고, 구형 도파관내에 있는 두 개의 방사형 금속봉, CP1과 CP2에 의한 식 (7)과 같이 입사와 반사의 행렬식은 다음과 같이 반사 계수 행렬 형태로 나타낼 수 있을 것이다.

$$D_i = [\Gamma_L^1] C_1, \quad D_2 = [\Gamma_L^2] C_2 \quad (9)$$

이들은 다시 각 금속봉의 고유 모드간의 서로 상호간의 영향을 고려하여서 행렬식을 구성하면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [\Gamma_L^1] & [M_{12}] \\ [M_{21}] & [\Gamma_L^2] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서,  $[M_{12}]$ 와  $[M_{21}]$ 은 두 금속봉의 고유 모드간의 상호 작용을 나타내는 것으로써, 두 구간에서의 모드들의 상호 내적식을 통해서 얻을 수 있을 것이다. 만일 이 고유 모드들간의 상호 작용이 없으면 [0]으로 값을 갖게 될 것이며, 상호 작용이 존재하면 기존에 계산에서 얻었던 불연속 구간에서 계산된 고유 모드들의 상호 내적 행렬과 같은 방법으로 얻을 수 있을 것이다.

그리고, 두 금속봉과 구형 도파관과의 모든 고유 모드 벡터들간의 행렬 관계식은 기존에 얻어진 수식 (8)을 적용하여서 다음과 같이 얻어 질 수 있다.

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [M_C^{1F}] & [M_C^{2B}] \\ [M_C^{2F}] & [M_C^{1B}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A^1 \\ A^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [M_C^{1B}] & [M_C^{2F}] \\ [M_C^{2B}] & [M_C^{1F}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B^1 \\ B^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [M_D^{1F}] & [M_D^{2B}] \\ [M_D^{2F}] & [M_D^{1B}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A^1 \\ A^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [M_D^{1B}] & [M_D^{2F}] \\ [M_D^{2B}] & [M_D^{1F}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B^1 \\ B^2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

이런 식 (11)과 (12)의 관계식으로 식 (7)을 이용하여서 다음과 같은 산란 행렬을 유도할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} B^1 \\ B^2 \end{bmatrix} = [S^T] \begin{bmatrix} A^1 \\ A^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [S_{11}^T] & [S_{12}^T] \\ [S_{21}^T] & [S_{22}^T] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A^1 \\ A^2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

여기서,

$$[S^T] = \left\{ \begin{bmatrix} [M_D^{1B}] & [M_D^{2F}] \\ [M_D^{2B}] & [M_D^{1F}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [\Gamma_L^1] & [M_{12}] \\ [M_{21}] & [\Gamma_L^2] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [M_C^{1F}] & [M_C^{2B}] \\ [M_C^{2F}] & [M_C^{1B}] \end{bmatrix} \right\}^{-1} \left\{ \begin{bmatrix} [\Gamma_L^1] & [M_{12}] \\ [M_{21}] & [\Gamma_L^2] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [M_C^{1B}] & [M_C^{2F}] \\ [M_C^{2B}] & [M_C^{1F}] \end{bmatrix} \right\} \quad (14)$$

단,

$$[\Gamma_L^i] = -[M_{D_i}]^{-1} [M_{C_i}] \quad (15)$$

여기서,  $i=(1, 2)$ 는 두 금속봉 CP1과 CP2를 가리

키는 것이다.

### III. 경사진 두 금속봉의 해석

앞장에서 언급된 구형 도파관내에 두 금속봉을 가진 구조를 해석하는 방법을 그림 1과 같은 경사진 두 금속봉을 가진 구형 도파관에 적용하기 위해서 경사진 두 금속봉을 미소 크기를 가지는 수직 금속봉들로 근사화 하였다. 이때 근사화된 경사진 두 금속봉의 구조는 그림 4와 같이 나타나게 될 것이다. 이러한 미소 두께의 수직 금속봉들에서의 고유 모드들은 경사진 단일 금속봉을 해석한 것<sup>[9]</sup>과 매우 유사한 형태로 관계식을 갖게 된다. 그래서, 그림 4와 같이 미소 크기의 수직 금속봉들의 각각의 영역에서 고유 모드들이 분포하고 있을 때, 각각의 불연속 경계점에 모드 정합법을 적용하여서 행렬식들을 얻을 수 있는데, 미소 크기의 중간에 위치한 미소 금속봉들의 윗 부분과 아래 부분의 행렬식은 제 1장에서 언급한 방사형 도파관들의 불연속 경계에서 얻은 것과 동일하게 나타난다. 그리고, 미소 분할체 금속봉들의 윗부분은 항상 우측의 종단 부분이 금속체 부분으로 종단되는 경계 조건을 갖게 되는데, 이런 종단 금속체 부분을 표현하는 경계 조건식은 다음과 같은 행렬식으로 주어지고,

$$D'_N = -[\Gamma_N^L] C'_N \quad (16)$$

여기서,  $[\Gamma_N^L]$ 은 대각선 행렬로서 각 대각선상의 행렬 원소 값들은 다음과 같이 나타나게 된다<sup>[11]</sup>.

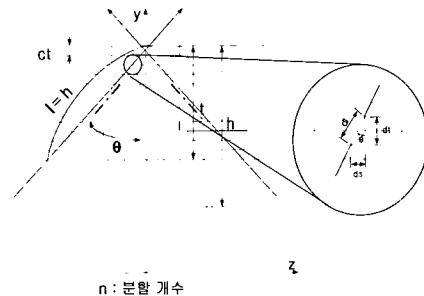


그림 4. 근사화된 경사진 두 금속봉  
Fig. 4. The approximated angled two conducting posts.

두 개의 경사진 금속봉을 가진 구형 도파관과 동축 선로의 접합부의 산란 특성

$$(\Gamma_N)_{ii} = \begin{cases} -J_n(\beta_{\rho m}^{Ne})/Y_n(\beta_{\rho m}^{Ne}) & TM \text{ 모드} \\ -J'_n(\beta_{\rho m}^{Nh})/Y'_n(\beta_{\rho m}^{Nh}) & TE \text{ 모드} \end{cases} \quad (17)$$

그래서, 미소 금속봉들의 윗 부분에서는 앞 절에서 얻었던 것과 동일한 고유 모드들간의 행렬 관계를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} M_c^u & M_b^u \\ C' & D' \end{bmatrix} = 0 \quad (18)$$

여기서,  $[M_c^u]$ 와  $[M_b^u]$ 는 앞장에서 언급했던 것과 동일한 형태로 주어지게 된다. 다음으로, 미소 금속봉들의 아래 부분에서는 중간 금속봉들에서는 일반적인 행렬식이지만, 맨 우측과 좌측의 종단에서는 두 개의 특별한 행렬식들로 나타나게 된다. 미소 금속봉들의 맨 좌측에서는

$$\begin{aligned} [S_v][Z'_{lv}]C_i + [S_r][Z'_{rv}]D_i &= [M_{lv}][Z'_{lv}]C_i + [M_{rv}][Z'_{rv}]D_i \\ [M_{lv}]^T[Z'_{lv}]C_i + [M_{rv}]^T[Z'_{rv}]D_i &= [S_v][Z'_{lv}]C_i + [S_r][Z'_{rv}]D_i \end{aligned} \quad (19)$$

과, 맨 우측에서는

$$\begin{aligned} [S_x][Z'_{lx}]C_n + [S_y][Z'_{ly}]D_n &= [M_{lx}][Z'_{lx}]C_n + [M_{ly}][Z'_{ly}]D_n \\ [M_{lx}]^T[Z'_{lx}]C_n + [M_{ly}]^T[Z'_{ly}]D_n &= [S_x][Z'_{lx}]C_n + [S_y][Z'_{ly}]D_n \end{aligned} \quad (20)$$

같은 행렬식들을 얻을 수 있다. 이때, 식 (18), (19)와 (20)을 조합해서 정리하면 미소 금속봉 아래 부분에서의 다음과 같은 행렬식을 얻게 된다.

$$\{[I] - [M^{N,l}][M^{N-1,N}]^L [M^{l-1,l}]^L [M^{l,2}][M^{l,1}]\} \begin{bmatrix} C' \\ D' \end{bmatrix} = 0 \quad (21)$$

여기서,  $[M^{l-1,l}]$ 은 다음과 같이 구성되어 지고,

$$[M^{l-1,l}] = \begin{bmatrix} [M_{cc}^{l-1,l}] & [M_{cb}^{l-1,l}] \\ [M_{bc}^{l-1,l}] & [M_{bb}^{l-1,l}] \end{bmatrix} \quad (22)$$

그래서, 식 (21)을 미소 금속봉 아래 부분에서 행렬식을 다시 표현하면 다음과 같이 표현될 수 있을 것이다.

$$\begin{bmatrix} M_c^d & M_b^d \\ C' & D' \end{bmatrix} = 0 \quad (23)$$

여기서, 식 (21)에 따라서

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} M_c^d & M_b^d \\ C' & D' \end{bmatrix} &= \{[I] - [M^{N,l}][M^{N-1,N}] \dots [M^{l-1,l}] \dots \\ &\cdot [M^{l,2}][M^{l,1}]\} \end{aligned} \quad (24)$$

와 같이 될 것이다. 결과적으로 경사진 단일한 금속봉의 근사화된 미소 금속봉들에 의한 전체적인 반사와 투과 행렬식은 다음과 같이 나타나게 된다.

$$\begin{bmatrix} M_c^T & M_b^T \\ C' & D' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_c^u & M_b^u \\ M_c^d & M_b^d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C' \\ D' \end{bmatrix} = 0 \quad (25)$$

그리고, 그림 4와 같이 대칭적으로 존재하는 두 부류의 미소 수직 금속봉들은 구형 도파관과 불연속을 이루는 부분은 두 경사진 금속봉의 근사화된 최종 끝단에 존재하는 부분이 될 것이다. 따라서, 이 두 부분에서의 식 (25)와 같이 최종적으로 각각 얻어진 반사와 투과의 행렬식들이 존재할 것이고, 이것들은 제 1장에서 얻어진 식 (11) 및 (12)와 같이 두 수직 금속봉에 의한 행렬식들에 각각 대입될 수 있을 것이다.

#### IV. Simulation 및 결과분석

본 논문에서 사용한 모드 정합법과 일반 산란 계수법을 이용하여 폭(2a)=0.9 inch와 높이(b)=0.4 inch인 X밴드용 구형 도파관 내에 반경( $r_0=0.025$  inch)인 금속봉이 존재할 때, 각 모드 정합법에서 해석할 수 있는 모드의 개수에 따라서 해의 수렴정도를 고찰하였다. 이에 대한 그림은 그림 5에 도시하였는데, 이것을 바탕으로 해의 수렴 정도는  $N_x=5$ 와  $N_y=6$  정도의 모드를 해석하는 것이 해가 매우 안정되게 나타남을 알 수 있었다.

그리고, 이러한 X밴드용 구형 도파관내에서 두 금속봉이 경사져 있을 때에 주파수가 10(GHz)에서 경사 각도에 따른 산란 계수들의 특성을 계산하였다. 여기서, 경사 각도가  $60^\circ$ 을 기준으로 그 이상이 될때에 반사 손실이 급격히 작아지고 위상의 변화는 거의 일정함을 얻을 수 있었다. 그에 대한 결과는 그림 6에 도시하였다. 그림 6의 결과는 공인된 시뮬레이션 툴인 HFSS와 계산 결과와 비교한 것으로서 경사 각도가 작을때에는 그 결과가 산란계수의 크기와 위상이 상당히 유사하지만 그 경사 각도

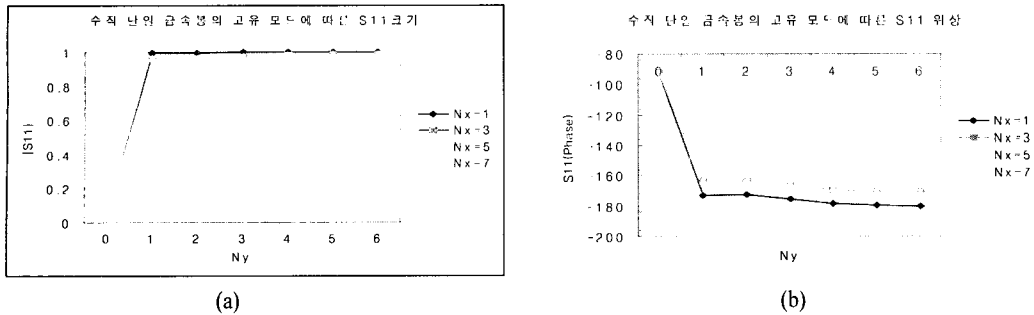


그림 5. 모드 정합법의 고유 모드에 따른 수직 금속봉을 가진 구형도파관의 반사 손실 수렴  
(a) 반사 손실 크기, (b) 반사 손실 위상  
( $f=10$  GHz,  $r_0=0.025$ (inch),  $b_2=0.1$ (inch),  $b_1=0$ )

Fig. 5. Reflection Loss along eigen modes in rectangular waveguide with a conducting post by mode matching method; (a) Magnitude of Reflection Loss, (b) Phase of Reflection Loss  
( $f=10$  GHz,  $r_0=0.025$ (inch),  $b_2=0.1$ (inch),  $b_1=0$ )

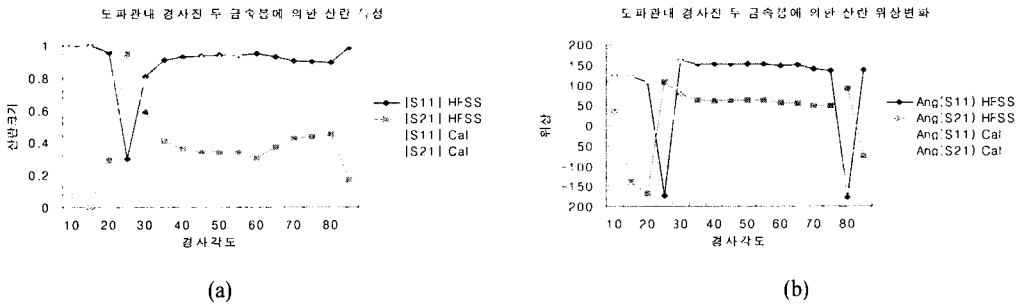


그림 6. 두 금속봉의 각도에 따른 구형 도파관의 산란 특성  
(a) 산란 계수들의 크기, (b) 산란 계수들의 위상

Fig. 6. Scattering parameters along angle of two conducting posts in rectangular waveguide.  
(a) Magnitude of scattering parameters, (b) Phase of scattering parameters

가 커짐에 따라서 계산된 결과가 어느정도의 오류 값을 가지게 되어서 HFSS결과와 상당한 차이를 보여주고 있다. 여기서 경사각도가 상당히 큰 영역에서는 HFSS 또한 오류값을 많이 발생하게 되는데, 이때에 HFSS를 Mesh 생성 자체를 상당히 고려하여서 계산하여야 하였다. 그리고, 본 논문의 계산은 경사 각도가 커짐에 따라서 작은 높이의 금속봉들로 근사된 구조로부터 전체 산란계수를 조합하는 과정에서 오류 값들이 발생하였다. 이것이 직접적으로 산란계수들의 해에 나타나게 되었다.

마지막으로, 이러한 X밴드용 구형 도파관과 50(ohm)의 SMA 동축 선로의 접합된 구조에서 동축 선로의 내부 도체의 피드 구조가 위에서 계산된 구

형 도파관내에서의 경사진 두 금속봉과 같은 구조를 가지고서 내부 도체의 피드 구조의 각도 변화에 대한 산란계수 특성을 계산하였다. 이러한 결과를 그림 7에 도시하였는데, 이러한 결과에서 경사 각도  $\theta=50^\circ$ 에서 구형 도파관과 동축 선로의 접합부의 구조에서 도파관의 출력단과 동축 선로의 출력단에서 각각 3(dB) 전달 특성을 얻을 수 있다. 여기서, 그림 7의 구조에서 계산된 산란계수는 HFSS와 비교해서 상당히 근사한 값을 가지게 되는데, 이것은 앞의 그림 6에서 구한 산란계수들을 3포트 구조를 2포트 구조로 구하는 계산 과정에서 산란 계수를 평균값으로 구하기 때문에 그 오류값이 상당히 줄어들게 나타났다. 여기서 반대로 HFSS가 특이한 결

두 개의 경사진 금속봉을 가진 구형 도파관과 동축 선로의 접합부의 산란 특성

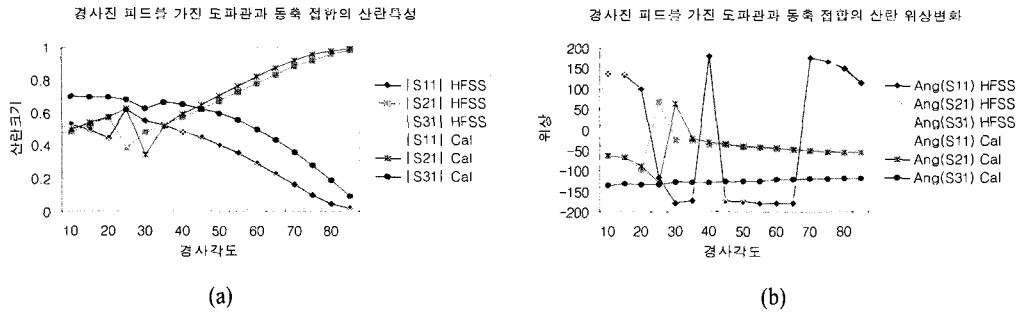


그림 7. 두 금속봉의 각도에 따른 구형 도파관과 동축 선로의 천이 구조의 산란 특성  
(a) 산란 계수들의 크기, (b) 산란 계수들의 위상

Fig. 7. Scattering parameters along angle of two conducting posts in a transition of waveguide to coaxial.  
(a) Magnitude of scattering parameters, (b) Phase of scattering parameters

과를 나타내는 것이 그림 7(b)에서 보였다. 우리는 앞의 구조, 즉 도파관 내부의 경사진 두 금속봉만을 고려했을 때 얻어진 계산 결과와 같이 경사 각도에 따라서 입력단의 반사 손실이 선형적으로 낮아지게 됨을 알 수 있다.

되므로 금속봉이 이용되는 모든 초고주파 통신용 부품 설계에 보다 적절하고 용이하게 적용될 수 있을 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 초고주파 통신용 회로에 많이 사용되는 구형 도파관에서 동축 선로의 접합부의 해석을 위해서 경사진 두 금속봉을 갖는 구형 도파관 대해 모드 매칭법과 일반 산란계수 법을 이용하여 전체의 산란계수를 추출하였고, 이를 이용하여 구형 도파관과 동축 선로 접합부내에 경사진 경사진 두 금속봉의 형태에 따른 접합 구조의 특성 개선을 위해서 입사된 포트의 경사를 주어서 설계하였다. 이때 특성상의 입력 임피던스와 전달 특성을 개선할 수 있는 각도를 제시하고자 하였다. 이런 구조를 해석하기 위해서 모드 매칭법과 일반 산란계수법을 적용하고자 하였고, 이런 경사 구조에 적합한 모드 정합법의 적용에 적합할 수 있도록 구조를 근사화 하여서 적용하였다.

본 논문에서 제시한 방법을 사용해 폭이 0.9 inch 와 높이가 0.4 inch인 구형도파관에 존재하는 경사진 두 금속봉에 대해 주파수 10 GHz에서 금속봉의 각도( $\theta$ )을 변화시켜 그에 따른 반사손실을 구하였고, 투과 손실 변화를 계산하였다. 본 논문에서 제안된 반사 손실과 투과 손실의 변화가 정확하게 계산

참 고 문 헌

- [1] H. W. Yao, K. A. Zaki, A. E. Atia, and R. Hershtig, "Full wave modeling of conducting posts in rectangular waveguides and its application to slot coupled combline filter", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 43, pp. 2824-2830, Dec. 1995.
- [2] X. P. Liang and K. A. Zaki, "Modeling of Cylindrical Dielectric Resonators in Rectangular Waveguide and Cavities", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 41, pp. 2174-2181, Dec. 1993.
- [3] R. Gesche and N. Lochel, "Scattering by a lossy dielectric cylinder in rectangular waveguide", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 36, pp. 137-144, Jan. 1988.
- [4] X. Liang, K. A. Zaki and A. E. Atia, "A Rigorous Three Plane Mode-Matching Technique for Characterizing Waveguide T-Junctions, and its Application in Multiplexer Design", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 39, pp. 2138-2146, Dec. 1991.
- [5] M. Davidovitz, "Reconstruction of the S-

- Matrix for a 3-Port Using Measurements at Only Two Ports”, *IEEE Trans. Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 5, pp. 349-350, Oct. 1995.
- [6] T. Shibata and T. Itoh, “Generalized-Scattering-Matrix Modeling of Waveguide Circuits Using FDTD Field Simulations”, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 46, pp. 1742-1751, Nov. 1998.
- [7] J. B. Andersen and B. Majborn, “Semiconductor Rod in Waveguide-Field Distribution for Positive and Negative Conductivity”, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 16, pp. 194-196, Mar. 1968.
- [8] A. S. Omar and K. Schunemann, “Transmission matrix representation of finline discontinuities”, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-33, pp. 765-770, Sep. 1985.
- [9] S. W. Chen and K. A. Zaki, “Dielectric ring resonators loaded in waveguide and substrate”, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 39, pp. 2069-2076, Dec. 1991.
- [10] 이상호, 박익모, 신철재, “경사진 금속봉을 가진 구형 도파관과 동축 선로의 접합구조 특성 계산”, 한국전자과학회논문지, 11권 7호, pp. 1271-1281, 2000. 10.
- [11] 김원기, 양기덕, 김민택, 박익모, 신철재, “2개의 불연속 구조물을 갖는 도파관의 임피던스 계산”, 한국전자과학회논문지, 8권 5호, pp. 462-475, 1997. 10.
- [12] J. A. Bradshaw, “Scattering from a round metal post and gap”, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 21, pp. 313-322, May 1973.
- [13] N. Marcuvitz, *Waveguide Handbook*, Boston Technical Publishers, 1964.
- [14] G. N. Watson, *A Treatise on The Theory of Bessel Functions*, Cambridge University Press, 1980.
- [15] R. E. Collin, *Field Thoery of Guided Waves*, IEEE PRESS, 1991.
- [16] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wliley & Sons. Inc., 1989.
- [17] T. Itho, *Numerical Technique for Microwave and Millimeter-wave Passive Structures*, John Wiley & Sons. Inc., 1989.
- [18] R. F. Harrington, *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*, McGraw-Hill Book Company. Inc., 1961.

## 이 상 호

1993년: 아주대학교 전자공학과 (공학사)  
 1995년: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2000년: 아주대학교 전자공학과 (공학박사)  
 2000년~현재: 삼성전자 책임연구원  
 [주 관심분야] 이동통신 및 위성통신 부품설계, MMIC 및 부품모델링, 수치해석, 단말기 연구 등

## 신 철 재



1964년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1968년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1983년: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1967년~1970년: 동양공업전문대

### 조교수

1970년~1977년: 광운대학교 조교수  
 1986년~1987년: 미국 Florida 대학 객원교수  
 1977년~현재: 아주대학교 전자공학과 교수  
 [주 관심분야] Microwave system, Microwave component 설계, EMI & EMC, Antenna 설계·측정 등