

## 공간회로방법을 이용한 크로스 슬롯 도파관 안테나 해석

박경수, 최성열, 김진, 이희복, 고영호  
전북대학교 전자정보공학부

전화 : 063-270-2390 Email : koyh@moak.chonbuk.ac.kr

### Analysis of cross slotted waveguide antenna using Spatial Network Method

Kyoung-Su Park · Sung-Youl Choi · Jin Kim · Hee-Bock Lee · Young-Ho Ko  
Division of Electronic and Information, Chonbuk National University  
E-mail : koyh@moak.chonbuk.ac.kr

#### Abstract

This paper presents a slotted leaky waveguide antenna using a rectangular waveguide for mobile reception of DBS (Direct Broadcasting Satellite). A slotted rectangular waveguide in leaky-wave operation can obtain a large beam-tilting angle of  $45^\circ$ , which is an attractive candidate of mobile DBS receiving antennas because it can be installed horizontally. SNM is used to solve arbitrary shape and materials constant, derived from maxwell's equations. In this paper, analyze cross slot waveguide antenna using SNM. and verify by HFSS.

#### I. 서론

슬롯은 안테나 시스템에 있어서 일반적으로 이용되고 있는 방사기의 한 형태로서 본질적으로 좁은 주파수 대역을 갖는다는 단점에도 불구하고 배열 안테나로 구성하였을 경우 정합회로를 필요로 하지 않으며 박형의 고이득 안테나 제작이 용이하다는 점 때문에 널리 쓰이고 있다. 도파관 벽에 형성된 슬롯은 관벽의 전류의 흐름을 차단함으로써 도파관 내부의 전자계와 외부 자유공간을 결합시키게 된다.

슬롯배열 도파관 안테나는 구형도파관의 좁은 면에 기울어진 형상의 슬롯 또는 넓은 면까지 파고드는 기울어진 슬롯 등을 배열하는 형태의 안테나가 개발되어 선박 등의 레이더용으로 사용되어 왔으나, 상호결합 특성이 강하고 원하는 빔 패턴을 얻기 위한 배열의 어려움이 있다는 점과 평면배열을 구현하기 힘들다는 점 등이 단점으로 지적되어 왔다.

도파관의 넓은면에 슬롯을 배열하는 안테나는 박형화 및 평면배열에 유리하기 때문에 최근에는 여러 종류의 편파특성과 기지국간의 무선 링크의 유용성을 위한 경사형 지향특성 등을 얻기 위한 설계 방법 등이 주로 연구되고 있다.

구형 도파관의 넓은 면에 슬롯을 배열하는 형태의 안테나는 좁은 면에 배열했을 때 보다 박형화 및 평면배열에 유리하기 때문에 이동체용 안테나로써 주목받고 있으며 여러 종류의 편파특성과 beam tilt 등을 얻기 위한 설계 방법 등이 주로 연구되고 있다. 본 논문에서는 크로스 슬롯 배열 안테나의 설계를 위하여 공간회로방법을 이용하였고 그 결과를 HFSS를 통해 검증하였다.

#### II. 공간회로방법

##### 2.1 공간회로방법의 개요

공간회로방법은 시간 영역에서 전자계 해석을 위한

방법으로 전송선로 이론과 Bergeron법을 이용하여 맥스웰 방정식으로부터 유도되어진 수치해석기법으로 3차원 과도해석이 가능하다. 정식화된 공간회로망법은 원리적으로 임의의 형상, 임의의 매질정수를 가지는 물체에 대하여 전자계 해석이 가능하다. 매질 조건은 각 절점에 있어서 집중정수로 표시되는데 예를 들면 유전분극 및 유전체 손실은 전기적 절점에 있어서 각각 용량 및 컨덕턴스로 표시된다. 한편 자기적 절점에 있어서는 쌍대적으로 직렬 인덕턴스 저항으로 표시된다. 이와같이 매질조건을 포함하는 계에 대해서도 3차원 등가회로를 구성할 수 있으며 각 절점에 접속되어 있는 1차원 선로에 대하여 Bergeron법에 의한 변환식을 적용하여 전류 연속의 관계에 의하여 각 절점마다 절점 방정식을 유도한다. 그리고 임의의 절점에 있어서 시간  $t$ 에서 전압, 전류는 인접하는 절점의 시간  $t-\Delta t$ 에서의 전압, 전류값을 이용하여 순차적으로 계산한다

2.2 공간회로망

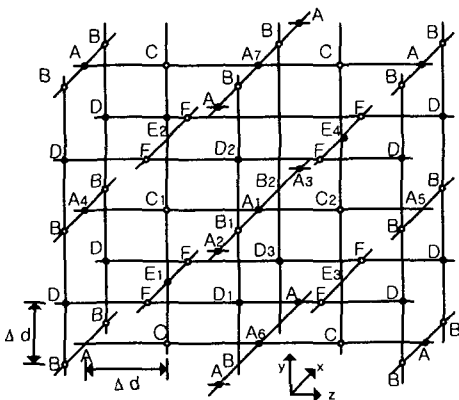


그림 1 3차원 입방격자망

공간회로망법의 3차원 입방격자의 구조는 그림 1과 같은 구조를 이룬다. 전기적 절점은 전압과 전류의 관계를 표시하는 전송선로상의 절점과 등가적이고 자기적 절점은 자압과 자류의 관계를 표시하는 자기형 전송선로상의 절점과 등가가 된다.

공간회로망법은 전계를 전압함수로 하는 절점(A,D,E)을 전기적 절점, 자계를 전압함수로 하는 절점(B,C,F)을 자기적 절점이라고 한다. 자기적 절점의 경우 전압, 전류의 물리적 의미가 일반적인 전기회로이론의 경우와 쌍대적이다.

2.3 공간회로망법의 정식화

공간회로망에서는 각 1차원 선로의 정식화에 Bergeron 법을 사용함으로써 시간축상에서의 축차해석이 가능하다.

Bergeron법은 선로 전체를 유한장 선로로 이산화하여 각 접속점(절점에 대응)마다의 전압과 전류를 초기 조건으로 하여 시간축상에서 축차적으로 해석하는 방법이다.

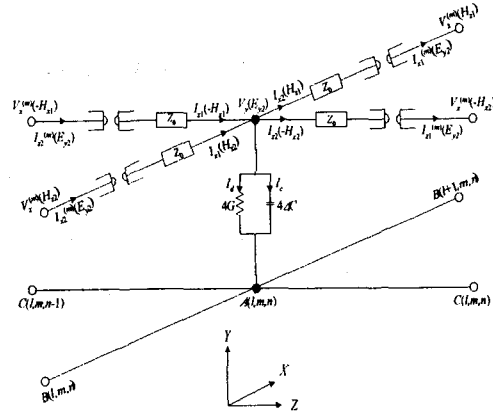


그림 2 전기적절점 A근방의 전기회로표시

그림 2는 전기적 절점 A근방의 전기회로를 확대하여 표시한 것으로 자이레이터도 고려함과 동시에 공간회로망을 정식화하는데 필요한 전압, 전류, 자압, 자류의 관계도 병기하였다.

식 (1),(2),(3),(4)는 정식화된 공간회로망법에 의해 구해진 절점A의 축차식이다.

$$V_y(l, m, n, t) + Z_0 I_{z_2}(l, m, n, t) = I_{z_2}^{(m)}(l, m, n-1, t-\Delta t) + Z_0 V_x^{(m)}(l, m, n-1, t-\Delta t) \tag{1}$$

$$V_y(l, m, n, t) - Z_0 I_{z_1}(l, m, n, t) = I_{z_1}^{(m)}(l, m, n, t-\Delta t) - Z_0 V_x^{(m)}(l, m, n, t-\Delta t) \tag{2}$$

$$V_y(l, m, n, t) + Z_0 I_{x_1}(l, m, n, t) = I_{x_2}^{(m)}(l-1, m, n, t-\Delta t) + Z_0 V_z^{(m)}(l-1, m, n, t-\Delta t) \tag{3}$$

$$V_y(l, m, n, t) - Z_0 I_{x_2}(l, m, n, t) = I_{x_1}^{(m)}(l, m, n, t-\Delta t) - Z_0 V_z^{(m)}(l, m, n, t-\Delta t) \tag{4}$$

손실성 매질에서의  $I_0, I_d$ 는 식 (5), (6)과 같다.

$$I_d(l, m, n, t) = 4G(l, m, n) V_y(l, m, n, t) \tag{5}$$

$$V_y(l, m, n, t) - R_c(l, m, n) I_c(l, m, n, t) = V_y(l, m, n, t-\Delta t) + R_c(l, m, n) I_c(l, m, n, t-\Delta t) \tag{6}$$

$$(R_c = \Delta t / 2C)$$

특성임피던스와 시간에 대한 관계는 식(7),(8)과 같다.

$$z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = Z_0 \quad (7)$$

$$\Delta t = \Delta d \sqrt{L_0 C_0} = \Delta d \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} / 2 = \Delta t_0 / 2 \quad (8)$$

### 2.4 경계조건

#### (1) 자유경계

안테나와 같은 방사계 문제를 다루는 경우 자유경계의 취급은 특히 중요하다. 공간회로방법에 있어서는 자유경계는 일반적으로 자유공간의 파동임피던스로 종단함으로써 고려할 수 있다.

#### (2) 도체 경계

도체는 기본적으로 완전도체라고 가정한다. 때문에 도체의 표면은 전계의 접선성분은 0이고, 자계의 법선성분은 0이라는 두개의 조건을 만족한다. 도체면의 각 절점에 대하여 각각 위의 조건을 적용한다.

#### (3) 급전부

구형도파관의 기본모드는  $TE_{10}$ 이므로 급전점에서 절점 A에 소스 임피던스  $R_s$ 를 통하여 적용할수 있다.

$$I_z(l, m, n, t) = \frac{S(l, m, t) - V_y(l, m, n, t)}{R_s}$$

$$V_y(l, m, n, t) + R_s I_z(l, m, n, t) = S(l, m, t) \text{ 에서}$$

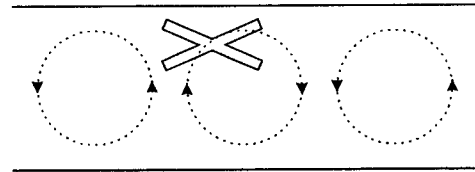
$$\frac{Z_0}{R_s} V_y(l, m, n, t) + Z_0 I_z(l, m, n, t) = \frac{Z_0}{R_s} S(l, m, t)$$

이다.

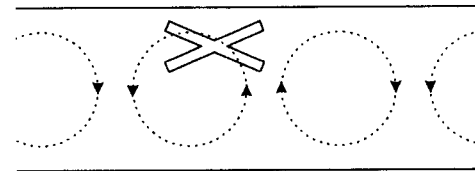
### III. 크로스슬롯 안테나의 해석

급전도파관의 폭은 방사도파관의 크기가 급전도파관의 관내파장의 1/2이 되도록 크기를 설정하고 기본모드( $TE_{10}$ )만이 입사 할 수 있도록 한다.

우선원편파(Right Hand Circular Polarization)를 방사하기 위해서는 크로스슬롯은 입사파의 진행방향에 대하여 그림 3처럼 중앙의 위쪽에 위치하여야 한다. 그림3(a)와 그림3(b)는 입사파의 진행방향으로  $\lambda_g/4$ 만 큼씩 진행하였을때의 슬롯에 유기되는 자계 전류의 위상을 보이고 있다.



(a)

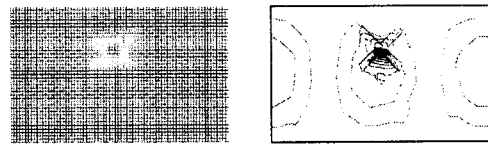


(b)

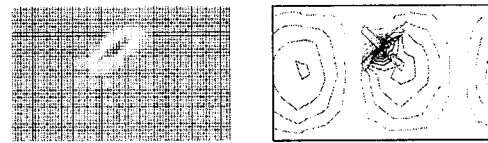
그림 3 크로스 슬롯의 시간에 따른 자계분포

### 3.1 단일 슬롯 도파관 안테나 해석

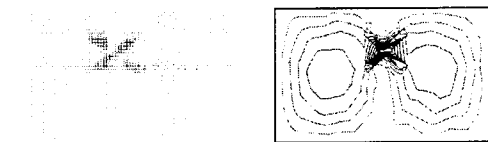
그림 4는 공간회로방법을 이용하여 크로스 슬롯 도파관안테나의 전계분포를 해석한 것이다. 도파관의 벽은 완전도체라고 가정하였다. 해석한 결과의 정확도를 검증하기 위해 Ansoft의 HFSS를 이용하여 비교하였다. 그림4의 왼쪽은 공간회로방법을 이용해서 해석한 단일 슬롯의 xz평면상의 전계의 분포이며 그림4의 오른쪽은 HFSS로 해석한 결과의 contour그림이다.



(a)  $t = 460\Delta t$



(b)  $t = 480\Delta t$



(c)  $t = 520\Delta t$

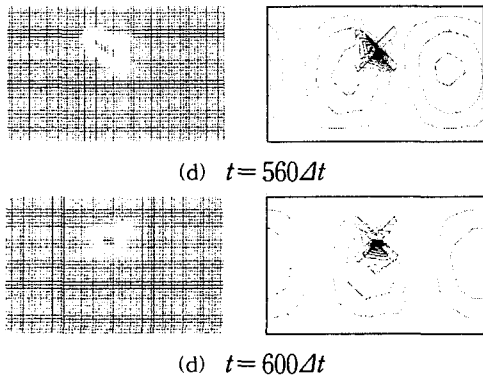


그림 4 단일 슬롯을 가진 도파관 안테나의 전계분포

해석결과 시간이 진행함에 따라 변화하는 전계의 변화가 거의 일치하였고, 오른쪽으로 회전하는 우선편파 현상을 관찰 할 수 있었다.

### 3.2 4개의 슬롯을 배열한 도파관 안테나 해석

설계하려는 도파관 안테나는 많은 수의 배열을 하여야 하나 본 논문에서는 간단히 수치해석상의 결과를 단순비교하기 위하여 4개로 슬롯을 배열하였다.

여기서, 각각의 슬롯은 진행파 안테나로 작용하기 때문에 본질적으로 비공진 슬롯이며 슬롯의 길이와 중앙으로부터의 오프셋, 슬롯 사이의 교차각 및 슬롯 사이의 거리는 안테나의 특성을 결정짓는 중요한 요소로서 방사 도파관에서의 임피던스 정합과 원편파의 축비를 고려하여 결정된다.

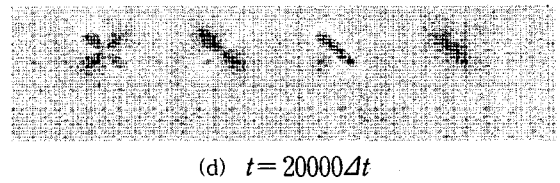
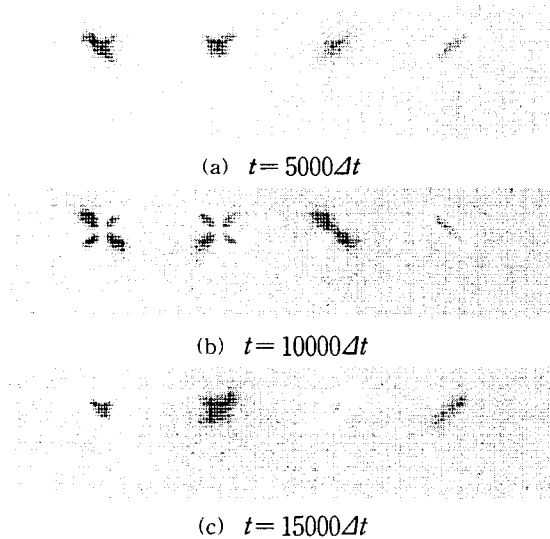


그림 5 4개의 슬롯을 가진 안테나의 전계분포

그림 5는 4개의 슬롯에서의 전계분포를 시간에 따라 나타낸 것이다. 슬롯의 전계분포는 시간이 지남에 따라 오른쪽으로 회전하며 진행하고 있다.

## IV. 결론

본 논문에서는 공간회로방법을 이용하여 축방향으로 배열한 크로스 슬롯 도파관 안테나를 해석하였다. 해석결과 단일슬롯과 4개로 배열한 슬롯에서 오른쪽으로 회전하는 우선편파 현상을 볼 수 있었다.

슬롯의 길이와 중앙으로부터의 오프셋과 슬롯사이의 교차각, 슬롯 사이의 거리는 안테나의 특성을 결정짓는 중요한 요소이다. 앞으로 추후과제는 공간회로방법을 이용하여 완전하게 배열한 크로스 슬롯 도파관 안테나를 해석하려 한다.

## 참고문헌

- [1] N. Yoshida and I. Fukai "Transient Analysis of a Stripline Having a Corner in Three-Dimensional Space," IEEE Trans. MTT., Vol. MTT-32, No. 5, pp.491-498, May 1984.
- [2] Y. H. Ko, N. Yosida, I. Fukai, "Three - Dimensional Analysis of a Cylindrical Waveguide Converter for Circular Polarization by the Spatial Network Method," IEEE trans MTT., Vol. 38, NO. 7, pp.912-918, JULY 1990.
- [3] Wolfgang J.R. Hofer, "The Transmission-line Matrix Method - Theory and Application," IEEE Trans. MTT., vol. MTT-33, No. 10, Oct 1985
- [4] Lars G. Josefsson, "Analysis of Longitudinal Slots in Rectangular Waveguides," IEEE Trans. AP., Vol Ap-35, No.12, pp. 1351-1357, Dec 1987.
- [5] Kane S. Yee, "Numerical Solution of Initial boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media," IEEE Trans. AP., pp.302-307, May 1966.
- [6] Wolfgang J. R. Hofer, "The Transmission-Line Matrix Method-theory and Applications," IEEE Trans. MTT., Vol. MTT-33, No. 10, pp. 882-892, Oct 1985.
- [7] D.M.Bica, Benjamin Baker, "Enhanced spatial network method for the analysis of open microstrip discontinuities," IEEE Trans. MTT., Vol.45, No. 6, pp.905-910, June 1997.