

축방향으로 배열한 도파관 안테나 해석

이희복 · 최성열 · 박경수 · 김진 · 임영환 · 고영호  
전북대학교 전자정보공학부

Analysis of Longitudinal Slot Array Antenna in Rectangular Waveguide

Hee-Bock Lee · Sung-Youl Choi · Kyoung-Su Park · Jin Kim · Young-hwan Lim · Young-Ho Ko  
Division of Electronic and Information, Chonbuk National University

**Abstract** - A narrow slot in the broad wall of a rectangular waveguide is analysed using a Spatial Network Method[1] which takes account of the waveguide wall thickness. In essence, SNM is used to solve arbitrary shape and materials constant, derived from Maxwell's equations to find the tangential electric fields on the upper and lower surfaces of the slot. In this paper, applying to the offset and length[2] which yield a zero equivalent shunt susceptance, analysing single and 4 array slot antenna. The current of the transient analysis shows each the times. Analysed result of SNM is verified by the method of moment and HFSS.

2. 본 론

2.1 공간회로망법 이론

공간회로망법은 시간 영역에서 전자계 해석을 위한 방법으로 전송선로 이론과 Bergeron법을 이용하여 맥스웰 방정식으로부터 유도되어진 수치해석기법으로 3차원 과도해석이 가능하다. 비슷한 3차원 공간해석법으로 이용되는 FDTD와 TLM에 비교하여 분극과 비등방성 매질에 대한 동적인 해석에 유리하다. 정식화된 공간회로망법은 원리적으로 임의의 형상, 임의의 매질정수를 가지는 물체에 대하여 전자계 해석이 가능하다.

1. 서 론

정보통신기술의 비약적인 발전에 힘입어 위성방송(DBS), 이동체통신 및 기지국간 무선 링크 등의 제 분야에서 무선 시스템 부품으로서 안테나의 중요성이 증가하고 있으며 경량화, 박형화 및 고효율화에 대한 연구가 진행되고 있다.

일반적으로 경량화와 박형화 때문에 스트립계열을 이용한 인쇄회로기판(PCB)형의 안테나가 쓰이지만, 유전체 손실 및 누설과 손실이 크고 저효율이라는 단점이 있기 때문에 고효율의 박형 배열 안테나가 이용되고 있다. 그 중에 구형 도파관 슬롯 배열 안테나는 높은 인가 전력, 높은 이득, 낮은 교차 편파, 적은 급전 손실 및 안테나의 높은 효율성을 가지고 있다.

도파관 슬롯은 목적에 따라 도파관의 E-면(Narrow Wall) 또는 H-면(Broad Wall)에 여러 가지 형태의 홈을 파서 슬롯을 만든다.

기존의 구형도파관 안테나 해석은 변분법(Variational Method)과 모멘트법(Moment Method)[3]을 이용하였다. 적분이나 미분을 포함한 연산자를 기저함수와 가중함수를 이용하여 행렬식으로 나타내는 모멘트법은 수식 유도 과정이 다소 복잡하며, 복잡한 구조나 매질 등을 수반하는 경우 적용에 제약이 심하고, 수렴성 문제가 있다. 본 연구에서 이용한 공간회로망법(Spatial Network Method:SNM)은 시간영역에서 전자계의 분석을 위한 방법으로 전송선로이론과 Bergeron법을 이용하여 맥스웰 방정식으로부터 유도되어진다. 그리고 집중정수로서 표현되는 매질조건을 포함하는 통일적 해석을 할 수 있다. 정식화된 공간회로망법은 원리적으로 임의의 형상, 매질정수를 가지는 물체에 대하여 전자계 해석이 가능하다.

본 연구에서는 크로스 슬롯을 해석하기 위한 과도 과정으로서 넓은 면 위에 단일 슬롯과 4개로 슬롯을 배열하여 공간회로망법으로 해석한다. 그리고 기존의 모멘트법, HFSS를 이용하여 얻어진 결과와 비교, 분석한다.

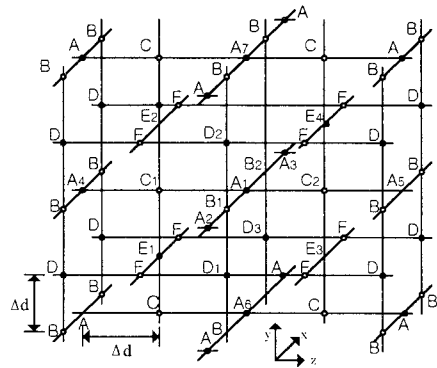


그림 1 3차원 입방격자망

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 동가가 된다. 즉, 자압이 전류에 대응하고 자류가 전압에 대응된다.

2.2 단일 슬롯의 해석[4]

구형도파관의 z축 길이는  $1\lambda(=32\text{mm})$ , 단일 슬롯길이는  $0.361\lambda(=11.552\text{mm})$ , 중심라인에서 오프셋은  $0.63\text{mm}$ 이다. 공간회로망법으로 해석하기 위해서는 자유경계, 도체경계를 나누어서 고려해야 한다. 자유경계는 자유공간의 파동임피던스로 종단함으로써 대체할 수 있고, 도체경계는 완전도체라는 가정하여 전계의 접선성분과 자계의 법선성분이 0이라는 두 조건을 만족해야 한다. 그리고 각 절점에 대한 절점방정식을 얻는다. 급전부분은 기본모드  $TE_{10}$ 을 절점 A에 소스 임피던스  $R_s$ 를 통하여 적용한다. 이때, 그림 2는 구형도파관의 단일슬롯이고, 그림 3은 z-x평면에서 도체경계조건을 이용한 절점이다.

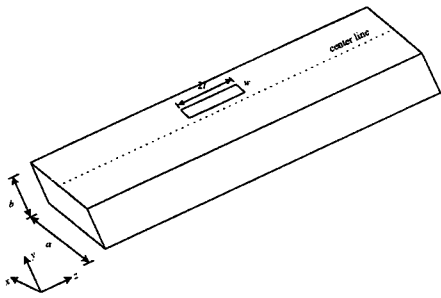


그림 2 구형도파관의 단일 슬롯

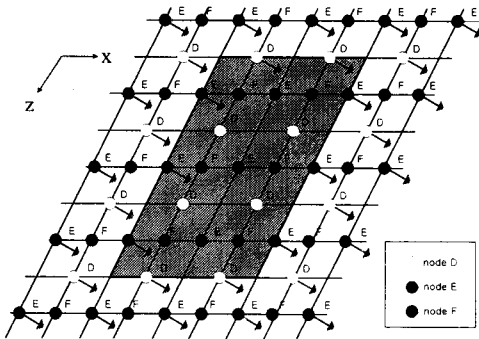


그림 3 슬롯부분의 경계조건

자유, 도체경계, 급전부분을 고려하여 공간회로망법으로 전개분포를 구한다. 그림 4는 모멘트법과 공간회로망법의 의한 정규화된 전개분포이다. 같은 크기와 모양을 가지는 구형도파관 슬롯안테나에 대한 모멘트법에 의해 해석한 결과와 비교해보면 거의 일치함을 알 수 있다. 또한 약간 오른쪽으로 치우쳐 있는데 실제적으로 슬롯에서 분포가 약간 치우친다[5].

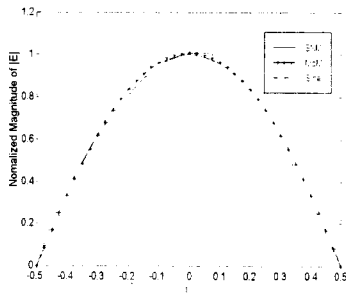


그림 4 슬롯에서의  $E_z$ 의 분포 (정규화된 값)

### 2. 3 배열 슬롯의 해석

4개로 배열한 슬롯 도파관 안테나의 크기는 그림 5와 같다. 기본 셀의 크기  $\Delta d$ 는 0.25mm로 하였고, 슬롯의 두께는 1mm로 하였다. 4개로 배열한 슬롯은 단일슬롯에 대한 확장으로 생각할 수 있다. 그리고 4개로 배열한 슬롯 안테나가 전파하는 과도과정을 보면 그림 6과 같다. 공간회로망법은 과도해석이 특히 유리하므로 슬롯에서의 시간에 따른 상호커플링 과정을 실시간 적으로 볼 수 있다. 그림 7은 동일한 파라미터를 이용하여 HFSS로 모의 실험을 하였다. 그래서 그림 6(e)는  $\Delta t=6000$ 인 시간에서 전개분포와 거의 같은 결과를 얻었다.

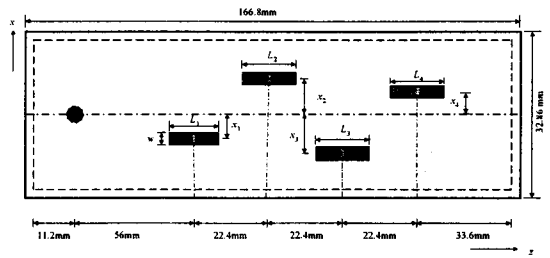
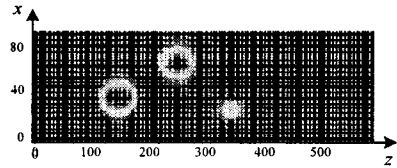
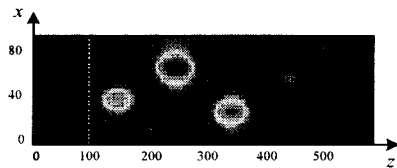


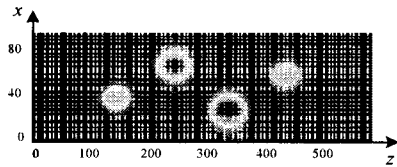
그림 5 4개의 슬롯 구형도파관



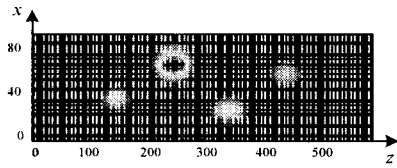
(a)  $\Delta t=1000$



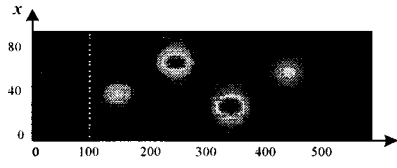
(b)  $\Delta t=1500$



(c)  $\Delta t=2000$



(d)  $\Delta t=4500$



(e)  $\Delta t=6000$

그림 6 시간에 따른 과도현상

### 2. 4 상용 툴과의 비교



그림 7 HFSS의 모의 실험

그림 6(e)은  $\Delta t=6000$ 의 시간에서 슬롯 각각의 전개된 크기 [1.3763, 2.1304, 2.3319, 1.3448]을 나타내었다. 슬롯

1, 4번째는 0.0315로 거의 같은 값을 갖지만, 슬롯2, 3은 0.2285로 약간의 크기 차이가 있으나 이것은 시간에 따라 조금씩 달라지는 결과이다.

$\Delta t=6000$ 일 때의 방사패턴(H-pattern)은  $E_r=H_r=0$ 이고,

$$E_\theta = -\frac{\pi}{2} C \sin \phi \frac{\cos X}{X^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \frac{\sin Y}{Y}$$

$$E_\phi = -\frac{\pi}{2} C \cos \theta \cos \phi \frac{\cos X}{X^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \frac{\sin Y}{Y}$$

이다.

여기에서

$$X = \frac{ka}{2} \sin \theta \cos \phi$$

$$Y = \frac{kb}{2} \sin \theta \sin \phi$$

$$C = j \frac{abkE_0 e^{-jkr}}{2\pi r}$$

$a, b$ 는 도파관 크기를 나타내고,  $r$ 은 장거리 계의 거리를 나타낸다. 슬롯 각각의 전계크기를  $E_0$ 에 대입하면, 그림 8과 같다.

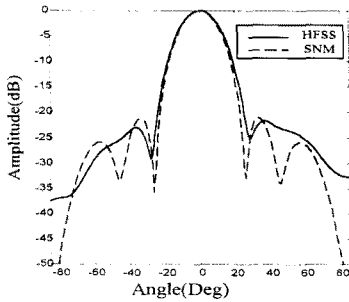


그림 8  $\Delta t=6000$ 일 때의 방사패턴

### 3. 결 론

본 논문에서는 구형도파관의 넓은 면의 축방향 슬롯에 대한 전자계해석을 공간회로방법을 이용하였다. 도파관 두께를 고려하여 해석하였고, 해석결과 단일슬롯의 전개분포는 모멘트법을 이용한 결과와 거의 일치하였고, 4개의 슬롯에 대한 과도현상은 HFSS를 이용한 모의 실험결과와 거의 일치하였다. 따라서 공간회로방법을 이용하여 슬롯 배열 도파관 안테나를 해석할 수 있으며 안테나에서의 전자계적인 과도현상을 실시간 적으로 나타낼 수 있다. 앞으로 추후과제는 공간회로방법으로 크로스 슬롯 도파관에 적용하여 도파관 안테나를 해석하려고 한다.

#### (참 고 문 헌)

- [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] 신필수, 최성열, 김용수, 고영호, 고광태, "구형도파관에 축방향 슬롯을 이용한 Dolph-Tschebyscheff 배열 안테나 설계," 대한전자공학회 추계 학술대회 논문집, pp. 62-66, Dec. 1997.
- [3] Lars G. Josefsson, "Analysis of Longitudinal Slots in Rectangular Waveguides," *IEEE Trans. AP*, Vol Ap-35, No.12, pp. 1351-1357, Dec 1987.
- [4] 박경수, 최성열, 김진, 이희복, 고영호, "Spatial Network Method(SNM)을 이용한 구형도파관 슬롯 안테나 해석".

2000년 전자과학기술 학술대회 논문집, pp 33-36, 21. 7. 2000  
[5] Robert S. Elliot, *Antenna Theory and Design*, N. J., Prentice-Hall, 1981.