

공간회로방법을 이용한 축방향 슬롯 배열 도파관 안테나 해석

이회복 · 최성열 · 박경수 · 김진 · 임영환 · 고영호
전북대학교 전자정보공학부
(우)561-756 전라북도 전주시 덕진구 덕진 1동 664-14
E-mail : koyh@moak.chonbuk.ac.kr

Analysis of Longitudinal Slot Array Antenna in Rectangular Waveguide using Spatial Network Method (SNM)

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
664-14 Duckjin-1dong Duckjin-Gu Chonju-Si Chonlabuk-Do Korea
E-mail : koyh@moak.chonbuk.ac.kr

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.

I. 서론

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 유도과정이 다소 복잡하며, 복잡한 구조나 매질 등을 수반하는 경우 적용에 제약이 심하고, 수렴성 문제가 있다. 본 연구에서 이용한 공간회로방법(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 공간회로방법은 원리적으로 임의의 형상, 매질정수를 가지는 물체에 대하여 전자계 해석이 가능하다.

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

II. 공간회로방법 이론

공간회로방법은 시간 영역에서 전자계 해석을 위한 방법으로 전송선로 이론과 Bergeron법을 이용하여 맥스웰 방정식으로부터 유도되어진 수치해석 기법으로 3차원 파도해석이 가능하다. 이것은 도파관, 여파기와 같은 전자계해석 뿐만 아니라 음향, 초음파 분야를 연구하는데 응용되고 있다. 비슷한 3차원 공간해석법으로 이용되는 FDTD와 TLM에 비교하여 분극과 비등방성 매질에 대한 능적인 해석에 유리하다.

정식화된 공간회로방법은 원리적으로 임의의 형상, 임의의 매질정수를 가지는 물체에 대하여 전자계 해석이 가능하다.

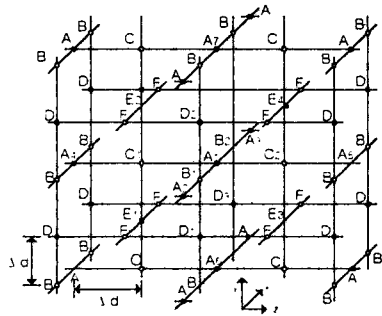


그림 1 3차원 입방격자망
Fig. 1 Three dimensional cubic lattice

공간회로방법의 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. 즉, 자압이 전류에 대응하고 자류가 전압에 대응된다.

III. 구형도파관 슬롯안테나 해석

구형도파관의 넓은 면에 축방향 슬롯을 파고 각각 슬롯을 축방향으로 배열하였을 때 슬롯에 대한 오프셋과 깊이에 따른 슬롯 전계분포를 모멘트법을 이용하여 구한다. 슬롯 사이의 상호 어드미턴스를 고려하여 컨덕턴스가 1이 되고, 서셉턴스가 0이 되는 공진길이를 구한다. 마찬가지로 슬롯 개수를 늘려가면서 각각의 오프셋과 공진길이를 구한다. 논문[2]을 참조하여 최적화 방법을 통하여 얻어진 슬롯 4개를 배열한 안테나의 오프셋과 깊이를 참조하였다.

(1) 단일 슬롯의 해석[4]

구형도파관의 z축 길이는 $1\lambda (=32\text{mm})$, 단일 슬롯 길이는 $0.361\lambda (=11.552\text{mm})$, 중심라인에서 오프셋은 0.63mm 이다. 공간회로방법으로 해석하기 위해서는 자유경계, 도체경계를 나누어서 고려해야 한다. 자유경계는 자유공간의 파동임피던스로 종단함으로써 대치할 수 있고, 도체경계는 완전도체라는 가정하여 전계의 접선성분과 자계의 법선성분이 0이라는 두 조건을 만족해야 한다. 그리고 각 절점에 대한 절점방정식을 얻는다. 입력부분은 기본모드 TE_{10} 을 절점 A에 소스 임피던스 R_s 를 통하여 적용한다.

먼저 단일 슬롯에 대한 전계분포를 구하였다. 그림 2는 구형도파관의 단일슬롯이다.

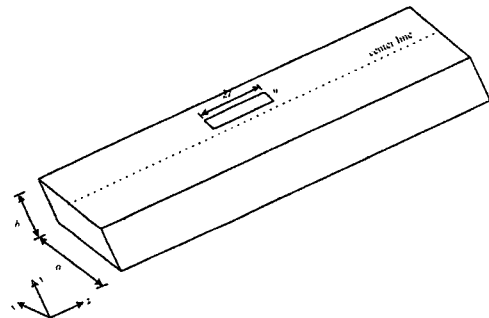


그림 2 구형도파관의 단일 슬롯
Fig. 2 Single slot in rectangular waveguide

그림 3은 도파관 두께를 고려하여 위치에 따른 슬롯에서의 전계분포를 나타내고 있다. 슬롯의 위, 아래, 가운데 면 데이터를 비교할 때, 0.01정도의 차이를 가지고 있음을 알 수 있다. 자유공간에 대한 단위 셀 크기를 크게 잡으면 슬롯 두께를 고려한 좀더 정확한 해석을 할 수 있다.

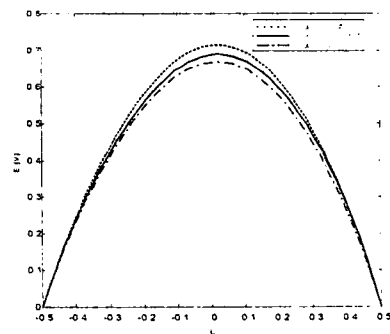


그림 3 위치에 따른 슬롯의 전계분포
Fig. 3 Electric distribution on each slot face (up middle, down)

그림 4는 모멘트법과 공간회로방법의 의한 정규화된 전계분포이다. 같은 크기와 모양을 가지는 구형 도파관 슬롯안테나에 대한 모멘트법에 의해 해석한 결과와 비교해보면 거의 일치함을 알 수 있다. 또한 약간 오른쪽으로 치우쳐 있는데 실제적으로 슬롯에서 분포가 약간 치우친다[5].

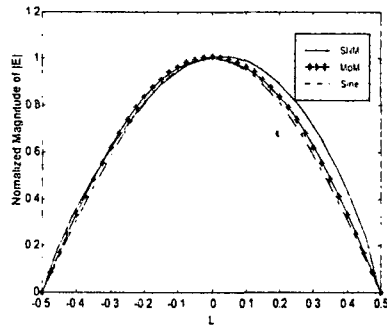


그림 4 슬롯에서의 E_x 의 분포 (정규화된 값)
Fig. 4 Normalized electric distribution of the slot

(2) 배열 슬롯의 해석

4개로 배열한 슬롯 도파관 안테나의 크기는 그림 5와 같다. 기본 셀의 크기 ld 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. 공간회로방법은 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 전계분포와 거의 같은 결과를 얻었다.

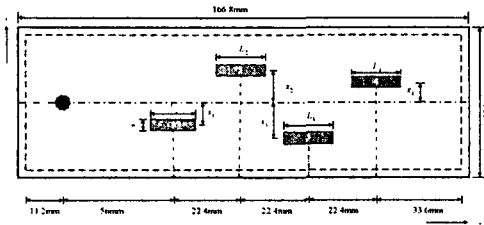
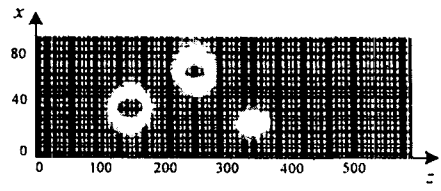
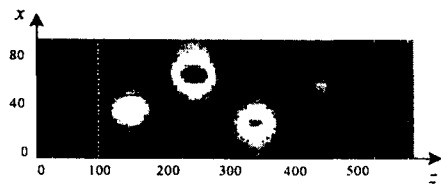


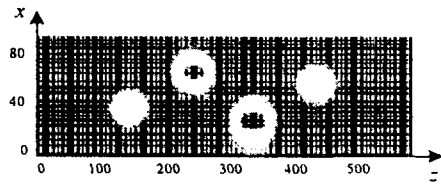
그림 5 4개의 슬롯 구형도파관
Fig. 5 Four-slotted waveguide



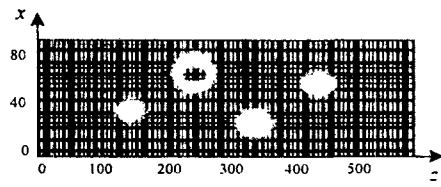
(a) $\Delta t=1000$



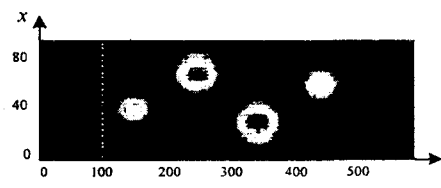
(b) $\Delta t=1500$



(c) $\Delta t=2000$



(d) $\Delta t=4500$



(e) $\Delta t=6000$

그림 6 시간에 따른 과도현상
Fig. 6 Transient analysis of each times



그림 7 HFSS의 모의 실험
Fig. 7 Simulated result using HFSS

그림 8, 9는 $\Delta t=6000$ 의 시간에서의 3차원 메쉬와 슬롯 각각의 전계의 크기를 나타내었다. 슬롯1, 4번째는 거의 같은 값을 갖지만, 슬롯2, 3은 약간의 크기 차이가 있으나 이것은 시간에 따라 조금씩 달라지는 결과이다.

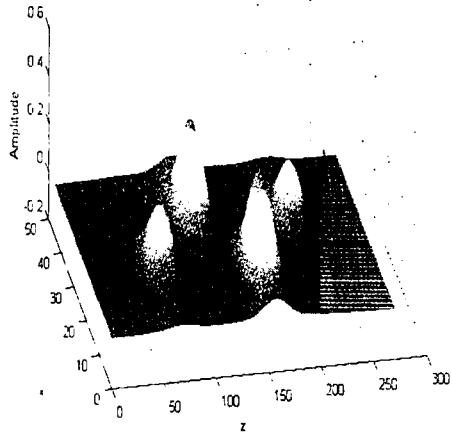


그림 8 슬롯 4개의 3차원 메쉬
Fig. 8 Three-dimension mesh of four-slotted waveguide

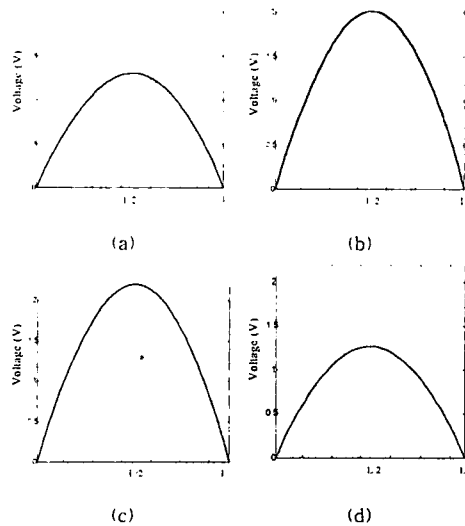


그림 9 $\Delta t=6000$ 일 때 각각의 전계분포
Fig. 9 Each electric distributions at $\Delta t=6000$

IV. 결론

본 논문에서는 구형도파관의 넓은 면의 측방향 슬롯에 대한 전자계해석을 공간회로방법을 이용하였

다. 도파관 두께를 고려하여 해석하였고, 해석결과 단일슬롯의 전계분포는 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.

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] 신필수, 최성렬, 김용수, 고영호, 고광태, "구형도파관에 측방향 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, 최성렬, 김진, 이희복, 고영호, "Spatial Network Method(SNM)을 이용한 구형도파관 슬롯 안테나 해석", 2000년 전자파기술 학술대회 논문집, pp 33-36, 2000/7.21.
- [5] Robert S. Elliot, *Antenna Theory and Design*, N. J., Prentice-Hall, 1981.