

# 유전기판에 마운트된 FZPL 안테나 시뮬레이션

김태용\*

\*동서대학교

## Simulation for FZPL Antenna on Mounted Dielectric Substrate

Tae Yong Kim\*

\*Dongseo University

E-mail : kimw2k@gdsu.dongseo.ac.kr

### 요 약

위성 TV 수신 시스템, 전파 망원경 및 원격탐사 등에 응용할 수 있는 FZPL 안테나는 구조가 간단하고, 분해·조립이 간단하며 가격이 저렴한 장점이 있다. 이러한 렌즈형 안테나를 DAB/DMB용 수신기에 응용하기 위하여 TLM법을 적용하여 수치계산을 행하였다. FZPL 안테나는 유전기판에 마운트된 것으로 가정하였고, 시간응답 특성과 수신이득을 계산하였다. 계산결과 설계 초점거리에 대하여 계산된 초점거리는 약 25% 짧게 나타났으며, 수신이득은 18dB로 입사전력을 60여 배 증폭할 수 있는 것을 알았다.

### ABSTRACT

FZPL antenna have been applied for satellite TV receiver system, radio astronomical observation and so on, because of its flat nature and structural simplicity. Using TLM modeling, numerical simulation was performed for the FZPL antenna which can be applied for DAB/DMB receiver system. FZPL antenna mounted on dielectric substrate was investigated. As the results, the computed focal length was shorter than the designed one and the received gain was 18dB.

### 키워드

DAB/DMB, Focal length, focusing gain, FZPL, TLM modeling

### 1. 서 론

유한요소법(FEM), 경계요소법(BEM) 및 모멘트법(MOM) 등은 도체 또는 유전체와 같은 구조물로 부터의 전자파 산란 문제 해석에 폭넓게 사용되어 왔다[1-5]. 이러한 방법들은 정상 파동문제에 적합 하지만, 시간영역에서의 응답이 필요한 경우에는 많은 제약이 따른다. TLM(Transmission Line Matrix)법은 본질적으로 시간영역 해석 방법으로서 공간을 코일과 콘덴서로 구성되는 등가적인 전달 선로망으로 변환 시킨 뒤, 파동전파를 선로상에서 임펄스가 전달되는 것으로 모의 추적하는 방법이다 [6,7]. 이것은 호이겐스의 파동 전파과정을 하나의 이산적 모델로 옮겨 놓은 것이다. 또한 간단한 계산 알고리즘으로 시간영역 응답특성을 손쉽게 계

산할 수 있는 장점이 있고, 주파수 응답특성을 필요로 하는 경우는 FFT를 이용하거나 계산과정 중에 DFT를 이용하여 계산종료와 함께 주파수 응답을 구할 수 있다.

FZPL(Fresnel Zone Plate Lens) 안테나는 위성 TV 수신 시스템, 전파 망원경 및 원격탐사 등에 응용 가능하다[8]. FZPL은 호이겐스 프레넬의 원리를 응용한 것으로, 기하학적으로 전파 차폐재(도체판)와 투과부를 동심원상으로 나열한 간단 구조를 하고 있으며, 분해·조립이 간단하고 가격이 저렴한 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는, FZPL 안테나를 DAB(Digital Audio Broadcasting) 및 DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 수신기에 응용하기 위하여 TLM법을 적용하여 몇 가지 모델에 대하여 수치 시뮬

레이션을 하였다. 관심 주파수 2.6GHz에 대하여 각 존 플레이트가 유전체에 마운트 되어 있는 것으로 가정하였고, 유전기판이 없는 경우에 대한 계산 결과와 비교 검토하였다.

## II. TLM 모델링

유전 기판에 마운트된 FZPL 안테나를 해석하기 위하여 그림 1에 나타낸 것과 같이 SCN (Symmetric Condensed Node)로 알려져 있는 3차원 TLM 요소로 계산 공간을 분할 하였다. 이러한 기본 요소는 3개의 좌표평면내에 12개의 포트를 가진 선로를 등가적으로 표현한 것이다. 또한 유전체를 모델링하기 위하여 이러한 기본 요소에 6개의 stub를 추가하여 등가적으로 모델링하였다[6].

기본 요소에 임의의 펄스를 주입하면, 각 노드에서 산란 펄스가 전파하게 되며, 다시 인접한 요소에 입력 펄스로서 작용하게 된다. 이러한 산란 메카니즘은 입사파  $V^i$ 와 반사파  $V^r$  사이에 적절한 산란행렬  $S$ 에 의해 다음 식을 만족하게 된다.

$$V^r = [S] V^i \quad (1)$$

여기서 산란행렬  $S$ 는 18x18로 주어지며, 구체적인 유도과정은 문헌[6]에 예시되어 있다.

위에서 언급된 산란 알고리즘을 이용하여 공간을 전파하는 펄스를 반복적으로 추적함으로써 파동현상을 모의 추적할 수 있다. 그러나 TLM 공간에서는 거리  $\Delta l$ 을 전파하는 동안 시간 스텝  $\Delta t$ 의 2배의 시간이 소요되는 분산 특성을 가진다. 따라서 계산공간을 이산화하기 위한 요소 길이  $\Delta l$ 과 시간 스텝  $\Delta t$ 사이에는 자유공간에서의 전파속도  $u_0$ 에 대해서 다음과 같은 안정 조건을 만족하여야 한다.

$$\Delta l \leq \frac{\Delta t}{2u_0} \quad (2)$$

이것은 TLM 공간에서는 실제 공간에서의 전파속도  $u_0$ 보다 2배 느리게 전파되는 것을 의미한다.

## III. 수치계산 모델과 조건

수치계산 모델은 그림 2에서 나타낸 것처럼,  $x$ - $y$  평면상에 FZPL을 배치하였다. 이때, 관심 주파수  $f$  및 설계 초점거리  $F$ 에 대하여 각 존의 경계 위치는 다음 식으로 계산하였다[8,9].

$$p_j = \sqrt{j\lambda_0 F} \quad (3)$$

여기서  $j$ 는 각 존 경계에 따른 인덱스를 의미하

며  $\lambda_0$ 는 자유공간에서의 파장을 나타낸다. 그리고 FZPL의 원편에서 평면파(plane wave)가 렌즈면에 수직으로 입사( $x$ -polarized wave)하는 것으로 가정하였다.

그림 3을 참고로, 전체 계산공간을 1/4등분하여  $z$ - $x$  평면(lower side)을 기준으로 전자계는 대칭을 이루므로 경계조건으로서 PMC(Perfect Magnetic Conductor)와 같은 자기벽으로 대체할 수 있다. 또한  $z$ - $y$  평면에 대해서는 전자계가 기수 대칭을 이루므로 전기벽 또는 PEC(Perfect Electric Conductor)로 경계조건을 설정할 수 있다. 그 외 나머지 면은 자연 경계조건, 즉 흡수경계조건(Absorption Boundary Condition)으로 설정하였다. 따라서 실제 계산공간을 모두 계산할 필요가 없고, 해석영역은 1/4 크기로 줄어들어 계산 시간을 단축할 수 있다.

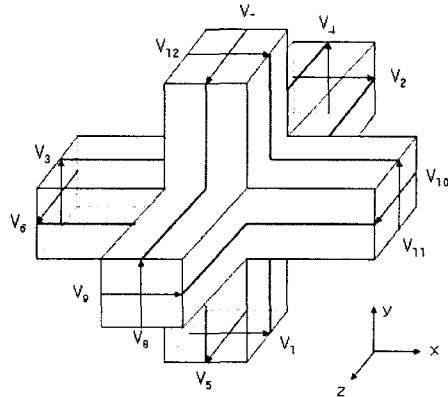


그림 1. TLM 3차원 요소

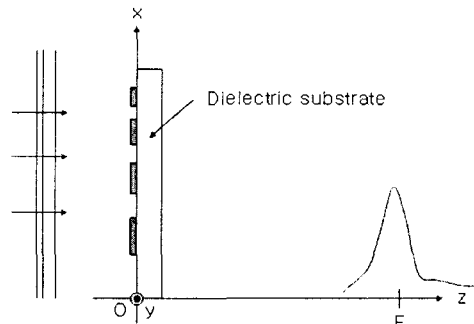


그림 2. 유전기판에 마운트된 FZP

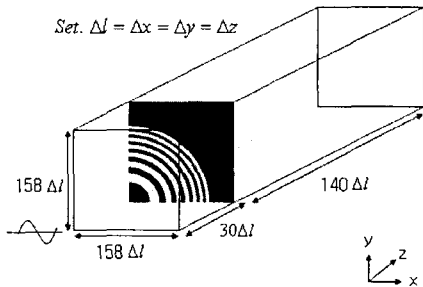


그림 3. 계산공간의 이산화(1/4 축대칭 모델)

#### IV. 수치 시뮬레이션

그림 3에 주어진 축대칭 모델에 대하여 계산을 수행하였다. DAB/DMB 수신 안테나에 응용하는 것을 고려하여 설계 주파수는 2.6GHz로 하였다. 그리고 FZPL의 투과 존(zone)의 수는 5개 ( $j=10$ ), 설계 초점거리는  $F=0.4m$ 로 하였다. 계산공간은  $158 \times 158 \times 140$ 로 이산화하였고, 이산 간격  $\Delta l$ 은 식 (2)의 안정조건을 고려하여 0.5mm로 두었다. 전자계가 정상상태에 도달할 수 있도록 하기 위하여 시간 반복 수는 1000회, 시간 스텝  $\Delta t$ 는 8.3391 (psec) 간격으로 계산을 수행하였다. 또한 FZPL이 마운트되는 유전기판에 대하여, 상대 유전율은  $\epsilon_r = 2.68$ , 두께는 10mm, 20mm의 경우에 대하여 계산을 수행하였다.

먼저 유전기판이 없는 FZPL 안테나에 대해서 계산을 수행하였다. 정상상태에 도달했을 때의 전계를 그림 4에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 전파되어 온 평면파가 존 경계면에서 회절(diffraction)과 반사(reflection)에 의해 복잡하게 변화하는 것을 알 수 있다. 렌즈면 후방에서는 회절된 입사파가 상호 간섭을 일으켜 전파 경로 및 방향이 렌즈 축으로 바뀌고 서로 중첩되어 렌즈 중심축에서 초점을 형성하는 것을 볼 수 있다.

다음으로, FZPL 안테나가 두께 10mm, 20mm의 유전체에 마운트되어 있는 경우에 대해서 동일 조건하에서 계산한 결과를 그림 5 및 6에 나타내었다. 그림 4에서와 같이 렌즈 후방에서 전자계의 상호 간섭으로 인하여 렌즈 중심축에서 초점을 형성하는 것을 알 수 있다.

마지막으로, FZPL 안테나의 수신특성을 조사하기 위하여 렌즈 중심축상에서의 이득변화를 계산하였다. 수신이득(Focusing gain)의 계산은 입사파의 진폭을  $E_0$ 로 두었을 때, 렌즈축상에서 계산된 전계의 진폭  $E(P)$ 에 대하여 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$G_f = 20 \log \left| \frac{E(P)}{E_0} \right| \quad (4)$$

계산 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 유전기판을 고려하지 않은 경우에는 계산된 초점거리는 0.29m이었다. 이것은 설계초점  $F=0.4m$ 에 대하여 초점이 약 25% 짧게 형성된 것이다. 그리고 유전기판의 두께가 10mm, 20mm인 경우는 고려하지 않은 경우에 비하여 초점거리가 약간 증가하는 것을 알 수 있다.

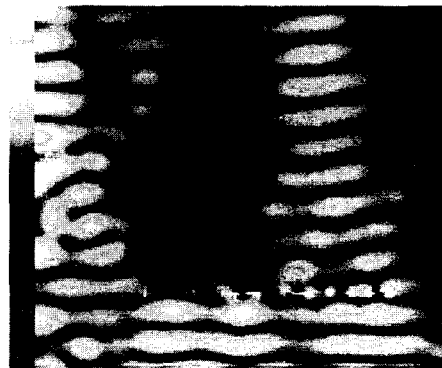


그림 4. 정상상태에 도달한 경우의 시간응답 특성(유전기판을 고려하지 않은 경우)



그림 5. 정상상태에 도달한 경우의 시간응답 특성(유전기판을 고려한 경우:  $\epsilon_r = 2.68, t = 10mm$ )



그림 6. 정상상태에 도달한 경우의 시간응답 특성(유전기관을 고려한 경우:  $\epsilon_r = 2.68, t = 20\text{mm}$ )

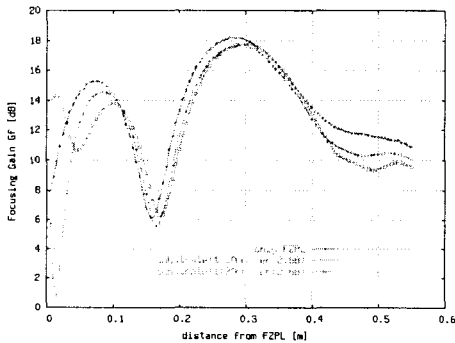


그림 7. FZP 렌즈 안테나 중심축에서의 수신 이득 특성 변화

### V. 결론

TLM법을 이용하여 관심 주파수 2.6GHz에 대하여 FZP 렌즈 안테나의 시간에 따른 산란특성과 수신이득 특성을 계산하였다. 시간 추이에 따른 전파 과정을 조사함으로써 FZPL 안테나가 렌즈형 안테나로 동작하는 것을 알 수 있었다. 또한 렌즈축상에서의 수신이득 변화를 조사함으로써 설계초점과 비교하여 계산된 초점거리는 짧게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이것은 TLM 공간에서의 전파속도가 실제보다 2배 느리게 전파하는 분산특성으로 인하여 발생된 것으로 생각된다.

계산 과정에서 렌즈에 입사하는 평면파는 렌즈면에 수직으로 입사하는 것으로 가정하였다. 그러나 실제 수신환경을 고려했을 때, 임의의 입사각에 대한 수신특성의 변화를 조사할 필요가 있을 것으로 생각된다. 또한 계산된 초점거리가 설계초점과 상이한 위치에서 형성되는 원인 파악을 위해 TLM 공간에서의 분산특성을 정량적 해석할 필요가 있다.

### 참고 문헌

- [1] P. P. Silvesta and R. L. Ferrari, Finite elements for electrical engineers, Cambridge, 1996.
- [2] T. Y. Kim and Y. Kagawa, "Focusing characteristic analysis of circular Fresnel zone plate lens", Memories of the Faculty of Eng., Okayama Univ., Vol. 35, No.1,2, pp.53-61, 2001.
- [3] T. Y. Kim and Y. Kagawa, "Focusing characteristic analysis of a Fresnel zone plate lens by the method of moment", Proc. of JSST int. conference on modeling, control and computation in simulation, Japan(Tokyo), pp. 362-365, 2000.
- [4] T. Y. Kim et al., "Analysis of a Fresnel-zone-plate-lens by the method of moments", in Proc. BEM Technology Conference(JASCOME), Vol. 8, pp. 7-10, 1998.
- [5] 김태용, "TLM법을 이용한 존 플레이트 렌즈 산란특성 해석", 2003 시뮬레이션학회 춘계 학술대회 논문집, pp.15-18, 2003.
- [6] P. B. Johns, "A symmetrical condensed node for the TLM method", IEEE Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-35, No. 4, pp. 370-377, 1987.
- [7] P. B. Johns, "Numerical results for the symmetrical condensed TLM node", IEEE Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-35, No. 4, pp. 378-382, 1987.
- [8] H. D. Hristov, Fresnel Zones in wireless links, zone plate lenses and antennas, Artech House.
- [9] F. A. Jenkins and H. E. White, Fundamentals of optics, McGRAW-HILL.