

TLM법을 이용한 프레넬 존 플레이트 렌즈 산란특성 해석

김태용*

Scattering characteristic analysis of Fresnel zone plate lens using TLM

Tae Yong Kim

Abstract

전자파 산란해석 방법으로서 유한요소법, 경계요소법 및 모멘트법 등은 임의의 구조를 한 산란체의 산란현상을 다룰 수 있다. 그러나 이러한 해석방법들은 정상 파동문제를 다루는데 편중되어 있어 시간영역에서의 비정상 파동문제를 해석하기 위해서는 여러 가지 제약이 따른다. 본 논문에서는 본질적으로 시간영역 해석방법인 TLM(Transmission Line Matrix)법을 이용하여 프레넬 렌즈의 산란특성을 해석하고 키르호프의 근사식과 PO(Physical Optics)법과 비교 검토하여 그 유효성을 검증한다.

Most numerical techniques such as FEM, BEM, and MOM are able to analyze electromagnetic scattering problems from arbitrary shapes. Although these methods could be applied to compute electromagnetic scattering problems in frequency domain, it was limited for electrodynamic problem in time domain. In this paper, electromagnetic scattering problem from Fresnel zone plate lens are considered. Some numerical results computed by TLM are compared with Kirchhoff's approximation and PO method.

Key Words: 전자파 산란, 키르호프 근사식, 프레넬 존 플레이트, TLM, PO

1. 서론

유한요소법(FEM), 경계요소법(BEM) 및 모멘트법(MOM) 등은 도체 또는 유전체와 같은 구조물로 부터의 전자파 산란문제 해석에 폭넓게 사용되어 왔다. 이러한 방법들은 정상파동문제에 적합하지만, 시간영역에서의 응답이 필요한 경우에는 많은 제약이 따른다[1-2]. TLM법은 본질적으로 시간영역 해석방법으로서 공간을 코일과 콘덴서로 구성되는 등가적인 전달 선로

망으로 변환시킨 뒤, 파동전파를 선로상에서 임펄스가 전달되는 것을 모의 추적하는 방법이다. 이것은 호이겐스의 파동전파 과정을 하나의 이산적 모델로 옮겨 놓은 것이다[3-4]. 또한 간단한 계산 알고리즘으로 시간영역 응답을 손쉽게 구할 수 있는 장점이 있고, 주파수 응답이 필요한 경우는 FFT를 이용하거나 계산 과정 중에 DFT를 이용하여 계산종료와 함께 시간응답을 구할 수 있다.

본 논문에서는, 위성 TV 수신 시스템, 전파 망원경 및 측지 시스템에 응용 가능한 12 GHz대의

* 동서대학교 인터넷공학부

FZPL(Fresnel zone plate lens) 안테나 설계를 목적으로 하였다[2]. FZPL은 호이겐스 프레넬의 원리를 응용한 것으로 기하학적으로 전파 차폐재와 투과부를 동심원상으로 나열한 간단한 구조를 하고 있으며 분해·조립이 간단한 장점을 가지고 있다. 이러한 12 GHz대의 FZPL 안테나에 대하여 TLM법을 이용하여 계산하고, 키르호프의 근사식과 PO법에 의한 계산결과와 비교 검토하였다.

2. TLM법

공학적인 응용에서는 2차원적인 문제보다 3차원 문제를 취급할 수 있는 모델이 필요하다. 따라서 임의 계산공간을 그림 1.과 같은 TLM node를 이용하여 이산화 시킬 수 있다[3]. 이러한 기본요소를 SCN(Symmetric Condensed Node)이라 부르며, 3개의 좌표평면내에서 선로를 등가적으로 표현하고 있다. 예를 들어, 그림 1.에서 나타낸 노드의 단자 1에 전압펄스가 입사하는 것을 생각하면, 펄스는 다른 단자로 전달되고, 다시 인접한 노드로 연속적으로 전파하게 된다. 이러한 펄스의 전파는 임의 선로상에 위치해 있는 각 노드간의 입사파 V^i 와 반사파 V^r 는 산란행렬 S 에 의해 다음 식과 같이 관련 지워진다[3-4].

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

이와 같이 임의 공간을 전파하는 펄스를 반복적으로 추적함으로써 파동현상을 모의적으로 나타낼 수 있다. 일반적인 파동은 분산없이 전파하지만, TLM 공간에서는 거리 Δl 을 전파하는 동안 시간 스텝의 2배의 시간이 걸리므로 공간과 시간 사이의 이산화는 다음 식을 만족하여야 한다.

$$c = \frac{\Delta l}{\Delta t} = 2u_{TLM} \quad (2)$$

따라서 TLM 공간에서의 전파속도 u_{TLM} 은 광속 c 보다 2배 느리게 전파되는 것을 의미한다.

3. 수치 계산결과

계산 모델은 그림 2.에 나타낸 것과 같이, 설계 주파수는 12 GHz, 설계 초점 $F=0.4$ m, 3개의 zone으로 구성된 FZPL 안테나를 대상으로 하였다. zone 경계 위치를 산출하는 식은

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

을 사용하였고, j 는 경계위치의 차수, λ_0 는 자유공간상에서의 파장을 의미한다[5]. 계산공간의 절약을 위해서, FZPL의 왼편에서 평면파(x -polarized wave)가 입사하는 것으로 가정하면, 경계조건으로서 $z-x$ 평면은 PMC, $z-y$ 평면은 PEC로 볼 수가 있어 실제 모델의 1/4로 축소시켜 계산을 수행할 수 있다. 이러한 축소칭 모델에 대하여, 계산공간은 127x127x220으로 이산화시키고 $\Delta l=0.0025$ m, 반복횟수 $N_{STOP}=800$ 의 조건하에서 TLM법을 이용하여 계산을 수행하였다. 또한 특정 주파수에 대한 시간 응답을 얻기 위해서 입사파를 정현파 구동으로 하였다.

먼저 렌즈로서의 특성을 확인하기 위하여 FZPL의 위치를 기준으로 하여 중심축상에서의 전계 E_x 의 전력특성을 그림 3.에 나타내었다. 그림 4.에서는 키르호프의 근사와 PO법에 의해 계산된 이득과 TLM법에 의한 이득 특성을 비교하였다. 그림에서 알 수 있듯이 TLM에 의해 계산된 초점이 $F=0.4$ m에 비하여 약간 전방에서 형성되었다. 다음으로 시간 추이에 따른 FZPL의 시간응답 특성을 그림 5.에 도식하였다. 그림 5. (d)에서 알 수 있듯이, 응답이 정상상태에 도달하여 FZPL의 중심축 위의 F 근방에 입사파의 전력이 집중되는 것을 관측할 수 있다.

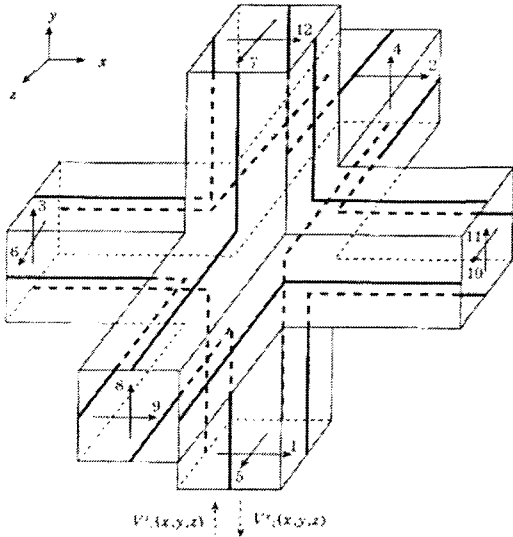


그림 1. SCN node

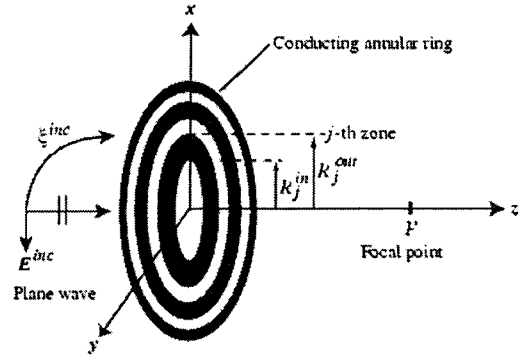


그림 2. Geometry of FZPL

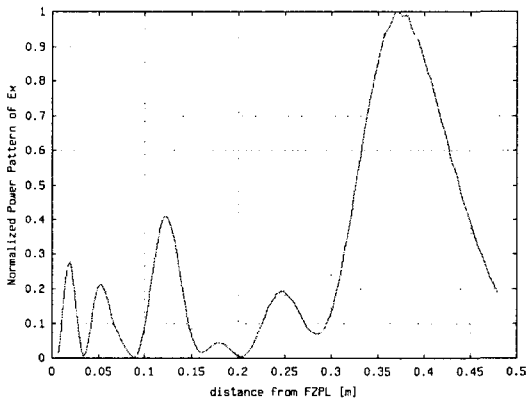


그림 3. FZPL의 전력 특성

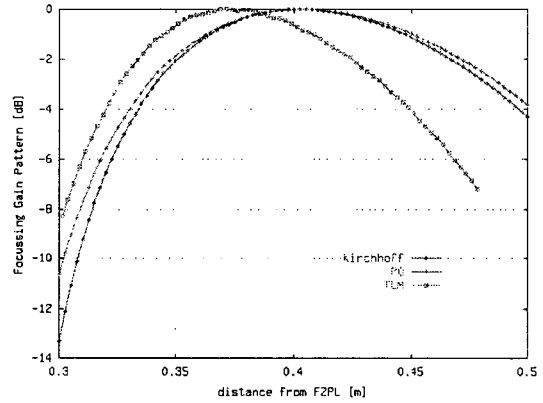
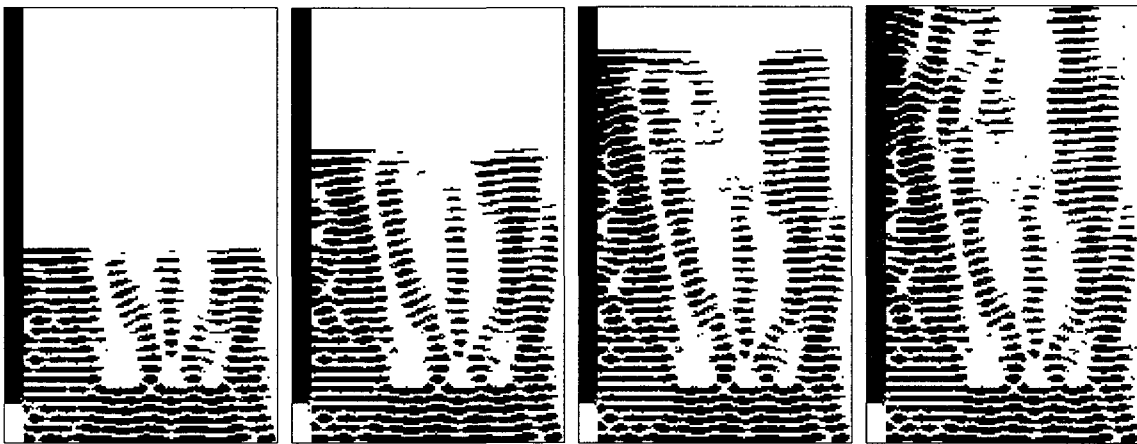


그림 4. FZPL의 전력이득



(a) $t=200\Delta t$

(b) $t=300\Delta t$

(c) $t=400\Delta t$

(d) $t=500\Delta t$

그림 5. 정현파 구동에 따른 시간응답 특성

4. 결론

TLM법을 이용하여 12 GHz대의 FZPL의 산란특성을 계산하여 FZPL의 중심축상에서의 특성과 시간응답을 계산하였다. 계산에 의해 관측된 초점 위치는 설계 초점 F 에 비하여 약간 전방에 형성되는 것을 알 수 있었다. 이것은 입사파를 단순한 평면파로 가정하였기 때문에 원편파로 가정한 결과와 약간 다르게 나타난 것으로 생각된다. 또한 FZPL의 지지부가 유전체로 구성되는 것을 감안하여 이러한 지지대가 존재하는 모델에 대하여 구체적인 계산이 필요하다.

참고문헌

- [1] P. P. Silvestra and R. L. Ferrari, Finite elements for electrical engineers, Cambridge, 1996.
- [2] T. Y. Kim et al., "Analysis of a Fresnel-zone-plate-lens by the Method of Moments", in Proc. BEM Technology Conference (JAS-COME), Vol. 8, pp.7-10, 1998.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] F. A. Jenkins and H. E. White, Fundamentals of optics, McGRAW-HILL.