

2차원 FDTD법을 이용한 Soret 타입 프레넬 렌즈 해석

김태용* · 이훈재*

*동서대학교 컴퓨터정보공학부

Analysis of Soret-type Fresnel Lens using 2D FDTD Method

Tae Yong Kim* · Hoon-jae Lee*

*Division of Information and Computer Engineering, Dongseo University

E-mail : tykimw2k@gdsu.dongseo.ac.kr

요 약

본 논문에서는 프레넬 렌즈의 산란특성을 해석하기 위해 2차원 FDTD법을 이용하여 전자계 산란 특성을 해석하였다. 중심 주파수 5GHz에서 동작하는 프레넬 렌즈는 7개의 도체 차폐부로 구성되어 있는 것으로 가정하였다. 계산결과, 설계 초점거리에 해당되는 0.7m 근방에서 이득 26dB를 가지는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

In this paper, electromagnetic scattering analysis of Fresnel Lens by using 2D FDTD method was performed. Fresnel lens which is consigned 7 diffracted conductors, and considered at 5GHz. As a result, axial gain characteristic corresponding to near design focusing distance at 0.71m is 26dB.

키워드

FDTD, Fresnel Lens, Axial Gain, DFT

I. 서 론

일반적으로 프레넬 존 플레이트 렌즈 안테나는 위성 통신을 위한 송수신 안테나로 활용 가능하며, 특히 높은 수신 이득의 특성을 부여함으로써 건물 벽면 등에 설치가 용이하다는 장점을 가지고 있다[1,2].

본 연구에서는 Soret 타입 프레넬 존 구성을 통한 렌즈 안테나 설계 및 그 특성을 해석하기 위해서 2차원 영역에서의 FDTD법을 이용하여 전자계 해석을 수행하였다. 프레넬 존은 기본적으로 Soret 타입[2]에 근거하여 전파 투과부와 차폐부로 구성을 하였으며[3,4] 임의 각도에서의 입사파에 따른 산란 전자계와 입사계를 시간영역에서의 차분법을 이용하여 정식화 하고, 프레넬 렌즈 특성을 해석하였다.

II. FDTD법을 이용한 정식화

전자계의 산란문제를 해석하기 위해서는 산란계(Scattering field)만을 계산하는 것이 편할 때가 많다. 본 연구에서는 2차원 영역에서의 임의 산란체(scatterer)에서의 전자계 산란문제를 다루기 위해 FDTD법을 이용하여 정식화를 수행하였다.

일반적으로 평면파 등의 입사계(Incident field)는 해석 영역에서 해석적으로 인가하는 것이 가능하지만, 본 연구에서는 산란계에 대한 FDTD법을 이용하였다.

보통 전자계(Total electromagnetic field)는 입사계와 산란계를 포함하여 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} E &= E^i + E^s \\ H &= H^i + H^s \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)의 경우, 진공중의 맥스웰 방정식을 만족하며 임의 매질에 대해서도 다음과 같이 만족하게 된다.

$$\frac{\partial \mathbf{E}^s}{\partial t} = -\frac{\sigma}{\epsilon} \mathbf{E}^s - \frac{\sigma}{\epsilon} \mathbf{E}^i - \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon} \frac{\partial \mathbf{E}^i}{\partial t} + \frac{1}{\epsilon} \nabla \times \mathbf{H}^s \quad (2)$$

$$\frac{\partial \mathbf{H}^s}{\partial t} = -\frac{\mu - \mu_0}{\mu} \frac{\partial \mathbf{H}^i}{\partial t} - \frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{E}^s \quad (3)$$

따라서 위 식을 대상으로 FDTD법을 이용하여 전개하면 다음과 같은 산란계에 대한 정식화가 가능하다.

$$\mathbf{E}^{s,n+1} = \frac{\epsilon}{\epsilon + \sigma \Delta t} \mathbf{E}^{s,n} - \frac{\sigma \Delta t}{\epsilon + \sigma \Delta t} \mathbf{E}^{i,n+1} - \frac{(\epsilon - \epsilon_0) \Delta t}{\epsilon + \sigma \Delta t} \frac{\partial \mathbf{E}^i}{\partial t} \Big|_{t=(n+1/2)\Delta t} + \frac{\Delta t}{\epsilon + \sigma \Delta t} \nabla \times \mathbf{H}^{s,n+1/2} \quad (4)$$

$$\mathbf{H}^{s,n+1/2} = \mathbf{H}^{s,n-1/2} - \frac{(\mu - \mu_0) \Delta t}{\mu} \frac{\partial \mathbf{H}^i}{\partial t} \Big|_{t=n\Delta t} - \frac{\Delta t}{\mu} \nabla \times \mathbf{E}^{s,n} \quad (5)$$

따라서 Yee 셀에 의한 이산화 방정식으로 바꾸게 되면 2차원 산란계 문제에 대한 계산이 용이하게 가능하게 된다.

III. 실험결과 및 고찰

실험을 위해서 7개의 프레넬 존으로 구성된 도체 차폐부를 두고 계산을 수행하였다. 계산공간은 700×100의 격자공간으로 두고 프레넬 렌즈의 위치는 100Δx에 두고 왼쪽에서 수직으로 입사파가 도래하는 것으로 가정하였다(입사파의 진폭은 1). 그리고 프레넬 렌즈의 구동 주파수는 5GHz로 하였으며, 이에 따른 프레넬 존의 Soret 공식은 다음과 같다.

$$\rho_n = \sqrt{(n\lambda/2)^2 + n\lambda F} \quad (6)$$

여기서 ρ_n은 프레넬 존을 구성하는 동심원상의 도체 반경, n은 존의 차수, λ는 파장, 그리고 F는 설계 초점거리에 해당된다. 실험에서는 설계 초점거리를 0.7m로 설정하였다. 또한 격자 간격은 0.002m의 등간격으로 계산 공간을 이산화하였다.

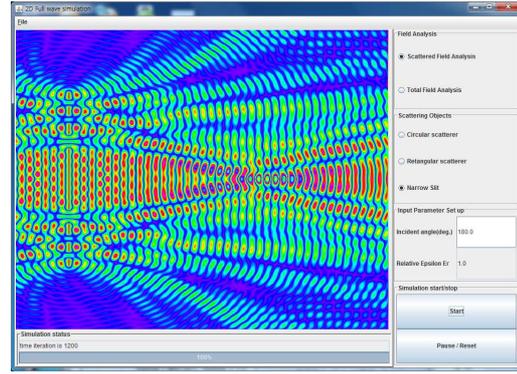


그림 1. 수직 입사에 따른 프레넬 렌즈의 전파 특성(정상상태 도달: T=1200회)

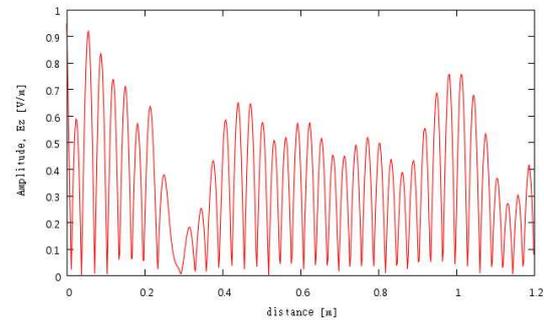


그림 2. 중심축상에서의 전계 변화(정상상태 도달시)

또한 프레넬 렌의 경우 3차원 모델에 해당되지만 중심축상에서의 전자계 산란특성만을 해석한다는 가정하에 렌즈에 도래하는 입사파는 TM(Transverse Magnetic)파로 가정하였기 때문에 계산의 편의상 3차원 모델에 대한 축약 모델로서 2차원으로 근사하여 문제를 단순화하였다.

시간영역에서의 프레넬 렌즈의 산란계 해석 결과는 그림 1과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 설계 초점거리 F의 근방에서 전자계의 에너지를 모이고 있는 것을 볼 수 있다. 이때 렌즈를 기점으로 중심축상에서의 시계열 전계 변화는 그림 2에 나타내었다. 그림 2의 경우, 렌즈의 중심축상에서 변동하는 전계는 관측이 가능하지만, 설계 초점 위치에서의 이득을 산출할 수 없으므로 계산중에 입사파와 산파와 각각에 대한 DFT를 수행하여 중심축상에서의 이득을 계산하였다. 그 결과는 그림 3에 나타내었다. 설계 초점거리에 해당되는 0.7m 위치에서 전자계의 전력이 모이는 것을 알 수 있으며 프레넬 렌즈의 동작 메커니즘을 명확히 파악할 수 있다고 본다. 그러나 계산에 의한 최대 이득을 가지는 위치는 0.71m(이득 26dB)로서, 이는 차분법의 특성에 따라 이산화를 위한 격자 간격의 불정확성(이산화 오차)에 기인한 것으로 판단된다.

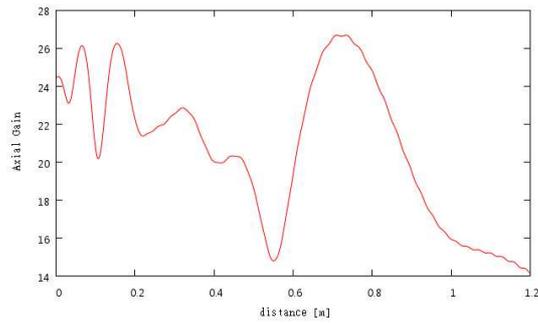


그림 3. 중심축상에서의 이득

참고문헌

- [1] Lal Chand Godara, Handbook of Antennas in Wireless Communications, CRC Press, 2002.
- [2] H. D. Hristov, Fresnel Zones in wireless links, zone plate lenses and antennas, Artech House.
- [3] 김태용, 조형국 "TLM법을 이용한 Soret 타입 프레넬 존 플레이트 렌즈 안테나 해석," 한국해양정보통신학회 논문지, 제 15권 제 6호, pp. 1221-1226, June, 2010.
- [4] T. Y. Kim, Y. Kagawa, and Ling Yun Chai, "Modelling of a circular Fresnel zone plate lens for electromagnetic wave antenna application," Int. J. Numer. Model., Vol. 18, pp. 429-439, 2005.