

환형 장애물로 인한 전자파 세기 변화

류수현 이재우 홍의석  
 광운대학교 전자통신공학과

The Intensity Variation of the Electromagnetic wave by Ring type Obstacles

Soo Hyun Ryon Jae Woo Lee Yi Seok Hong  
 Dept. of Electronic Comm., Kwang Woon Univ.

ABSTRACT

제 2 장. 본 론

In mobile radio communication system involving geostationary satellites, the field intensity of electromagnetic wave varies with frequency, shape and location of an obstacle between a transmitter and a receiver.

In this paper, a ring-type obstacle between the propagation paths is presented. On the basis of Fresnel diffraction theory, the field intensity varying with ring-type obstacle's radius is obtained by computer simulation.

제 1 장. 서 론

정지통신위성과 지상의 이동하는 차량과의 통신 system에 관한 연구가 현재 선진국에서 진행되고 있다[1]. 이러한 통신 system 의 경우 송신단과 수신단 사이에 존재하는 장애물의 형태나 위치에 따라 전자파 세기는 변화한다. 이에따른 이용 주파수로는 UHF 와 L-band 를 이용하는 방법이 있지만 UHF 대역은 이미 각종 통신 system이 점유하고 있기 때문에 1.5 GHz 의 주파수를 이용하는 방법이 연구되고 있다.

장애물의 형태가 사각형 이거나 직사각형의 조합으로 구성된 나무에 대해서는 Fresnel 적분식 [2]을 이용하여 전자파 세기를 계산 하였다[3][4].

본 논문에서는 Fresnel diffraction 이론을 적용하여 원형 aperture에 대한 전자파 세기 변화를 수치해석적으로 계산한 후 참고문헌 [5][6] 의 결과치와 비교, 검토 하였다. 또한 장애물의 형태가 환형(ring-type) 인 경우에 대해서도 전자파 세기 변화를 계산하였으며, 장애물의 반경을 변화 시킴으로서 본 논문에서 제시한 이론의 타당성을 검증하고 있다.

(1) FRESNEL 회절이론

Huygens의 이론은 wave-front의 각 점이 구면파를 발생시키는 secondary disturbance의 point source가 되고, 임의의 시간뒤에 wave-front 의 위치는 이러한 모든 구면파로 이루어진 포락면이 된다는 것이다. Fresnel은 구면파가 상호 간섭한다는 가정하에 Huygens의 이론을 보완하여 회절 현상을 설명할 수 있었다. 이와 같은 간섭의 원리와 Huygens의 이론을 합하여 Huygens-Fresnel 원리라고 하는데 Kirchhoff는 이 이론을 보다 완전한 수학적 표현식으로 나타 내었다. Kirchhoff는 Huygens-Fresnel 원리가 임의의 폐곡면 상의 모든 점에서 1계 도함수와 그 해의 값으로 field내 임의의 점에서의 homogeneous 파동 방정식의 해를 나타내는 임의의 적분 정리의 근사적인 형으로 간주할 수 있음을 보여 주었다. Kirchhoff의 적분 정리는 Huygens-Fresnel 원리를 보다 구체화 하였다 [7-9].

불투명 스크린 내의 개구면을 통해 점원 Po로부터 monochromatic wave 가 진행할 때 disturbance가 결정되는 점을 P라 하자. 이 때 개구면의 선형적인 크기는 파장에 비해서는 크고, 스크린에서 Po,P점 까지의 거리 보다는 작다고 가정한다. 그림 1의 점 P에서의 disturbance를 구하기 위해서는 개구면 C, 스크린의 음영부분 I와 점 P가 중심이 되고 반경이 R인 구표면 C'로 이루어진 폐곡면에 대해서 Kirchhoff의 적분을 취하여야 한다.

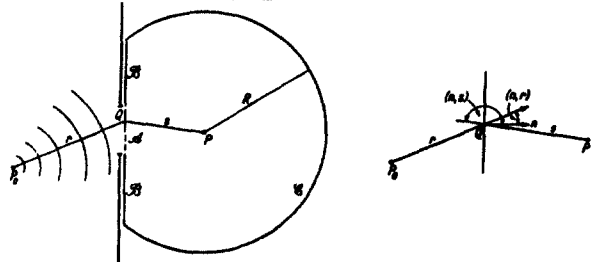


그림1. Fresnel-Kirchhoff 회절공식을 유도하기 위한 그림

따라서 Kirchhoff의 적분으로부터 다음과 같은 식을 얻는다.

$$H(P) = \frac{1}{4\pi} \left[ \iint_{\Sigma} \left[ \frac{\partial}{\partial n} \left( \frac{\exp(ikr)}{r} \right) - \frac{\partial}{\partial n} \left( \frac{\exp(iks)}{s} \right) \right] \frac{\partial H}{\partial n} \right] dS \quad (1)$$

여기서  $s$ 는  $P$ 에서 미소 면적소  $dS$ 까지의 거리이고,  $\frac{\partial}{\partial n}$ 은 적분 표면에 내향하는 법선을 따라서인 도함수를 나타낸 것이다. 식(1)에 대입되는  $\frac{\partial}{\partial n}$  값이  $\frac{1}{r}$ 에 의존하여 정확히 알 수 없는 이유들이 있다. 그러나 광구면의 가장자리 부분을 제외한 광상의 모든 점에서  $\frac{\partial}{\partial n}$ 은 스코린의 있을 때 일정한 값들의 분포를 가지지 않을 것이며,  $\frac{\partial}{\partial n}$  상에서는 거의  $\frac{1}{r}$ 으로 생각할 수 있다. 따라서 Eq.(1)의 다음과 같이 놓았다.

$$\text{영역 } \Sigma: \frac{\partial}{\partial n} = \frac{\partial}{\partial n} \quad (2)$$

$$\text{영역 } \Sigma: \frac{\partial}{\partial n} = 0 \quad (3)$$

$$\text{여기서, } \frac{\partial}{\partial n} = \frac{\partial}{\partial r} \exp(ikr) \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial n} = \frac{\partial}{\partial s} \exp(iks) \cdot \frac{\partial s}{\partial n} = \frac{\partial}{\partial s} \exp(iks) \cdot \cos \theta \quad (5)$$

이고,  $\theta$ 는 상수이다.

식(2)를 Kirchhoff의 경계조건이라 하고 Kirchhoff 회절이론의 근간이 되는 식이다.  $R$ 을 충분히 크게 하면 영역  $\Sigma$ 에서의  $\frac{\partial}{\partial n}$ 을 작게 만들 수 있으므로  $\Sigma$ 로부터의 기여도를 무시할 수 있을 것이다. 따라서 식(1)로부터 다음과 같은 Fresnel-Kirchhoff 회절 공식을 얻는다.

$$H(P) = \frac{iH}{2\lambda} \iint_{\Sigma} \frac{\exp[ik(r+s)]}{rs} [\cos \theta_1 + \cos \theta_2] dS \quad (6)$$

식(6)에서 미소 면적소  $dS$ 가 적분 영역을 나타냄에 따라  $rs$ 는 일반적으로 파장에 따라 변화될 것이며, 따라서  $\exp[ik(r+s)]$ 는 급격히 진동할 것이다. 반면에 스코린에서 점  $P_0$ 와  $P$ 까지의 거리  $s$ 와 aperture의 선형적 크기에 대하여 크다면  $[\cos \theta_1 + \cos \theta_2]$ 는 aperture에 대해서 큰 변화가 없을 것이다. 즉,  $\theta$ 를 aperture에 입각의 점이라 하면 선  $P_0O$ 와  $OP$ 가  $\Sigma$ 와 만드는 각이 크다지 크지는 않을 것이므로  $1 + \cos \theta$ 로 대체시킬 수 있다. 이때  $\theta$ 는 직선  $OP$ 와 스코린의 법선 상분이 이루는 각이다. 따라서 식(6)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H(P) \sim \frac{H_0 \cdot \cos \theta}{\lambda} \iint_{\Sigma} \frac{\exp[ik(r+s)]}{rs} dS \quad (7)$$

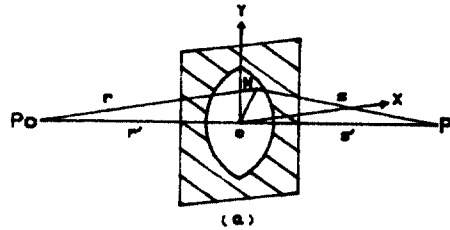
### 2. 원형 광해물 설정

#### 2.1 원형 aperture

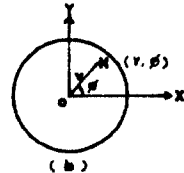
물론도 광에 원형 aperture가 위치하고 있는 경우에 대한 점  $P$ 에서의 전자기 해를 변위할 수이기 위해서 그림 2와 같은 모델을 제시하였다. 송·수신단을 각각  $P_0$ 와  $P$ 라 하고 원점  $O$ 에  $H_0$  상수에 위치하고 있으며, aperture-면은 선  $P_0P$ 와 수직인 면에 놓이게 된다. 원점  $O$ 에서

송·수신단까지의 거리를 각각  $r, s'$ 이라 하자.

광해물의 형태가 원형 이므로 축 상에서의 전자파 강도 분포를 계산하기 위해서 원통 좌표계를 도입하는 것이 보다 편리할 것이다. 따라서 aperture내 임의의 점  $M$ 은 원점  $O$ 에서  $M$ 까지의 거리  $v$ 와  $X$ -축이 선  $OM$ 과 이루는 각  $\phi$ 의 함수인  $M(v, \phi)$ 로 나타낼 수 있고 미소 면적소  $dS = v dv d\phi$ 가 된다.



(a)



(b)

그림 2. (a) 원형 aperture의 설정 (b) 좌표계

상  $MOP_0$ 와  $MOP$ 가 각각  $i$ 므로

$$r^2 = v^2 + s^2 \quad \text{이고} \quad s'^2 = s'^2 + v^2 \quad \text{이다.}$$

따라서  $r, s$ 를 복소수 전개하여 나타내면 다음과 같다.

$$r \sim r' = \frac{v^2}{2r'} - \frac{v^4}{8r'^3} + \frac{v^6}{16r'^5} - \dots \quad (6)$$

$$s \sim s' = \frac{v^2}{2s'} - \frac{v^4}{8s'^3} + \frac{v^6}{16s'^5} - \dots$$

식 (6)에서 광해물에서 송·수신단까지의 거리  $r, s'$ 이 aperture의 반경  $R$ 보다 큰 영역에 대해서는 3번째 이후의 항을 무시할 수 있으므로  $r$ 과  $s$ 를 식(5)에 대입하면,  $H(P)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H(P) = H_0 (F + iS) \quad (7)$$

여기서,

$$F = \frac{H_0 \cdot \cos \theta}{\lambda} \cdot \frac{4r'^2 s'^2 \cdot \exp[ik(r'+s')]}{r' s'} \quad (8)$$

$$C = \iint_{\Sigma} \frac{\cos[\pi \lambda \cdot (1/r' + 1/s') v^2]}{v^2 + 2r'^2 + (v^2 + 2s'^2)} v dv d\phi \quad (9)$$

$$S = \iint_{\Sigma} \frac{\sin[\pi \lambda \cdot (1/r' + 1/s') v^2]}{v^2 + 2r'^2 + (v^2 + 2s'^2)} v dv d\phi$$

aperture의 반경이 a인 경우 식 (9)은

$$C = 2\pi \int_0^a \frac{\cos[\pi \lambda \cdot (1-r^2)^{-1/2} s^2 / \lambda^2]}{(v^2 - 2r^2)^2 + (v^2 - 2s^2)^2} v dv \quad (10)$$

$$S = 2\pi \int_0^a \frac{\sin[\pi \lambda \cdot (1-r^2)^{-1/2} s^2 / \lambda^2]}{(v^2 - 2r^2)^2 + (v^2 - 2s^2)^2} v dv$$

와 같이 된다.

식 (10)을 계산 하기 위해서 v에 대한 적분식을 다음으로 놓는다.

$$C(a) = \int_0^a \frac{\cos[\pi \lambda \cdot (1-r^2)^{-1/2} s^2 / \lambda^2]}{(v^2 - 2r^2)^2 + (v^2 - 2s^2)^2} v dv \quad (11)$$

$$S(a) = \int_0^a \frac{\sin[\pi \lambda \cdot (1-r^2)^{-1/2} s^2 / \lambda^2]}{(v^2 - 2r^2)^2 + (v^2 - 2s^2)^2} v dv$$

식(11)을 부분 적분법으로 계산한 후 식(7)에 대입하면 점 P에서의 전자과

세기 I(P)를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I(P) = |E(P)|^2 \quad (12)$$

$$I(P) = |E|^2 [1 + 3\beta^2 + 4\pi^2 \{ |I_1|^2 + |I_2|^2 + |I_3|^2 \}] \quad (13)$$

## 2) 환형(Ring type) 장애물

지금까지는 원형 aperture에 대해서 전자과 세기를 구하였으나, 본 절에서는 환형 장애물의 중심로 장애 위치하고 있을 경우의 전자과 세기를 구하기 위하여 그림 3과 같은 새로운 모델을 설정 하였다.

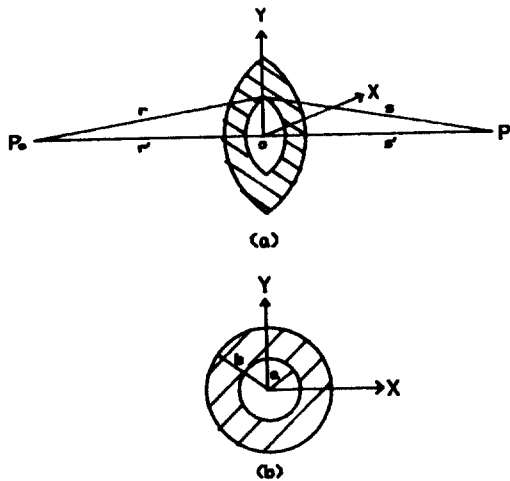


그림 3. (a) 환형 장애물의 설정 (b) 좌표계

그림 3에서 내부원의 반경을 a, 외부원의 반경을 b라 할 때 점 P에서의 전자과 세기를 구하기 위해서는 식 (10), (12)를 이용한다. 환형 장애물의 경우에 대해 식(10)에서 취해야 할 적분 구간은 0에서 a 까지와 b에서 a까지가 된다.

따라서,

$$C = 2\pi \left[ \int_0^a \frac{\cos[\pi \lambda \cdot (1-r^2)^{-1/2} s^2 / \lambda^2]}{(v^2 - 2r^2)^2 + (v^2 - 2s^2)^2} v dv \right] - \left[ \int_0^b \frac{\cos[\pi \lambda \cdot (1-r^2)^{-1/2} s^2 / \lambda^2]}{(v^2 - 2r^2)^2 + (v^2 - 2s^2)^2} v dv \right] \quad (14)$$

$$S = 2\pi \left[ \int_0^a \frac{\sin[\pi \lambda \cdot (1-r^2)^{-1/2} s^2 / \lambda^2]}{(v^2 - 2r^2)^2 + (v^2 - 2s^2)^2} v dv \right] - \left[ \int_0^b \frac{\sin[\pi \lambda \cdot (1-r^2)^{-1/2} s^2 / \lambda^2]}{(v^2 - 2r^2)^2 + (v^2 - 2s^2)^2} v dv \right] \quad (15)$$

$$S = 2\pi \left[ \int_0^a \frac{\sin[\pi \lambda \cdot (1-r^2)^{-1/2} s^2 / \lambda^2]}{(v^2 - 2r^2)^2 + (v^2 - 2s^2)^2} v dv \right] - \left[ \int_0^b \frac{\sin[\pi \lambda \cdot (1-r^2)^{-1/2} s^2 / \lambda^2]}{(v^2 - 2r^2)^2 + (v^2 - 2s^2)^2} v dv \right]$$

그러므로

$$I = 2\pi \{ C(a) - C(b) \} \quad (16)$$

$$S = 2\pi \{ S(a) - S(b) \}$$

식(12)를 적용하면 점 P에서의 전자과 세기 I(P)를 구할 수 있을 것이다.

$$I(P) = |E(P)|^2 = |E|^2 [1 + 3\beta^2 + 4\pi^2 \{ |I_1|^2 + |I_2|^2 + |I_3|^2 \}] \quad (17)$$

여기서 I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>는 앞서 설명한 바와 장애물이 없을 때에 측정하고 결정할 수가 된다.

## 4) 결과 및 결론

본 논문에서는 그림 2, 그림 3과 같은 원형 장애물, 환형 장애물 모델로 실현한 후 Fresnel 회절 이론을 적용하여 전자과 세기 변화를 계산하였다. 계산한 Intensity 값을 장애물이 없을 때 측정하고, 얻어진 세기 I<sub>0</sub>로 정규화시켰다.

그림 4, 그림 5는 1750MHz, s = 50일 때 주파수 수직방향 870 MHz, 1750 MHz인 경우 그림 2와 같은 원형 장애물이 반경 a를 변화시켜 가며 전자과 세기 변화를 계산하여 얻어본 것인데, 그림 4의 결과와 비교 하였다. 참고로 원형 장애물의 장애 위치를 달리 볼 때, 환형 장애물의 반경 a를 증가시킬 때 I<sub>0</sub> 값이 달라질 것을 예상 하지만 실제로는 동일하고, 이와는 달리 본 연구에서 제시한 방법으로는 반경 a가 증가에 따라 I<sub>0</sub> 값이 변동 하면서 감소하고 있다.

그림 6 과 그림 7은 그림 3과 같은 환형 장애물을 설정하고, 각각 870 MHz, 1750 MHz의 주파수를 설정하여 수신단에서 장애물까지의 거리 r을 거리 s = 10, 50에 대해 외부 원의 반경 b를 고정 시킨후 내부원의 반경 a를 변화시켜 가며 전자과 세기를 계산한 것이다. 내부원의 반경 a가 외부원의 반경 b와 같아질 때, 즉, 중심로 장애 장애물이 없는 상태에서는 I<sub>0</sub> 값이 1이 됨을 알 수 있다.

이상에서와 같이 Intensity 값을 구해본 결과 원형 aperture의 반경을 증가시킬 때 I<sub>0</sub> 값은 점차적으로 변동 하면서 감소하고 있으며, 환형 장애물에서 내부 원의 반경 a를 증가시키면 외부 원의 반경 b와 같게 되면 I<sub>0</sub> 값은 1이 됨을 알 수 있다. 결국 장애물의 크기를 변화시켜 가며 전자과 세기 변화를 살펴 볼 때 본 연구에서 제시한 방법의 타당성을 입증할 수 있다.

## 제 5 장. 결 론

본 연구는 Fresnel 회절 이론을 이용하여 원형 장애물이 통신로 상에 위치하고 있는 경우에 대해 수치 해석적인 방법을 이용하여 전자파 세기를 계산하였다.

본 연구에서 제안한 방법으로 원형 aperture의 회절로 인한 field intensity 해석에 보다 정확한 계산을 수행하였으며, 원형 장애물에 대한 해석도 가능하였다.

따라서 본 논문의 자료는 통신위성을 이용한 이동통신 분야에서 통신로 상의 보다 복잡한 장애물에 대한 해석에 기본이 되는 자료로 충분히 이용될 수 있을 것이다.

본 논문에서는 원형 장애물의 원점이 통신로 선상에 위치하고 있는 경우에 대해서만 전자파 세기를 계산 하였으므로, 장애물이 통신로 선상을 벗어난 보다 일반적인 경우에 대한 해석이 요구된다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. Golbirsh and W.J. Vogel, " Roadside Tree Attenuation Measurement at UHF for Land Mobile Satellite Systems, " IEEE Trans. Ant. Prop., Vol. P. 35, no. 5, pp. 589-596, May 1987.
- [2] M. Abramowitz and I.A. Stegun, Handbook of Mathematical Functions, Dover, New York, chap. 7, 1985.
- [3] W.J. Vogel and J.S. Hong, "Measurement and Modeling of Land Mobile Satellite Propagation at UHF and L-Band," IEEE Trans. Ant. Prop., vol. 36, no. 5, pp. 707-719, May 1988.
- [4] 김시천, 홍의식, " 통신로 상의 장애물에 의한 전자파 강도 변화에 관한 연구, " 춘계 학술 발표대회 논문집, 한국통신학회, vol. 7, no. 1, pp. 206-209, June 1988.
- [5] Francis, T.S. Yu, Introduction to Diffraction, Information Processing, and Holography, The MIT Press, chap. 4, 1973.
- [6] A. Ghatak, Optics, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, chap. 16, 1977.
- [7] M. Born and E. Wolf, Principles of Optics, Pergamon Press, chap. 8, 1983.
- [8] F. Jenkins and H.E. White, Fundamentals of Optics, McGraw Hill, chap. 18, 1976.
- [9] E. Hecht and A. Zajac, Optics, Addison-Wesley Publishing Comp., chap. 11, 1979.

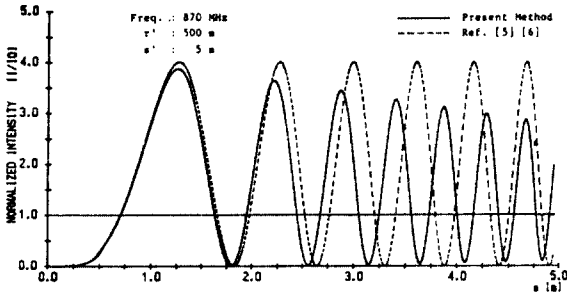


그림 4. 원형 aperture의 반경 변화에 따른 전자파 세기 변화.

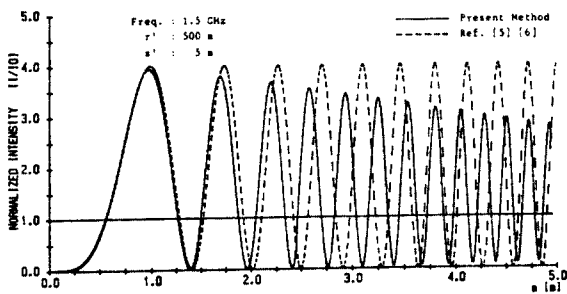


그림 5. 원형 aperture의 반경 변화에 따른 전자파 세기 변화.

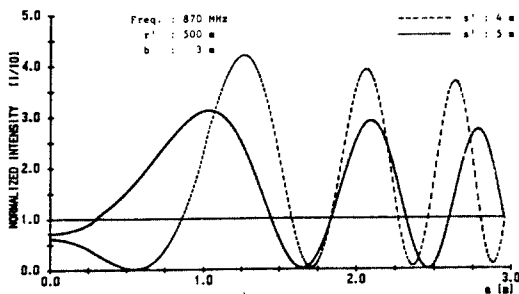


그림 6. 원형 장애물의 반경 변화에 따른 전자파 세기 변화.

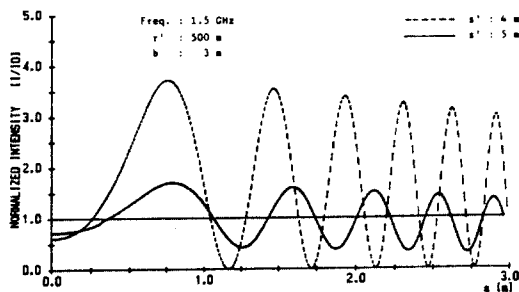


그림 7. 원형 장애물의 반경 변화에 따른 전자파 세기 변화.