

# 정형 모서리 구조를 갖는 오펜 파라볼릭 안테나의 산란 특성 해석

## The Analysis of Scattering Characteristics of a Prime-focus Offset Parabolic Antenna with a Shaped Edge Structure

박대성\* · 김형규\* · 최재훈\*\*

Dae-Sung Park\* · Hyung-Kyu Kim\* · Jae-Hoon Choi\*\*

### 요 약

기하학적 균일 회절 이론(Uniform Geometrical Theory of Diffraction)을 이용하여 오펜 파라볼릭 안테나의 산란 특성을 분석하였다. 먼저 파추적법(Ray Tracing)에 의하여 음영경계를 나눈 후, 각 영역에 존재하는 반사파와 회절파를 기하학적 균일 회절 이론을 이용해 구하였다. 또한, 오펜 파라볼릭 안테나의 모서리(edge)의 형태가 전자파의 산란 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 knife 모서리인 경우와 원형 캡을 부착한 경우를 분석하여 비교하였다.

### Abstract

The scattering characteristics of a prime-focus offset-parabolic antenna are analyzed using UTD. First, ray tracing method is used to locate the shadow boundaries, and then UTD is utilized to evaluate the far-zone scattered magnetic field pattern. The field components included in the UTD analysis are the reflected, edge diffracted and creeping waves. The effects of circular caps attached to both edges of a prime-focus offset-parabolic antenna are investigated by comparing the scattered magnetic field patterns with those of a knife edge parabolic reflector.

### I. 서 론

오펜 파라볼릭 안테나<sup>[1]-[4]</sup>는 피드의 위치를 반사기의 중심축으로부터 이격시켜 부반사기나 피드에 의해 발생하는 blockage를 감소시키거나 없애는데 매우 효과적이다. 이러한 오펜 구조는 위성 지구국이나 위성안테나로서 이상적인 형태로 널리 쓰이고 있다.

파라볼라 안테나는 대칭구조로 인해 해석이 비교적 쉽고, 그에 따른 복사 패턴 특성에 대한 연구<sup>[5],[6]</sup>는 많은 편이나, 오펜 구조는 비대칭성으로 인해 해석이 비교적 어렵고 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 오펜 파라볼릭 안테나가 전자류원에 의해 조사되었을 때의 자계 산란 패턴을 UTD(Uniform Geometrical Theory of Diffraction)를 사용하여 구하였다. 또한 오펜 파라볼릭 안테나의 모서리 형태에 따른 후엽 특성 변화를 알아보

\*한양대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science & Engineering, Hanyang University)

\*\*한양대학교 전자전기공학부(Div. of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University)

· 논문 번호 : 981224-134

· 수정완료일자 : 1999년 2월 19일

기 위하여 knife 모서리 구조와 원형 캡 구조의 두 가지 안테나의 복사특성을 비교하였다. 이를 위해 II장에서는 UTD 기본 이론에 대하여 살펴보고, 음셀 파라볼릭 안테나의 구조에 대하여 분석한 후 파추적법에 의해 음영경계를 나누었다. III장에서는 이를 토대로 각 영역에 존재하는 반사파와 회절파 및 표면 회절파를 고려하여 전체 자계 패턴을 구하였으며 결과에 대해 고찰해 보았다. 마지막으로 IV장에서는 결론 및 향후의 연구 방향을 제시하였다.

## II. 음셀 파라볼릭 안테나의 UTD 해석

### 2-1 음셀 파라볼릭 안테나의 기하학적 구조 및 음영경계

그림 1은 직경  $d=10\lambda$ ,  $f/d=0.96$ 인 음셀 파라볼릭 안테나의 기하학적 구조와 크기를 나타내었다. 피드는 선형 자유원이고  $\cos^2(\phi)$ 의 패턴을 가지며, 음셀 안테나에 맞도록 기울어지게 (tilting) 된다.

관측점  $(z_o, y_o)$ 에서의 반사파  $H^r$ 은

$$H_z^r(z_o, y_o) = R_h H_z^i(Q_r) e^{-jks^r} \quad (1)$$

여기서 반사계수  $R_h=1$ , 반사점에 입사하는 자계는

$$H_z^i(Q_r) = H_0 e^{-jks^i} / \sqrt{s^i} \quad (2)$$

이고,  $s^i$ 는 소스에서 반사점까지의 거리,  $s^r$ 은 반사점과 관측점간의 거리이다.  $s^i$ 는

$$s^i = f \sec^2(\phi_r/2) \quad (3)$$

로 표현된다. 식 (3)에서  $f$ 는 초점거리이고,  $\phi_r$ 은 반사점  $(z_r, y_r)$ 까지의 각도를 나타내며, 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\phi_r = 2 \tan^{-1}(y_r/2f) \quad (4)$$

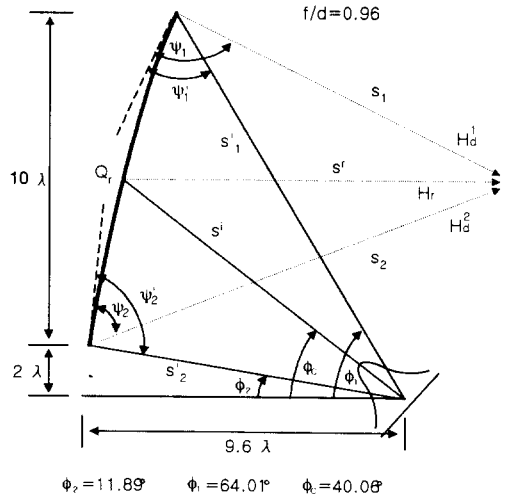


그림 1. 음셀 파라볼릭 안테나의 구조

Fig. 1. Geometrical structure of an offset-parabolic antenna.

선자유원에서 발생한 입사자계가 이차원 모서리 구조에 의해 회절되면 회절파의 표현식은 다음과 같다<sup>[7]</sup>.

$$H^d(\theta) = H^i(Q_e) D_h \frac{e^{-jks_d}}{\sqrt{s_d}} \quad (5)$$

$H^i(Q)$ 는  $Q_e$ 점에 입사하는 입사파의 세기이고,  $s^d$ 는 회절점에서 관측점까지의 거리이다. 한편 이차원 UTD 엣지(edge) 회절계수  $D_h$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$D_h(L^i, L^o, L^m, \phi, \phi', \beta_0, n) = D_1 + D_2 + R_h(D_3 + D_4) \quad (6)$$

식 (6)에서  $R_h = +1$ 이며, 각각의 회절계수 성분은 다음 식으로 주어진다.

$$D_1 = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k}} \cot \left[ \frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n} \right] \cdot F[kL^i a^+(\phi - \phi')] \quad (7-a)$$

$$D_2 = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k}} \cot\left[\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n}\right] \cdot F[kL^i a^-(\phi - \phi')] \quad (7-b)$$

$$D_3 = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k}} \cot\left[\frac{\pi + (\phi + \phi')}{2n}\right] \cdot F[kL^m a^+(\phi + \phi')] \quad (7-c)$$

$$D_4 = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k}} \cot\left[\frac{\pi - (\phi + \phi')}{2n}\right] \cdot F[kL^m a^-(\phi + \phi')] \quad (7-d)$$

식 (7-a)~(7-d)에서  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  이고,  $\phi$ 는 회절 각,  $\phi'$ 은 입사각,  $n$ 은 WA(wedge angle) =  $(2-n)\pi$ 에 의해서 그림 2와 같이 정의된다.

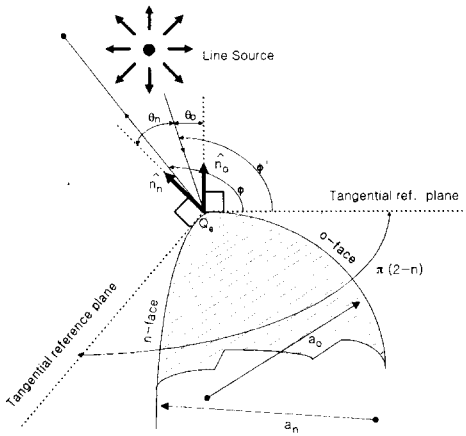


그림 2. 웨지각의 정의  
Fig. 2. The definition of a wedge angle.

거리 파라미터들은 다음과 같이 정의된다.

$$L^i = \frac{s' s}{s + s'} \quad (8)$$

$$L^m = \frac{\rho^m s}{\rho^m + s} \quad (9)$$

$$L^m = \frac{\rho^m s}{\rho^m + s} \quad (10)$$

$s'$ 은 선형 소스에서 회절점까지의 거리이고, 초점 거리  $\rho^m$ 와  $\rho^m$ 은 곡률반경  $a_{o,n}$ 를 이용해 다음과 같이 구한다.

$$\frac{1}{\rho^{o,m}} = \frac{1}{s'} + \frac{2}{a_{o,n} \cos \theta_{o,n}} \quad (11)$$

이 때,  $\hat{n}_{o,n}$ 을  $o$ -face와  $n$ -face에 수직인 벡터라 하면,

$$\hat{n}_o \cdot \hat{s}' = -\cos \theta_o \quad (12)$$

$$\hat{n}_n \cdot \hat{s}' = -\cos \theta_n \quad (13)$$

이다.

한편, 천이함수(transition function)  $F(x)$ 와  $a^+(\beta)$ 는 다음과 같다.

$$F(x) = 2j\sqrt{x} e^{jx} \int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-ju^2} du \quad (14)$$

함수  $a^\pm$ 는 다음과 같다.

$$a^\pm(\beta^\pm) = 2 \cos^2\left(\frac{2n\pi N^\pm - \beta^\pm}{2}\right) \quad (15)$$

식 (15)에서

$$\beta^\pm = \phi \pm \phi' \quad (16)$$

이고, 식 (15)의  $N^\pm$ 은 다음식을 만족시키는 가장 가까운 정수이다.

$$2\pi n N^+ - (\phi \pm \phi') = \pi \quad (17)$$

$$2\pi n N^- - (\phi \pm \phi') = -\pi \quad (18)$$

위에서 구한 자계 성분들을 이용하여 그림 1에 보여진 구조를 각 영역별로 나누고, 이를 그림 3에 나타내었으며, 전체 자계 성분을 표 1에 나타내었다. 표 1에서  $H_{1,2}^d$ 는 각각 윗 모서리와 아래 모서

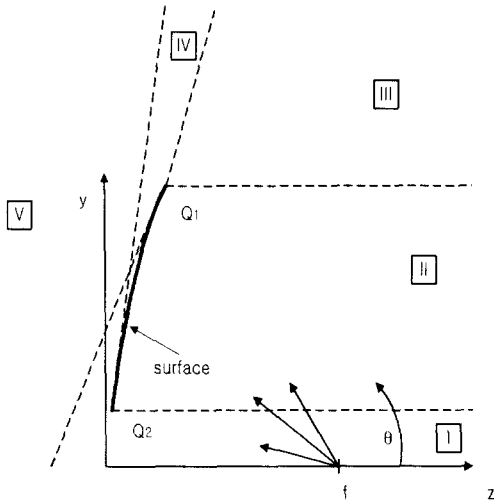


그림 3. 오프셋 파라볼릭 안테나의 음영경계  
Fig. 3. The shadow boundary of offset-parabolic antenna.

표 1. 각 영역에서의 자계 성분  
Table 1. Magnetic field components of shadow boundary.

영역	전체 자계 성분
I	$H_1^d + H_2^d$
II	$H^r + H_1^d + H_2^d$
III	$H_1^d + H_2^d$
IV	$H_1^d$
V	$H_1^d + H_2^d$

리에서 발생하는 회절파이고,  $H^r$ 은 파라볼라 면에 의한 반사파를 나타낸다.

### 2-2 원형 캡을 단 경우의 기하학적 구조 및 음영경계

오프셋 파라볼릭 안테나의 양 끝 모서리에 원형 캡을 단 구조를 그림 4에 나타내었다.

관측점에서 표면회절파는 다음 식과 같이 주어진다.<sup>[8]</sup>

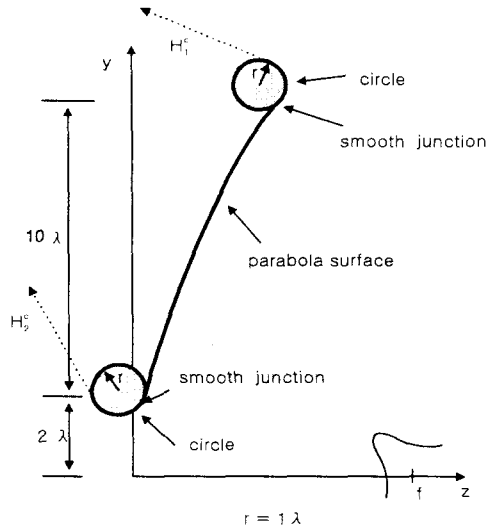


그림 4. 원형 캡을 단 경우의 구조  
Fig. 4. Geometrical structure attached a circular cap.

$$H^c(\theta) = H^i(Q') T_h \frac{e^{-jks^d}}{\sqrt{s^d}} \quad (19)$$

$H^i(Q')$ 는  $Q'$ 에 입사되는 입사파의 세기이고,  $s^d$ 는 표면 회절이 끝나는 점에서 관측점까지의 거리이다. 한편  $T_h$ 는 다음과 같다.

$$T_h = -\sqrt{m(Q')m(Q)} \sqrt{\frac{2}{k}} e^{-ikt} \cdot e^{-j\pi/4} \left\{ \frac{-F(X_d)}{2\xi_d \sqrt{\pi}} + q^*(\xi_d) \right\} \quad (20)$$

식 (15)에서

$$\xi_d = \int_{\tau(Q)}^{\tau(Q')} \frac{m(\tau)}{a_0(\tau)} d\tau \quad (21)$$

$a_0(\tau)$ 는 곡률반경이고,

$$m(\tau) = \left[ \frac{ka_0(\tau)}{2} \right]^{1/3} \quad (22)$$

$$t = \int_{\tau(Q)}^{\tau(Q')} d\tau \quad (23)$$

$$X_d = \frac{kL_d \xi_d^2}{2m(Q')m(Q)} \quad (24)$$

이다. 거리 파라미터  $L_d$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$L_d = \frac{s^d s'}{s^d + s'} \quad (25)$$

Fock 산란 함수  $q^*(x)$ 는 근사식과 보간법을 이용하여 구하였다<sup>[8]</sup>.

위에서 구한 자체 성분들을 이용하여 각 영역에

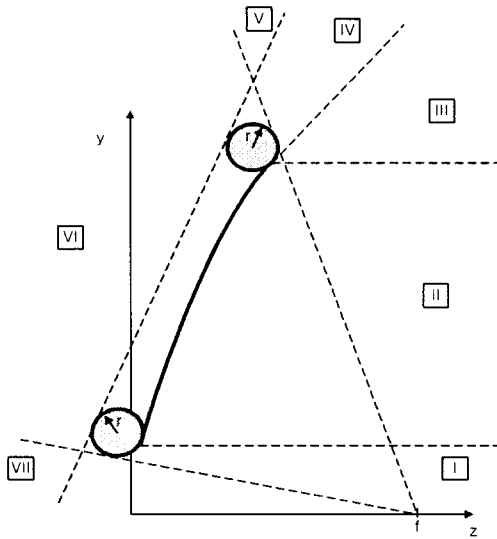


그림 5. 음영 경계

Fig. 5. Shadow boundary.

표 2. 원형 캡을 단 경우 각 영역에서의 자체 성분

Table 2. Magnetic field components of shadow boundary attached circular cap.

영역	전체 자체 성분
I	$H_1^d + H_2^d$
II	$H^r + H_1^d + H_2^d$
III	$H^{rc1} + H_1^d$
IV	$H^{rc1} + H_1^c$
V	$H^{rc1} + H_1^c + H_2^c$
VI	$H_1^c + H_2^c$
VII	$H_1^c + H^{rc2}$

존재하는 전체 자체 성분을 그림 5와 표 2에 나타내었다. 표 2에서  $H_{1,2}^d$ 는 각각 윗 모서리와 아래 모서리에서 발생하는 회절파로서, 식 (1)과 유사하게 구할 수 있다.  $H^r$ 은 파라볼라면에 의한 반사파를 나타내며,  $H^{rc1}$ 는 윗 모서리의 원형 캡에 의한 반사파,  $H^{rc2}$ 는 아래 모서리의 원형 캡에 의한 반사파,  $H_{1,2}^c$ 는 각각 윗 모서리와 아래 모서리의 원형 캡에 의한 표면회절파(creeping wave)를 나타낸다.

### III. 수치해석 결과

그림 6은 knife 모서리일 경우의 원거리 패턴을 나타낸다. 해석대상 안테나의 직경은  $D=10\lambda$ , 초점거리는  $9.6\lambda$ 이다. 또한  $\theta$ 의 방향은 그림 3과 같다. 그림 6에서 실선은 반사파를 고려한 옵션 파라볼릭 안테나의 산란 자체 패턴을 수치적으로 구한 것이고, 점선은 측정치를 나타낸다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 UTD 해석 결과와 측정치가 비교적 잘 일치함을 알 수 있으며,  $\theta$ 의 값이  $60^\circ$  이상일 때의 부엽 및 후엽 준위가 상당히 높은 것을 알 수 있다.

그림 7은 반경이  $1\lambda$ 인 원형 캡을 연결한 경우의 산란 자체 패턴을 나타낸다. 원형 캡을 단 경우

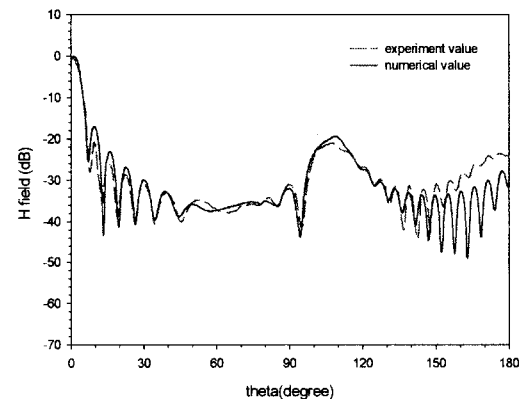


그림 6. knife 에지의 원거리 산란 자체 패턴

Fig. 6. Far zone magnetic scattered field pattern of knife edge.

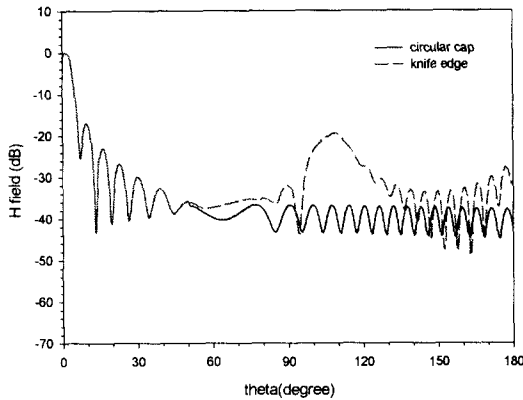


그림 7. knife 에지와 원형 캡을 단 경우의 자계 패턴  
 Fig. 7. Far zone magnetic scattered field pattern of knife edge and attached circular cap.

부엽 및 후엽 준위가 knife 모서리에 비해 상당히 감소하였음을 알 수 있다. 특히  $\theta = 110^\circ$  부근에서 약 17 dB 정도가 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이는 원형 캡에 의해 발생하는 표면회절파(creeping wave)가 knife 모서리에서 회절되는 회절파의 세기에 비해 상대적으로 약하기 때문이다.

#### IV. 결 론

읍셀 파라볼릭 안테나의 모서리 형태에 따른 전체 산란 패턴을 UTD를 이용해 해석하고 이를 비교하였다. 안테나의 모서리에 원형 캡을 연결했을 경우 표면회절파의 세기가 knife 모서리인 경우에 비해 작기 때문에 후엽준위가 감소하는 특성을 볼 수 있었다. 특히  $\theta = 110^\circ$  부근에서는 후엽준위가 약 17 dB정도 개선되었다. 일반적으로 표면회절이 발생하는 거리가 길수록 표면회절과 성분이 작아지게 되는데, 원형 캡을 단 경우에 비하여 타원형 캡을 달았을 경우 표면회절 거리가 길어지게 되므로 표면회절과 성분이 더욱 작아져 전체 패턴이 향상되리라 여겨진다.

본 논문을 통해 읍셀 파라볼릭 안테나의 모서리에 부가적인 구조물을 첨가함으로써 부엽 및 후엽

준위를 줄임으로써 안테나의 복사 특성을 개선할 수 있음을 확인하였다. 향후 타원형 캡뿐 아니라 다양한 구조의 모서리 형태와 3차원 구조에 대한 복사 특성 해석이 추가적으로 연구되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Mehmet Safak, "Complete Radiation Pattern of a Focus-Fed Offset Paraboloidal Reflector", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-33, no. 5, May 1985, pp. 66-570.
- [2] Walter D. Burnside, Melvin C. Gilreath, Brian M. Kent and Giancarlo L. Clerici, "Curved Edge Modification of Compact Range Reflector", *IEEE Trans. Antennas Propagat.* vol. Ap-35, no. 2, Feb. 1987, pp. 176-182.
- [3] Gibreel A. Suedan and Edward V. Jull, "Beam Diffraction by Planar and Parabolic Reflectors", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 39, no. 4, April 1991, pp. 521-527.
- [4] V. Galindo-Israel, W. Veruttipong, R. D. Norrod and W.A. Imbriale, "Scanning Properties of Large Dual-Shaped Offset and Symmetric Reflector Antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 40, no. 4, Apr. 1992, pp. 422-432.
- [5] Jussi Tuovinen, "Methods for Testing Reflector Antennas at THz Frequencies", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 35, no. 6, Dec. 1993, pp. 7-12.
- [6] 최재훈, 이경우, 이상설, "UTD 고차회절을 고려한 쌍곡면 반사판 안테나의 전자파 산란 특성", *대한전자공학회 논문지*, 제 33권, A 편, 제 5호, May 1996, pp. 85-93.
- [7] R. G. Kouyoumjian and P. H. Pathak, "A Uniform Geometrical Theory of Diffraction

for an Edge in a Perfectly Conducting Surface", *Proc. IEEE*, vol. 62, Nov. 1974, pp. 1448-1461.

[8] D. A. McNamara, C. W. I. Pistorius and J.

A. G. Malherbe, *Introduction to the Geometrical Theory of Diffraction*, Artech House, London, 1990.

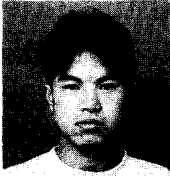
### 박 대 성

1997년: 한양대학교 전파공학과(공학사)

1999년: 한양대학교 전파공학과(공학석사)

[주 관심분야] 안테나 설계 및 분석, 이동통신, 마이크로파 소자 설계

### 김 형 규



1998년: 한양대학교 전파공학과(공학사)

1998년~현재: 한양대학교 전파공학과(석사과정)

[주 관심분야] 안테나 설계 및 분석

### 최 재 훈



1980년: 한양대학교 전자공학과(공학사)

1986년: 미국 Ohio State University 전기공학과(공학석사)

1989년: 미국 Ohio State University 전기공학과(공학박사)

1989년~1991년: 미국 Arizona State University 연구교수

1991년~1995년: 한국통신 위성사업본부 연구팀장

1995년~현재: 한양대학교 전자전기공학부 부교수

[주 관심분야] 이동통신 및 위성통신 안테나 설계 및 분석, 마이크로파 수동소자 설계, 전파전파 모델링