



## Design and Analysis of Radiation Pattern on the Dual Reflector Antenna

Dong-Kyun Lim\*

*Division of Mechanical and Automotive Engineering, HanYang Cyber University*

### ABSTRACT

In this paper, we design a dual reflector antenna that can be used for satellite communication and evaluate its performance. First, the design center frequency is determined for the design of the corrugated horn antenna, and the change of the characteristic according to the variation of the wall thickness and the slot width of the corrugate is investigated. In order to suppress the reflected wave generated by the corrugate, suitable input tapered section must be designed and a mode conversion section is designed in order that the cross polarization does not occur. In order to suppress the occurrence of the mode, the height of the corrugate is calculated in the transition section and the output flare section, the center point of the phase is calculated, and the horn characteristics are calculated at the highest and lowest frequencies. In order to analyze the antenna radiation characteristics of the offset reflective plate, we analyze the radiation characteristics of the sub reflector using the diffraction geometry theory, analyze the radiation characteristics of the main reflector using the physical optics method, Combine to interpret the radiation characteristics of the reflector antenna

© 2016 KKITS All rights reserved

**KEYWORDS :** APD, Light-emitting diode source, WDM, Photodetector, Optical filtering

**ARTICLE INFO:** Received 9 December 2016, Revised 13 December 2016, Accepted 13 December 2016.

\*Corresponding author is with the Division of Mechanical and Automotive Engineering, HanYang Cyber University, 220 Wangsimni-ro Seongdong-gu Seoul, 04763, KOREA.  
E-mail address: eiger07@hycu.ac.kr

### 1. 서론

전자파의 존재를 확인하기 위해 원통 포물형 반

사판을 처음 사용한 이래 반사판 안테나는 무선 통신에 널리 사용되어왔다. 초기에는 실험적 방법으로 반사면의 안테나를 만들었으나 이론적 해석을 바탕으로 수행되는 성능 평가는 전혀 이루어지지 못하였다. 이후 50년대 중반이후 전자 천문학의 발달과 함께 전자파 빔의 방향을 자유자재로 변환하고 여러 주파수를 사용가능한 안테나와 우주 통신을 위한 안테나도 필요하게 되었고, 이러한 요구에 의해 반사판 안테나가 널리 사용되게 되었다.[1-4]

부엽준위가 낮은 안테나로는 옹셀 포물면 안테나가 적합하며 위성 발사 후 우주공간에서 안테나가 펼쳐질 때도 구조의 비대칭성 때문에 더 유리하다. 그러나 단일 옹셀 반사판 안테나는 인접한 위성들 간에 간섭을 일으킬 뿐 아니라 안테나의 급전부로 선형편파를 이용할 경우 교차편파 성분이 발생이 된다. 원편파를 이용할 경우는 교차편파는 거의 나타나지 않으나 주엽이 중심축으로부터 약간 어긋나는 문제가 발생하므로 주파수 재사용이 어렵게 된다.

이러한 단점들을 극복하기 위해서 낮은 부엽 준위와 양호한 교차편파 특성을 갖는 안테나로 옹셀된 두개의 반사판으로 구성된 비대칭 복 반사판 안테나가 개발 되었으며, 대부분의 통신위성에서 사용되고 있다. 옹셀 복 반사판 안테나는 1차복사기, 부반사판 및 주반사판으로 구성된다. 일반적으로 주반사판은 포물면이며, 부반사판은 쌍곡면이나 타원체면으로 이루어져 있는데 부 반사판의 곡면에 따라 각각 옹셀 캐서그레인 안테나와 옹셀 그레고리언 안테나로 구분된다. 옹셀 그레고리언 안테나는 위성에도 많이 탑재되는 안테나이므로 이러한 형태의 안테나에 대한 독자적 해석 및 설계 기술을 연구하는 일은 매우 중요한 일이고, 이에 커리케이티드 혼 안테나를 1차 복사기로 이용한 옹셀 그레고리언 안테나의 복사특성을 해석하고,

설계된 혼의 복사특성을 이용하여 부 반사판의 복사특성을 해석하고 이를 이용하여 주 반사판의 복사특성을 해석한다.

## 2. 커리케이티드 혼의 복사특성해석

혼 안테나는 크게 일반적인 혼 안테나와 커리케이티드 혼 안테나로 대별된다. 일반적인 혼 안테나에는 E면 부채꼴 혼 및 H면 부채꼴 혼 안테나, 피라미드형 혼 안테나 및 원뿔형 혼 안테나가 있다. 혼 안테나는 구조가 간단한 장점을 갖고 있으나 넓은 대역에서 복사특성이 일정하지 않고 교차편파 성분이 크며 수직편파와 수평편파가 비대칭으로 되는 단점을 갖고 있기 때문에 위성통신에서는 이러한 단점을 개선한 커리케이티드 혼 안테나가 사용된다. 커리케이티드 혼 안테나에는 직각형 커리케이티드와 원뿔형 커리케이티드 혼 안테나가 있다.[4-10]

위성통신에서는 2중 편파를 사용하기 때문에 커리케이티드 혼의 급전을 원통도파관으로 하고 있다. 그러므로 원통 도파관의 기본모드인  $TE_{11}$  모드가 커리케이티드 혼을 전파해 나가면서 하이브리드 모드로 바뀌어져 광대역의 안테나 특성을 갖게 된다.

### 2.1 커리케이티드 혼 내부의 전자파 특성

커리케이티드 혼 안테나 내부의 전자파 특성은 혼 각이 클 경우( $15^\circ$  이상)는 구좌표의 하이브리드 모드 이론으로 해석이 가능하며, 작을 경우에는 원통좌표의 모드 이론을 적용하여 비교적 쉽게 특성방정식을 유도할 수 있다. 이는 혼 내부의 전자계식을 원통 도파관 이론으로 구한 뒤 혼 개구면에서 전자계식을 계산할 때 혼 각에 의한 위상을 고려하여도 큰 오차가 발생하지 않기 때문이다.[11-15]

## 2.2 혼 내부의 전자계

〈그림 1〉은 혼 폭, 깊이 및 분리간격의 치수가 각각  $b, d, c$ 인 커러게이트드 원통도파관의 구조이다. 여기서  $r_1$ 은 도파관 중심에서 커러게이트드 혼까지의 길이이고,  $r_0$ 는 커러게이트드 혼 깊이까지의 길이이다.

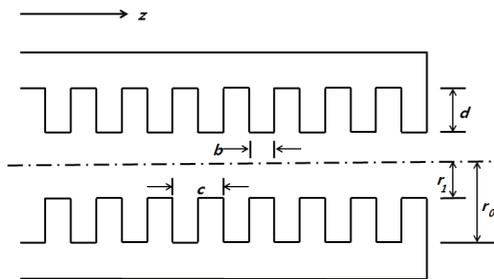


그림 1. 커러게이트드 원통 도파관의 단면 구조  
Fig. 1. Sectional structure of corrugated cylindrical waveguide

파가  $z$ 방향으로 진행한다고 가정하였을 때, 파동방정식과 맥스웰방정식 및 베셀함수를 이용하여 도파관내의 전자파는 식(1), (2)와 같이 구하여진다. 여기서  $\rho$ 는  $r_1 < \rho < r_0$ 인 중심축에서의 임의의 거리이고, 파수(wave number)가  $k$ 일 때,  $x' = k\rho$ ,  $x_0' = kr_0$ 이다.

$$E_z = \frac{a_m'}{Y_m(x_0')} \times \{J_m(x')Y_m(x_0') - Y_m(x')J_m(x_0')\} \quad (1)$$

$$H_\phi = -jy_0 \frac{a_m'}{Y_m(x_0')} \times \{J_m'(x')Y_m(x_0') - Y_m'(x')J_m(x_0')\} \quad (2)$$

여기서  $a_m'$ 은 베셀함수로 표현된 파의 진폭의

미분계수이고,  $J_m$  및  $J_m'$ 은 1종 베셀함수 및 베셀함수의 미분형이고,  $Y_m$  및  $Y_m'$ 은 2종 베셀함수 및 베셀함수의 미분형이다. 원형도파관에 평형 하이브리드 모드가 형성되기 위해서는 전파특성을 결정짓는 조건방정식을 만족하고,  $E_z$ 와  $H_z$ 의 비가 1이 되도록 커러게이트드 치수  $r_1$  및  $r_0$ 를 선택하도록 한다.

## 2.3 혼 개구면에서의 전자계와 복사전자계

커러게이트드 혼에 입사된  $TE_{11}$ 모드의 전자파가 커러게이트드에 의해 평형 하이브리드 모드로 바뀌면 혼의 개구면에는  $HE_{11}$ 모드가 존재하게 된다. 그러나 개구면에서 위상은 혼 각 때문에 원통도파관과는 달리 위상오차를 고려하여야 한다. 〈그림 2〉는 혼 개구면에서 발생하는 위상의 변화를 구하기 위한 그림이다.

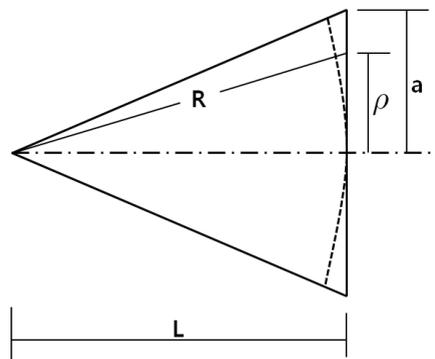


그림 2. 위상오차를 고려하기 위한 혼의 구조  
Fig. 2. Structure of Horn for Phase Error consideration

여기서  $L$ 은 혼의 길이,  $R$ 은 혼의 정점에서 개구면까지의 거리이며  $a$ 는 혼 개구면 반경이다. 반경 방향  $\rho$ 방향에 따른 위상오차는 기하광학적 방법에 의하여 식(3)과 같이 계산된다.

$$\Delta \phi = e^{-jk \frac{\rho^2}{2L}} \quad (3)$$

혼 개구면의 전계를  $\vec{E}_a$ , 자계를  $\vec{H}_a$ 라 하면 개구면의 등가 전류밀도  $\vec{J}_s$ 와 자류밀도  $\vec{M}_s$ 는 등가 원리에 의해 식(4), 식(5)와 같이 주어진다.

$$\vec{J}_s = \hat{n} \times \vec{H}_a \quad (4)$$

$$\vec{M}_s = \vec{E}_a \times \hat{n} \quad (5)$$

여기서  $\hat{n}$ 은 경계면의 외향 단위 법선벡터이다.

이 식과 전자계 벡터 포텐셜을 이용하여 혼 개구면에서의 전계가  $x$ 방향으로 편파 되었을 경우 복사전계의 주편파 성분인  $\vec{E}_{mp}$ 와 교차편파성분인  $\vec{E}_{xp}$ 는 식(6), 식(7)과 같이 구할 수 있다.

$$\vec{E}_{mp} = E_\theta \cos \phi - E_\phi \sin \phi \quad (6)$$

$$\vec{E}_{xp} = E_\theta \sin \phi + E_\phi \cos \phi \quad (7)$$

이 식을 이용하여 혼 안테나의 주편파와 복사편파의 복사특성을 시뮬레이션 한다.

### 3. 부반사판과 주반사판의 복사특성 해석

#### 3.1 부반사판의 복사특성

복반사판 안테나의 복사패턴을 해석함에 있어 부 반사판으로부터 반사된 파를 정확히 해석하는 것은 안테나 해석상 매우 중요하다. 물리광학 방법은 안테나 정면 방향에 대하여 비교적 정확한 결과를 주지만, 계산시간이 오래 걸리고 안테나의 정

면 방향에서 멀어질수록 정확도가 떨어지며, 이 결과가 주 반사판에 입사파로 들어가므로 주 반사판에 물리광학을 적용할 경우 부엽을 정확히 예측할 수 없다. 이러한 난점들을 해결하기 위해서 기하광학이론(GO), 회절기하이론(GTD), 그리고 회절물리이론(PTD)과 같은 고주파 해석 방법들이 사용된다.[16-18]

여기서는 부 반사판과 급전부의 위치가 임의로 주어질 때 기하광학 이론에 의한 반사전자계식과 유니폼 회절기하이론에 의한 회절전자계식을 결합하여 부 반사판에 의한 전체 전자계식을 유도하고, 부 반사판의 곡면이 쌍곡면인 경우와 타원면인 경우에 대한 복사패턴식을 제시한다.

부 반사판으로부터 복사된 전계는 기하광학 GO에 의하여 구한 기하광학과와 UTD 회절이론에 의하여 구한 회절파를 합하여 다음과 같이 구하여 진다.

$$\vec{E}^{total} = \vec{E}^{GO} + \vec{E}^{GTD} \quad (8)$$

#### 3.2 주반사판의 복사특성

복반사판 안테나에서 부 반사판은 넓은 형태의 복사특성을 갖는데 반해 주반사판은 일반적으로 날카로운 빔을 복사한다.

주 반사판에서의 복사패턴은 PO를 이용하여 적분식을 직접 계산하는 방법이나 파추적법과 개구면 적분법을 이용한 방법에 의하여 구해진다. PO를 이용한 적분법은 주 반사판의 주엽과 몇 개의 부엽에 대한 원거리 복사특성을 매우 정확하게 예측할 수 있다. 그러나 이러한 방법은 오늘날 성능이 좋은 컴퓨터를 이용할 때도 대단히 많은 계산시간이 필요할 뿐만 아니라 안테나의 크기가 커질 경우 적분인자들이 수렴 하지 않아 정확한 값을

얻을 수 없다. 이러한 난점들을 극복하기 위해서 복사적분식을 급수 형태로 전개하고 이 급수들의 계수가 관측각에 무관하게 함으로써 계산시간을 단축시킨다. 따라서 복사적분식을 급수전개하므로써 옅셋 그레고리언 복 반사판 안테나의 복사특성을 해석하기 위한 복사전계식을 유도한다.

#### 4. 계산 결과 및 고찰

옅셋 그레고리언 안테나 시스템의 부분별 해석 결과를 이용하여 안테나 시스템의 복사패턴을 계산한다. 우선 평형 하이브리드를 갖는 커리케이티드 급전혼을 설계한다. 또한 급전혼에서 나오는 복사패턴을 이용하여 부 반사판으로부터 반사되는 회절파가 고려된 복사패턴을 구하고 그 결과를 기초로 하여 최종적으로 옅셋 그레고리언 안테나의 복사특성을 고찰한다.

##### 4.1 커리케이티드 혼 안테나 설계

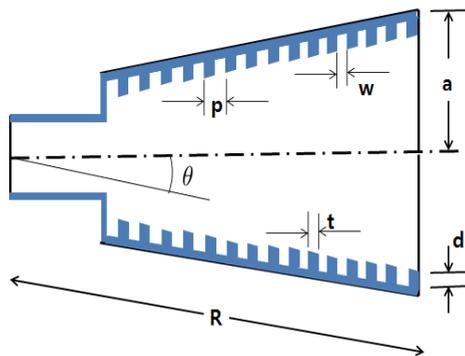


그림 3. C밴드 커리케이티드 급전 혼 안테나  
Fig. 3. C band corrugated horn antenna for feeding

앞에서 구한 식의 계산 결과를 이용하여 먼저 이미 설계되어 있는 커리케이티드 혼 안테나의 치수를 식에 대입하여 이론적인 결과를 계산해 본다.

계산에 사용된 안테나는 32m 직경을 갖는 빔 웨이브가이드 안테나의 급전 혼을 표본으로 하였다. <그림 3>과 같은 혼 안테나의 표본의 치수는 <표 1.>과 같다.

표 1. C밴드 커리케이티드 혼 안테나의 제원  
Table 1. Specification for C band corrugated horn antenna

a	419.1 mm
p	14.23 mm
d	20.83 mm
t	2.848 mm
R	4077 mm
w	12.2 mm
$\theta$	5.9°

##### 4.2 시뮬레이션결과

위의 치수를 이용하여 전파특성을 결정짓는 특성방정식이 0 이 되는 조건에 맞게 계산하면 3.65Hz에서  $Kr_1=2.404$ , 위상상수  $\beta=5.73613$ , 전계와 자계의 비가 1일때의 위상상수  $\bar{\beta}=0.99713$ , 전계와 자계의 비는 0.9991로 되므로 혼 개구면에서 평형 하이브리드 모드인  $HE_{11}$ 이 발생됨을 알 수 있다. 이 때 혼 개구면으로부터 5.842m 떨어진 지점의 복사패턴을 벡터포텐셜을 이용하여 주편파 및 교차편파 성분을 컴퓨터로 계산하여 구하면 주파수 3.85GHz, 6.18GHz에서 <그림 4>., <그림 5>와 같이 나타난다.

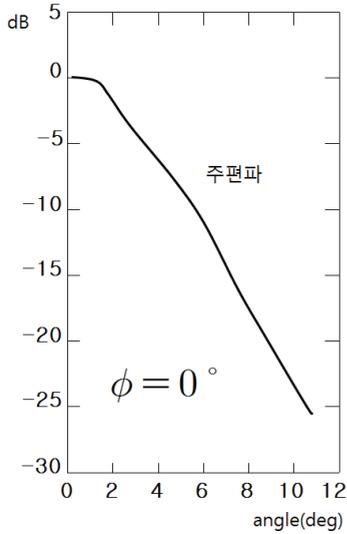


그림 4(a). 3.85GHz 에서의 복사패턴( $\phi = 0^\circ$ )  
Fig 4(a). Radiation Pattern at 3.85GHz( $\phi = 0^\circ$ )

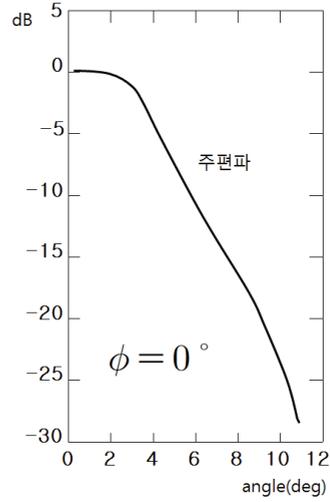


그림 5(a). 6.18GHz 에서의 복사패턴( $\phi = 0^\circ$ )  
Fig 5(a). Radiation Pattern at 6.18GHz( $\phi = 0^\circ$ )

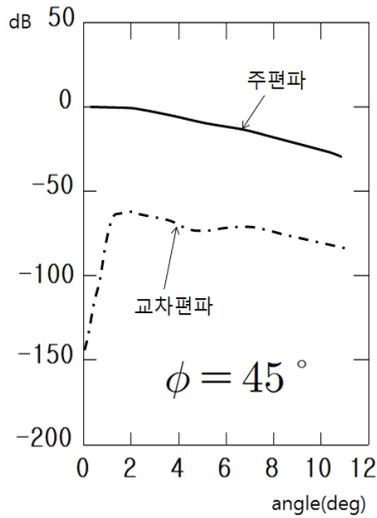


그림 4(b). 3.85GHz 에서의 복사패턴( $\phi = 45^\circ$ )  
Fig 4(b). Radiation Pattern at 3.85GHz( $\phi = 45^\circ$ )

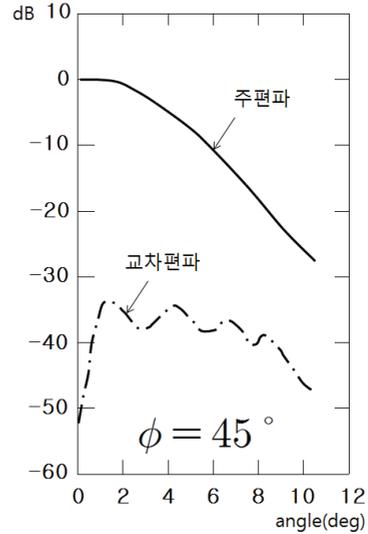


그림 5(b). 6.18GHz 에서의 복사패턴( $\phi = 45^\circ$ )  
Fig 5(b). Radiation Pattern at 6.18GHz( $\phi = 45^\circ$ )

## 5. 결 론

커리게이트 급전혼을 갖는 옹셋 그레고리언 안테나의 복사특성을 해석하였다. 1차 복사기를 설계하기 위해서 모드 확장법을 이용하여 커리게이트 혼의 설계 및 복사패턴 계산식을 유도하였다. 원통 모드 이론으로 커리게이트 내부의 전자계식을 유도하고 어드미턴스 매칭에 의해 혼내부의 전자계 분포를 구하였다. 혼 개구면에서 위상을 고려한 전자계식으로부터 벡터 포텐셜을 정의하고 등가 원리에 의하여 복사전자계식을 유도하였다. 부반사판에 의한 복사패턴을 계산하기 위해서 임의의 반사판면을 갖는 부반사판에 대하여 GO를 이용한 반사파를 구하고 여기에 GTD를 이용하여 구한 회절파를 더하여 완전한 복사패턴을 얻었다. 부반사판에서 복사되는 파의 패턴을 정확히 해석하기 위하여 그림자 경계에서도 정확한 값을 갖는 UTD 회절 계수를 이용하였다. 옹셋 포물면 안테나의 1차 복사기가 y방향으로 선형편파되고 -10dB 테이퍼된 여현패턴을 사용하였을 때 최대 교차편파와 부엽 준위는 각각 -27dB와 -24dB로 나타났다. 옹셋 그레고리언 안테나의 1차복사기의 복사패턴을 -10dB 테이퍼된 x편파와 y편파를 사용하였을 경우, x편파를 이용한 복사패턴과 등가포물면 개념을 이용한 Rusch의 결과 사이에는 약간의 차이가 있는데 이는 부반사판의 모서리에 의한 회절효과를 고려하지 않은데서 기인한 것으로 보인다. 이렇게 계산된 복사패턴의 최대 교차편파는 각각 -70dB와 -50dB였으며, 부엽의 최대크기는 -30dB와 -35dB였다. 이 결과로부터 선형편파를 이용하여 위성통신을 할 경우 업링크할 때는 위성 상호간의 간섭을 줄이기 위하여 x편파를 사용하고, 다운링크를 할 때는 y편파를 사용하는 것이 전체 통신 시스템의 효율을 높이기 위하여 유리한 것으로 판단된다. 이상의 결과는 위성 탑재용 안테나의 설계 뿐 아니라 낮은

부엽 준위 특성을 요구하는 안테나 설계 및 제작과 지구국용 옹셋 캐서그레인 안테나의 설계와 안테나 시스템의 성능 평가를 위한 도구로 이용될 수 있을 것이다.

## References

- [1] J. Pressensé, P. E.Frandsen, M. Lumholt, F. Delepoux, A. Frandsen, and L. S. Drioli, *Optimizing a corrugated horn for telecommunication and tracking missions using a new flexible horn design software*, 2010 Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), pp. 12-16 Apr. 2010.
- [2] M. Lumholt, P. E. Frandsen, M. Ø. Nim, F. Delepoux, and J. Pressense, *Telecommunication and tracking multi-mode horn design optimisation*, Executive Summary, TICRA Report S-1425-DJF-007, TICRA, Copenhagen, Jun. 2009.
- [3] J. Monge, J. M. Gil, and J. Zapata, *CAD of axisymmetric antennas through finite element and global optimiser*, Proc. EuCAP 2006, Nice, France, Nov. 2006.
- [4] C. Lazzerini, L. Lucci, R. Nesti, G. Pelosi, and S. Selleri, *Parallel genetic algorithms for profiled corrugated circular horn optimization*, Proc. 26th ESA Antenna Technology Workshop on Satellite Antenna Modelling and Design Tools, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, pp. 307-314, Nov. 2003.
- [5] M. Lumholt, P. E. Frandsen, A. Frandsen, M. Ø. Nim, and L. S. Drioli, *Advanced modelling and optimisation strategies for circular horn design*, Proceedings of the 30th

- ESA Antenna Workshop, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, pp. 27-30 May 2008.
- [6] C. Granet, and T. S. Bird, *Optimization of corrugated horn radiation patterns via a spline-profile*. ANTEM 2002, 9th Int. Symp. on Antenna, Montreal, CA, pp.307-310, Jul. 2002.
- [7] D. Yang, Y. C. Chung, and R. R. Haupt, *Genetic algorithm optimization of a multisectional corrugated conical horn antenna*, Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 38, No. 5, Sep. 2003.
- [8] J. Hald, and K. Madsen, *Combined LP and quasi-newton methods for minimax optimization*. Math. Programming 20, pp. 49-62, 1981.
- [9] R. J. Hanson, and F. T. Krogh, *A quadratic-tensor model algorithm for nonlinear least-squares problems with linear constraints*, ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS), Vol. 18, Issue 2, Jun. 1992.
- [10] T. Salimi, A. Maghoul, and A. A. Abbasid, *Design of a compact gaussian profiled corrugated horn antenna for low sidelobe-level applications*, International Journal of Computer Theory and Engineering, Vol. 5, No. 2, Apr. 2013.
- [11] A. D. Olver, P. J. B. Clarricoats, A. A. Kishk, and L. Shafai, *Microwave horns and feeds*, Chap. 8 and 9, IEEE Electromagnetics Waves Series, Vol. 39, 1994.
- [12] G. L. James, *Design of wide-band compact corrugated horns*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-32, pp. 1134-1138, 1984.
- [13] C. Granet, T. S. Bird, and G. L. James, *Compact low-sidelobe corrugated horn for global earth coverage*, in Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation International Symposium and URSI Radio Science Meeting, Orlando, Florida, 11-16, pp. 712-715, Jul. 1999.
- [14] J. T. Vallinas, R. G. García, and C. D. R. Bocio, *Modern corrugated horn antenna design for extremely low sidelobe level*, Electric and Electronic Engineering Department. Public University of Navarra, 2003..
- [15] C. D. Río, R. Gonzalo, and M. Sorolla, *High purity gaussian beam excitation by optimal horn antenna*, E.T.S.I.I y Telecommunication. Public University of Navarra, Jan. 1996.
- [16] P. J. B. Clarricoats, and A. D. Olver, *Corrugated horns for microwave antennas*, IEEE Electromagnetics Waves Series, Chap. 5, 6 and 7, Peter Peregrinus, Vol. 18, 1984.
- [17] A. D. Olver, P. J. B. Clarricoats, A. A. Kishk, and L. Shafai, *Microwave horns and feeds*, IEEE Electromagnetic Waves Series, The Institution of Electrical Engineers, Vol. 39, 1994.
- [18] G. L. James, *Analysis and design of TE<sub>11</sub> to HE<sub>11</sub> corrugated cylindrical waveguide mode converters*, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-29, pp. 1059-1066, 1981.

---

## 복반사판 안테나의 설계 및 전파 특성 해석

임동균

한양사이버대학교 기계자동차학부

**요 약**

본 논문에서는 위성통신에 사용가능한 복반사판 안테나를 설계하고 성능을 평가하도록 한다. 먼저 커리게이트 혼 안테나의 설계를 위하여 설계 중심 주파수를 결정하고, 커리게이트의 벽 두께와 슬롯의 폭의 변화에 따른 특성 변화를 고찰하며, 커리게이트에 의해 발생하는 반사파를 억제하도록 입력 테이퍼 섹션을 설계하고, 교차편파가 발생하지 않도록 모드변환 섹션을 설계한다.  $EH_2$  모드의 발생 억제를 위하여 천이 섹션과 출력플래어섹션에서 커리게이트의 높이를 조절하고, 위상의 중심점을 계산하며, 최고 및 최저 주파수에서 혼의 특성 변수를 계산한다. 육섯 복반사판의 안테나 복사특성을 해석하도록 하는데, 회절기하이론을 이용하여 부반사판의 복사특성을 해석하고, 물리광학방법을 이용하여 주반사판의 복사특성을 해석하며, 회절기하이론과 물리광학방법을 결합하여 반사판 안테나의 복사특성을 해석한다.



**Dong Kyun Lim** received the bachelor's, Master's, Ph.D. degree in the Department of Electronic Communication Engineering from Hanyang University in 1985, 1987 and 2001 respectively. He has been a professor in the Division of mechanical and Automotive Engineering at Hanyang Cyber University since 2003. His current research interests include Microprocessor and Computer Science, communication system and antenna system.

*E-mail address:* eiger07@hycu.ac.kr