

# 파라볼라 반사경으로 구성된 옴니안테나 설계

## Design of Omnidirectional Antennas Composed of the Parabolic Reflector

이 동 진 · 최 학 근

Dong-Jin Lee · Hak-Keun Choi

### 요 약

본 논문에서는 수직면내 지향성 패턴 수평면내 무지향성 패턴을 갖는 26 GHz 대 옴니안테나를 반사경 안테나를 이용하여 설계하고 제작하였다. 설계한 안테나의 복사특성을 고찰하기 위하여 개구면전계법을 사용하여 안테나를 해석하고 계산결과를 측정치와 비교하였다. 설계안테나의 측정결과는 계산치에 근접한 것으로 나타났다. 이 논문에서 설계된 안테나는 반사경 옴니안테나로 사용가능하며 복사특성 고찰을 위한 해석방법도 반사경 옴니안테나의 해석에 사용될 수 있음을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, the 26 GHz band omnidirectional antenna that produces an isotropic radiation pattern in the azimuth plane and a directive radiation pattern in the elevation plane was designed by using reflector antennas. To investigate the reliability of the designed antenna, that was analyzed by using the aperture field method and the calculated value was compared with the measured value. An good agreement was achieved between the calculated characteristics and the experimental performance. We found that the designed antenna in this paper can be used as the omnidirectional antenna with reflectors and the analysis method in this paper can be used for the analysis of this type antenna.

Key words : Omnidirectional Pattern, Omnidirectional Antenna, Reflector Antenna

### I. 서 론

이동통신, LMDS(Local Multi-Point Distribution System) 분야 뿐 아니라 항공분야의 미사일 유도, 항공기 관제 등에 옴니안테나(Omnidirectional Antenna)가 사용되고 있다<sup>[1]</sup>. 옴니안테나는 수평면내에 무지향성, 수직면내에 지향성 패턴을 갖는 안테나로서 그 구현 방법에는 여러 가지가 있다<sup>[1]~[10]</sup>.

안테나 소자 자체가 옴니 특성을 갖는 안테나로는 다이폴 안테나, 쌍원추 안테나(Biconical Antenna)<sup>[4]~[6]</sup>, 디스콘 안테나(Disccone Antenna) 등이 있다. 다이폴 안테나는 이득이 작기 때문에 고이득 옴니안테나를 만들기 위해서는 다이폴을 축방향으로

배열하여 이득을 높이고 있다. 이런 타입의 안테나를 다이폴 콜리니아 안테나(Dipole Collinear Antenna)라고 하며, 다이폴 대신 동축 원통을 교차시켜 배열한 동축 콜리니아 안테나(Coaxial Collinear Antenna)도 있다<sup>[2]</sup>. 이들 수직 배열 안테나는 수평면 내에 완전한 무지향성 특성을 갖도록 할 수 있으나 높은 주파수 대에서는 제작에 어려움이 있어 주로 이동통신 주파수대에서 사용되고 있다. 또 다른 형태의 옴니안테나로는 광대역 특성을 갖는 쌍원추 안테나가 있다. 쌍원추 안테나는 원추각이 매우 작은 쌍원추 다이폴 안테나와 원추각이 큰 쌍원추 혼 안테나가 있으며 원추각이 클수록 대역폭이 넓어진다. 쌍원추 안테나는 옴니안테나로서 광대역 안테나 특성을 가

「이 연구는 2001학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.」

단국대학교 전자컴퓨터학부(School of Electronics Eng. and Computer Sci., Dankook Univ.)

· 논문 번호 : 20030710-098

· 수정완료일자 : 2003년 8월 21일

지고 있으나 안테나 이득은 크지 않다.

마이크로파 또는 밀리미터파 대의 고이득 옴니안테나로서는 원통 위에 마이크로스트립 패치 또는 슬롯을 배열한 마이크로스트립 패치 배열 안테나(Microstrip Patch Array Antennas) 또는 슬롯 배열 안테나(Slot Array Antennas)가 사용된다<sup>[7]-[9]</sup>. 이들 마이크로스트립 또는 슬롯 배열 안테나의 수평방향의 특성은 패치 또는 슬롯의 크기, 배열 간격, 원통의 크기에 따라 달라진다. 따라서 옴니패턴 구현에 있어 복사부 및 급전회로 설계에 많은 어려움이 있다.

최근 이런 문제점을 해결하기 위하여 반사경을 사용한 옴니안테나가 Abdullah에 의해 제안되었다<sup>[10]</sup>. 그러나 이 후 해석이나 설계 방법에 대하여 발표된 연구가 아직 나타나고 있지 않다. 일반적으로 반사경 안테나를 해석할 때는 주로 개구면분포법(Aperture Field Method) 또는 유기전류법(Induced Current Method)이 널리 사용된다. 이 방법들은 주빔과 몇 개의 사이드로브에 대하여 비교적 정확한 결과를 주는 방법들로 두 방법에 의해 구해진 해석결과에는 거의 차이가 없다는 것이 잘 알려져 있다<sup>[11][12]</sup>.

본 논문에서는 반사경 안테나로 구성된 옴니안테나를 개구면분포법을 사용하여 해석한다. 또한 펜슬빔 반사경 안테나에 사용되는 개구분포법이 본 안테나 해석에 사용 가능한지 고찰하기 위하여 26 GHz 대에서 동작하는 옴니안테나를 설계·제작하고 복사특성을 측정한다. 측정결과와 이론치와 비교하여 해석방법의 타당성을 검토하고 한다.

## II. 안테나 해석

### 2.1 기하학적 구조

그림 1은 수직방향의 지향특성 수평방향의 무지향 특성을 갖는 반사경으로 구성된 옴니안테나 구조를 나타낸다(이하 반사경 옴니안테나라 한다). 안테나는 급전 혼(feed horn), 파라볼라 반사경(parabolic reflector), 원추대(frustum)로 구성되어 있다. 그림에서  $D, F, \theta_m$ 은 파라볼라 반사경의 구조를 나타내는 파라미터로서 직경(diameter), 초점거리(focal length), 반개구각(half-flare angle)이고,  $H$ 와  $\alpha$ 는 각각 원추대의 높이와 원추반각(cone half angle)을 나타낸다. 1차 복사기는 파라볼라 반사경의 초점에 위치하며 옴니

안테나가 수직편파로 동작되도록  $TM_{01}$  모드로 여진다. 1차 복사기로부터 복사된  $TM_{01}$  모드 복사전계는 파라볼라 반사경에 입사되고 반사되어 원추대 반사경으로 향한다. 원추대 반사경으로 향하는 빔은 원추대에서 수평방향으로 반사되어 수직방향으로는 지향 특성, 수평방향으로는 전방향 특성을 갖는 수직편파 옴니 패턴을 형성한다. 원추대의 원추반각을  $45^\circ$ 로 할 경우 안테나 축에 대해 수직인 방향, 즉 수평방향으로 최대 빔이 복사된다. 원추반각  $\alpha$ 를  $45^\circ$ 보다 크게 또는 작게 하여 최대 빔 방향을 틸트시킬 수도 있다. 안테나의 수직 복사패턴의 빔폭 특성은 파라볼라 반사경의 크기(원추대의 높이)와 관계한다.

그림 1에서 파라볼라 반사경의 기하학적 구조식은 다음과 같이 주어진다<sup>[11]</sup>.

$$z_p = F - \frac{x_p^2 + y_p^2}{4F} \quad (1)$$

또한 파라볼라 반사경의 반개구각  $\theta_m$ 은 초점거리  $F$ 와 직경  $D$ 를 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[11]</sup>.

$$\theta_m = 2 \tan^{-1} \left( \frac{D}{4F} \right) \quad (2)$$

원추 반사경의 기하학적 구조식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r' = \frac{D \cot \alpha}{2(\cos \theta' + \cot \alpha \sin \theta')} \quad (3)$$

### 2.2 복사전계

그림 2는 반사경 옴니안테나의 복사패턴을 계산

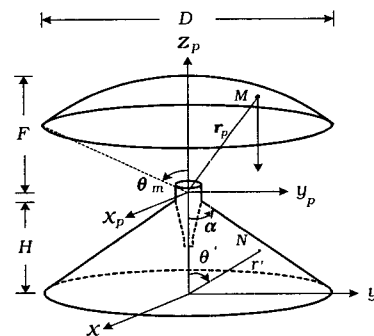


그림 1. 안테나 구조  
Fig. 1. Antenna geometry.

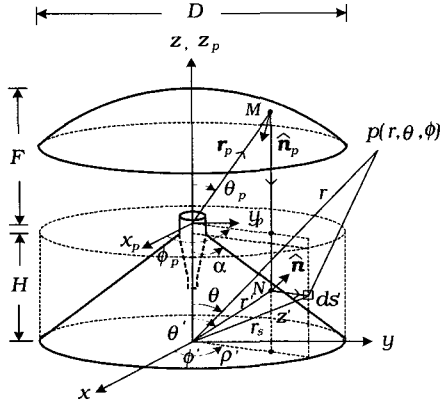


그림 2. 좌표계  
Fig. 2. Coordinate.

하기 위한 좌표계이다. 그림에서 1차복사기로부터 복사된 전계가 파라볼라 반사경과 원추반사경에 반사되어 원통표면에 전계분포를 형성한다. 이때 전계분포를  $E_a(a, \phi', z')$ 라 하면 복사전계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E(\mathbf{r}, \theta, \phi) = -\frac{j\omega\mu}{4\pi r} e^{-jkr} \int_0^{2\pi} \int_0^H E_a(a, \phi', z') \cdot \exp(jk\mathbf{r}_s \cdot \hat{\mathbf{r}}) ad\phi' dz' \quad (4)$$

단,  $k$ 는 자유공간의 전파정수,  $H$ 는 원통의 높이,  $a$ 는 원통의 반경이다. 그림 1에서  $(x_p, y_p, z_p)$ ,  $(r_p, \theta_p, \phi_p)$ 는 파라볼라 반사경의 좌표계이고,  $(x', y', z')$ ,  $(r', \theta', \phi')$ ,  $(\rho', \phi', z')$ 는 원추 반사경의 좌표계,  $(x, y, z)$ ,  $(r, \theta, \phi)$ 는 far-field 좌표계이다. 식 (4)에서  $r_s$ 는 좌표의 중심에서 원통의 표면까지의 거리벡터이고,  $\hat{\mathbf{r}}$ 는 원점에서 관측점  $(\theta, \phi)$ 로 향하는 단위벡터로서 각각 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{r}} &= \sin\theta \cos\phi \hat{\mathbf{x}} + \sin\theta \sin\phi \hat{\mathbf{y}} + \cos\theta \hat{\mathbf{z}} \\ \mathbf{r}_s &= a \cos\phi' \hat{\mathbf{x}} + a \sin\phi' \hat{\mathbf{y}} + z' \hat{\mathbf{z}} \\ \mathbf{r}_s \cdot \hat{\mathbf{r}} &= a \sin\theta \cos(\phi - \phi') + z' \cos\theta \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)에서  $a$ 는 파라볼라 반사경의 반경이다. 식 (4)에서 원통면에서의 전계  $E_a(a, \phi', z')$ 는 다음과정을 통하여 구해진다. 우선 1차 복사기에 의해 파라볼라 반사경에 입사하는 전계를 다음과 같이 나타낸다.

$$E_f = \frac{e^{-jkr_p}}{r_p} E_f(\theta_p, \phi_p) d\hat{\boldsymbol{\rho}}_p$$

$$= \frac{e^{-jkr_p}}{r_p} [E_{fx} \hat{\mathbf{x}}_p + E_{fy} \hat{\mathbf{y}}_p + E_{fz} \hat{\mathbf{z}}_p] \quad (6)$$

단,

$$\begin{aligned} E_{fx} &= E_f(\theta_p, \phi_p) \cos\theta_p \cos\phi_p \\ E_{fy} &= E_f(\theta_p, \phi_p) \cos\theta_p \sin\phi_p \\ E_{fz} &= -E_f(\theta_p, \phi_p) \sin\theta_p \end{aligned} \quad (7)$$

식 (6)에서  $r_p$ 는 파라볼라 반사경의 초점으로부터 반사경의 임의 위치  $M$ 까지의 거리로서

$$r_p = \frac{2F}{1 + \cos\theta_p} \quad (8)$$

이다. 파라볼라 반사경에서의 반사전계는 반사법칙

$$E_p = 2(\hat{\mathbf{n}}_p \cdot E_f) \hat{\mathbf{n}}_p - E_f \quad (9)$$

에 식 (6)과 파라볼라 반사경의 구조식 (1)에 의해 구해지는 법선단위벡터

$$\hat{\mathbf{n}}_p = \frac{\mathbf{N}_p}{|\mathbf{N}_p|} = -\frac{x_p \hat{\mathbf{x}}_p + y_p \hat{\mathbf{y}}_p + 2F \hat{\mathbf{z}}_p}{\sqrt{x_p^2 + y_p^2 + 4F^2}} \quad (10)$$

을 대입하면

$$E_p = -\frac{e^{-jkr_p}}{r_p} E_f(\theta_p, \phi_p) (\cos\phi_p \hat{\mathbf{x}}_p + \sin\phi_p \hat{\mathbf{y}}_p) \quad (11)$$

이 된다. 점  $M$ 에서 반사전계  $E_p$ 가 원추 반사경  $N$ 에 입사되고 반사될 때 반사전계는 다음 식으로 주어진다.

$$E_c = 2(\hat{\mathbf{n}} \cdot E_p^i) \hat{\mathbf{n}} - E_p^i \quad (12)$$

여기서  $\hat{\mathbf{n}}$ 는 원추 반사경의 법선단위벡터로서

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{n}} &= \frac{\mathbf{N}}{|\mathbf{N}|} \\ &= \frac{x' \cos\alpha}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \hat{\mathbf{x}} + \frac{y' \cos\alpha}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \hat{\mathbf{y}} + \sin\alpha \hat{\mathbf{z}} \end{aligned} \quad (13)$$

이고,  $E_p^i$ 는 원추 반사경으로의 입사전계로서

$$\begin{aligned} E_p^i &= -e^{-j2F} \frac{e^{-jkr_s \tan\alpha \sin\theta_p}}{r_p} E_f(\theta_p, \phi_p) \hat{\boldsymbol{\rho}}_p \\ &= -A_f(\theta_p, \phi_p) \hat{\boldsymbol{\rho}}_p \end{aligned} \quad (14)$$

이다. 따라서 원통표면에서의 표면전계분포는 식

(12)에 식 (13)과 (14)를 대입하여 위상항을 고려하면

$$\begin{aligned}
 \mathbf{E}_a = & -E_f(\theta_p, \phi_p) e^{-jk(2F+a)} \\
 & \cdot \frac{e^{-jkr_r(\cot a - 1)\sin\theta_p}}{r_p} e^{jkb\cot a} (\cos 2\alpha \\
 & \cos\phi' \hat{\mathbf{x}}' + \cos 2\alpha \sin\phi' \hat{\mathbf{y}}' + \sin 2\alpha \hat{\mathbf{z}}') \quad (15)
 \end{aligned}$$

된다.

따라서 반사경 음니안테나의 복사전계는 식 (4)에 식 (5), (8), (15)를 대입하여 정리하면

$$\begin{aligned}
 \mathbf{E}(r, \theta, \phi) = & -\frac{j\omega\mu}{4\pi r} e^{-jkr} e^{-jk(2F+a)} F \cot a \\
 & \cdot \int_0^{2\pi} \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} E_f(\theta_p, \phi_p) e^{-j2kF(\cot a - 1)\tan\frac{\theta_c}{2}} \\
 & \cdot e^{jkb\cot a} (\cos 2\alpha \cos\phi' \hat{\mathbf{x}} + \cos 2\alpha \sin\phi' \hat{\mathbf{y}} \\
 & + \sin 2\alpha \hat{\mathbf{z}}) e^{jkz \sin\theta \cos(\phi - \phi')} \\
 & \cdot e^{jk \cot a (a - 2F \tan\frac{\theta_c}{2}) \cos\theta} d\phi' d\theta_p \quad (16)
 \end{aligned}$$

이 된다. 여기서

$$\begin{aligned}
 \theta_{\max} &= 2 \tan^{-1} \frac{a}{2F} \\
 \theta_{\min} &= 2 \tan^{-1} \frac{b}{2F} \quad (b : \text{Feed Horn 반경})
 \end{aligned}$$

이다. 식 (16)에서 Bessel 함수의 적분공식<sup>[13]</sup>

$$\begin{aligned}
 \int_0^{2\pi} \begin{pmatrix} \cos n\phi' \\ \sin n\phi' \end{pmatrix} \exp[jz \cos(\phi' - \phi)] d\phi' \\
 = 2\pi j^n \begin{pmatrix} \cos n\phi \\ \sin n\phi \end{pmatrix} J_n(z) \quad (17)
 \end{aligned}$$

을 적용하여 정리하면

$$\begin{aligned}
 \mathbf{E}(r, \theta, \phi) = & -\frac{j\omega\mu}{2r} e^{-jkr} e^{-jk(2F+a)} a \cot a \\
 & \cdot \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} E_f(\theta_p, \phi_p) e^{-j2kF(\cot a - 1)\tan\frac{\theta_c}{2}} e^{jkb\cot a} \\
 & \cdot [j(\cos 2\alpha \cos\phi' \hat{\mathbf{x}} + \cos 2\alpha \sin\phi' \hat{\mathbf{y}}) \\
 & \cdot J_1(kasin\theta) + \sin 2\alpha J_0(kasin\theta) \hat{\mathbf{z}}] \\
 & \cdot e^{jk \cot a (a - 2F \tan\frac{\theta_c}{2}) \cos\theta} d\theta_p \quad (18)
 \end{aligned}$$

이 된다. 식 (18)을 이용하여 반사경 음니안테나의 복사전계를 계산할 수 있다.

### 2-3 1차 복사기의 복사패턴

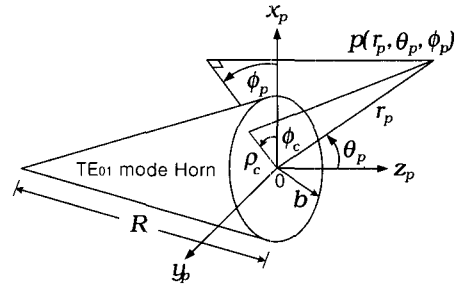


그림 3. 원추 혼 안테나의 좌표계  
Fig. 3. Coordinate of conical horn antenna.

식 (18)에서 1차복사기의 복사패턴  $E_f(\theta_p, \phi_p)$ 는 그림 3의  $TM_{01}$  모드로 동작하는 원추 혼 안테나의 좌표계로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[11]</sup>.

$$\begin{aligned}
 E_f(\theta_p, \phi_p) = & \frac{1 + \cos\theta_p}{2} E_0 \int_0^{2\pi} \int_0^b J_1\left(\frac{x_{01}\rho_c}{b}\right) \\
 & \cdot \cos\phi_c \exp\left\{j\left[k\rho_c \sin\theta_p \cos\phi_c - 2\pi S\left(\frac{\rho_c}{b}\right)^2\right]\right\} \\
 & \cdot \rho_c d\rho_c d\phi_c \quad (19)
 \end{aligned}$$

여기서,  $S = \frac{b^2}{2\lambda R}$ ,  $x_{01} = 2.405$ 이고  $R$ 은 혼의 경사길이,  $b$ 는 혼의 반경이다.

식 (19)에 식 (17)의 Bessel 함수의 적분공식을 적용하여 정리하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 E_f(\theta_p, \phi_p) = & j2\pi E_0 \frac{1 + \cos\theta_p}{2} \int_0^b J_1\left(\frac{x_{01}\rho_c}{b}\right) \\
 & \cdot J_1(k\rho_c \sin\theta_p) \exp\left[-j2\pi S\left(\frac{\rho_c}{b}\right)^2\right] \rho_c d\rho_c \quad (20)
 \end{aligned}$$

그림 4는 식 (20)에서  $(1 - \cos\theta_p)/2$ 를 제외하고  $S$ 와  $kbsin\theta_p$ 의 변화에 따른 복사패턴을 나타낸 것

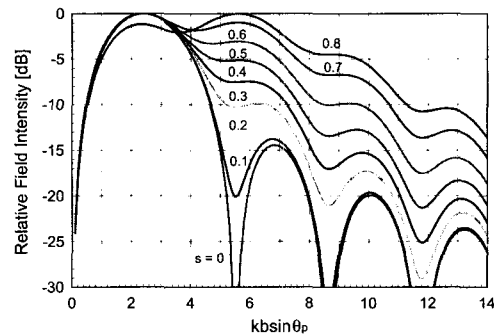


그림 4.  $TM_{01}$  모드 혼의 만능 복사패턴  
Fig. 4. Universal pattern of  $TM_{01}$  mode horn.

이다. 그림 4는 반사경 옴니안테나의 1차 복사기의 복사패턴 또는 파라볼라 반사경의 F/D를 결정하는데 이용될 수 있다.

### III. 설계 및 복사특성

#### 3-1 안테나 사양

여기서는 주파수 24.5 GHz에서 26.7 GHz 사이에서 동작하는 반사경 옴니안테나를 설계 제작하고 복사특성을 고찰한다. 안테나의 설계목표는 표 1로 정한다. 상·하향 링크의 중심주파수는 26.1 GHz와 24.5 GHz로 한다.

#### 3-2 안테나 설계

표 1의 설계목표를 만족하는 반사경 옴니안테나를 설계한다. 이를 위해 반사경의  $D = 180$  mm,  $F = 70$  mm,  $\theta_m = 65.47^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$ 로 한다. 원추 혼은 반사경 테두리에서 약 10 dB의 Edge Taper를 갖도록 하기 위하여  $2b = 19.2$  mm,  $\theta_h = 8.3^\circ$ 로 한다. 그림 5는  $TM_{01}$  모드로 동작하는 1차 복사기의 복사패턴이다. 파라볼라 반사경 테두리에서 edge Taper는 24.5

표 1. 설계목표  
Table 1. Design goal.

항 목	규 격
주 파 수	Down Link : 25.5 ~ 26.7 GHz Up Link : 24.25 ~ 24.75 GHz
수직빔폭	9° 이상
편 파	수직
정재파비	1.3 : 1 이하

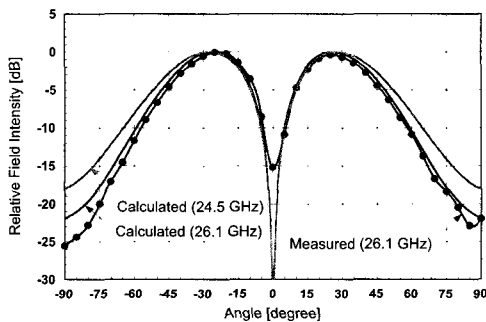


그림 5. 1차 복사기의 계산된 복사패턴  
Fig. 5. Calculated radiation pattern of feed horn.

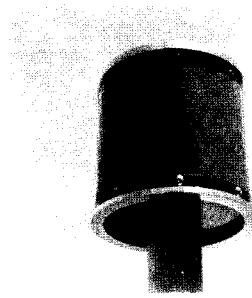


그림 6. 시작 안테나  
Fig. 6. Experimental antenna.

GHz에서 10.5 dB, 26.1 GHz에서 13.5 dB로 나타났다. 그림 6은 시작안테나의 외관이다. 파라볼라 반사경과 원추 반사경은 유전체 원통을 이용하여 연결하였다.

#### 3-3 복사특성

그림 7은 시작안테나의 복사패턴이다. 그림에서 시작안테나는 수평면은 거의 무지향성, 수직면은 지향성을 갖는 옴니패턴을 하고 있음을 확인할 수 있다. 시작안테나의 빔폭은 24.5 GHz에서  $8.1^\circ$  (계산치:  $8.8^\circ$ ) 26.1 GHz에서  $11.2^\circ$  (계산치:  $8.6^\circ$ )로 측정되었다. 또한 사이드로브 레벨은 24.5 GHz에서  $-8.2$  dB(계산치:  $-17.1$  dB) 26.1 GHz에서  $-9.5$  dB(계산치:  $-15$  dB)로 측정되었다. 그림 7의 측정된 수직패턴에서  $0^\circ$ 와  $180^\circ$  근방에서 높은 사이드로브가 나타난다. 이는 파라볼라 반사경 제작시 그림 6에서 보듯이 반사경 외부 쪽이 둥글지 않고 평평하게 만들어지고, 안테나를 지지하기 위해 원추반사경 아래에 굽은 도체봉이 삽입됨으로써 이부분에서 회절전계 성분이 많이 발생되기 때문이라 생각된다. 수평 복사패턴은 비교적 전방향 특성을 보이나 최대전계와 최소전계의 차이는 24.5 GHz에서 2.1 dB, 26.1 GHz에서 1.8 dB로 나타났다. 그림 7에서의 계산치와 측정치 사이에 약간의 차이를 보이고 있다. 이는 안테나 해석시 실제 경우 나타나는 반사경 테두리와 지지봉에서의 회절전계 성분을 고려하지 않고 해석하는 개구면분포법을 사용했기 때문으로 생각된다. 그림 8은 VSWR 특성을 나타낸다. 측정된 VSWR은 사용주파수의 낮은 주파수 부분을 제외하고 1.3 이하를 만족한다.

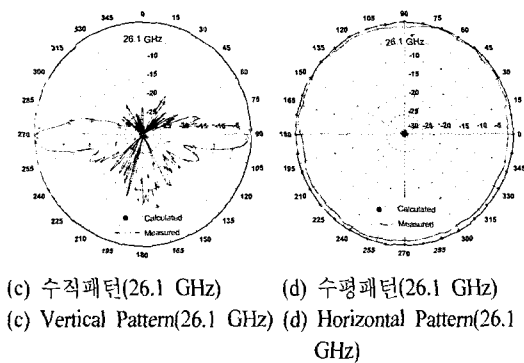
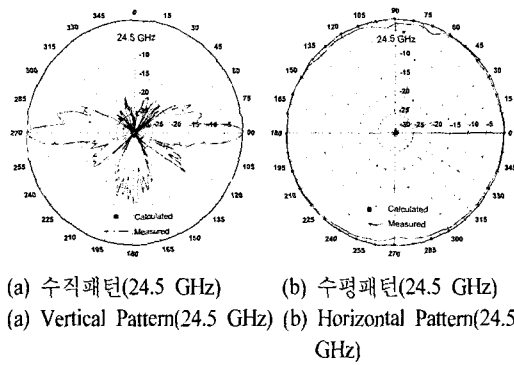


그림 7. 복사패턴  
 Fig. 7. Radiation pattern.

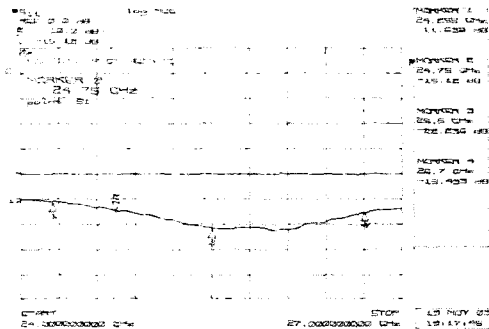


그림 8. VSWR  
 Fig. 8. VSWR.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 수직면내 지향성 패턴, 수평면내 무지향성 패턴을 갖는 옴니안테나를 반사경 안테나로 구성하고 개구면 전개분포법을 사용하여 해석하였다. 해석결과의 타당성을 고찰하기 위하여 LMDS 대역에서 동작하는 고이득 반사경 옴니안테나를 설계·제작하여 복사특성을 측정하였다. 시작안테나의 빔폭은 24.5 GHz에서 8.1°(계산치 : 8.8°), 26.1

GHz에서 11.2°(계산치 : 8.6°)로 나타났으며, VSWR은 사용주파수의 낮은 주파수 부분을 제외하고 VSWR 1.3을 만족하는 것으로 측정되었다. 측정결과가 계산치와 약간의 차이를 보이고 있으나 전반적으로 계산치에 근접한 것으로 나타났다. 따라서 본 논문에서 설계한 안테나는 반사경 옴니안테나로 사용될 수 있고, 안테나 해석방법은 반사경 옴니안테나 해석에 이용될 수 있을 것으로 생각되며 향후 반사경 가장자리에서의 회절전계를 고려하면 더욱더 정확한 복사패턴을 구할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Immanuel Jayakumar, Ramesh Garg, B. K. Sarap and Bhagwan Lal, "A Conformal Cylindrical Microstrip Array for Producing Omnidirectional Radiation Pattern", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, no. 10, pp. 1258-1261, Oct. 1986.
- [2] 임성빈, 최학근, "이동통신용 동축 코리나아 안테나의 해석에 관한 연구", *대한전자공학회논문지*, 30(11), pp. 66-75, 1993년 11월.
- [3] 배남진, 최학근, "모멘트 법을 이용한 슬리브 다이폴 배열안테나의 해석", *한국전자과학회논문지*, 10(7), pp. 973-984, 1999년 12월.
- [4] Koji Nagasawa, Isamu Matsuzuka, "Radiation Field Consideration of Biconical Horn Antenna with Different Flare Angles", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-36, no. 9, pp. 1306-1310, Sep. 1988.
- [5] Frank Demmerle, Werner Wiesbeck, "A Biconical Multibeam Antenna for Space-Division Multiple Access", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-46, no. 6, pp. 782-787, Jun. 1998.
- [6] Sheldon S. Sandler, Ronold W. P. King, "Compact Conical Antennas for Wide-Band Coverage", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-42, no. 3, pp. 436-439, Mar. 1994.
- [7] S. B. Fonseca, J. Giarola, "Analysis of Microstrip Wraparound Antennas Using Dyadic Green's Functions", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-31, no. 2, pp. 248-253, Mar. 1983.
- [8] C. M. Krowne, "Cylindrical Rectangular Microstrip

Antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-31, no. 1, pp. 194-199, Jan. 1983.

[9] Kyouichi Iigusa, Tasuku Teshirogi, Masharu Fujita, Shin-ichi Yamamoto and Tetsushi Ikegami, "A Slot-Array Antenna on a Coaxial Cylinder with a Circularly Polarized Conical Beam", *IEICE*, vol. J81-B-II, no. 10, pp. 936-948, Oct. 1998.

[10] H. B. Abdullah, "A Prototype Q-band Antenna for Mobile Communication Systems", *IEE, 10th Inter-*

*national Conference on Antenna and Propagation*, pp. 452-455, Apr. 1997.

[11] Thomas A. Milligan, *Modern Antenna Design*, ch. 7-8, McGraw-Hill, 1985.

[12] R. E. Collin, *Antennas and Radiowave Propagation*, ch. 4, McGraw-Hill, 1985.

[13] M. Abramowitz, T. A. Stegun, *Handbook of Mathematical Function*, New York, Dover, 1970.

이 동 진



1986년 2월: 한양대학교 기계공학과 (공학사)  
 1991년 2월: 한양대학교 기계공학과 (공학석사)  
 1997년 8월~현재: 단국대학교 전자공학과 박사과정  
 1986년 3월~현재: (주)하이게인 안

테나 이사  
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로

최 학 근



1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)  
 1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1988년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1991년 3월~현재: 단국대학교 전

자컴퓨터학부 교수  
 1989년 3월~현재: (주) 하이게인 안테나 기술고문  
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로