

# 國內 衛星放送 受信用 헬리컬 어레이 안테나의 設計

正會員 孟 成 玉\*, 崔 學 根\*\*

## Design of the Helical Array Antenna for the Domestic Broadcast Satellite

Sung Ok Maeng\*, Hak Keun Choi\*\* *Regular Members*

### 요 약

국내 위성방송을 위한 DBS(Direct Broadcast Satellite) 수신용 헬리컬 어레이 안테나를 설계하였다. Coverage Area를 무주를 중심으로 서울까지 하기위해 안테나의 크기를 30cm로 하였고, 어레이 소자의 개수는 168 개로 하였다. 헬리컬 소자는 양호한 축비 특성과 안테나 높이를 고려하여 2회전과 4°의 빗치각을 갖도록 하였다. 헬리컬 소자의 어레이 열 간격은  $0.787\lambda$ , 동열에서 헬리컬 간격은  $0.824\lambda$ 이며, 급전구조는 안테나의 높이를 줄이기 위해 방사형 도파관을 사용 하였다.

설계 제작된 안테나의 측정된 복사특성은 축비를 제외하고 설계기준치를 만족하며 이론치에 거의 근접한 것으로 나타났다.

### ABSTRACT

The helical array antenna is designed for domestic DBS(Direct Broadcast Satellite) reception. The antenna diameter is determined 30cm with 168 elements to cover from Moojoo (beam center) to Seoul. The helical antenna with 2-turns and 4°pitch angle is chosen as array elements for good axial ratio and antenna height. In array antenna design, row distance is  $0.787\lambda$ , array distance is  $0.824\lambda$  in the same row. The feed is constructed using the radial waveguide to decrease the height of antenna.

The measured values of the designed antenna are not only satisfied with the design goals but also similar to theoretical values except the axial ratio.

### I. 서 론

방송의 시작은 동시에 넓은 지역에 많은 정보전달을 가능하게 하였다. 현대사회의 발전과 더불어 방송의 고품질 서비스는 다양한 방면에서 향상되어 왔지만, 여전히 지형이나 건물로 인한 난시청 지역의 문제점은 남아있다. 따라서 각국에서는 자국의 방송위

\* (주)하이게인 안테나

\*\* 檀國大學校 電子工學科

論文番號: 96266-0826

接受日字: 1996年 8月 26日

성을 확보하여 방송의 고품질 서비스 및 난시청 지역의 문제점을 해소하고 있다.

위성방송은 1971년 세계무선통신주관청회의(WARC-ST)에서 위성방송 업무용 주파수 분배가 이루어진 이후, 미국 나사에서 응용기술위성(ATS-6)에 의해 최초로 위성방송 실험이 이루어졌으며, 이후 캐나다-미국 합작으로 통신기술위성(CTS)을 발사하여 12GHz에서 최초의 위성방송 실험이 이루어졌다. 이를 기점으로 하여 서방의 여러나라들은 자국의 독자위성을 확보하여 위성방송 서비스를 실시하기 시작하였다[1].

국내의 경우는 1995년에 발사된 무궁화위성(KOREA SAT)으로 1996년 7월부터 위성방송실험이 이루어지고 있으며 머지않아 위성방송 시대가 열리게 될 것이다.

위성방송의 수신방법에는 개별수신과 공동수신으로 나뉘어 있는데 세계 최초의 개별수신 실용위성방송은 일본에서 BS-2a에 의해 이루어졌다[1]. 위성방송 수신용 안테나로는 파라볼라 안테나 및 오픈셋 파라볼라 안테나가 주로 사용되고 있으나 이들 접시형 안테나는 부피가 크고 설치가 용이하지 못하다. 따라서 부피가 작고 가벼운 평판형 안테나의 사용이 요구되고 있다. 평판형 안테나로는 마이크로스트립 패치나 스투를 사용하는 어레이 안테나[2, 3] 및 헬리컬이나 스파이럴 안테나를 배열한 어레이 안테나가 있다.[4-7] 이들 안테나는 선진 각국에서는 이미 개발되어 위성방송 수신용 안테나로 널리 사용되고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 헬리컬 안테나를 어레이 소자로 하는 헬리컬 어레이 안테나를 국내지역에 맞는 위성방송 수신 안테나로 설계한다. 이를 위하여 헬리컬 안테나의 복사특성을 모멘트 법을 이용하여 해석하고 이로부터 헬리컬 소자의 크기를 결정하고, 남한의 서비스 영역을 고려하여 안테나를 설계한다. 또한 안테나를 실제 제작하여 복사특성을 측정하고 설계 목표치 및 수치계산결과와도 비교검토하여 국내 위성방송 수신용 안테나로 사용가능함을 보이고자 한다.

## II. 헬리컬 소자의 이론해석

### 2.1 헬리컬 안테나의 구조 및 수치해석

그림 1은 헬리컬 안테나의 구조 및 좌표계이다. 헬리컬 안테나의 크기에 비해 반사판 D가 매우 크다고 가정하면 그림 1은 영상이론에 의하여 헬리컬 소자와

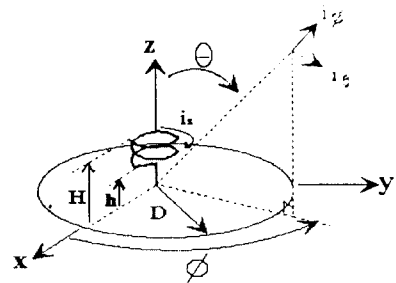


그림 1. 헬리컬 안테나의 구조 및 좌표계  
Fig. 1 Structure and coordinate of the helical antenna

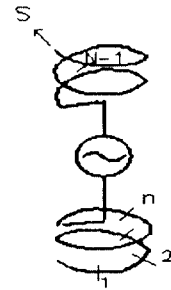


그림 2. 등가화된 헬리컬 안테나  
Fig. 2 Equalized helical antenna

영상소자를 갖는 그림 2와 같이 등가화할 수 있다. 또한 헬리컬 안테나 도선의 반경이 길이와 파장에 비해 매우 작고 균일하다고 가정하면 안테나 표면에 흐르는 전류는 거의 안테나 축방향으로 흐른다고 할 수 있다. 헬리컬 안테나 도선에 흐르는 전류분포를 구하기 위해 Pocklington형의 적분방정식을 나타내면 다음과 같다.[8]

$$-E'_s(s) = \int_L I(s') K(s, s') ds' \quad (1)$$

$$K(s, s') = \frac{j}{\omega \epsilon} \left( \frac{\partial^2}{\partial s^2} - k^2 \hat{i}_s \cdot \hat{i}_{s'} \right) G(s, s') \quad (2)$$

단,  $G(s, s') = \frac{e^{-jkR}}{4\pi R}$ , R은 source 점 s'와 관측점 s 사이의 거리이며, k는 전파상수로  $2\pi/\lambda$ 이다.

그림 2에서 헬리컬 안테나를 N 개의 소구간으로

나누고 각 분할점에 번호를 붙인다. 이 분할된 안테나의 전류분포를 다음과 같이 근사화한다.

$$I(s) = \sum_{n=1}^{N-1} I_n B_n \quad (3)$$

여기서  $I_n$ 은 미지의 복소전류이고,  $B_n$ 은 임의 분할점  $n$ 에 인접하는 소구간에서 새로히 정의된 좌표  $s'_{n-1}$ ,  $s'_n$ 을 이용하여 나타낸 함수로 다음과 같이 정현파분포로 가정한다.

$$B_n = \begin{cases} \frac{\sin k s'_{n-1}}{\sin k d_{n-1}} & 0 \leq s'_{n-1} \leq d_{n-1} \\ \frac{\sin k(d_{n-1} - s'_{n-1})}{\sin k d_n} & 0 \leq s'_n \leq d_n \end{cases} \quad (4)$$

식 (3)을 식 (1)에 대입하면 다음과 같이 된다.

$$E_s^i = \sum_{n=1}^{N-1} I_n F_n \quad (5)$$

여기서,  $F_n$ 를 소구간의 축방향 벡터  $F_{s_n}$ 과 축에 수직인 벡터  $F_{\rho_n}$ 로 분리하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F_{s_n} = -\frac{1}{j\omega\epsilon} \left[ \int_0^{d_{n-1}} B_n \left( \frac{\partial^2}{\partial s'^2_{n-1}} + k^2 \right) G(s, s'_{n-1}) ds'_{n-1} \hat{i}_{s_{n-1}} + \int_0^{d_n} B_n \left( \frac{\partial^2}{\partial s'^2_n} + k^2 \right) G(s, s'_n) ds'_n \hat{i}_{s_n} \right] \quad (6)$$

$$F_{\rho_n} = \frac{1}{j\omega\epsilon} \left[ \int_0^{d_{n-1}} B_n \frac{\partial^2}{\partial \rho_{n-1} \partial s'_{n-1}} G(s, s'_{n-1}) dz'_{n-1} \hat{i}_{\rho_{n-1}} + \int_0^{d_n} B_n \frac{\partial^2}{\partial \rho_n \partial s'_n} G(s, s'_n) ds'_n \hat{i}_{\rho_n} \right] \quad (7)$$

식 (5)로부터  $I_n$ 을 얻기위해 식 (5)에 전개함수(expansion function)  $B_n$ 과 동일한 무게함수(weighting function)  $W_n$ 의 내적을 취하면

$$\langle W_m, E_s^i \rangle = \sum_{n=1}^{N-1} I_n \langle W_m, F_n \rangle \quad (8)$$

이 된다.

식 (8)을 행렬 방정식으로 변환하면

$$[V_m] = [Z_{mn}] [I_n] \quad (9)$$

이 된다. 따라서 식 (9)을 이용하여 헬리컬 안테나의 전류분포를 구할 수 있다.

식 (9)의 행렬방정식으로 부터 구한 전류분포를 이용하여 far-field에서의 복사전계식을 구한다. 전류  $I(s')$ 에 대한 복사전계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.[9]

$$E = -\frac{jk\eta}{4\pi r} e^{-jkr} \int [I(s') \hat{s}' - (\hat{r} \cdot I(s') \hat{s}') \hat{r}] e^{jk\hat{r} \cdot \hat{r}} ds' \quad (10)$$

단,  $\hat{r}$ 은 좌표 원점에서 관측점으로 향하는 단위벡터,  $\hat{r}$ 은 좌표원점에서 source 점까지의 거리 벡터,  $\eta$ 는 자유공간의 파동임피던스로  $120\pi$ 이고,  $k$ 는 전파상수로

$2\pi/\lambda$ 이다. 식 (10)에  $I(s') = \sum_{n=1}^{N-1} I_n B_n$ 를 대입하고 정리하여  $E_\theta$ 와  $E_\phi$ 로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$E_\theta = -\frac{jk\eta}{4\pi r} e^{-jkr} \sum_{n=1}^{N-1} I_n \left\{ \int_0^{d_n} \frac{\sin k(d_n - s'_n)}{\sin k d_n} (s'_{xn} \cos\theta \cos\phi + s'_{yn} \cos\theta \sin\phi - s'_{zn} \sin\theta) \cdot e^{jk(x'_n \sin\theta \cos\phi + y'_n \sin\theta \sin\phi + z'_n \cos\theta)} ds'_n + \int_0^{d_{n-1}} \frac{\sin k s'_{n-1}}{\sin k d_{n-1}} (s'_{xn-1} \cos\theta \cos\phi + s'_{yn-1} \cos\theta \sin\phi - s'_{zn-1} \sin\theta) \cdot e^{jk(x'_{n-1} \cos\theta \cos\phi + y'_{n-1} \sin\theta \sin\phi + z'_{n-1} \cos\theta)} ds'_{n-1} \right\} \quad (11)$$

$$E_\phi = -\frac{jk\eta}{4\pi r} e^{-jkr} \sum_{n=1}^{N-1} I_n \left\{ \int_0^{d_n} \frac{\sin k(d_n - s'_n)}{\sin k d_n} (-s'_{xn} \sin\phi + s'_{yn} \cos\phi) \cdot e^{jk(x'_n \sin\theta \cos\phi + y'_n \sin\theta \sin\phi + z'_n \cos\theta)} ds'_n + \int_0^{d_{n-1}} \frac{\sin k s'_{n-1}}{\sin k d_{n-1}} (-s'_{xn-1} \sin\phi + s'_{yn-1} \cos\phi) \cdot e^{jk(x'_{n-1} \sin\theta \cos\phi + y'_{n-1} \sin\theta \sin\phi + z'_{n-1} \cos\theta)} ds'_{n-1} \right\} \quad (12)$$

이 된다. 여기서  $s'_{xn}$ ,  $s'_{yn}$ ,  $s'_{zn}$ 은  $n$  번째 분할점을 원점으로하는 좌표계에서 source 점으로 향하는 단위벡터 성분,  $x'_n$ ,  $y'_n$ ,  $z'_n$ 은 좌표중심에서  $n$  번째 소구간의 source 점으로 향하는 거리벡터 성분이다.

헬리컬 안테나의 축비는 안테나 정면방향에서 다

음과 같이 계산될 수 있다[4, 13].

$$AR(dB) = |E_{\theta}(dB) - E_{\phi}(dB)| \quad (13)$$

따라서 식 (11), (12), (13)을 이용하면 안테나 축비를 계산할 수 있다.

2.2 수치해석 결과

여기서는 앞절의 수치해석을 적용하여 부공간화위를 위한 DBS 수신용 헬리컬 어레이 안테나의 헬리컬 소자의 크기를 결정한다. 위성방송 수신주파수 범위는 11.7~12 GHz로 하고 중심주파수는 11.85 GHz로 한다. 그림 3과 4는 도선의 반경이 0.3 mm, 반사판으로부터 수직높이  $h = 1.5$  mm인 헬리컬 소자의 축비를 11.85 GHz에서 회전수와 빗치각의 변화에 따라 수치 계산 한 것이다. 수치계산시 헬리컬 소자의 segment의 수는 60 개로 하였다. 그림에서 알 수 있듯이 회전수와 빗치각이 매우 작은 헬리컬 안테나에서도 축비 특성이 양호함을 알 수 있다. 그림 5는 사용주파수 11.7~12 GHz에서의 2회전, 4° 빗치각을 갖는 헬리컬 안테나의 축비를 보여준다. 모두 2 dB 이하를 나타내고 있다.

따라서 DBS 수신용 헬리컬 어레이 안테나의 헬리컬 소자의 빗치각  $\alpha$ 는 4°, 회전수 N은 2, 도선반경 a는 0.3 mm, h는 1.5 mm, 안테나 높이 H는 3.27 mm로 선정한다. 그림 6은 식 (11)과 식 (12)를 이용하여 11.85 GHz에서 계산한 복사패턴이다.

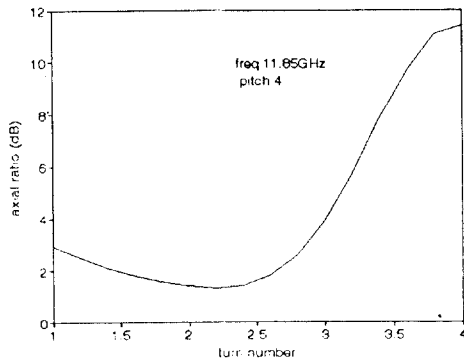


그림 3. 회전수 변화에 의한 축비 그래프  
Fig. 3 Axial ratio as function of turns

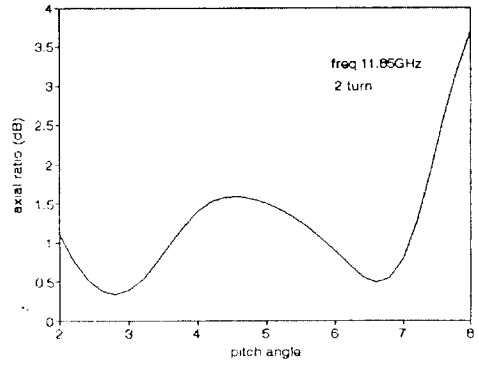


그림 4. 빗치가 변화에 의한 축비 그래프  
Fig. 4 Axial ratio as function of pitch angles

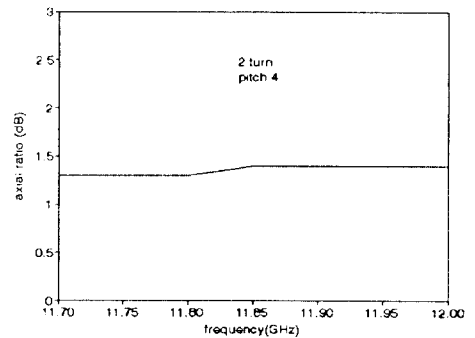


그림 5. 축비 (11.7~12 GHz)  
Fig. 5 Axial ratio (11.7~12 GHz)

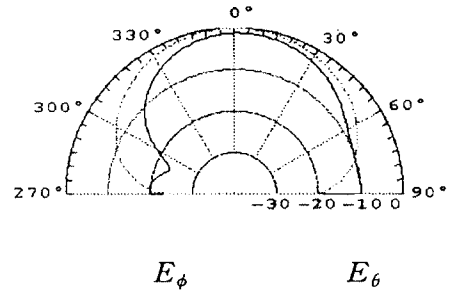


그림 6. 복사패턴 (11.85 GHz)  
Fig. 6 Radiation pattern (11.85 GHz)

### Ⅲ. 헬리컬 어레이 안테나 구성

헬리컬 소자로 배열된 안테나의 구조는 그림 7에 나타난 것처럼 원형평판에 방사형으로 나열된 평면 어레이 형태를 갖는다. 각 헬리컬 소자의 급전은 두 개의 평판으로 이루어진 방사형 도파관 내로 삽입된 길이에 의해 이루어지고 도파관은 중심에 위치한 동축케이블의 내부도체에 의해 여기된다. 방사형 도파관의 높이는 평판의 반지름보다 아주 작게 선택함으로써 도파관 내에 TEM파를 여기시킬 수 있다[10]. 그림 7에서 헬리컬 어레이의 복사전계식은 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \sum_{n=1}^N I_n e^{j(k\rho_n \sin\theta \cos(\phi - \phi_n) - \delta_n)} \quad (14)$$

여기서  $\mathbf{E}_0$ 는 단일 헬리컬 소자의 복사전계이고,  $I_n$ ,  $\delta_n$ 은 각각  $n$  번째 헬리컬 소자의 여기전류의 크기와 위상이며,  $\rho_n$ ,  $\phi_n$ 은 원점으로부터 거리와 방위각이다. 각소자의 전류 및 위상이 동일하다고 가정하면 식 (14)은 다음과 같이 된다.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 I \sum_{n=1}^N e^{jk\rho_n \sin\theta \cos(\phi - \phi_n)} \quad (15)$$

그림 8은 어레이 안테나의 급전구조를 나타낸다. 동축케이블로부터 도파관 내에 여기된 전력이 중심에서 외부로 진행하며 손실이 발생하는데 이 손실된

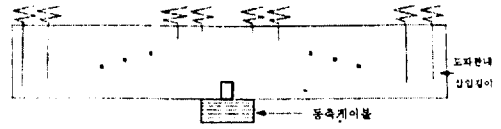


그림 8. 급전구조  
Fig. 8 Feed structure

양을 보상하여 각 헬리컬 소자에 균일하게 공급되어 안테나 개구면 상에서 균일한 전계분포를 형성하도록 하기위해서 도파관 내의 헬리컬 소자의 급전길이를 도파관 중심에서 외부로 갈수록 길게한다. 또한 각 소자의 위상은 어레이면에서 헬리컬 소자의 회전을 통해 동위상으로 할 수 있다.[4, 5]

### Ⅳ. 설계 및 복사특성

여기서는 국내위성 방송 수신용 안테나를 설계 제작하고 복사특성을 측정한다.

#### 4.1 설계목표 및 설계과정

그림 9는 무궁화위성의 방송 서비스 영역이고 표 1은 무궁화 위성의 개별수신의 규격이다.[11, 12] 빔중심 우주에서 서울까지를 서비스 영역으로 할 경우 안

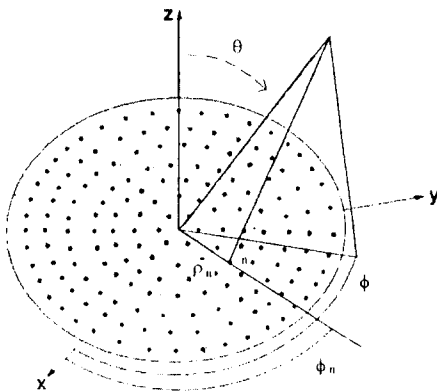


그림 7. 헬리컬 어레이 안테나  
Fig. 7 Helical array antenna

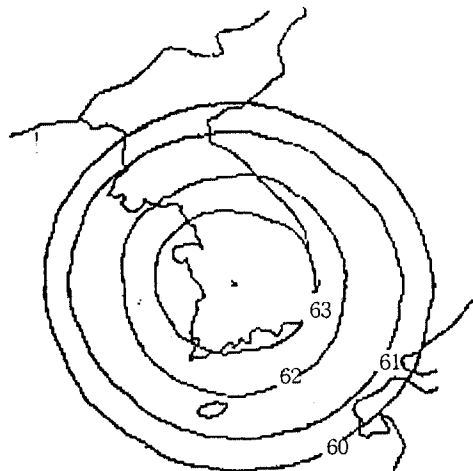


그림 9. EIRP에 의한 Coverage area (무궁화 위성)  
Fig. 9 Coverage area by EIRP (KOREA SAT.)

표 1. 위성방송 수신안테나의 규격 (부궁화 위성)

Table 1. Standard of receiving antenna (KOREA SAT.)

G/T(dB/K)	개별수신				공동수신			
	6				12.6			
EIRP(dBW)	60	61	62	63	60	61	62	63
수신이득(dB)	33.56	31.96	30.96	29.98	40.1	38.99	37.99	36.98

표 2. 설계 목표

Table 2. Design goal

중심주파수	11.85 GHz
이득	30dBi 이상
사이드로브레벨	-17dB 이하
축비	2dB 이하
VSWR	1.3 이하
3dB 빔폭	5° 이하

테나의 이득은 29.98 dB이다. 따라서 이득 30 dB 이상의 안테나를 설계하기 위하여 표 2와 같이 설계목표를 정한다.

11.85 GHz에서 표 2의 이득을 만족하는 안테나의 설계하기 위하여 안테나효율 72 %로 하여 안테나의 크기를 직경 30 cm 하였으며, 결정된 안테나의 크기에서 어레이 간격을 변화시켜 가면서 이론적으로 최대의 이득을 얻을 수 있는 헬리컬 어레이의 원 간격

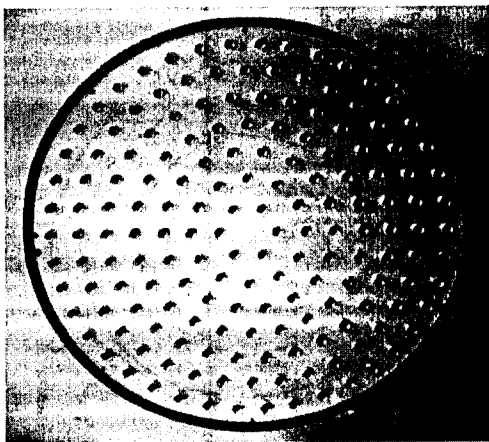


그림 10. 헬리컬 어레이 안테나  
Fig. 10 Helical array antenna

을  $0.787\lambda$ , 동열에서 헬리컬 소자간의 간격을  $0.824\lambda$ 로 하여 총 168개 소자로 구성 하였다. 또한 손실을 줄이기 위하여 각 헬리컬 소자들은 은도금하여 사용했다. 개구면에서 헬리컬 소자가 전계의 균일 분포를 갖도록 도파관 내로 삽입된 각 소자의 삽입 길이를 결정하는데 있어서 개구면의 전계의 크기와 위상을 측정하면서 진계분포가 균일하게 되는 삽입길이를 정하였으며, 중앙에서 외부로 갈수록 3.25mm, 3.25mm, 4.25mm, 4.9mm, 4.9mm, 5.89mm, 6.15mm로 나타났다. 그림 10은 설계제작된 안테나의 외관이다.

4.2 복사특성

그림 11은 11.7~12GHz에서 측정한 반사손실이다. 전대역에 걸쳐 -21 dB (VSWR=1.2) 이하로 나타났으며 표 2의 VSWR 목표치를 만족하고 있다.

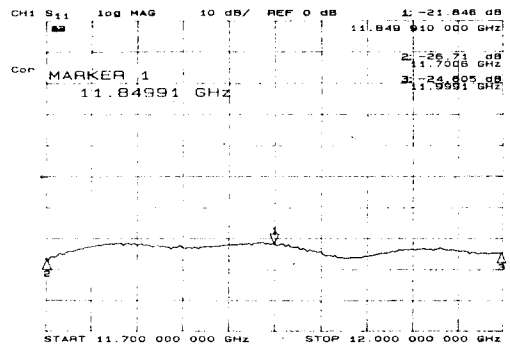


그림 11. 반사손실  
Fig. 11 Return loss

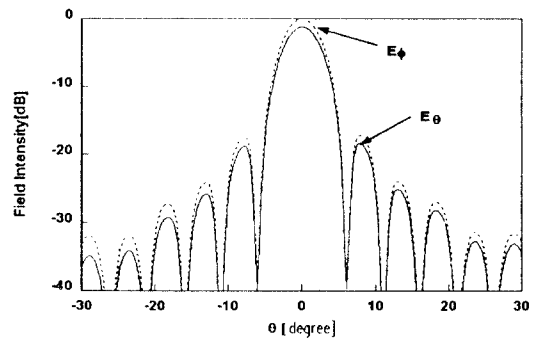
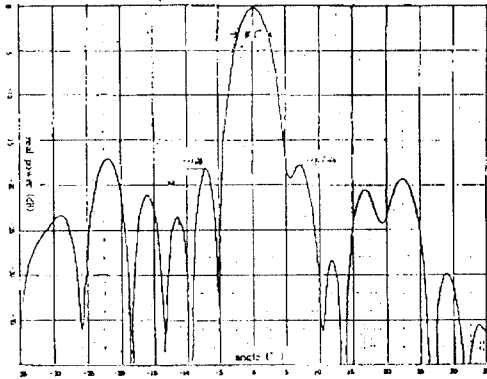
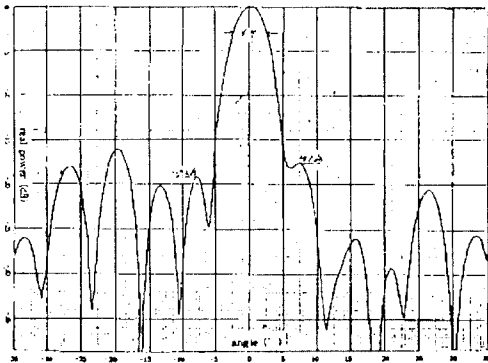


그림 12. 이론적 복사패턴  
Fig. 12 Theoretical Pattern



(a) 수평패턴



(b) 수직패턴

그림 13. 측정된 복사패턴  
Fig. 13 Measured pattern

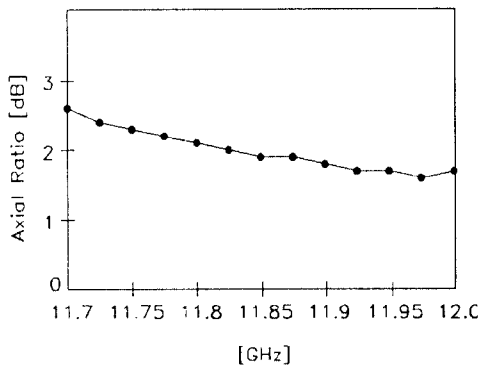


그림 14. 측정된 축비  
Fig. 14 Measured axial ratio

그림 12는 개구면의 전계분포가 균일하다고 가정하고 계산한 복사패턴이고, 그림 13은 측정된 수직, 수평 복사패턴이다. 사이드로브 레벨은 모두  $-17$  dB 이하를 만족했으며 3 dB 빔폭은  $5^\circ$  이하이다. 그림 14는 측정된 축비를 나타내는데 축비의 측정은 안테나의 축방향에서 수직 수평패턴의 차이로 이루어지며 일부 주파수에서 설계목표치 만족시키지 못하고 있다. 또한 11.85GHz에서 측정된 이득은 30.19 dB로 제작된 안테나의 효율은 75.3 %로 나타났다.

### V. 결 론

1995년 무궁화위성이 발사된 이후 현재 위성방송 실험이 이루어지고 있으며, 머지않아 위성방송 시대가 열리게 될 것이다. 이에 발맞추어 본 논문에서는 헬리컬소자를 어레이 소자로 하는 헬리컬 어레이 안테나를 국내지역에 맞는 위성방송 수신용 안테나로 설계하였다. 이를 위해 헬리컬 소자의 복사특성을 모멘트법을 이용하여 해석하고 이로부터 헬리컬 소자의 크기를 결정하였으며, 국내 서비스 영역을 고려하여 안테나를 설계하였다. 또한 안테나를 실제 제작하여 복사특성을 측정하여 국내 위성방송 수신용 안테나로 사용가능함을 보였다.

무주를 중심으로 하여 서울까지를 Coverage Area로 하기위해 표 1과 그림 9를 참고하여 이득 30dBi 이상의 안테나를 설계목표로 하였다. 안테나 크기는 헬리컬 소자가 균일급전되고 효율이 72 %로 가정하여 직경 30 cm로 하였으며, 사이드로브 레벨은 어레이 소자가 균일급전된 경우를 가정하여  $-17$  dB로 선정했다. 헬리컬 소자의 갯수는 최대의 이득을 얻을 수 있는 어레이 간격으로 인해 168 개로 하였다. 또한 균일분포 실현을 위하여 각 헬리컬 소자의 개구면상의 전계의 크기와 위상을 측정하면서 도파관내의 삽입 길이를 조정하였다.

설계 제작된 안테나는 11.85 GHz에서 이득 30.19 dB, 사이드로브 레벨  $-17$  dB 이하, 반사손실은 전주파수대역 (11.7-12 GHz)에서 21 dB 이하로 나타났다. 축비는 일부 주파수를 제외하고 2 dB 이하로 나타났다. 이상으로부터 본 논문에서 설계제작된 안테나는 일부주파수에서의 축비를 제외하고 모든 특성이 설계목표치를 만족하고 있으므로 국내 위성방송 수신

용 안테나로 사용가능하리라고 생각된다. 아울러 향후 이 안테나의 축비를 개선시키는 연구가 수반되어야 할 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

1. 日本放送協會, 放送衛星技術, 日本放送出版協會, ch. 1, 1982.
2. K. Itoh and T. Teshirogi, "Thin Antenna Technology," Trans. IEICE Japan, Vol. J71-B, No. 11, pp. 1217-1227, Nov. 1988.
3. J. R. James and P. S. Hall, Handbook of Microstrip Antennas, IEE, pp. 1112-1123, 1989.
4. H. Nakano, Helical and Spiral Antennas, RSP, Ch. 1, 6, 1987.
5. H. Nakano, H. Takeda, Y. Kitamura, H. Mimaki, and J. Yamauchi, "Low-Profile Helical Array Antenna Fed from a Radial Waveguide," IEEE Trans. AP-40, No. 3, pp. 279-284, March 1992.
6. H. Nakano, N. Asaka, and J. Yamauchi, "Short Helical Antenna Fed from a Waveguide," IEEE Trans. AP-32, No. 8, pp. 836-840, August 1984.
7. H. Nakano, H. Takeda, T. Honma, H. Mimaki, and J. Yamauchi, "Extremely Low-Profile Helix Radiating a Circularly Polarized Wave," IEEE Trans. AP-39, No. 6, pp. 754-757, June 1991.
8. K. K. Mei, "On the Integral Equations of Thin Wire Antennas," IEEE Trans. AP-13, pp. 374-378, May 1965.
9. R. E. Collin, Antennas and Radiowave Propagation, McGraw-Hill, Inc., pp. 31-32, New York, 1985.
10. N. Marcuvitz, Waveguide Handbook, McGraw-Hill, Inc., Ch. 1-2, New York, 1951.
11. 문영환, "무궁화위성의 기술적 특성 및 추진계획", 대한전자공학회지, 제 19 권 10 호, pp. 1-9, 1992년 7월.
12. 양세욱, "무궁화위성 이렇게 추진되고 있다", 한국통신학회지, 제 9 권 3 호, pp. 4-12, 1992년 3월.
13. John D. Kraus, ANTENNAS, McGRAW-HILL, Ch. 7, 1988.



**맹 성 옥(Sung Ouk Maeng) 정회원**  
 1970년 11월 16일생  
 1994년 2월: 단국대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1996년 8월: 단국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1996년 6월~현재: (주)하이게인 안테나 부설 진파통신 연구소 연구원  
 ※주관심분야: Microwave, 안테나 등



**최 학 근(Hak Keun Choi) 정회원**  
 1956년 3월 18일생  
 1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1981년 2월: 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1988년 8월: 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)  
 1991년~현재: 단국대학교 전자공학과 부교수  
 ※주관심분야: 안테나 및 진파전송, Microwave, 위성통신 등