

# DBS受信을 위한 마이크로스트립 다중 슬롯 안테나의 設計

문 상 국<sup>1)</sup>, 梁 圭 植<sup>2)</sup>

## Design of the Microstrip Multi-Slot Antennas for DBS Reception

Sang Kuk Moon, Guy Sik Yang

### Abstract

Currently, the microstrip antennas have been popularly used in the microwave frequency range because of low price, small size, and light weight. A combination of strip conductors and slots arranged along the sides of a microstrip feed can produce circularly polarized radiation. Such antennas with desired polarization can be realized, and they are less sensitive to manufacturing tolerances than microstrip patch antennas.

In this research, we have designed and simulated microstrip slot antenna with center frequency of 11.85GHz and working between 11.7GHz and 12GHz. It is analyzed by using the moment method. Also the proposed multi-slot antennas was composed of microstrip EMC slot antenna.

Simulated results on the input impedance, far field pattern, and axial ratio of the circularly polarized antenna in Ku-band by the proposed method are in good agreement with theory

1)한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정 MICROWAVE 전공

2)한국해양대학교 전자통신공학과 교수

## I. 서론

현대사회의 발전과 더불어 방송의 품질 서비스는 다방면에서 향상되어 왔지만, 여전히 지형이나 건물로 인한 난시청 지역의 문제점은 남아있다.

따라서 각국에서는 자국의 방송위성을 확보하여 방송의 고품질 서비스 및 난시청 지역의 문제점을 해소하고 있다.

1971년 세계 무선통신 주관청회의(WARC-ST)에서 위성방송 업무용 주파수 분배가 이루어진 이후 캐나다-미국 합작으로 통신기술위성(CTS)을 발사하여 12GHz에서 최초로 위성방송 실험이 이루어졌고, 이를 기점으로 하여 서방의 여러 나라들은 자국의 독자적 위성을 확보하여 위성방송 서비스를 실시하기 시작하였다.

국내에서도 1995년과 1996년에 발사된 무궁화 위성(KOREA SAT) 1, 2호를 통한 위성방송 실험이 1996년 7월부터 이루어지고 있다.

위성방송 수신용 안테나로는 파라볼라 안테나 및 오프셋 파라볼라 안테나가 주로 사용되고 있으나, 이들 접시형 안테나는 무겁고 부피가 커서 취급이 용이하지 못하기 때문에 부피가 작고 가벼운 평판형 안테나의 사용에 대한 관심이 높아지고 있다.

평판형 안테나로는 마이크로스트립 패치, 다이폴 혹은 슬롯을 사용한 어레이 안테나 및 헬리컬이나 스파이럴 안테나를 이용한 어레이 안테나가 사용되고 있다.

본 논문에서는 슬롯 안테나를 어레이 소자로 하는 다중 슬롯 안테나를 국내지역에 맞는 DBS(Direct Broadcasting from a Satellite)수신 안테나로 설계하고자 한다.

이를 위하여 슬롯 안테나의 복사특성을 모멘트법을 이용하여 해석하고 이로부터 슬롯 소자의 크기를 결정하고, 서비스 영역을 고려하여 안테나를 설계하였다. 또한 Ensemble 시뮬레이션 프로그램으로 안테나의 복사특성을 구하고 설계목표치 및 수치 계산 결과와도 비교 검토하여 DBS수신용 안테나로 사용가능함을 보이고자 한다.

## II. 원형편파의 발생

원형편파(CP파 : Circular Polarized Wave)를 사용하면 다중 경로파에 의한 페이딩을 경감시킬수 있으므로 주파수 대역내의 진폭편차가 크게 개선된다. 그러므로 대부분의 위성 통신용 안테나는 원형편파의 원리를 이용한다. 이러한 원형편파는 직교하는 두 개의 편파(수직편파, 수평편파)가 같은 진폭을 가지고 90° 위상차를 가지고 급전되면 전계벡터가 시간과 함께 전파축 주위를 원형으로 회전함으로 발생된다.

$E_1 = E_2 = E_0$ ,  $\theta = \pm \pi/2$ 인 원형편파의 조건을 적용하면 다음과 같은 전계페이저 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}\bar{E} &= \hat{x} E_0 e^{-j k_0 z} + \hat{y} E_0 e^{j(\pm \pi/2)} e^{-j k_0 z} \\ &= E_0 (\hat{x} + \hat{y} e^{j(\pm \pi/2)}) e^{-j k_0 z} \\ &= E_0 (\hat{x} \mp j \hat{y}) e^{-j k_0 z}\end{aligned}\quad (1)$$

식(1)로 부터 서로 수직관계를 갖는 두 전계성분의 위상차  $\theta$ 가  $\theta = -\pi/2$  또는  $\theta = +\pi/2$ 에 따라 +z방향으로 본 합성 전계의 정점이 시간의 증가에 따라 시계 방향과 같은 방향을 지시하는 파를 우수원형편파(RHCP :right hand circular polarized wave)라 하며, 시계 방향과 반대 방향을 지시하는 파를 좌수원형편파(LHCP :left hand circular polarized wave)라 한다.

## III 마이크로스트립 슬롯 안테나의 이론적 해석

마이크로스트립 슬롯 안테나는 접지면상에 설계된 슬롯과 이에 수직으로 설계된 마이크로스트립 전도체로 구성된다. 이때 마이크로스트립 선로 즉, 전송선로는 비접촉 급전방식으로 전자기적 결합(electromagnetic coupling)의 형식으로 급전되어 방사체인 슬롯을 여기시킨다.

이 구조체 안테나는 여러 가지 장점이 있다. 즉, 양방향성과 단방향성의 방사패턴을 발생시킬 수 있고 또한 패치와 슬롯을 적절히 이용하므로 설계된 마이크로스트립 안테나의 방사각도를 증가시킬 수 있으며, 원하는 편파의 안테나를 설계

할 수 있다.

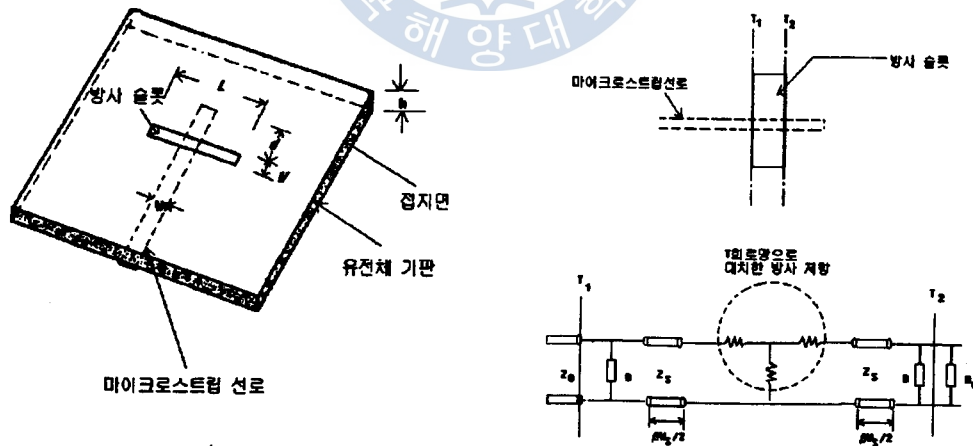
반면에 접지면 혹은 외부 전도체 평판 사이에서 발생하는 서로 다른 포텐셜로 인해 불필요한 모드가 발생하는 경우가 있다.

직사각형 슬롯 안테나는 슬롯의 길이에 대한 폭의 비와 급전점의 위치로서 크게 두 가지로 분류된다.

본 논문에서는 제작 허용도와 특성을 고려하여 중앙-급전을 이용한 광-슬롯을 방사체로서 사용한다.

### 3.1 중앙-급전 광-슬롯 안테나의 구조와 등가 회로

전송 선로의 특성 임피던스  $Z_1$ 와 전자적 길이  $\beta W$ ,를 고려한 등가 회로에서 방사 저항은 슬롯의 특성 임피던스  $Z_s$ 에 정합되어야 한다. 그리고 평형 서셉턴스  $B$ 는 가장자리에서의 불연속성을 고려한 것이다. 또한 입력에 대하여 회로망이 정합될 때 출력은 순수 서셉턴스  $B_0$ 로 중단되고, 길이  $l$ 인 개방 마이크로스트립 선로로 표현된다.  $\beta W, \ll \pi$ 이고, 길이가 공진시에는  $B_0 \cong -2B$ 이다.



(a) 광-슬롯 안테나의 구조

(b) 광-슬롯 안테나의 등가 회로

[그림 1] 중앙-급전 광-슬롯 안테나의 구조와 등가 회로

[Fig. 1] Configuration and Equivalent circuit for a Center-fed Wide-slot Antenna

## 3.2 방사 패턴

슬롯 안테나의 방사패턴은 벡터 전기 포텐셜 방법을 이용하여 구할 수 있으며, 이 벡터 전기 포텐셜 방법으로 슬롯을 가로지르는 전계를 정확하게 계산할 수 있다.

이때 원거리 필드 요소는

$$E_{\theta} = \frac{-jk_0}{4\pi} \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \int_{-W_s/2}^{W_s/2} \int_{-L/2}^{L/2} [-M_x \sin \phi + M_y \cos \phi] \cdot e^{-jk_0(x \sin \theta \cos \phi + y \sin \theta \sin \phi)} dx dy \quad (2)$$

$$E_{\phi} = \frac{jk_0}{4\pi} \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \cos \theta \int_{-W_s/2}^{W_s/2} \int_{-L/2}^{L/2} [M_x \cos \phi + M_y \sin \phi] \cdot e^{-jk_0(x \sin \theta \cos \phi + y \sin \theta \sin \phi)} dx dy \quad (3)$$

이며  $\bar{M}(x, y) = M_x \hat{x} + M_y \hat{y}$ 은 자기 표면 전류로서 슬롯의 전계  $\bar{E}(x, y)$ 로 표현된다.

$$\bar{M}(x, y) = \bar{E}(x, y) \times \hat{n} = E_y \hat{x} + E_x \hat{y} \quad (4)$$

기본 모드에 근접시키기 위해 슬롯의 폭을 자유공간 파장보다 아주 작게 할 때, 즉  $W_s \ll \lambda_0$  일 때 슬롯을 가로지르는 전계는 상수의 값을 가진다. 여기서  $E_x = 0$ ,  $E_y = E_0$  라 가정하면 식(2)와 (3)는 다음과 같이 간소화 된다.

$$E_{\theta} = \frac{-jk_0 E_0 L W_s}{4\pi} \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \frac{\sin X}{X} \sin \phi \quad (5)$$

$$E_{\phi} = \frac{jk_0 E_0 L W_s}{4\pi} \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \frac{\sin X}{X} \cos \phi \cos \theta \quad (6)$$

여기서  $X = \frac{k_0 L}{2} \sin \theta \cos \phi$ 이다.

E 평면 ( $\phi = \pi/2$ )과 H 평면 ( $\phi = 0$ )의 방사패턴은  $E_\theta$ 와  $E_\phi$ 를 이용하여 구할 수 있다.

$$R_E(\theta) = |E_\theta|^2 + |E_\phi|^2 = \left( \frac{k_0 E_0 L W_s}{4\pi r} \right)^2 \quad (7)$$

$$R_H(\theta) = \left| \frac{k_0 E_0 L W_s}{4\pi r} \frac{\sin\left(\frac{k_0 L}{2} \sin \theta\right)}{\left(\frac{k_0 L}{2} \sin \theta\right)} \cos \theta \right|^2 \quad (8)$$

이 방정식은 안테나의 접지면이 무한하고 또한 슬롯의 폭 방향으로만(y축 방향) 전계가 형성되고 슬롯의 길이로는 전계가 형성되지 않는다는 가정하에서 유도되었다.

### 3.3 공진 길이

일차 공진이 일어나는 반 파장 슬롯 안테나의 공진 길이는 일반적으로 다음과 같은 값을 가진다.

$$L = \frac{\lambda_0}{2} - 2\Delta l \quad (9)$$

여기서  $2\Delta l$ 은 슬롯의 가장자리 둘레에 분포하는 전류에 기인한 확장 슬롯의 길이이다.

본 논문에서는 보다 확실한 슬롯의 공진 길이를 얻기 위하여 David M. Pozar와 그의 동료들이 제시한  $W/L = 0.02$ 일 때 슬롯 안테나의 공진 길이  $0.48A \lambda_0$ 의 식을 이용한다.

여기서 계수 A는 correction factor로서 다음과 같이 주어진다.

$$A = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_e(1+W/L)}} \quad (10)$$

단, 유효 유전율은  $\epsilon_e = (1 + \epsilon_r)/2$  이다.

## IV 실험 및 고찰

여기서는 Ensemble 시뮬레이션 프로그램으로 안테나의 복사특성을 측정하고 설계 목표치 및 수치계산결과와도 비교검토하여 DBS 수신용 안테나로 사용가능함을 보이고자 한다.

### 4.1 시뮬레이션

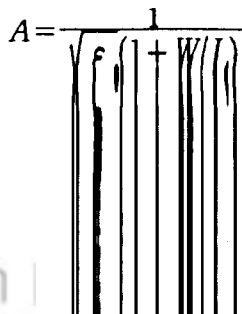
앞에서 설명된 분석을 기초로 하여 반 무한(Semi-Infinite) 기판상의 인쇄형 안테나 소자와 배열에 대한 수치계산을 하였다.

안테나 설계를 위한 기판은  $\epsilon_r = 3.2$ , 유전체 두께 31[mil](0.7874mm), 동박 두께 1[oz](0.034mm), 도전율  $\sigma = 5.813 \times 10^7$  [s/mm], 손실  $\tan \delta = 0.0025$ 인 TACONIC. TLC 마이크로파용 기판을 사용하였다.

슬롯 안테나를 설계하기 위한 제원은 다이폴 안테나의 제원으로 부터 유도하였으며, 설계 중심 주파수는 11.85[GHz]로 하였다.

주어진 제원에 의해 구해진 유효 유전율은 2.1이었고  $W/L = 0.02$ 일 때 슬롯 안테나 공진 길이는  $0.48A \lambda_0$  이었다. 여기서 계수 A는 correction factor로서 다음과 같이 주어진다.

$$\epsilon_e = \frac{1 + \epsilon_r}{2}$$



$$A = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_e(1+W/L)}} \quad (10)$$

단, 유효 유전율은  $\epsilon_e = (1 + \epsilon_r)/2$  이다.

## IV 실험 및 고찰

여기서는 Ensemble 시뮬레이션 프로그램으로 안테나의 복사특성을 측정하고 설계목표치 및 수치계산결과와도 비교검토하여 DBS 수신용 안테나로 사용가능함을 보이고자 한다.

### 4.1 시뮬레이션

앞에서 설명된 분석을 기초로 하여 반 무한(Semi-Infinite) 기판상의 인쇄형 안테나 소자와 배열에 대한 수치계산을 하였다.

안테나 설계를 위한 기판은  $\epsilon_r = 3.2$ , 유전체 두께 31[mil](0.7874mm), 동박 두께 1[oz](0.034mm), 도전율  $\sigma = 5.813 \times 10^7$ [s/mm], 손실  $\tan \delta = 0.0025$ 인 TACONIC. TLC 마이크로파용 기판을 사용하였다.

슬롯 안테나를 설계하기 위한 제원은 다이폴 안테나의 제원으로 부터 유도하였으며, 설계 중심 주파수는 11.85[GHz]로 하였다.

주어진 제원에 의해 구해진 유효 유전율은 2.1이었고  $W/L=0.02$ 일 때 슬롯 안테나공진 길이는  $0.48\lambda_0$  이었다. 여기서 계수 A는 correction factor로서 다음과 같이 주어진다.

$$\epsilon_e = \frac{1 + \epsilon_r}{2}$$

$$A = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_e(1+W/L)}}$$

여기서 A의 값이 0.6765이므로,  $L = 0.325 \lambda_0 = 8.23$ 이다. 이 값을 관내 파장으로 환산하면  $L = 0.47 \lambda_g$ 로서 식(9)에 제시되었던 슬롯의 가장자리 둘레에 분포하는 전류에 기인한 확장 슬롯의 길이에 대한 보상  $2\Delta l$ 이  $0.03 \lambda_g$ 임을 알 수



있다.

무궁화위성의 방송을 고려하여 빔중심 무주에서 서울까지를 서비스 영역으로 할 경우 안테나의 이득은 30dB가 필요하다. 따라서 이득 30dB 이상의 안테나를 설계하기 위하여 표 1와 같이 설계목표를 정하였다.

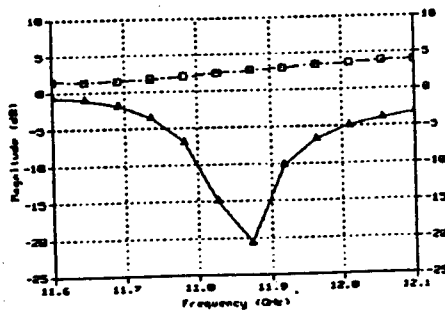
중심주파수	11.85GHz
이득	30dB 이상
부엽 레벨	-17dB 이하
축비	3dB 이하
VSWR	1.5 이하
3dB 빔폭	5° 이하

[표 1] 설계목표

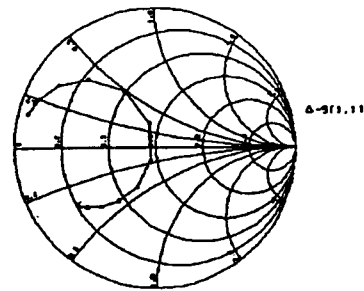
[Table 1] Design goal

이와 같은 특성을 만족시키기 위한 안테나를 설계하기 위해 우선 단일 소자의 슬롯 안테나를 설계하였으며 시뮬레이션 상의 특성 패턴은 그림 2와 같다.

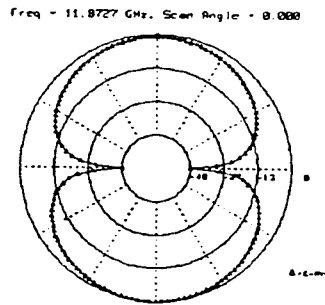
또한 이 단일 슬롯 안테나를 이용하여 원형편파를 발생시키기 위한 다중 슬롯 안테나의 시뮬레이션 특성 패턴은 그림 3과 같다.



(a) 이득과 반사계수



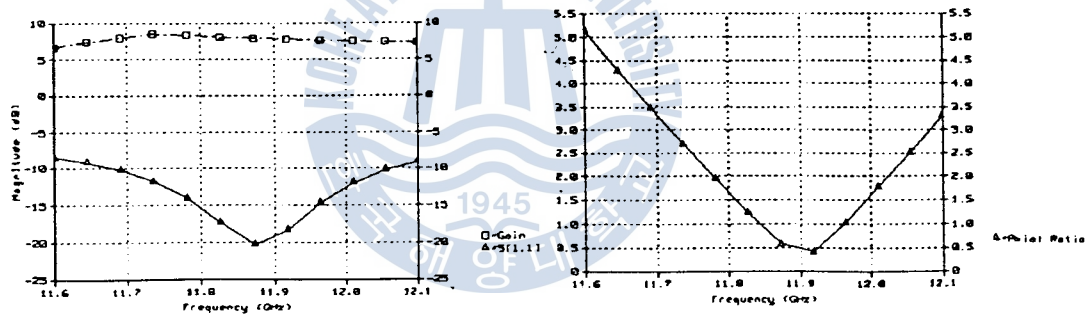
(b) 스미스 차트



(c)방사 패턴

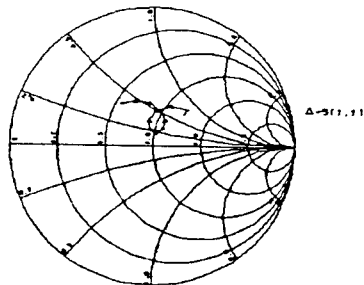
[그림 2] 중앙-급전 방식 단일 슬롯 안테나의 특성 패턴

[Fig. 2] Characteristics patterns for a Center-fed type single slot Antenna

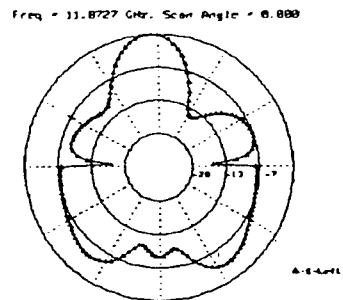


(a)이득과 반사계수

(b)축비



(c)스미스 차트



(d)방사 패턴

[그림 3] 중앙-급전 방식 다중 슬롯 안테나의 특성 패턴

[Fig. 3] Characteristics patterns for a Center-fed type multi slot Antennas

#### 4.2 결과 고찰

단일 슬롯 안테나에서 만족스러운 특성을 확인할 수 있었으며, 이러한 실험 결과를 토대로 원형편파 특성을 얻을 수 있는 다중 슬롯 안테나를 설계하였으며, 이 경우 일반적인 배열 안테나와 마찬가지로 단일 슬롯 안테나와 비교하여 대역폭이 아주 넓어짐과 아울러 이득이 증가함을 확인할 수 있었다. 이러한 배열을 더욱 많이 하였을 때에는 더욱 대역폭이 넓어지고 이득 또한 더욱 크지게 될것이라 생각된다.

#### 참고문헌

- [1] I. J. Bahl and P. Bhartia, *Microstrip Antennas*, Artech House, 1980.
- [2] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, Peter Peregrinus Ltd, 1989.
- [3] R. K. Hoffman, *Handbook of Microwave Integrated Circuits*, Artech House, 1987.
- [4] D. M. Pozar, M. Kominami and D. H. Schaubert, "Dipole and Slot Elements and Array on Semi-Infinite Substrates", *IEEE Trans. AP-33*, No. 6, pp. 600-607, June 1985.