

# 무궁화 3호 위성방송 수신용 안테나에 관한 연구

## A Study on the Array Antenna for Koreasat III Satellite Broadcasting Receiver

신용주\*\*\*, 강기조\*\*, 이병제\*, 이종철\*, 김남영\*, 김종헌\*, 박면주\*

(광운대학교 전파공학과 석사과정\*\*\*, 박사과정\*\*, 교수\*)

### 목 차

- |   |  |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <p>II. 본론</p> <p>1. 위성방송수신을 위한 설계규격</p> <p>2. Radial Waveguide의 특성 및 장점</p> <p>3. RLSA(radial line slot array) 안테나</p> | <p>4. RLHA(radial line helical array) 안테나</p> <p>5. RLPA(radial line patch array) 안테나</p> <p>6. 제작 및 측정결과</p> <p>III. 결론</p> <p>IV. 참고문헌</p> |
|---|--|

## I. 서론

위성 방송을 효과적으로 수신하기 위해서는 높은 이득과 편파특성을 갖는 고성능의 안테나가 필요하다. 이러한 성능을 충족하기 위하여 parabola 안테나가 사용되어 왔으나 부피가 크고, 무거우며, 기상에게 크게 영향을 받는 등 여러 가지 단점을 가지고 있다. 최근 이에 대한 대안으로 개발된 것이 작고, 가벼운 마이크로스트립 배열 안테나이다[1]. 그러나 여러 층의 기판 또는 필름을 사용하는 마이크로스트립 배열 급전구조로 인한 유전체 손실과 급전선 손실, 표면파 손실, 임피던스 변환회로의 반사 손실 등 예기치 못했던 많은 손실 등이 발생하였다[2]. 이것을 보완하기 위해 radial waveguide를 사용하면 배열 급전이 공기를 매질로 하는 도파관을 통해서 급전되므로 위에서 언급한 여러 가지 손실을 현저히 줄일 수 있게 된다. 본 논문에서는 이러한 radial waveguide를 이용하여 각각 slot, patch, helical형태의 안테나를 배열함으로써 무궁화 3호 위성을 수신하기 위한 설계규격을 만족하는 안테나를 설계, 제작하여 각각의 설계방법과 결과를 비교하였다.

## II. 본론

### 1. 위성방송수신을 위한 설계규격

〈표 1〉 무궁화 3호 위성의 기술특성

주파수대역	11.7 ~ 12.7 GHz
EIRP	59.4 dBW
편파	LHCP
궤도	동경 116° 고도 36,000Km
필요한 C/N dB	11 dB이상
필요한 안테나 이득	27 dBic

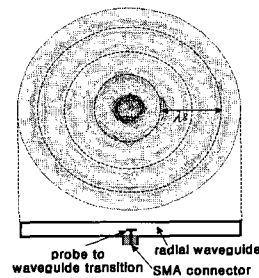
수신안테나의 최소이득을 구하면

$$G_r(dB) = C/N(dB) - EIRP(dBW) + FSL(dB) + 10 \log T_{sys} + 10 \log B + 10 \log k \quad (1)$$

식 (1)을 위성의 기술특성에 맞게 계산하고 기상에 의한 마진(4dB)을 고려하여 안정적으로 서울지역에서 무궁화 3호를 통해 위성방송을 수신하기 위해서는 안테나의 이득이 27dBic 이상을 만족하여야 한다[3].

### 2. radial waveguide의 특성 및 장점

〈그림 1〉과 같이 두 개의 평행한 금속판 사이에 line source가 인가되었을 경우 중앙으로부터 전자파가 바깥쪽으로 전파되게 된다. 이때 전계는 수직성분만을 갖고 있으며 중심으로부터 같은 거리에 위치하는  $\phi$ 방향에 대해서는 같은 진폭과 위상을 갖게 된다. 그러나  $\rho$  방향에 대해서는 중심으로부터 거리에 따라 진폭과 위상이 변하게 된다. [4].

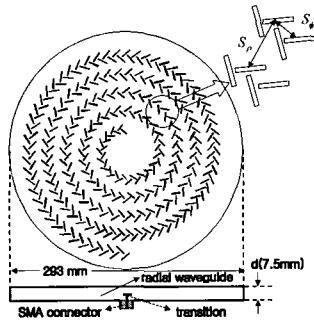


〈그림 1〉 Radial Waveguide의 정면도와 측면도

Radial waveguide에서는 공기를 매질로 하는 도파관을 통하여 전력이 전달되기 때문에 유전체 손실, 저항성 손실 등이 최소화된다. 그러나 병렬 급전시 급

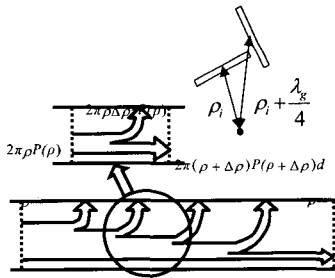
전선의 길이만 동일하게 해주면 동일 전력과 동일 위상을 각각의 단일 안테나에 급전할 수 있는 microstrip 배열과는 다르게 radial waveguide를 이용한 급전시에는 중심으로부터의 거리에 따라 진폭과 위상이 다르기 때문에 각각의 단일 안테나에 동일 전력과 동일 위상이 인가되도록 조절해줘야 한다. 이것은 마이크로스트립 배열 급전에서 흔히 볼 수 있는 병렬급전과는 다른 형태로써 일종의 직렬급전형태의 sequential rotation 이론을 적용할 수 있게 된다. 각각의 단일 안테나는 순차적으로 회전되게 놓여지고 회전량 만큼의 위상차를 갖도록 놓여져야 한다. 즉 radial waveguide 중앙으로부터 급전된 전자파가 각각의 단일 안테나에서 진폭과 위상이 동일하도록 설계해야만 마이크로스트립의 병렬급전과 동일한 효과가 발생하여 전체 배열 안테나의 빔이 합성되게 된다.

### 3. RLSA(radial line slot array) 안테나



〈그림 2〉 RLSA 안테나의 정면도와 측면도

〈그림 2〉와 같은 RLSA의 구조에서 중앙의 SMA 커넥터에 의해 전자파가 도파관에 방사상으로 전달되게 된다. 이때 전자파는 두 개 도체판 사이를 통과하는데 상측 도체판의 한 쌍의 slot에 의해 원형편파가 발생된다. 즉 중심으로부터 임의의 거리  $\rho_i$  떨어진 한 개의 slot과  $\rho_i + \lambda_g/4$  떨어진 다음 slot이 동일하게 전자파가 결합되면 원형편파가 slot 쌍에 의해 형성된다.



〈그림 3〉 내부 도파관의 근사모델

〈그림 3〉과 같이 여러 개의 slot을 거치면서 각각의 slot 쌍은 일정량이 결합되고 남은 양은 도파관을 따라

진행하게 된다. 각각의 slot 쌍의 결합량이 일정하도록 하기 위하여 중심으로부터 거리에 따라 slot의 길이를 조절해야 한다. 또한 각각의 slot 쌍이 동위상이 되도록 slot의 간격을 조절해야 한다. 즉 sequential rotation 기법을 적용하여 중심으로부터 거리에 따라 slot을 회전시켜서 전체 slot 쌍이 동위상이 되도록 spiral 형태로 배치되게 된다. 또한 slot쌍의 결합량이 동일하도록 하기 위해 각각의 slot이 중심으로부터 45°회전하게 된다. 이를 위해 근사모델을 가정하고 위치에 따른 slot의 길이와 간격을 명확히 구해야 마이크로스트립 라인을 이용한 병렬급전의 동일 진폭, 동일 위상의 급전선이 형성되게 된다[5]. 〈그림 2〉와 같이 전자파의 근사모델을 가정하면

$$2\pi\rho P(\rho)d - 2\pi(\rho + \Delta\rho)P(\rho + \Delta\rho)d = 2\pi\rho\Delta\rho\tau P(\rho) \quad (2)$$

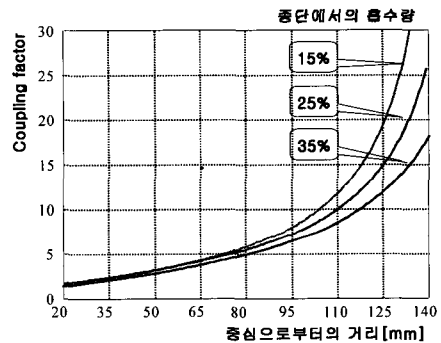
여기서  $\rho$ 는 중심으로부터 거리,  $P(\rho)$ 는  $\rho$ 위치에서의 내부전력밀도,  $\tau$ 는 내부전력이 slot에 대하여 결합하는 비율,  $d$ 는 도파관의 높이이다.  $\tau/2d$ 를 결합계수  $\alpha$ 로 정의하고  $\Delta\rho \rightarrow 0$ 이고 개구전력 밀도 분포를 일정하게 하면

$$\frac{d}{d\rho}[\rho P(\rho)] = -2\alpha(\rho)\rho P(\rho) = -2P_0\rho \quad (3)$$

여기서 일정개구분포를 위한 결합계수  $\alpha$ 를 구하면

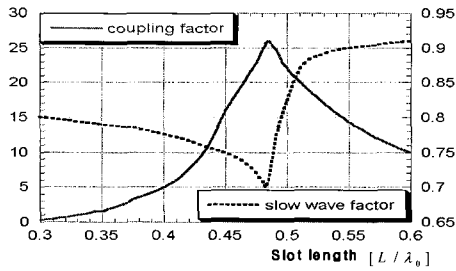
$$\alpha(\rho) = \frac{\rho}{(K - \rho^2)}, \quad K = \frac{\rho_{\max}^2 - t\rho_{\min}^2}{1 - t} \quad (4)$$

여기서  $t$ 는 slot에 의해 결합되지 못하고 도파관의 종단에서 흡수량으로 식 (4)를 그래프로 나타내면 〈그림 4〉와 같은 결과를 얻을 수 있다. 이때 도파관의 크기와 단일 안테나의 종류에 따라 결합되지 못하고 도파관의 종단에서 흡수되는 양을 결정할 수 있다.



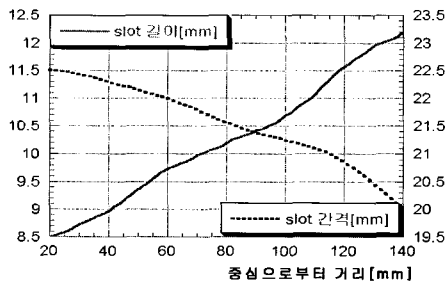
〈그림 4〉 일정개구분포를 위한 결합계수의 변화

〈그림 5〉는 근사모델을 통해 slot 안테나에서 slot의 길이에 따른 결합계수와 지파율(slow wave factor)을 구한 그래프로써 slot의 결합을 통해 얻을 수 있는 최대 결합계수가 26이고 slot의 길이에 따른 slow wave factor가 0.7에서 0.9까지 변함을 알 수 있다.



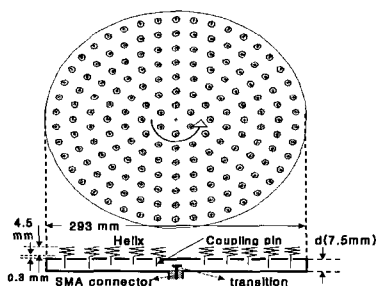
〈그림 5〉 slot의 길이에 따른 결합계수와 지파율의 변화

따라서 〈그림 4〉로부터 지름 293mm의 도파관에서 방사되지 못하고 종단으로 흡수되는 양을 25%로 결정하고 설계하였다. 또한 전자파가 도파관을 통과하면서 빛의 속도보다 느려지게 되는데 이것을 slow wave factor(지파율)라고 하며 자유공간 파장에 대한 관내파장의 비로써 정의한다. 이것은 도파관의 높이, slot의 위치와 길이에 따라 관내파장이 변하게 되는데 일정개구분포를 형성하기 위해서는 관내파장의 변화에 따라 slot의 간격( $S_p$ )을 변화해야 한다[5]. 〈그림 4와 5〉에 의해 slot을 배열할 경우 일정개구분포가 형성되고 전체 slot이 동위상으로 방사되고자 할때 중심으로부터 거리에 따른 slot의 길이와 slot 사이의 간격( $S_p$ )를 〈그림 6〉과 같이 구할 수 있게 된다.



〈그림 6〉 중심으로부터 거리에 따른 slot의 길이와 간격

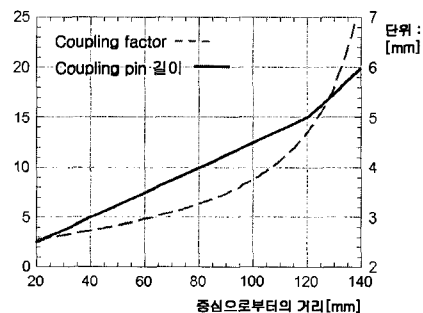
#### 4. RLHA(radial line helical array) 안테나



〈그림 7〉 RLHA 안테나의 정면도와 측면도

〈그림 7〉은 지금까지의 RLHA 안테나와 같이 radial waveguide를 이용하여 배열 급전하지만 slot

대신에 axial mode 헬리컬 안테나를 통하여 전자파가 방사되도록 하였다. 헬리컬은 방사패턴에 따라 크게 normal mode와 axial mode로 나뉘어 지는데 본 논문에서는 피치각  $\alpha=4^\circ$ 이며 한 turn의 원주의 길이가 25mm( $1\lambda_0$ ), turn당 간격은 1.5mm( $0.06\lambda_0$ ), 3turn, 도파관의 상측부의 접지면에 의한 영상이론을 적용하여 12GHz에서 LHCP axial mode의 단일 안테나의 이득이 7dBic가 나오도록 설계하였다. 또한 도파관으로부터 helical과 연결된 coupling pin에 의해 전자파가 결합되도록 하였고 helical 사이의 간격은 원형 평면 array factor를 고려하여  $0.8\lambda_0$ (20mm)로 결정하였다. 그러나  $0.8\lambda_0$ 의 배열 간격에서 수직 방향으로 주빔이 모아지지만 이것이 도파관내에서의  $\lambda_g$ 와 동일하지 않기 때문에 각각의 helical은 동위상으로 방사되지 않게 된다. 이것은 곧 주빔이 모아지지 않게 되는 원인이 된다. 따라서 helical 배열에서는 helical의 회전을 통하여 전체 helical이 동위상이 되도록 설계한다. 즉 sequential rotation 방법에 의해 중심으로부터 거리에 따른 위상의 변화에 따라 helical을 회전함으로써 전체 배열 안테나가 동위상이 되도록 한다[6]. 결합핀에 의한 slow wave factor는 slot 결합에서의 값과 다르게  $0.96(\lambda_g=24\text{mm})$ 의 값을 얻을 수 있었다. 즉 결합핀에 의한 전자파의 전파속도 감소가 아주 적다는 것을 의미한다. 다음으로 동일 진폭으로 방사되게 하기 위하여 결합핀의 길이를 조절해야 한다. 〈그림 4〉에 의해 지름 293mm에서의 일정개구분포를 위한 결합계수를 결정하고 거리에 따른 배열 개수와 결합핀의 길이에 따른 결합량을 simulation을 통해 구해서 결합핀의 길이를 〈그림 8〉과 같이 결정할 수 있다.

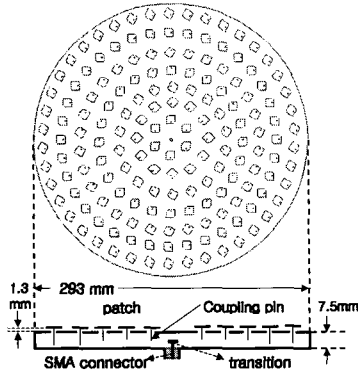


〈그림 8〉 결합계수에 따른 결합핀의 설계결과

#### 5. RLPA(radial line patch array) 안테나

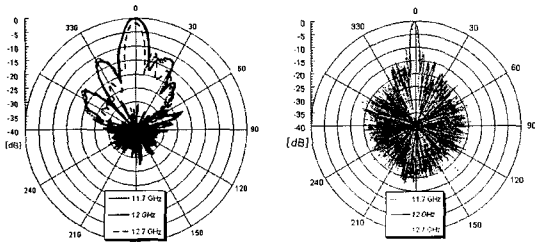
〈그림 9〉는 마찬가지로 RLHA 안테나와 같이 radial waveguide를 이용하고 동일한 배열간격과 〈그림 8〉과 같이 동일한 길이의 결합핀을 사용하여 〈그림 7〉과 동일하게 patch를 회전함으로써 동위상을 구현한다. 다

른 점은 helical 대신에 원형편과 patch를 사용한다는 것이다. patch의 길이는 10×10mm이며 LHCP가 나오도록 patch의 대각선부분을 2.3mm씩 삼각형모양으로 제거하여 설계하였다. 높이 1.3mm의 form을 사용하여 7dBi의 단일 patch 안테나를  $\phi$ 293mm에 배열하였다.



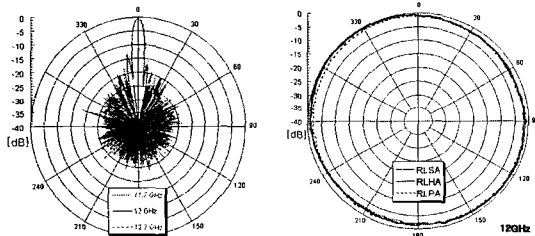
〈그림 9〉 RLPA 안테나의 정면도와 측면도

## 6. 제작 및 측정결과



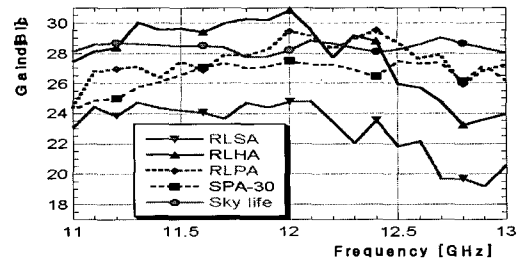
〈그림 10〉 RLSA & RLHA 안테나의 방사패턴

〈그림 10〉은 지름 293mm 크기의 RLSA와 RLHA 안테나 방사패턴으로 HPBW가 8.63°와 4.48°의 결과를 얻을 수 있었다.



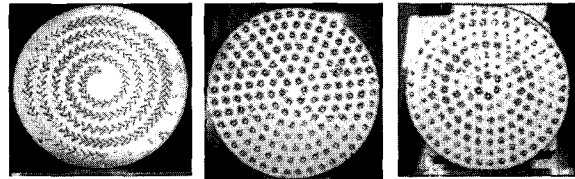
〈그림 11〉 RLPA 안테나의 방사패턴과 RLHA 안테나 축비

〈그림 11〉은 HPBW 5.18°로 측정된 RLPA 안테나 방사패턴과 Radial waveguide를 이용한 3종류의 안테나의 축비를 12GHz에서 측정된 결과로써 3dB 이하의 안정된 값을 얻을 수 있었다.



〈그림 12〉 측정된 안테나의 이득

〈그림 12〉는 지금까지 설계한 안테나와 기존 상용화된 안테나와의 이득을 측정하여 비교한 그래프이다. SPA-30은 300×300mm의 마이크로스트립 배열안테나이고 Sky life는 470×530mm의 접시형 안테나이다. 같은 크기에서는 RLHA 안테나가 가장 높은 이득인 30.84 dBic를 얻을 수 있었지만 helical을 회전함에 의해 주파수에 따라 이득이 일정하게 분포하지 못하는 현상이 발생되었다. SPA-30과 RLPA를 비교하면 비슷한 면적에서 같은 patch를 사용함에도 RLPA 안테나가 더 높은 이득을 나타내었다.



〈그림 13〉 RLSA 안테나 실물도

〈그림 14〉 RLHA 안테나 실물도

〈그림 15〉 RLPA 안테나 실물도

## III. 결론

본 논문에서는 무궁화 3호 위성을 수신하기 위한 3종류의 안테나를 설계, 제작하였다. 각각 293mm의 radial waveguide에 RLSA, RLHA, RLPA 안테나를 제작하여 12GHz에서 24.79 dBic, 30.84 dBic, 29.45 dBic 이득을 얻을 수 있었다. 제작한 3종류의 안테나를 기존 Skylife의 접시형 안테나와 SPA-30의 microstrip 안테나와 비교하였을 경우 더 작은 크기에서 더 향상된 성능을 나타내었다. 대량생산시 더 작은 크기로 더 고성능의 위성방송 수신용 안테나를 실내용으로 사용할 수 있을 것으로 보인다.

## 참고문헌

1. K. Ito, K. Ohmaru, and Y. Konishi, "Planar antennas for satellite reception," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol.34, no.4, pp.457-464, Dec.1988

2. D. Treves, "A study of microstrip array antennas with the feed network," *IEEE Trans. Antenna and Propagat.*, vol. 37, no. 4, pp.426-434, April 1989
3. R. Freeman, Radio System Design for Telecommunications, *John Wiley & Sons*, Ch. 6, pp.315-345
4. N. Marcuvitz, *Waveguide Handbook*, Ch. 2, pp.89-96
5. M. Takahashi, and M. Ando, "A Slot Design for Uniform Aperture Field Distribution in Single-Layered Radial Line Slot Antennas," *IEEE Trans. Antenna and Propagat.*, vol. 39, no. 7, pp.954-959, July 1991
6. H. Nakano, H. Takeda, H. Mimaki, and J. Yamauchi, "Low-Profile Helical Array Antenna Fed from a Radial Waveguide", *IEEE Trans. Antenna and Propagat.*, vol. 40, no. 3, pp.279-284, 1992.