

# 단일 도파관 급전된 캐비티 장착 서브어레이를 이용한 고효율 슬롯 배열 안테나

## High Efficiency Slot Array Based on a Single Waveguide-Fed Cavity Backed Sub-Array

정강재 · 이학용 · 박면주 · 이병제

Kangjae Jung · Hak-Yong Lee · Myun-Joo Park · Byungje Lee

### 요 약

본 논문에서는 무궁화 3호 위성의 방송수신용 안테나를 설계 및 제작하였는데, 기존의 방송수신용 안테나보다 넓은 수신영역을 가지는 고이득 안테나를 제작하는데 중점을 두었다. 본 안테나는 급전 라인의 손실을 줄이기 위하여 급전 라인을 도파관 구조로 설계하였다. 또한 방사효율을 높이고 급전 구조를 간단히 하기 위하여 cavity backed slot array 형태의 방사구조를 제안하였다. 슬롯 배열 안테나의 최대 이득은 11.7 GHz~12.75 GHz 대역에서 33 dBi 이상을 얻을 수 있었다. 임피던스 대역폭 또한 VSWR 2:1에서 13 %로 설계사양을 만족시켰다.

### Abstract

The antenna array for receiving satellite broadcasting of Koreasat III is proposed. A cavity-backed slot antenna array is proposed to reduce feed line loss, increase the radiation efficiency, and make the feed network simple. A sub-array consists of  $2 \times 4$  slot elements backed by a single cavity. By proper choice of dimensions it is shown that the proposed antenna has characteristics of the high radiation efficiency and the broad frequency bandwidth. Antenna characteristics for the array antenna with 256 elements are measured in Ku-band. A single cavity backed-sub-array has the gain of 18 dBi. The gain of the total antenna array(256 elements) is over 33 dBi.

Key words : Slot, Array Antenna, Cavity-Backed Antenna, Antenna For Receiving Satellite Broadcasting, Fed-Waveguide

### I. 서 론

위성방송은 적도 상공 약 3만 6천 km 궤도상에 있는 정지위성 즉, 지구에서 쏘아 올린 지구상의 무선통신중계를 위한 인공위성을 통하여 텔레비전 방송 등을 행하는 것을 말한다.

본 논문에서는 무궁화 3호 위성의 방송 수신 영역이 국내뿐만 아니라 중국 동부나 연변까지 수신할 수 있는 위성안테나를 설계 및 제작하였다. 보다 넓은 수신 범위를 갖기 위하여 고이득의 수신 안테나

가 요구되는데 위성방송 수신 범위가 국내일 경우 수신안테나의 이득이 최소 23 dBic인데 비해 중국 동부나 연변을 포함하려면 약 33 dBi(선형 편파) 이상이 되어야 한다.

기존의 상용 위성 안테나로 파라볼릭 안테나와 마이크로스트립 배열 안테나가 있는데, 파라볼릭 안테나는 부피가 커서 다루기가 힘들고, 무겁고, 눈, 비, 바람 등 외부환경에 대한 영향을 많이 받는다. 높은 주파수에서도 손실이 작은 유전체 재료가 개발된 후에 유전체 기판을 이용한 마이크로스트립 패치 어레이

광운대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Kwangwoon University)

· 논문 번호 : 20040709-085

· 수정완료일자 : 2004년 11월 15일

표 1. 10 GHz에서 마이크로스트립 배열 안테나의 이득계산 및 파라볼릭 안테나의 이득 비교  
Table 1. A calculated gain of microstrip array antenna at 10 GHz and comparison with gain of parabolic antenna.

안테나 개수	16	64	256	1024
급전망 없는 지향성 [dB]	20.9	27.0	33.0	39.2
배열 안테나 이득 [dB]	19.5	25	30	34.5
파라볼릭 안테나 이득 [dB]	18	24	30	36

이 안테나가 실용화 되어 위와 같은 파라볼라 안테나의 단점을 보완하고 있다.

표 1은 패치 안테나로 배열안테나를 구현할 때, 단일 안테나의 배열 수가 증가함에 따른 이득 변화와 패치 배열 안테나와 동일한 크기일 때 파라볼릭 안테나의 이득을 보여준 것이다.

그러나 표 1과 같이 마이크로스트립 배열 안테나는 이득이 30 dBi 이상의 고이득이 요구될 시 복사 소자의 양이 급격히 많아져 유전체 손실과 도체의 저항 손실 때문에 오히려 파라볼릭 안테나보다 특성이 더 나빠지게 된다. 또한 유전체 기판의 가격이 높아서 상용화의 한계를 가지고 있다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위해 급전라인의 손실이 거의 없는 급전 도파관을 이용한 슬롯 배열 안테나를 제안하였다. 또한 급전부를 간단하게 설계하여 제작상의 오차가 주는 안테나 성능의 변화를 감소시켰다.

## II. 본 론

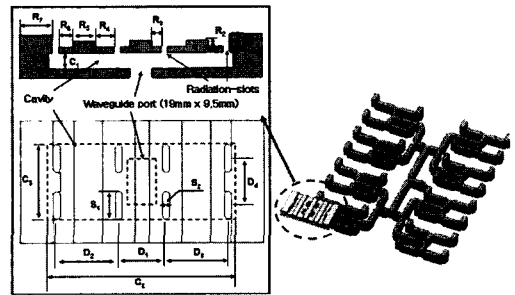
### 2-1 안테나 설계 사양

무궁화 3호 위성 시스템의 수신 범위에 따른 EIRP, 전파 환경, 송신 안테나의 이득, 시스템 잡음 상태를 통해 수신 안테나의 최소 이득을 계산할 수 있게 되고 산출된 수신 안테나의 설계 규격을 표 2와 같이 정리할 수 있다<sup>[2]</sup>.

수신 안테나의 편파는 선형편파, 주파수는 11.7~12.7 GHz로 VSWR 2:1에서 임피던스 대역폭이 1 GHz 이상이 요구된다. 안테나의 최소 이득은 방송용 대역과 통신용 대역 모두 만족하기 위하여 30 dBi 이상, 선형 편파 형태의 수신 안테나일 때는 편

표 2. 위성방송 수신안테나의 설계규격  
Table 2. Design specification of the antenna for satellite broadcasting receiver.

	방송용 대역		통신용 대역	
편 파	원형편파		선형편파	
사용주파수	11.7~12 GHz		12.25~12.75 GHz	
VSWR	2 : 1		2 : 1	
대역폭	0.3 GHz(2.5 %)		0.5 GHz(4.2 %)	
수신범위	국내	중국동부	국내	중국동부
최소이득	23 dBi	30 dBi	27 dBi	33 dBi



(a) 서브 배열의 Dimension (b) 급전 도파관  
(a) Dimension of a sub array (b) Waveguide feed network

그림 1. 제안된 배열안테나의 구조  
Fig. 1. Geometry of the proposed array antenna.

파 손실을 고려하여 33 dBi 이상이 되어야 한다.

### 2-2 안테나 구조

그림 1(a)는 8개의 슬롯을 통해 여기된 신호가 하나의 캐비티로 모아지게 되는 서브 배열 안테나이고, (b)는 급전 도파관의 구조이다. 표 3은 서브 배열 안테나의 각 파라미터를 나타낸 것이다.

급전부와 각 슬롯간의 상대적인 거리가 다르므로 급전부로부터 슬롯에 여기되는 필드의 위상이 다르게 되고 이것은 안테나의 대역폭을 좁게 하는 원인이 된다. 슬롯간의 간격을 다르게 하여 슬롯에 여기되는 필드의 위상을 변경시킬 수 있다.

식 (1)은 도파관에서 손실과 반사성분이 없다고 가정했을 때의 슬롯 여기되는 필드의 위상분포를 나타낸 식이다.

$$\phi(v_n) = \pi[2v_n/\lambda_g \pm (n - N)] \quad (1)$$

여기서  $\phi$ 는 슬롯에 여기되는 필드의 위상을 나타

표 3. 서브 배열 안테나의 설계 파라미터  
Table 3. Geometrical parameters of a sub-array.

Length of slot	$S_1=0.5 \lambda_0$
Width of slot	$S_2=0.11 \lambda_0$
Height of cavity (inner dimension)	$C_1=0.25 \lambda_0$
Length of cavity (inner dimension)	$C_2=2.6 \lambda_0$
Width of cavity (inner dimension)	$C_3=1.4 \lambda_0$
Slot spacing	$D_1=0.75 \lambda_0, D_2=0.9 \lambda_0,$ $D_3=0.9 \lambda_0, D_4=0.8 \lambda_0$
Dimension of ridged part	$R_1=4 \text{ mm}, R_2=2 \text{ mm}, R_3=3.6 \text{ mm},$ $R_4=7.6 \text{ mm}, R_5=9 \text{ mm}, R_6=5.6 \text{ mm},$ $R_7=13 \text{ mm}$

내고,  $v_n$ 는 필드의 진행 축을 의미하는 좌표계이다.  $n$ 은  $n$ 번째 슬롯을 표시한 것이다. 식 (2)는 식 (1)에 의해 필드의 위상을 조절하기 위한 서로 다른 간격의 슬롯의 위치를 유도한 것이다.

$$v_n^{(i)} = v_n^{(i+1)} + \Delta \phi_n \lambda_g / (2\pi) \quad (2)$$

식 (2)에 의해  $i$ 번째 슬롯의 위치를 통해 고차 모드의 슬롯의 위치를 조절할 수 있다.  $\Delta \phi_n$ 은 슬롯에 여기되는 필드와 방사되는 필드의 위상차를 나타낸 것이다<sup>[3]</sup>.

각 슬롯을 통해 여기된 신호들은 캐비티 내에서 TE105 모드를 형성하여 도파관(WR-75 규격) 구조의 급전라인으로 모아지게 된다.

캐비티를 통해 슬롯의 신호가 여기되므로 8개의 슬롯간의 급전 라인이 불필요하게 된다. 또한 방사소

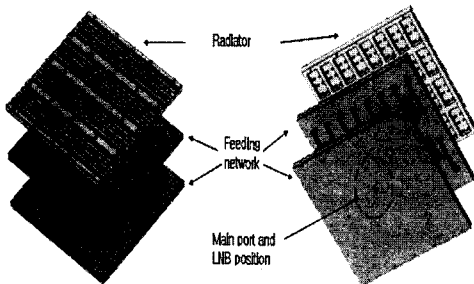


그림 2. 최종 배열 안테나의 구조  
Fig. 2. Structure of the cavity backed-256-slot array antenna.

자 위에 E-field 방향에 수직인 방향인 ridged 구조를 추가해서 안테나의 방사효율을 증가시켰고 ridged 구조의 Dimension인  $R_1, R_2 \dots R_7$ 를 변화시켜 슬롯에서 방사되는 필드의 진폭과 위상을 조정하였다.

그림 2는 최종 배열 안테나의 구조인데, 위의 단일 배열구조를 하나의 배열요소로 하여 32개로 다시 배열한 것이다. 크게 256개의 슬롯으로 이루어진 Radiator 부분과 급전부로 나눌 수 있다. 급전부는 상측판과 하측판이 서로 합쳐져서 WR-75 규격의 도파관이 세워진 형태로 구현된다.

그림 3은 급전부의 구조인데 하나의 입력 포트에서 32개의 출력 포트로 구성되어 있다. 병렬 급전으로 이루어져 있어 입력 포트에서 각각의 출력 포트로의 진폭과 위상을 일정하게 하여 급전부의 대역폭을 증가시켰다<sup>[4]</sup>.

### 2.3 안테나 설계

그림 3과 그림 4는 단일 cavity backed slot 배열 안테나를 설계하는 과정에서 슬롯의 간격인  $D_1, D_2, D_3$ 와 캐비티의 폭  $C_2$ 를 변경시키면서 반사계수와 최대 이득을 시뮬레이션한 결과이다<sup>[5]</sup>. 시뮬레이션 tool은 Agilent사의 HFSS 5.5를 사용하였다. 위성 방송수신 안테나는 주 빔의 방향과 지향성만을 고려하면 되기 때문에 주 빔의 지향성을 극대화하기 위하여 각 방사요소에 여기되는 필드의 진폭과 위상을 동일하게 해야 한다<sup>[6]</sup>.

그림 3과 그림 4를 보면 각 방사요소에서 방사되는 필드의 진폭과 위상을 동일하게 하기 위해 슬롯

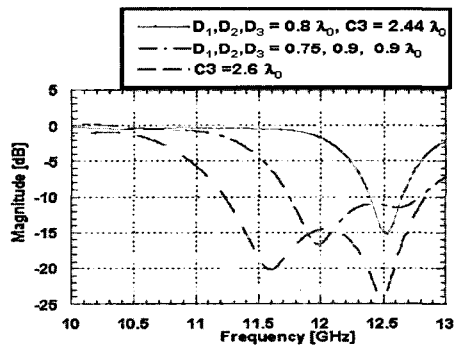


그림 3. 단일 cavity backed 슬롯 배열 안테나의 방사 손실

Fig. 3. Return loss of the single cavity backed slot array antenna.

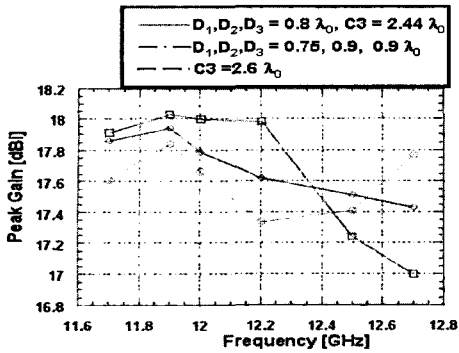


그림 4. 단일 cavity backed 슬롯 배열 안테나의 최대 이득

Fig. 4. Peak gain of the single cavity backed slot array antenna.

의 간격과 캐비티의 폭을 조정한 결과 수신 안테나의 임피던스 대역폭을 1.5 GHz 이상으로 확장시킬 수 있었다. 최종 배열 안테나의 이득이 33 dBi 이상이 요구될 때 단일 배열 안테나의 이득이 17 dBi 이상의 이득이 되어야 하는데 역시 캐비티 폭과 슬롯 간격을 조절함으로써 지향성을 높여 최대 이득을 만족시켰다.

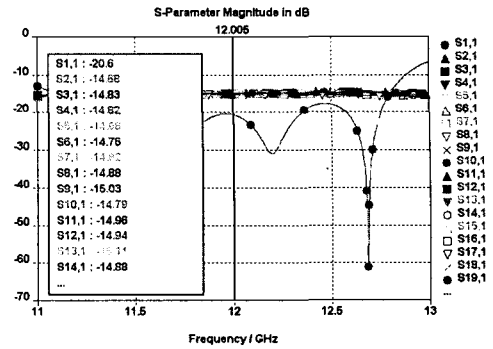
위의 단일 cavity backed slot 배열 안테나를 32개로 다시 배열하기 위하여 하나의 입력 포트에서 32개의 출력 포트를 가지는 도파관 형태의 급전 라인이 필요하다. 그림 5는 입력 포트에서 출력 포트로 필드의 진폭과 위상차, 그리고 입력에서 본 반사손실을 시뮬레이션한 결과이다.

그림 5(a)를 보면 입력 포트에의 필드가 각각의 출력 포트로 전 대역에서 약 -15 dB 정도로 동일하게 전달되는 것을 알 수 있다. 15 dB의 삽입손실은 그림 3에서와 같이 5개의 3 dB 전력 분배기를 통해 분할된다고 보았을 때 거의 손실없이 에너지가 전달된다고 볼 수 있다. 또한 그림 5(b)와 같이 모든 출력 포트에서 위상이 동일하게 급전되어 급전 라인의 대역폭을 증가시켰다.

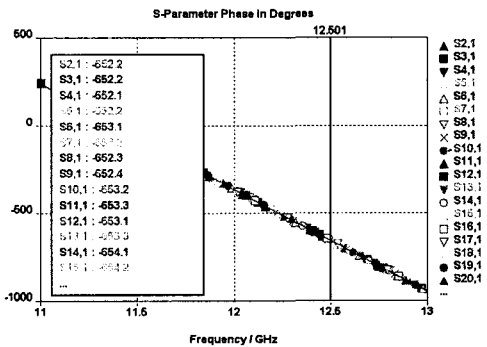
#### 2.4 최종 슬롯 배열안테나의 제작 및 측정

그림 6은 실제 제작된 실물도이다.

최종 슬롯 배열 안테나는 알루미늄 재질로 제작되었고, 슬롯과 캐비티로 이루어진 방사판과 급전부를 이루고 있는 상, 하측판 이렇게 3개 층으로 구성



(a) 진폭  
(a) Amplitude



(b) 위상  
(b) Phase

그림 5. 급전 도파관의 삽입 및 반사손실

Fig. 5. Insertion loss and return loss of the fed-waveguide.

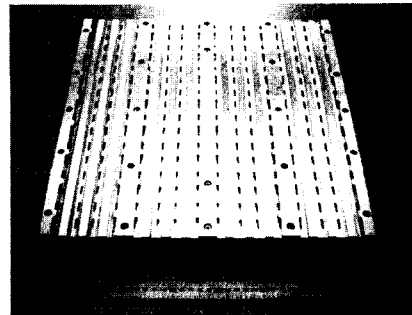
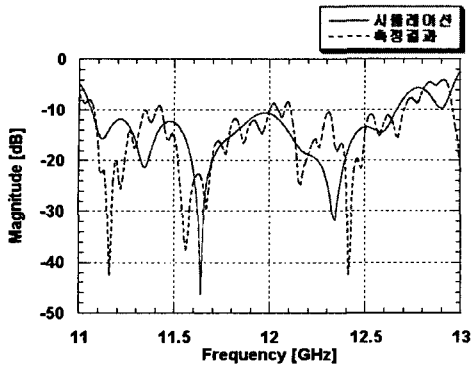


그림 6. 제작된 최종 슬롯 배열 안테나

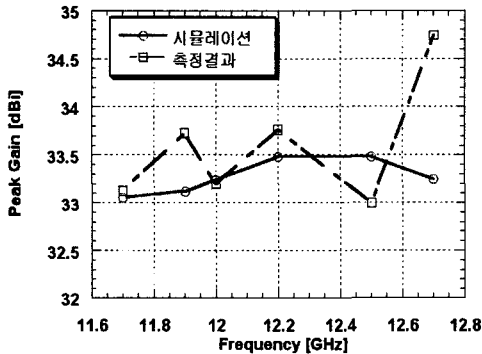
Fig. 6. The fabricated slot array antenna.

되어 있다. 안테나의 전체 크기는 379×370×37 mm 이다.

그림 7은 최종 슬롯 배열 안테나의 반사계수와 주파수별 최대이득을 측정된 결과를 시뮬레이션한 결



(a) 반사손실  
(a) Return loss



(b) 최대이득  
(b) Peak gain

그림 7. 시뮬레이션 결과와 측정 결과 비교  
Fig. 7. Comparison between the simulated and measured results.

과와 비교한 것이다.

그림 7(a)에서 최종 배열 슬롯 안테나의 반사계수

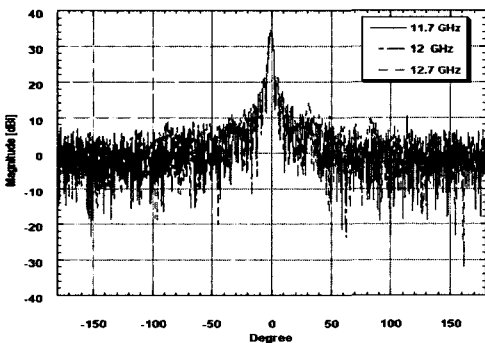


그림 8. 최종 슬롯 배열 안테나의 azimuth 패턴 측정  
Fig. 8. The measured azimuth pattern of the slot array antenna.

표 4. 최종 배열 안테나의 측정결과와 설계사양 비교  
Table 4. Comparison between the measured result and design specification.

	안테나 사양	측정 결과
최대 이득	33 dBi 이상	33~34 dBi
VSWR	2 : 1	2 : 1
사용 주파수	11.7~12.75 GHz	11.2~12.75 GHz
대역 폭	1 GHz(8.2 %)	1.5 GHz(12 %)
편 파	선형편파	선형편파

그래프를 보면 VSWR 2:1에서 시뮬레이션과 측정 결과 모두 11.2 GHz에서 12.75 GHz까지의 임피던스 대역폭을 얻었다. 그림 7(b)의 주파수별 최대이득은 전 대역에서 33 dBi 이상으로 측정되어 33 dBi의 설계 사양을 만족하였다.

그림 8은 최종 슬롯 배열 안테나의 azimuth 패턴을 측정한 결과인데, 반전력 빔폭은 전 주파수 대역에서 3.2°~3.5°, side lobe level은 12 dB로 측정되었고 전 주파수대역에서 패턴 대역폭을 만족하였다.

### III. 결 론

본 논문에서는 국내뿐만 아니라 중국 동부나 연변과 같이 넓은 수신영역을 커버할 수 있는 고이득 위성안테나를 설계 및 제작하였다. 고이득 안테나의 제작을 위하여 급전 손실이 거의 없는 도파관 형태로 급전부를 구성하였다<sup>[7]</sup>. 또한 급전부를 간단하게 하여 급전부의 에너지가 캐비티를 통해 각 8개의 슬롯으로 여기되게 하였다. 그렇게 하여, 슬롯에 필드가 여기될 때 제작상의 오차에 따른 안테나 성능의 변화를 최소화 시켰다. 표 4는 최종 배열안테나의 측정결과와 설계사양을 비교한 것이다.

표 4에서 제작된 슬롯 배열 안테나의 측정 결과를 보면 VSWR 2:1에서 11.2 GHz~12.75 GHz의 임피던스 대역폭을 얻었고 전 대역에서 33 dBi 이상의 고이득을 얻어 설계사양을 만족하였다. 이득 평탄도 또한 1 dB 이하로 만족할 만한 결과를 얻었다.

차후 과제로 본 논문에서 제안한 8 slots 서브 배열을 이용하여 기지국 안테나와 같이 고전력을 요구하는 안테나의 적용할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] K. F. Lee, Wei Chen, *Advances in Microstrip and Printed Antennas*, John Wiley, pp. 135-140, 1997.
- [2] R. L. Freeman, *Radio System Design for Telecommunications*, New York, John Wiley and Sons, Chap. 2-7, 1997.
- [3] R. C. Johnson, *Antenna Engineering Hand book*, 3rd Edition, McGraw-Hill, Inc., Chap. 9, 1993.
- [4] A. Kumar, H. D. Hristov, *Microwave Cavity Antennas*, Artech House, Chap. 2, 1989.
- [5] Agilent HFSS. (2000), Agilent Corporation.
- [6] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, pp. 772-775, 1997.
- [7] 주식회사 마이크로페이스, "도파관용 슬롯 안테나", 대한민국, 특허, 제 20-2003-0016101호.

정 강 재



2002년 2월: 강남대학교 전자공학부 (공학사)  
 2002년 3월~2004년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)  
 2004년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정  
 [주 관심분야] 위성 배열 안테나 및 단말기용 내장형 안테나

박 면 주



1991년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1993년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1998년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1998년 12월~2002년 8월: 삼성전자(주) 책임연구원

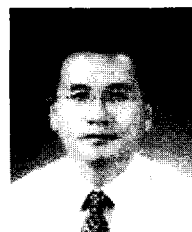
2002년 9월~현재: 광운대학교 전파공학과 조교수  
 [주 관심분야] 초고주파 수동회로 및 안테나, 전자파, 초고주파 수치해석, High speed digital system noise, Signal integrity and interconnections, EMI/EMC

이 학 용



1999년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)  
 2001년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)  
 2001년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정  
 [주 관심분야] RF 안테나 시스템

이 병 제



1988년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1993년 12월: 미국 Southern Illinois University 전자공학과 (공학석사)  
 1993년 12월: 미국 Southern Illinois University 전자공학과 (공학박사)  
 1998년 3월~현재: 광운대학교 전

파공학과 부교수  
 [주 관심분야] 초고주파 안테나 해석 및 설계, 전기자기파 해석, 레이더 및 위성통신, 초고주파 응용, RF 능동 및 수동소자