

혼안테나를 결합한 고 이득 도파관 배열 안테나 설계

The Design of High Gain Waveguide Array Antenna Combining Horn Antenna

이 한 영*
(Han-Young Lee)

Abstract - In this paper, a high gain waveguide array antenna combining horn antenna on slot radiator was designed. And the fabricated antenna showed enough gain, improved efficiency and broadband characteristics for receiving satellite signals, compare to conventional microstrip antenna which has dielectric loss and radiation loss on transmission line. For easy fabrication, the waveguide structure was composed by 3-stages of radiator, signal coupler and transmission line. By experiment, the array waveguide antenna of 4 by 16 showed 28.3[dBi] gain and 2:1 of VSWR. And by combining horn antenna structure, the gain was increased 1[dB]. The received signal from Koreasat 6 by measurement showed 16[dBc] of C/N on BS(Broadcasting Satellite)-band and 14[dBc] of C/N on CS(Communication Satellite)-band.

Key Words : Array antenna, Waveguide, Satellite, Horn, LNB

1. 서 론

위성을 이용한 통신, 방송시스템에 사용되는 수신용 안테나는 일반적 타입으로 파라볼라안테나를 주로 사용하고 있다. 파라볼라안테나를 단순한 구조와 낮은 단가, 높은 안테나효율을 가지며, 큰 부피와 무거운 무게 등으로 인하여 이동용이나 휴대용으로 사용하기에는 어려움이 많다. 그래서 이를 보완하기 위해 많은 평판안테나가 개발되어 저 손실유전체를 활용한 마이크로스트립 배열 안테나가 주를 이루었다[1]. 하지만 배열 안테나는 엘리먼트가 많아질수록, 주파수가 높아질수록, 유전체가 가지고 있는 손실과 더불어 전송선로 방사손실이 발생하게 되어 비효율적인 구조를 가지게 되어 파라볼라 안테나보다 특성이 더 나빠지게 되며, 상용화에는 한계를 가지는 안테나구조를 갖는다[2]. 이러한 문제점을 해결하기 위한 급전라인의 손실이 없는 급전도파관을 적용한 슬롯 배열 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[3],[4],[5].

본 논문에서는 파라볼라 안테나가 갖는 단점, 마이크로스트립 안테나가 갖는 단점을 보완한 고 이득 도파관 안테나를 제안하고자 한다. 기존 도파관 안테나가 갖는 슬롯(Slot) 이득을 개선하기 위해 도파관 슬롯(slot)안테나 구조에 혼(horn)안테나를 결합하여 안테나의 사이즈를 늘리지 않고 안테나 이득을 개선시키는 방법에 대해서 연구하였으며, 제작이 용이하도록 도파관 구조를 방사부, 신호결합부, 전송선로부 3단으로 나누어 설계 및 제작 하였다.

2. 혼안테나를 결합한 도파관 배열 안테나 설계

본 절에서는 도파관 슬롯(slot)안테나 구조에 혼(Horn)안테나를 결합하여 설계하였다. 설계는 안테나 구조 해석 툴인 안시스사 3차원 시뮬레이션 툴인 HFSS v12와 CST2010을 이용하여 설계 및 검증 하였다[6]. 도파관 구조는 방사부, 신호결합부, 전송선로부 3단 구조로 설계하였으며, 안테나 설계 사양은 표 1에 나타내었다.

표 1 안테나 설계 사양

Table 1 Design specifications of antenna

특성	규격
주파수대역	10.7[GHz] ~ 12.75[GHz]
편파	수평편파(H)
이득	peak gain 28 [dBi]
VSWR	2 : 1 이하

2.1 급전구조의 설계

Ku-band대역의 신호를 수신 및 송출하기 위한 전송선로로 도파관 사이즈는 WR-75 정하였다. 배열구조를 만들기 위해서는 도파관 전송선로의 신호분배가 잘 이루어져야한다. 그래서 대부분의 전송선로에서는 임피던스매칭을 위한 T-junction의 구조가 사용된다. 또한, 본 도파관 안테나의 구조상 전송선로의 90도 방향전환이 필요하기 때문에 야기되는 기생 리액턴스성분을 제거하기 위하여 Bulge구조를 추가하였다. 이를 통해 도파관 전송선로의 최적화가 이루어진다. 전송선로 도파관의 구조는 그림 1과 같으며, 최적화를 위해 안시스사 HFSS를 이용하여 S11 및 S21, S31을 해석하였다. 임피던스매칭이 잘 이루어지기 위하여 T-junction부분의 가로, 세로의 높이 조절을 통해서 최적화가 이루어지

* Dept. of Broadcasting, Sound & Visual, Daelim University College, Korea

E-mail : hylee@daelim.ac.kr

Received : April 19, 2013; Accepted : January 27, 2014

며, 신호의 90도 방향전환이 필요한 부분은 bulge구조의 사이즈와 높이를 통해서 최적화가 이루어진다. 그림 2는 전송선로의 결과이며, S21과 S31의 신호균등분배가 -3[dB]로 잘 이루어졌으며, S11 반사손실도 최적화가 잘되었다. 그림 3은 본 설계의 최종 도파관 구조이다.

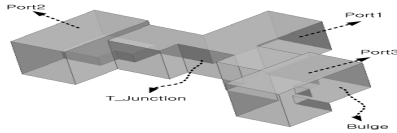


그림 1 3way 도파관 전송선로의 구조
Fig. 1 Structure of 3 way waveguide transmission line

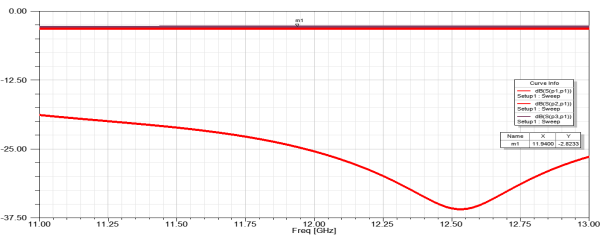


그림 2 3way 도파관 전송선로 결과
Fig. 2 Result of the 3way waveguide transmission line

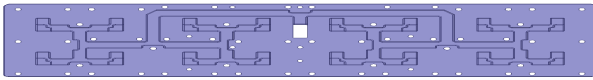


그림 3 4x16 way 도파관 전송선로의 최종구조
Fig. 3 Final structure of 4x16 way waveguide transmission line

2.2 혼(Horn)을 결합한 슬롯안테나 설계

무궁화위성6호 수신주파수대역 11.7[GHz] ~ 12.5[GHz]을 수신하기 위해서는 slot의 가로와 세로의 길이를 정해야 한다. 가로의 길이를 W, 세로의 길이를 L이라고 할 때, 슬롯의 설계변수는 유전율(ϵ_r), 공진주파수(f_r), 기판두께(h)로 나타낼 수 있으며, 아래 식(1), 식(2), 식(3), 식(4)와 같이 나타낼 수 있다[7].

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

여기서 v_0 는 자유공간에서 빛의 속도이다.

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L = \frac{v_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (2)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (3)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (3)$$

여기서 ϵ_{reff} 는 실효 유전율이며, ΔL 은 프린팅 효과 때문에 마이크로스트립 안테나의 패치 길이가 물리적인 크기보다 더 크게 확장된 길이를 의미 한다. 슬롯사이즈가 확정되면 본 논문에서 제안하는 혼(horn)을 결합하여 혼 배열 도파관안테나를 설계하게 된다. 구조는 그림 4와 같다. 슬롯안테나가 가지고 있는 기본 이득에 혼안테나의 이득이 더 지게 된다.

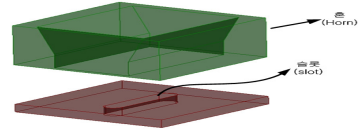


그림 4 혼 도파관 안테나 구조도
Fig. 4 Structure of the horn Waveguide antenna

수신된 신호가 혼안테나 개구면으로 입사할 때 반사손실이 발생 하게 된다. 이때, 정합이 필요하게 된다. 정합구조는 여러 가지가 있으나, 본 설계에서는 일반적인 slive구조를 적용하여 슬롯부와 혼의 개구면의 입사면과의 정합을 이루었다. 최적화를 통해 설계된 4x16배열 혼 배열 안테나의 구조를 그림 5에 나타내었다.

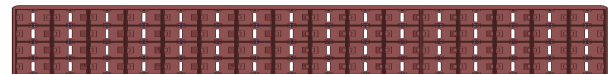


그림 5 4x16배열 혼 배열 도파관 슬롯의 최종구조
Fig. 5 Final structure of the 4 x 16 array and horn array wave guide slot

2.3 신호결합 후 캐비티(Cavity)설계

슬롯으로 입사된 신호가 전송선로(도파관)로 입사되기 위해서는 cavity가 필요하다. 이는 슬롯부와 도파관입사면과의 임피던스역할을 하게 되며, 슬롯 4개와 도파관 1개가 대응되는 구조이기에 신호를 모아주는 역할을 하게 된다. 즉, 임피던스 매칭 또는 반사파를 제거하기 위해서 1/4 람다의 높이를 맞추어 신호의 손실을 최소화 하게 된다. 그림 6은 cavity의 구조이며, 슬롯4개와 도파관 입사면1개가 대응된 모습을 보여준다.

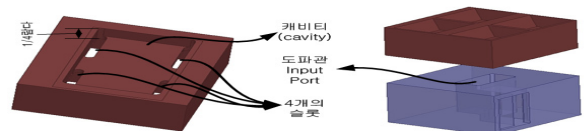


그림 6 캐피티의 구조
Fig. 6 Structure of the cavity

2.4 4x16배열 혼 배열 도파관안테나 설계 및 제작

혼과 슬롯안테나부, 캐비티부, 전송선로부의 총 3개 구조를 최적화한 후, 시뮬레이션을 하기에 앞서 실제 제작이 용

이하도록 3단 구조(방사부, 신호결합부, 전송선로부)로 나누어 해석을 진행하였다. 주파수대역 11.7[GHz] ~ 12.75[GHz]으로 설정 하였으며, 최종 설계된 4×16 배열 안테나의 구조는 그림 7과 같다. 시뮬레이션을 통해 안테나의 성능을 검증하기 위하여 CST를 이용하여 해석을 진행하였다. 설계결과에 대한 항목은 S11 및 Gain이다. S11은 입사파와 반사파에 대한 비로써 안테나의 성능을 가늠하는 중요 지표 중에 하나이다. 무궁화6호 위성신호를 수신하기 위한 주파수대역을 -10 [dB]이하로 광대역 특성을 나타내고 있으며, VSWR은 약 2:1이하로 나타낼 수 가 있다. 결과는 그림 8과 같다.

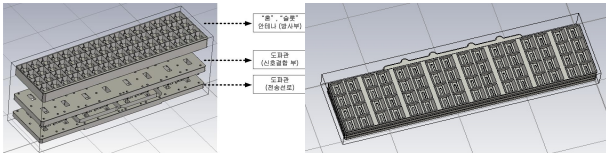


그림 7 최종 설계된 4×16 배열 안테나
Fig. 7 The final designed 4 × 16 array antenna

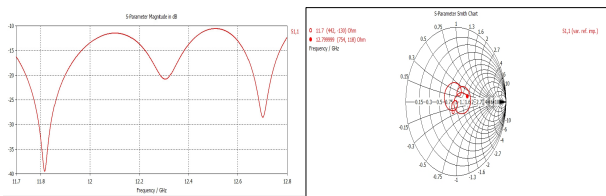


그림 8 4×16 배열안테나의 S11(Return Loss) 및 스미스차트
Fig. 8 4×16 array antenna S11(Return Loss) and the Smith chart

그림 9는 안테나의 3D 방사패턴을 나타내며, 그림 10(a),(b),(c)는 각 주파수대역에 따른 이득을 2D 방사패턴으로 그 결과를 표 2에 나타내었다.

주파수대역별 시뮬레이션 결과 전 대역에 걸쳐 이득편차도 또한 균일하다. 본 논문에서 설계된 혼안테나를 결합한 혼 배열 도파관안테나 최대이득은 28.3[dBi]로 나타났다.

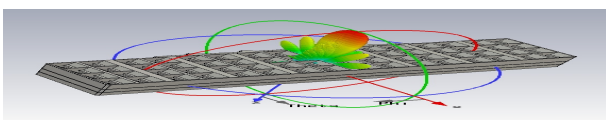
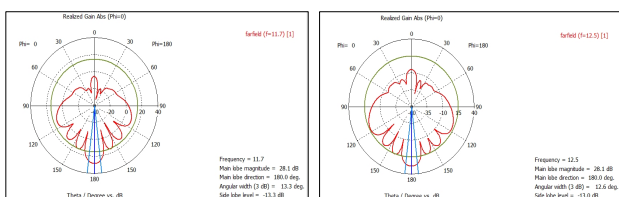
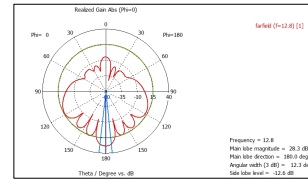


그림 9 4×16 배열 안테나의 최종 3D 방사패턴
Fig. 9 3D radiation pattern of the 4 × 16 array antenna



(a) 11.7[GHz] (b) 12.5[GHz]



(c) 12.8[GHz]

그림 10 안테나의 2D 패턴 및 이득
Fig. 10 2D Pattern and gain of the antenna

표 2 안테나 설계 사양

Table 2 Design specifications of antenna

주파수 [GHz]	이득[dBi]
11.7	28.1
12.5	28.1
12.8	28.3

3. 제작 및 측정 결과

본 절에서는 시뮬레이션 결과에 따른 혼안테나를 결합한 도파관 배열 안테나 설계를 3단 구조로 제작하고 실험을 통하여 검증 하였다. 그림 11은 실제 제작된 안테나 사진이며, 재질은 ABS 플라스틱 재질에 Ni_cu도금을 하여 제작하였다.

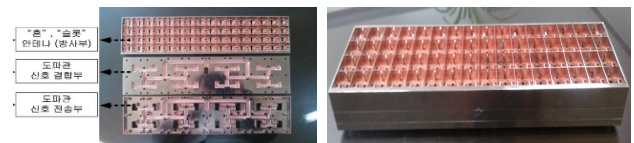


그림 11 제작된 안테나 사진
Fig. 11 Photograph of fabricated antenna

제작된 안테나를 볼트로 체결하여 위성의 신호를 직접 수신하여 측정하였다. 이때, 무궁화 6호 위성을 수신하기 위해 Local Frequency : 10.750[GHz], LNB(Low Noise Block Down Converter)를 부착하여 측정하였으며, 그림 12는 기존 상용화 되고 있는 마이크로스트립 4×16 배열 안테나(좌측사진)와 본 논문에서 제안한 4×16 혼 도파관 배열 안테나(우측사진)를 비교 측정하였다. 측정단위는 C/N으로 신호대 잡음의 비를 나타내며, 안테나의 이득을 나타내는 척도이기도 하다.



그림 12 기존 마이크로스트립 4×16 배열 안테나 및 제안한 4×16 혼 도파관 배열 안테나 측정

Fig. 12 Conventional microstrip 4 × 16 array antenna and the proposed 4 × 16 horn waveguide array antenna measure

측정결과는 그림 13과 표 3에 나타내었다. 그림 13과 표 3에서 보듯 국내 상용화 중인 마이크로스트립 안테나의 C/N과 혼 도파관안테나 C/N 비교한 결과, 본 논문에서 제안한 혼 도파관안테나가 평균 2[dBc] 이상 높으며, 평탄도 또한 균일함을 볼 수 있다. 이와 반대로 마이크로스트립 안테나가 가지는 협대역의 문제가 수치상에서도 나타나는 것을 볼 수 있다.

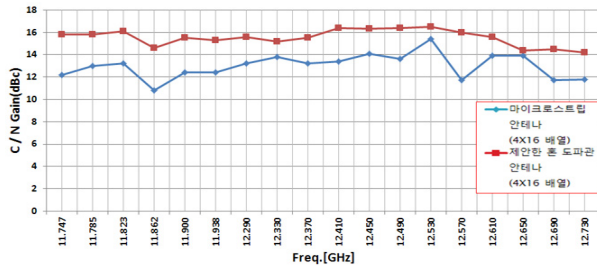


그림 13 C/N 측정 결과
Fig. 13 Results of the C / N measurement

표 3 안테나 설계 사양
Table 3 Design specifications of antenna

Freq. [GHz]	IF [MHz] 국내항	편파	마이크로 스트립 안테나 [dBc]	제안한 혼도파관 안테나 [dBc]	차이 [dBc]
			A+L	A+L	
11.747	997	LH	12.2	15.8	-3.6
11.785	1035	LH	13	15.8	-2.8
11.823	1073	LH	13.2	16.1	-2.9
11.862	1111	LH	10.8	14.6	-3.8
11.900	1150	LH	12.4	15.5	-3.1
11.938	1188	LH	12.4	15.3	-2.9
12.290	1540	H	13.2	15.6	-2.4
12.330	1580	H	13.8	15.2	-1.4
12.370	1620	H	13.2	15.5	-2.3
12.410	1660	H	13.4	16.4	-3
12.450	1700	H	14.1	16.3	-2.2
12.490	1740	H	13.6	16.4	-2.8
12.530	1780	H	15.4	16.5	-1.1
12.570	1820	H	11.7	16	-4.3
12.610	1860	H	13.9	15.6	-1.7
12.650	1900	H	13.9	14.4	-0.5
12.690	1940	H	11.7	14.5	-2.8
12.730	1980	H	11.8	14.2	-2.4

4. 결 론

본 논문에서는 기존 마이크로스트립 안테나가 갖고 있는 유전체, 전송선로 방사손실 및 협대역문제점을 개선하고, 위성신호수신에 적합한 고 이득 안테나를 설계하기위해 슬롯 방사부에 혼 안테나를 결합시켜 고 이득 도파관안테나를 설계 및 제작하였다. 제작이 편리하도록 도파관 구조를 방사부, 신호결합부, 전송선로부 3단으로 나누어 설계 하였으며, 방사부 슬롯4개를 1개의 도파관으로 대응하기위해 신호결합부 cavity를 구현하여 안테나구조의 공간 활용 효율을 높였다. 고 이득 구현을 위해 혼 배열 구조를 적용하여 1[dBi] 이상의 이득 증가를 보였으며, 이를 통해 최종 4x16 혼 배열 도파관안테나를 실험한 결과 이득은 28.3[dBi]와 정재파비(VSWR) 2 : 1 이하 광대역 반사손실을 갖음을 확인할 수 있다. 무궁화6호의 위성의 신호를 직접 수신하여 C/N을 측

정한 결과는 BS (Broadcasting Satellite)대역 16[dBc], CS(Communication Satellite)대역 14[dBc]로 측정되어 우수한 안테나 수신 성능을 갖음을 확인 할 수 있다. 또한 국내 상용화 중인 마이크로스트립 안테나의 C/N과 혼 도파관안테나 C/N 비교한 결과, 본 논문에서 제안한 혼 도파관안테나가 평균 2[dBc] 이상 높으며, 평탄도 또한 균일함을 나타내었다.

위성의 편파에 따라 PCB필름을 혼의 개구면에 부착하여 LHCP(Left Hand Circular Polarization), RHCP(Right Hand Circular Polarization)로 유연하게 사용이 가능하며, 한국, 일본, 동남아 국가에 적합한 안테나로 사용이 가능 할 것으로 사료된다.

References

- [1] J. Hirokawa, K. Sakurai, M. Ando and N. Goto, "Matching slot pair for a circularly-polarised slotted waveguide array", IEE proceedings, Vol. 137, Pt. H, No. 6, December. 1990.
- [2] K. F. Lee, wei Chen, Advances in Microstrip and Printed Antennas, John Wiley, pp. 135-140, 1997.
- [3] Ltd. Micro face, waveguide slot antenna, the Republic of Korea, patent, No. 20-2003-0016101.
- [4] Kwang-Seop Son and Chan-Gu Park, "Slotted Array in Motion Antenna for Receiving both RHCP and LHCP using a Single Layer Film", Journal of IEIE, Vol. 46 TC, No.2, pp. 126-132, Feb. 2009.
- [5] Kang-Jae Jung, Hak-Yong Lee, Myun-Joo Park and Byung-Je Lee, "High Efficiency Slot Array Based on a Single Waveguide-Fed Cavity Backed Sub-Array", Journal of KIEES Vol.15, No.12, pp. 1141-1145, Dec. 2004.
- [6] Han-Young Lee, "The Design and Fabrication of Satellite Array Antenna for KU-Band", Journal of KIEE. Vol. 61, No.11, pp.1668-1670, Nov. 2012.
- [7] C. A. Balanis, "Antenna theory: analysis and design", second edition.

저 자 소 개



이 한 영 (李 辰 瑩)

1971년 9월 18일생. 1998년 세종대 물리학과 졸업(이학사). 2002년 국민대 전자공학과 졸업(공학 석사). 2005년 건국대 전자정보통신 졸업(공학 박사). 1999년 ~ 현재 대림대학교 학과행정기사 .

Tel : 031-467-4518
Fax : 031-467-4519
E-mail : hylee@dealim.ac.kr