

기생 모노폴을 이용한 S-band Turnstile 안테나 설계

Design of S-band Turnstile Antenna Using the Parasitic Monopole

이정수 · 오치욱 · 서규재 · 오승한

Jung-Su Lee · Chi-Wook Oh · Gyu-Jae Seo · Seung-Han Oh

요 약

과학기술위성 2호에 사용하기 위한 TT&C용 안테나로 기생 모노폴(parasitic monopole)을 사용한 Turnstile 안테나를 개발하였다. 설계된 안테나는 보우-타이 다이폴(bow-tie dipole)과 기생 모노폴의 두 복사 구조로 구성된다. 안테나의 주 복사 소자는 보우-타이 구조를 이용한 보우-타이 다이폴이며, 안테나의 대역폭을 향상시키고 안테나의 크기를 줄이는 역할을 한다. 또한 기생 모노폴은 안테나의 빔 폭과 축비를 향상시키는 역할을 한다. 설계된 안테나는 특별한 정합 회로 없이 50옴의 안테나 임피던스를 가지며 과학기술위성 2호에서 사용되는 주파수 2.075~2.282 GHz 내에서 140° 이상의 빔 폭과 3 dB 이하의 축비 그리고 1.5 이하의 VSWR 값을 가진다.

Abstract

A turnstile antenna using the parasitic monopole has been developed for STSAT-2 TT&C application. The antenna consists of two radiating elements; a bow-tie dipole and a parasitic monopole. The bow-tie dipole is main radiating element, used a bow-tie structure for bandwidth improvement and size reduction. The parasitic monopole improved beamwidth and axial ratio. The input impedance of the antenna is about 50 ohm without a matching circuit. The proposed antenna has beamwidth of >140°, axial ratio of < 3 dB and VSWR of < 1.5 in the band of 2.075~2.282 GHz.

Key words : Turnstile Antenna, Omnidirectional Antenna

I. 서 론

위성의 TT&C(Telemetry, Tracking, and Command)용 안테나로 사용되기 위해서는 넓은 빔 폭과 대역폭을 필요로 한다. 과거에 소형 위성에서 주로 쓰이는 안테나는 모노폴 안테나였다. 최근 통신 주파수가 점차 높아짐에 따라 제작이 간편하고 부피가 작은 마이크로스트립 패치(microstrip patch) 안테나를 사용하게 되었다. 마이크로스트립 패치 안테나의 경우, 설계 및 제작이 간단하고 크기가 작으며 발사시의 진동과 충격에도 강한 특성을 가진다. 하지만 송수신 주파수 대역 모두를 만족하는 대역 폭을 구현하기 위해서는 두 개의 서로 다른 주파수를 가지는

안테나를 사용하여야 하는 단점이 있고 안테나 중심축 외각에서의 축비(axial ratio) 특성이 나쁘기 때문에 만족할 만한 송수신 환경을 제공할 수 없다.

따라서 위성의 TT&C 송수신 환경을 만족시키는 안테나를 필요로 하며, 이러한 안테나로는 Turnstile 안테나, Quadrifilar helix 안테나, Conical spiral 안테나 등이 있다. Turnstile 안테나의 특성은 적절한 대역폭과 좋은 축비를 갖지만 빔 폭이 다른 두 안테나에 비하여 좁은 특성을 가지며, Quadrifilar helix 안테나의 경우 넓은 빔 폭과 좋은 축비를 갖지만 VSWR 대역폭이 좁기 때문에 송수신 대역폭내의 안테나 임피던스를 모두 50옴으로 설계하기 어려우므로 정합 회로를 포함해야 하는 단점이 존재한다^[1]. Conical

「이 연구는 과학기술부가 지원하는 과학기술위성 2호 사업으로 연구되었음.」

한국과학기술원 인공위성연구센터(Satellite Technology Research Center, KAIST)

· 논문 번호 : 20060908-106

· 수정완료일자 : 2006년 10월 26일

spiral 안테나의 경우, 넓은 빔 폭과 좋은 축비를 가지며 매우 넓은 VSWR 대역폭을 가지지만 안테나 구조의 특성상 제작이 까다롭고 VSWR 값이 일정 이상으로 떨어지지 않는 단점이 존재한다^[2].

과학기술위성 1호에서는 Quadrifilar helix 안테나를 설계 및 제작하였으며 과학기술위성 2호에서는 Turnstile 안테나에 기생 모노폴 안테나^{[3],[4]}를 추가하여 기존의 Turnstile 안테나와 비교하여 빔 폭과 축비를 개선하였고 복사 소자의 구조를 보우-타이 형태로 만들어 안테나의 대역폭을 넓혔다.

따라서 본 논문에서 제안한 안테나는 Quadrifilar helix 안테나, Conical spiral 안테나와 유사한 빔 폭과 축비 특성을 가지는 동시에 넓은 대역폭을 가지며 정합 회로가 필요 없는 안테나 구조이다.

II. 안테나 구조

그림 1은 S-band 안테나의 전체적인 구조이다. 안테나의 입력단에서 들어온 신호가 Wilkinson 전력 분배기를 통하여 각각 절반 크기의 신호로 나누어진 후 서로 90°의 위상차를 가지며 두 개의 동축 선로로 입력된다. 각각의 두 신호의 위상차에 의하여 원형 편파가 발생하며 위상 값의 순서에 따라 편파 특성이 우수 원형 편파(RHCP)와 좌수 원형 편파(LHCP) 중 하나로 결정된다. 그리고 동축 선로로 들어온 신호는 벌룬(balun)을 거쳐서 보우-타이 다이폴 안테나로 입력되어 신호가 복사되며, 그 후 세로 방향으로 구성된 기생 모노폴과 보우-타이 다이폴이 상호 결합되어 일부의 신호가 모노폴을 통해 복사되므로 안테나의 빔 폭이 넓어지는 구조이다.

따라서 다이폴과 모노폴 안테나의 설계 수치가 안테나의 특성을 결정하는 가장 중요한 요소이다. 또한 다이폴과 모노폴 안테나 사이의 간격 및 벌룬과 전력 분배기의 특성 역시 안테나의 특성에 영향을 미친다.

Wilkinson 전력 분배기의 경우는 기본적인 구조인 $\lambda/4$ 트랜스포머와 100옴의 저항을 이용한 구조로 설계하였으며, 90° 위상 천이기(phase shifter)는 마이크로스트립 선로의 길이를 조절하여 위상을 지연시키는 구조이다. 벌룬 구조는 Compensated 벌룬 구조를 이용하였다^[5].

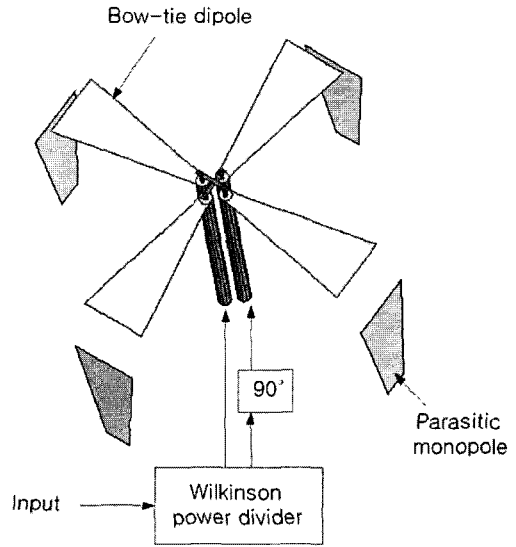


그림 1. 안테나 전체 구조
Fig. 1. Antenna configuration.

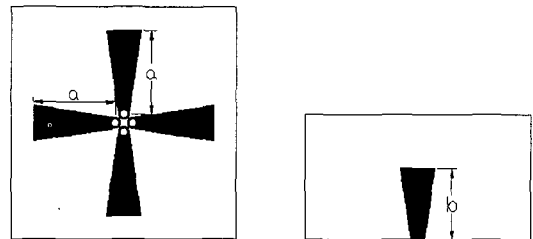


그림 2. 안테나의 복사 소자
Fig. 2. Radiating element of antenna.

그림 2는 설계한 다이폴과 모노폴 안테나의 도면이다. a와 b의 길이는 동일한 주파수에서 일반적으로 사용되는 다이폴과 모노폴 안테나의 길이보다 적은 수치를 가진다. 이는 복사 소자의 구조가 보우-타이 형태를 가지기 때문이다. 2.075~2.282 GHz의 주파수 대역폭에서의 일반적인 다이폴 안테나의 길이는 32~34 mm 정도이지만 보우-타이 안테나의 경우는 flare angle의 수치에 따라 달라지며 좁은 부분의 폭과 넓은 부분의 폭의 수치를 각각 3 mm와 10 mm로 설계를 한다면 보우-타이 안테나의 flare angle은 약 20° 정도이며 적절한 길이는 23~24 mm이다^[6]. 보우-타이 안테나는 일반적인 다이폴 안테나에 비하여 주파수에 따른 임피던스 변화가 작으므로 대역폭 역시 넓은 값을 가진다. 따라서 보우-타이 다이폴의

길이 a는 23 mm로 설계하였으며 모노폴의 길이 b와 모노폴 사이의 간격에 의해 안테나의 빔 폭과 축비 특성이 결정된다.

III. 안테나 설계

표 1은 그림 1의 구조에서 다이폴의 길이 a를 23 mm로 고정하고 모노폴의 길이 b를 18~22 mm 사이에서 1 mm 간격으로 변화시키면서 HFSS로 시뮬레이션한 결과이며, 각각의 길이에 따른 안테나의 최대 이득과 안테나 이득이 0 dBi 이상이 되는 빔 폭, 그리고 중심축으로부터의 각도에 따른 축비 특성을 표로 나타내었다. 표 1에서 b의 길이가 0 mm인 항목은 기생 모노폴을 제외하고 기본적인 Turnstile 안테나만으로 시뮬레이션한 결과이며, 8.9 dBi의 안테나 이득을 가지고 120° 정도의 안테나 빔폭을 나타낸다. 축비 특성이 $\pm 50^\circ$ 부근에서부터 급격히 올라가게 되어 90° 부근에서는 30 dB 이상의 값을 가지게 되므로 사실상 원형 편파가 일어나지 않게 되며 큰 편파 손실(polarization loss)이 발생하게 된다. 반면에 기생 모노폴을 쓸 경우, 다이폴로만 복사되던 전자기파가 모노폴을 통해서도 복사되게 되므로 최대 이득은

줄어들지만 빔 폭이 넓어지며 축비가 중심축에서 떨어진 외각에서도 좋아진다. 이는 60° 부근 정도부터는 다이폴에서 복사되는 신호보다 모노폴에 의하여 신호가 복사되는 양이 많아지게 되므로 모노폴에 의하여 빔 패턴과 축비 특성이 좌우되기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 모노폴의 위치와 간격도 외각 부분의 축비 특성에 영향을 주는 것으로 시뮬레이션 결과가 나타났다. 또한 b 값을 증가시킬수록 빔 폭은 넓어지나 23 mm를 넘어가게 되면 모노폴의 공진 주파수의 길이를 초과하게 되어 안테나의 복사 효율이 낮아지며 서서히 빔 패턴이 왜곡되고 축비 특성이 다시 나빠지는 것으로 나타났다. 여기서 가장 적절한 b의 길이는 22 mm 정도인 것으로 판단된다. b의 길이가 22 mm일 때에 0 dBi 가 넘는 값을 가지는 빔 폭이 약 145~150° 정도이며, 축비는 약 1 dB 정도의 값을 가지며 빔 폭 내의 모든 방향에서 축비가 5 dB를 넘지 않는다.

또한 다이폴과 모노폴 안테나의 간격이 상호 간의 커플링(coupling) 수치에도 영향을 미치게 된다. 다이폴과 모노폴간의 적절한 간격은 2 GHz 정도에서 약 5~10 mm 정도이다. 간격이 너무 좁으면 모노폴로 커플링 되는 신호는 증가하게 되어 빔 폭은 넓어지나 복사 패턴이 왜곡되고 축비가 나빠지며, 간격이 너무 멀면 모노폴에 의한 영향이 줄어들게 된다.

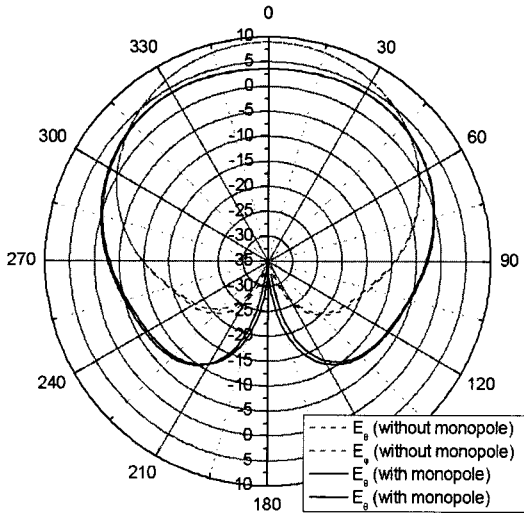
그림 3은 주파수 2.075 GHz에서 모노폴을 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때의 복사 패턴과 축비를 시뮬레이션한 결과이다. 실제 제작될 안테나의 구조를 고려하여 최대한 유사하게 설계하여 시뮬레이션 하였으며 따라서 표 1의 시뮬레이션 결과와는 설계 수치가 조금 차이가 난다. 모노폴을 사용하였을 때(b=20.5)의 복사 패턴이 모노폴을 사용하지 않았을 때(b=0)와 비교하여 넓어진 것을 볼 수 있으며 축비 역시 $\pm 50^\circ$ 이상의 각에서 모노폴을 사용하지 않았을 때는 급격히 늘어나지만 모노폴을 사용하였을 때는 3 dB 이하의 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 시뮬레이션 결과 약 4.5 dBi의 이득과 약 1 dB의 축비, 145° 정도의 빔 폭을 가졌다.

표 1. 모노폴의 길이 b에 따른 시뮬레이션 결과
Table 1. Simulation result as functions of length b.

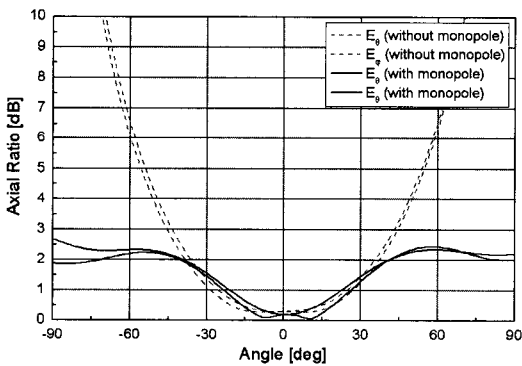
길이 b (mm)	주파수 (GHz)	최대 이득 (dBi)	빔 폭 (>0dBi)	축비(dB) 0°-45°-90°
0	2.075	8.9	120°	0.4-3.3-35
	2.252	8.9	122°	0.4-2.9-50
18	2.075	8.2	130°	0.7-1.6-9.4
	2.252	7.7	135°	0.7-0.6-5.8
19	2.075	7.8	133°	0.5-0.9-6.4
	2.252	6.9	138°	0.4-1.2-2.7
20	2.075	7.5	135°	0.6-1.2-5
	2.252	6.3	141°	0.4-1.7-1.5
21	2.075	6.8	139°	0.6-1.8-3.6
	2.252	5	144°	0.4-3.3-3
22	2.075	6	142°	1-2.9-3.3
	2.252	4.1	149°	0.7-4.4-4

IV. 안테나 제작 및 측정 결과

그림 4는 제작된 S-band 안테나의 사진이다. 위성



(a) 복사 패턴
(a) Radiation pattern

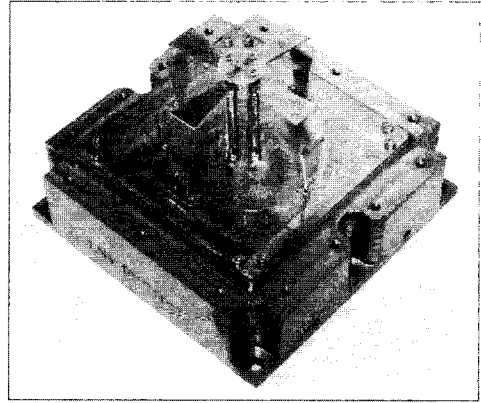


(b) 축비
(b) Axial ratio

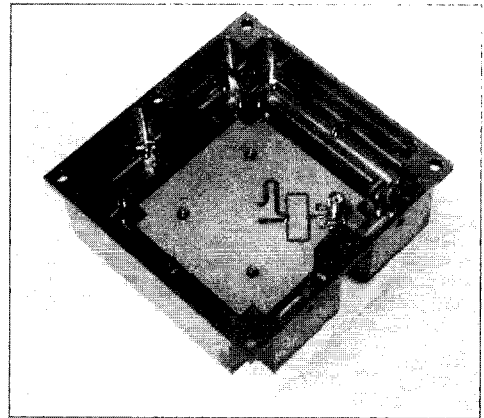
그림 3. S-band 안테나 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Simulation results of S-band antenna.

체에 적용되는 안테나는 우주 환경과 발사 충격에 견딜 수 있는 내환경성 및 내충격성을 보유해야 한다. 따라서 다이폴과 모노폴 소자를 두께 1 mm의 황동으로 가공하였으며 납땀을 이용하여 접지판 (ground plate)에 부착하였다. 접지판 역시 두께 2 mm의 황동으로 제작하여 기계적인 강도를 보완하였다. 급전선으로 이용되는 동축 선로는 Rigid 케이블을 사용하였으며 SMA 커넥터를 접지판과 납땀으로 완전히 고정시켜 기계적인 강도와 전기적인 특성을 동시에 만족시켰다.

그림 5는 안테나 복사 패턴을 측정한 도표이며, 그



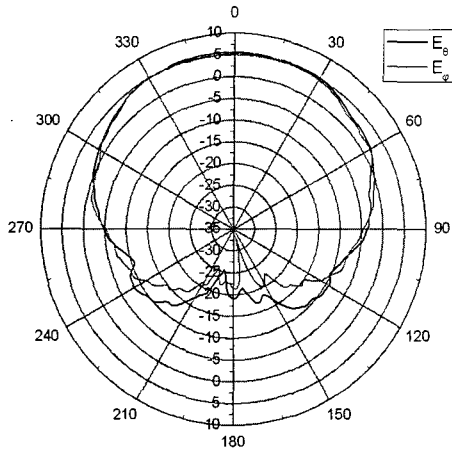
(a) 앞면
(a) Front



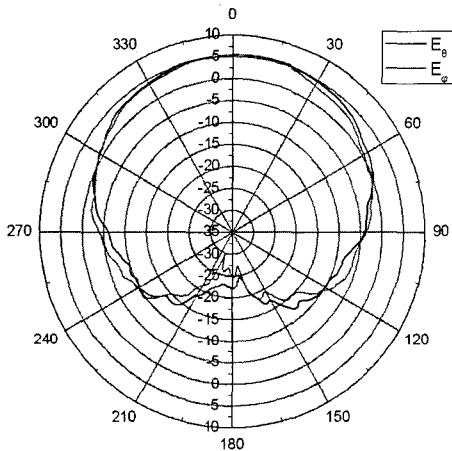
(b) 뒷면
(b) Back

그림 4. 제작된 S-band 안테나 사진
Fig. 4. Photos of fabricated S-band antenna.

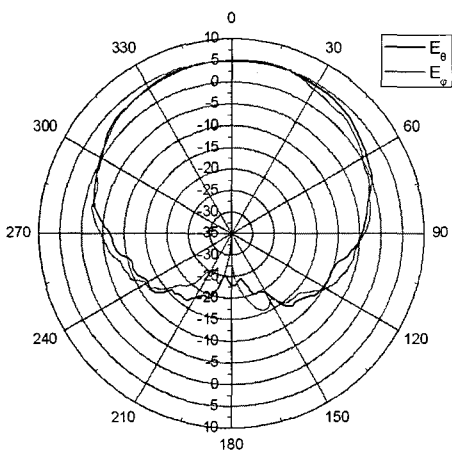
림 6은 안테나의 축비 특성을 측정한 도표이다. 설계 수치는 $a=21$ mm, $b=20.5$ mm이며 구조물의 기계적인 강도를 위해 다이폴과 모노폴 소자를 두께 1 mm의 황동으로 제작하여 표 1에서의 설계 수치와는 약간 차이가 난다. 측정 결과, 각각의 주파수에서 약 5 dBi의 이득과 약 1~2 dB의 축비, 140° 정도의 빔폭을 가졌다. 제작된 안테나의 설계 수치와 동일한 설계 수치로 시뮬레이션 한 그림 3에서의 결과와 비교하면 안테나의 이득은 비슷하며 빔 폭은 약 5° 정도 적은 값을 가진다. 또한 축비의 경우, 시뮬레이션 결과보다 약 1~2 dB 높은 값을 가졌다. 측정 결과와 시뮬레이션 결과의 오차는 안테나 주변의 측정 장비의 구조물에 의한 영향과 안테나 지그 및 레이더에



(a) 2.075 GHz

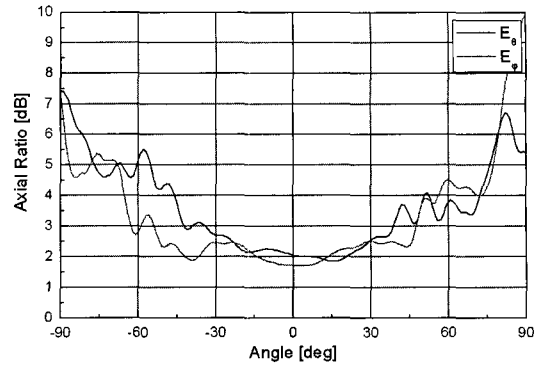


(b) 2.252 GHz

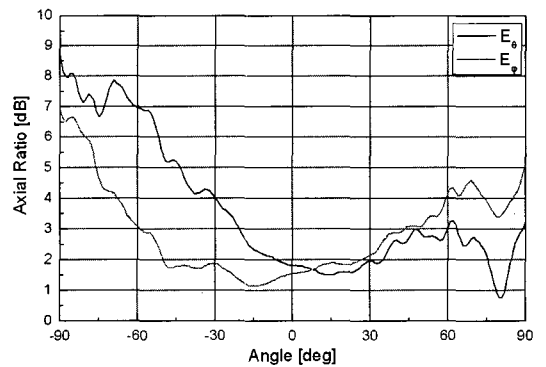


(c) 2.2825 GHz

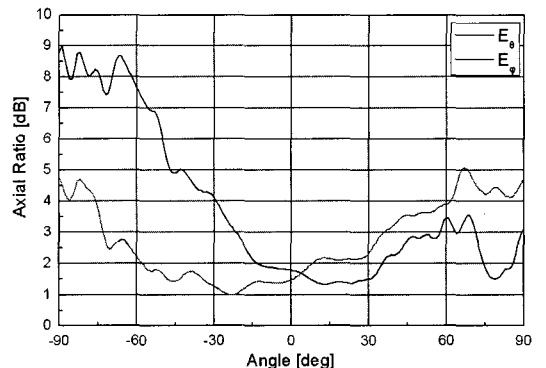
그림 5. S-band 안테나 복사 패턴 측정 결과
Fig. 5. Radiation pattern of S-band antenna.



(a) 2.075 GHz



(b) 2.252 GHz



(c) 2.2825 GHz

그림 6. S-band 안테나 축비 측정 결과
Fig. 6. Axial ratio of S-band antenna.

의한 오차 때문인 것으로 판단되며 S-band 안테나의 빔 폭이 넓기 때문에 주변 구조물에 더 큰 영향을 받는 것으로 보인다. 또한 그림 6에서 축비가 약간의 비대칭적인 특성을 가지는데, 이는 안테나의 벌룬이 주파수 2.252 GHz 이상에서 완전한 특성을 가지지

표 2. 제작된 안테나의 시뮬레이션 및 측정 결과
Table 2. Simulated and measured result of fabricated antenna.

	주파수 (GHz)	최대 이득 (dBi)	빔 폭 (>0 dBi)	축비(dB)
시뮬레이션 결과	2.075	5.9	140°	0.2
	2.252	4.3	146°	0.6
	2.2825	4.2	147°	0.7
측정 결과	2.075	5.3	136°	2
	2.252	5.6	142°	1.7
	2.2825	5.6	141°	1.6

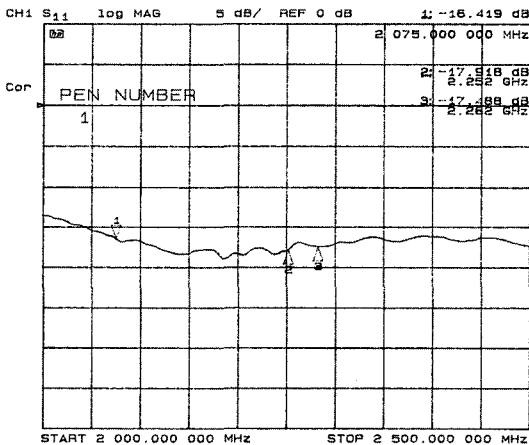


그림 7. 반사 손실
Fig. 7. Return loss.

못하기 때문인 것으로 보인다.

그림 7은 안테나의 반사 손실 측정 결과이며, 주파수 2.075 GHz에서 -16.419 dB, 2.252 GHz에서 -17.918 dB, 2.282 GHz에서 -17.488 dB의 측정 결과를 가진다. 따라서 대역폭 내에서 -16 dB 이하의 값을 가지며, 1.4 이하의 VSWR 값을 만족시킨다.

V. 결 론

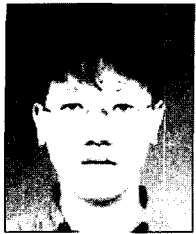
본 논문에서는 과학기술위성 2호에 적용될 TT&C

용 안테나를 구현하기 위해 기생 모노폴을 이용한 Turnstile 안테나를 제안하였다. 기존의 Turnstile 안테나와 비교하여 약 30°의 안테나 빔 폭이 향상되었으며, 중심축에서 떨어진 외각에서도 축비가 대부분 5 dB 이하의 값을 가지는 것을 확인하였다. 제작된 안테나는 약 140° 정도의 빔 폭과 3 dB 이하의 축비를 가진다. 또한 일반적인 형태의 다이폴 안테나 대신 보우-타이 다이폴 안테나를 사용하여 송수신 주파수 대역폭을 모두 만족시키는 안테나를 구현하였다. 제안한 안테나는 안테나 동작 대역폭과 주파수에 따라 다이폴과 모노폴의 길이와 위치를 시뮬레이션 툴(tool)을 이용하여 적절히 튜닝함으로써 위성의 TT&C용 안테나로 사용할 수 있는 설계 구조이다.

참 고 문 헌

- [1] P. K. Shumaker, C. H. Ho, and K. B. Smith, "Printed half-wavelength quadrifilar helix antenna for GPS marine applications", *IEE Electron. Lett.*, vol. 32, pp. 153-154, Feb. 1996.
- [2] J. Dyson, "The unidirectional equiangular spiral antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 7, pp. 329-334, Oct. 1959.
- [3] V. F. Vincent, C. Robert, and L. Rong-Lin, "Quadrifilar loop antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 51, pp. 115-120, Jan. 2003.
- [4] S. D. Rogers, C. M. Butler, "Wide-band sleeve-cage and sleeve-helical antennas", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 50, pp. 1409-1414, Oct. 2002.
- [5] G. Oltman, "The compensated Balun", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. 14, pp. 112-119, Mar. 1966.
- [6] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, Wiley, pp. 240-246, 1998.

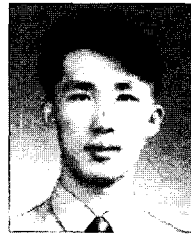
이 정 수



2001년 8월: 고려대학교 전기전자
전파공학부 (공학사)
2003년 8월: 고려대학교 전파공학
과 (공학석사)
2003년 7월~현재: 한국과학기술원
인공위성연구센터
[주 관심분야] 위성통신 시스템, 안

테나, 변복조기술 등

서 규 재



2001년 8월: 전북대학교 정보통신공
학과 (공학사)
2003년 8월: 전북대학교 정보통신공
학과 (공학석사)
2004년 3월~현재: 한국과학기술원
인공위성연구센터
[주 관심분야] 위성통신 송수신 시

스템, RF 수동/능동 회로

오 치 욱



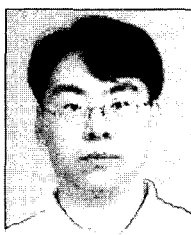
1993년 2월: 중앙대학교 제어계측
공학과 (공학사)
1995년 8월: 중앙대학교 전자공학
과 (공학석사)
1995년 8월~1999년 10월: 현대전
자(주) 통신연구소 주임연구원
1999년 11월~2002년 2월: LG전자

(주) CDMA 단말연구소 선임연구원

2002년 3월~현재: 한국과학기술원 인공위성연구센터 선
임연구원

[주 관심분야] 위성탑재용 무선통신시스템, RF 및 초고주
파 회로 설계 등

오 승 한



2001년 2월: 동서대학교 정보통신공
학과 (공학사)
2005년 8월~현재: 충남대학교 전파
공학과 석사과정
2001년 1월~현재: 한국과학기술원
인공위성연구센터 연구원
[주 관심분야] 위성통신 시스템, 디

지털 송수신 시스템