

위성 대 위성 통신용 광대역 HTS 안테나 제작 및 특성 해석

Fabrication and Characterization of Wideband HTS Antennas for Satellite to Satellite Communication

정동철¹, 최명호², 황중선³, 강형근⁴, 한병성⁵

(D.-C. Chung, M.-H. Choi, J.-S. Hwang, H.-G. Kang, B.-S. Han)

Abstract

We designed wideband HTS antennas which consists of two triangle-radiation patches using a $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) superconducting thin film. The major limitation of high- T_c superconducting (HTS) microstrip antennas is the narrow bandwidth due to the high Q and thin substrate. Defining bandwidth as the frequency range over which standing wave ratio (SWR) 2:1 or less, HTS antenna bandwidths are typically 0.85 % to 1.1 %. Thus considerable effort has been focused on developing antennas for broadband operation. To calculate input impedance and design of the broadband HTS antennas a moment method technique was used. The HTS antenna fabricated in this work was designed for K-band, which is useful band for satellite-to-satellite communications. The bandwidth obtained was a significant 6.7 % and the other measured performance of our HTS antenna, including the bandwidth, radiation pattern, efficiency, standing wave ratio (SWR) and return losses was reported.

Key Words : Wideband, HTS antennas, YBCO film, Triangular radiation patch, Moment Method.

1. 서론

고온초전도 마이크로파 소자 응용 중 대역통과 필터와 믹서 등이 활발하게 연구되고 있는데 비하여 초전도 안테나 연구가 상대적으로 부진한 결과를 보이고 있는데 이는 다음과 같은 연유에 기인

한다[1]. 첫째, 대역통과 필터를 비롯한 여타의 초전도 수동소자들이 냉각패키지 내부에서 전자기파가 순환되는데 비하여 안테나의 경우 전자기파를 냉각패키지 밖으로 방사시켜야 한다는 어려움이 있기 때문이다. 둘째, 온도변화에 비하여 안테나 특성이 변하고 특히 임계온도 부근의 급격한 특성 변화는 기존의 마이크로파 상용 시뮬레이션 프로그램으로도 예측이 불가능하다는 점이다[6]. 셋째, 마이크로파 환경에서 매우 낮은 표면저항이 안테나 이득과 효율 향상에 비약적인 상승을 가져오는데 불구하고 이로 인해 야기되는 높은 양호도(Q)로 인해 매우 협소해지는 대역폭(1 %내외)이 상용

* 우석대학교 정보통신컴퓨터공학부
Fax: 063-290-1453
E-mail :dchung@woosuk.ac.kr

** 광주보건대학교 의료정보공학과

*** 담양대학교 컴퓨터응용전기시스템과

**** 우석대학교 정보통신컴퓨터공학부

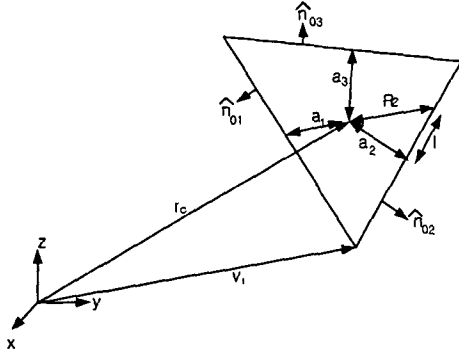


그림 1 삼각형에서 면적분계산을 위한 기하학적 양.
Fig. 1 Geometrical quantity for calculation of the surface integral on triangle.

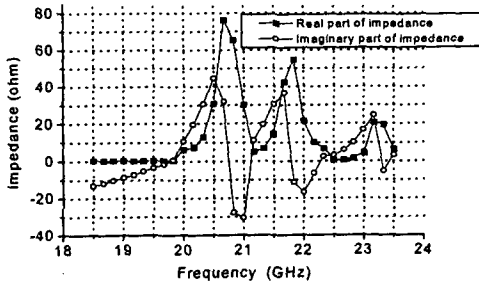


그림 2. 계산된 초전도 안테나의 입력임피던스.
Fig. 2. Calculated input impedance for our HTS antenna.

화의 결립들로 작용하고 있다[2].

본 논문에서는 고온초전도 안테나의 협대역 문제를 해결하기 위해 두 개의 이등변 삼각형으로 이루어진 평면형 고온초전도 안테나(혹은 bifm 안테나)에 대하여 보고한다. 안테나 제작을 위해 rf-magnetron sputtering을 이용하여 YBCO 초전도 박막을 증착하였으며 패턴 형성을 위해 습식 식각법을 사용하였다. 또한 안테나 설계 및 시뮬레이션을 위해 모멘트법을 이용하였는데 이때 중심 주파수를 20 GHz로 하였으며 20 GHz 대역은 위성 대 위성 통신용 주파수 대역으로서 매우 유용한 주파수 대역이다.

2. 광대역 HTS 안테나 설계 제작 및 실험

2.1 고온초전도 박막의 증착

초전도 안테나의 제작에 사용된 초전도 박막은 YBCO 초전도 박막이었으며 rf 마그네트론 스퍼터링

표. 1 초전도 안테나의 설계 제원 :단위[mm]

Table. 1. Design dimension of HTS antenna: unit [mm]

W	L	W ₁	W ₂	W ₃
5.451	4.1092	0.493	0.101	0.201

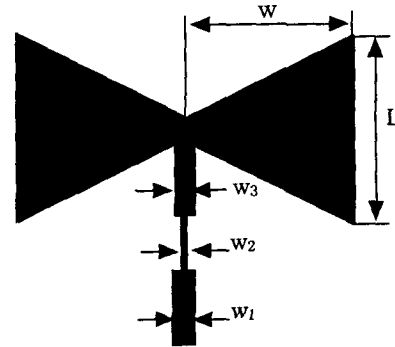


Fig. 3. Design patterns of HTS antennas

을 이용하여 제조하였다. YBCO 박막의 증착을 위하여 사용한 스퍼터링 조건은 다음과 같다. RF-전력은 75 W, 기판의 온도는 550 °C, 기판과 타겟 사이의 거리는 45 mm, 증착실의 기본 압력은 1×10^{-5} Torr, 증착 중의 가스 압력은 2×10^{-3} Torr였으며 스퍼터링 가스로는 아르곤 80 %와 산소 20 % 비율의 혼합가스를 사용하였다. 증착된 박막의 결정화를 위하여 전기로에서 후열처리하였다. 초전도 박막의 결정구조 특징을 알아보기 위하여 X-선 회절 실험을 행하였으며 4단자법을 이용하여 임계온도를 측정하였다. 이때 임계온도는 90.9 K로 측정되었으며 제조된 박막은 강한 C축 배향을 보여주었다.

2.2 광대역 초전도 안테나의 설계

본 논문에서 사용된 모멘트법은 동적 그린함수 면적분을 선적분으로 변환하는 것에 기초하고 있다. 먼저, 스칼라 전위와 벡터 자위를 아래와 같이 가정하였다.

$$\Phi_j^{qa} = \frac{I_j}{4\pi i \omega \epsilon A^q} \iint \frac{e^{ik|P-P_c|}}{|P-P_c|} ds, \quad (1)$$

$$A_j^{qa} = \frac{\mu I_j}{8\pi A^j} \iint \frac{e^{ik|P-P_c|}}{|P-P_c|} (P - P_j) ds. \quad (2)$$

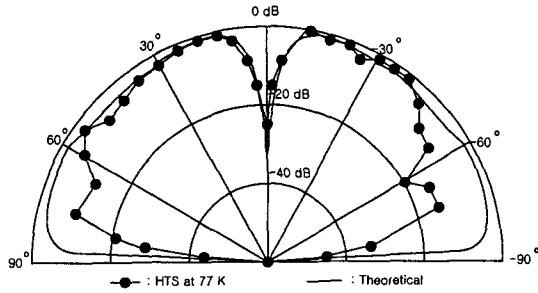


그림 4. 고온초전도 안테나의 E_θ 평면 방사패턴
Fig. 4. Radiation pattern of HTS antenna for E_θ plane

여기서 변수 j 와 l 은 그림 3에 제시된 삼각형 패치의 변과 꼭지점을 나타내는 것이며 범위는 1에서 3까지이다. 또한 q 와 p 는 삼각형 패치의 전원과 전자기장을 나타내는 색인수(index number)이다. 그림 3은 삼각형 패치에서 표면 적분을 계산하는데 편리하도록 도시한 것이다. 여기서 r_c 는 장점(field point)을 나타내는 벡터이고 적분은 변수 l 로 이루어진 변을 따라 진행되며 매개변수 a_j 와 삼각형면에 직각인 법선 벡터 \hat{n}_{0l} 를 사용한다. 벡터 $\hat{p} - \hat{p}_j = \rho_j^*$ 는 참고문헌 [3]에 주어진 것과 같이 기저함수를 형성하며 점결합법(point matching)이 사용되었다. 참고문헌 [3]로부터 우리는 (2)식의 적분을 아래와 같이 변환할 수 있다.

$$\Phi_j^{qq} = \frac{l_j}{4\pi\omega\epsilon A^q} \sum_j \int_{b_j r} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(ik)^m}{(m+1)!} R_j^{m-1} dl \quad (3)$$

여기서

$$R_j^2 = a_j^2 + l^2 \quad (4)$$

이며 $\partial_j T$ 는 삼각형의 j 번째 변이다.

스칼라 적분 또한 아래와 같이 변환할 수 있다 :

$$\begin{aligned} I_j^{qq} = & \left(-\frac{i}{k} \sum_{l=1}^3 \hat{n}_{0l} \int_{b_j r} e^{ikR_l} dl\right) \\ & + (\hat{p}_c - \hat{p}_j) \sum_j \int_{b_j r} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(ik)^m}{(m+1)!} R_j^{m-1} dl \end{aligned} \quad (5)$$

이때 급전모델은 삼각형 변에서 급전되는 델타 함수로 아래와 같이 모델링하였다.

$$\vec{E} = \hat{y}\delta(y) \quad (6)$$

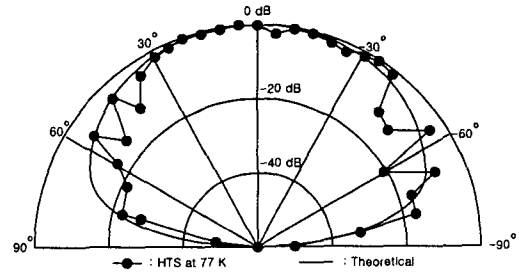


그림 5. 고온초전도 안테나의 E_ϕ 평면 방사패턴
Fig. 5. Radiation pattern of HTS antenna for E_ϕ plane

원거리 전계를 계산하기 위해 삼각형 평면을 이동면 사이에 존재하는 완전도체로 이루어진 짧은 다이폴 집합 간주하였다. 전류값은 모멘트 방정식 $V=ZI$ 와 변의 길이로부터 계산된 전류벡터에서의 표면전류밀도를 이용해서 계산하였다. 그림 4는 주파수 함수로 이루어진 입력임피던스를 나타내고 있으며 원거리계는 아래 식과 같이 근사화 시킬 수 있다.

$$E_\theta \approx -\eta k I_n I_n |1/2(\rho_n^{c+} + \rho_n^{c-})| \frac{e^{ikr}}{4\pi r} \sin\theta \quad (7)$$

이때 $\rho_n^{c+} + \rho_n^{c-}$ 는 삼각형 패치에서의 진행방향과 후퇴방향 표면전류밀도이다 [4]. 수차례의 모멘트법 반복과정을 통해서 그림 3과 같은 설계 패턴을 얻었으며 표 1에 그 수치를 나타내었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 고온초전도 안테나의 방사패턴

그림 4과 그림 5와 그림 10에 77 K에서 측정된 고온초전도 안테나의 방사 패턴을 제시하고 있다.

측정된 방사패턴은 E_ϕ 평면과 E_θ 평면 모두 이론적으로 계산된 결과와 근사적인 일치율을 보여준다. 다만, 두 방사 패턴 모두 외곽 편각에서 이론적으로 계산된 결과와 약간의 불일치를 보이고 있는데 이는 안테나 기관과 접지면 사이에서 발생하는 위치오차와 제작 오차에 기인하는 것으로 판단된다. 또한 이러한 결과들은 부분적으로 Schaubert et al. [4] 등이 제시한 고유전율 안테나의 특성값도 일치한다. 여러번의 반복 실험을 통해서 정확한 방사패턴을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

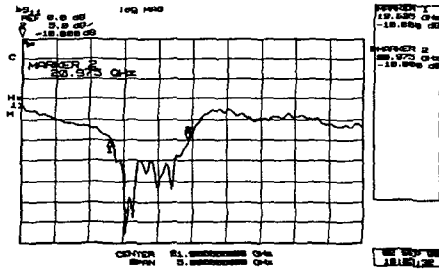


그림 6 고온초전도 안테나의 반사손실
Fig. 6 Return loss of HTS antenna

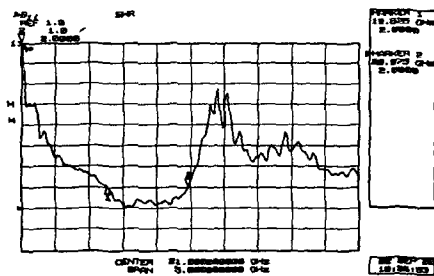


그림 7. 고온초전도 안테나의 정재파비
Fig. 7. SWR of HTS antenna

3.2 고온초전도 안테나의 반사손실, SWR, 대역폭

그림 6은 77 K에서 측정된 고온초전도 안테나의 반사손실(S_{11})을 제시하고 있다. 측정은 18.5 GHz 에서부터 23.5 GHz까지 수행하였으며 측정된 응답은 매우 양호는 광대역 특성을 나타내고 있다. 반사손실의 최대점은 - 37.5 dB였고 이때의 공진 주파수는 20.03 GHz 였다. 반사손실의 최소점은 - 17.5 dB 였으며 이때의 공진 주파수는 20.3 GHz 였다. 또한 최상위쪽 공진 주파수는 20.75 GHz 였으며 이때 반사손실은 - 22.21 dB로 측정되었다.

측정된 정재파비를 그림 7에 제시하였다. 대역폭을 정재파비 2 이하의 경우로 정의한다면 유효한 주파수 범위는 19.625 GHz 에서 부터 20.975 GHz이다. 따라서 전체 유효 동작대역은 1.35 GHz 이며 대역폭은 대략 6.7 %로 계산된다. 이러한 결과는 참고문헌 [2]의 결과에 비하여 7배정도 대역폭을 향상시킨 것이다.

3.4 고온초전도 안테나의 효율

효율측정은 Wheeler cap method [5]를 이용하여 20.03 GHz에서 수행하였으며 방사차폐 cap을 씌우지 않은 경우와 씌운 경우의 임피던스를 측정

하여 효율(η)을 계산하였고 그 계산식은 다음과 같다.

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_l} = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \quad (8)$$

여기서 P_r and P_l 은 각각 안테나의 복사전력과 손실 전력을 나타내며 R_1 과 R_2 는 방사차폐 cap 을 안테나에 씌웠을 경우와 씌우지 않았을 경우, 입력 임피던스의 실수부 저항을 의미한다. 측정된 효율은 90.09 %로서 참고문헌 [2]의 비교용 금안테나의 효율 78 % 에 비하여 매우 향상된 결과임을 보여주고 있다. 이러한 결과는 고온초전도 물질이 마이크로파 응용에 사용될 경우 매우 유용한 결과를 보일 수 있음을 증명하는 것이다.

4. 결론

본 논문의 주요한 목적은 위성 대 위성 통신에서 사용할 수 있는 광대역 고온초전도 안테나를 설계하는 것이었다. 측정된 대역폭은 6.7 %로서 고온초전도 안테나의 협대역 특성을 비약적으로 개선하였다고 판단된다. 본 논문에서 설계한 고온초전도 안테나의 효율 또한 90.09 %로서 다양한 통신 시스템에 유용하게 사용될 것으로 전망된다.

참고 문헌

- [1] D.-C. Chung et.al, "Comparison between High-Tc Superconducting Microstrip Filters and Normal Conducting Counterparts", *IEEE Trans. App. super.*, vol.9 no.2, 1999.
- [2] M. A. Richard et. al, "Superconducting microstrip antennas: an experimental comparison of two feeding methods, *IEEE Trans. AP.*, vol. 41, No.7, pp.967-974, 1993.
- [3] J. Helszajn et.al, "Planar triangular resonators with magnetic walls, *IEEE Trans. MTT.*, vol.26, no.2, 1978.
- [4] D. H. Schaubert et.al, "Experimental study of a microstrip array on high permittivity substrate, *IEEE Trans. AP.*, vol. 34, 1986.
- [5] H. A. Wheeler, "The radiansphere around a small antenna," *Proc. IRE.*, Vol. 47, pp. 1325-1331, Aug. 1959.