

Design of a wideband HTS antenna

Dong-Chul Chung^a, Jong-Sun Hwang^b, Sung-Jin Park^c, Byoung-Sung Han^c

^a Woosuk University, Wanju, Chonbuk, Korea

^b Damyang College, Damyang, Chonnam, Korea

^c Chonbuk Nat'l University, Chonju, Chonbuk, Korea

Received 22 July 2000

Abstract

In this paper, we present a novel methodology for a wideband HTS antenna of finite length placed on a dielectric substrate. A methodology used in this work is based on a moment-method techniques with Green function singularity when the field point is in the source triangle. The designed resonance frequency of our HTS antenna is 11.85 GHz. The return loss is -26 dB. The bandwidth obtained is a significant 10.6 %. Experimental measurements for a HTS antenna designed in X-band are shown to agree well with the simulated prediction.

Keywords : HTS antennas, wideband, resonance frequency

I. 서론

고온초전도체는 마이크로파 대역에서 낮은 표면저항과 저렴한 비용으로 초전도 현상을 이룰 수 있다는 점에서 많은 각광을 받아왔다. 특히 낮은 표면저항은 마이크로파 소자의 손실을 결정하는 안테나에서의 저항손을 획기적으로 줄일 수 있다는 점과 구리나 금을 비롯한 일반 전도체로는 도저히 이룰 수 없는 높은 공진양호도(Q)를 구현할 수 있다는 점에서 높은 효율과 정밀도를 갖는 마이크로파 소자의 제작이 가능하다. 현재까지 국내외적으로 안테나, 필터, 공진기, 듀플렉서 등 다양한 수동소자가 제작되고 있으며 대역통과 필터를 비롯한 몇몇의 분야에서는 실제 통신 시스템에 투입이 가능할 정도로 빠른 진보를 보이고 있다[1-2].

그러나 고온초전도 마이크로파 소자의 높은 Q 값이 고온초전도체로 제작된 모든 마이크로

파 소자의 성능을 향상시키는 것은 아니다. 안테나의 대역폭은 Q 값에 반비례하기 때문에 고온초전도 안테나의 경우 이러한 높은 Q 값은 오히려 초전도 안테나의 대역폭을 크게 감소시키는 요인으로 작용한다. 현재까지 제작된 고온초전도 안테나는 주로 마이크로스트립 타입의 안테나이며 제작 형태에 따라 마이크로스트립 구형(rectangular) 타입, 마이크로스트립 원형(circular) 타입, 마이크로스트립 'H' 타입 등이 활발하게 연구되었고 다양한 연구결과들이 보고된 바 있다. 상기의 안테나들은 고온초전도체로 제작되었을 때 비교용 금 안테나에 비하여 상대 이득이나 효율 등의 면에 있어서 훨씬 우월한 특성을 보여주는데 이는 전적으로 고온초전도체의 낮은 표면저항으로 인한 것이다. 그러나 이상의 안테나들도 높은 Q 값으로 인해 대역폭의 협소함은 피할 수 없으며 일반 전도체에 비하여 최고 50 %의 대역폭 감소를 보여준다. 따라서 고온초전도 안테나를 실제 위성 통신이나 이동 통신 기지국 등의 통신 시스템에 적용하기 위해서는 반드시 초전도 안테나의 높은 효율과 이득은 그대로 유지하면서

¹ *Corresponding author. Fax: +82 63 290 1453

e-mail: dchung@core.woosuk.ac.kr

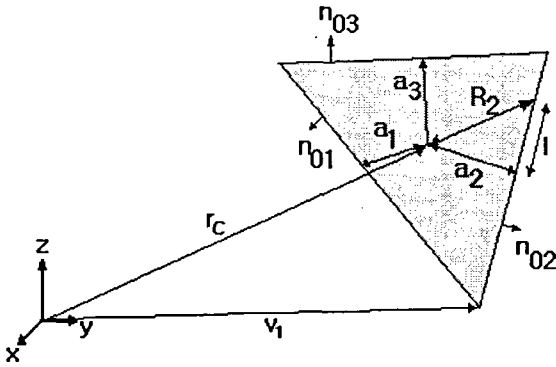


그림 1 모멘트법 전개에 있어서의 관찰점

대역폭을 최소 일반 전도체로 만들어진 안테나 이상으로 확장시켜야만 한다.

본 논문에서는 일반 전도체 안테나에 비하여 훨씬 우월한 초전도 안테나의 효율과 이득을 그대로 유지시키면서 안테나의 동작 대역을 일반 전도체 안테나 수준 또는 그 이상의 대역폭을 가질 수 있는 고온초전도체 안테나를 최적 설계·제작하는 것을 목적으로 하고 있다.

이를 위하여 본 논문에서는 삼각형 방사 패치를 배열하여 Bow-Tie 형태의 초전도 안테나를 설계하고 모멘트법을 이용하여 결과를 해석하였다. 본 논문에서 설계된 초전도 안테나는 컴퓨터 모의 실험 결과와 매우 유사한 결과를 보여준다.

II. Moment 법을 이용한 초전도 안테나의 해석

그림 1과 같이 삼각형 패치와 관찰점을 규정하였을 때 스칼라 포텐셜과 벡터 포텐셜은 아래와 같이 정의될 수 있다.

$$\Phi_j = \frac{l_j}{4\pi i \omega \epsilon A} I \quad (1)$$

$$\vec{A}_j = \frac{\mu l_j}{8\pi A} \vec{I}_j \quad (2)$$

여기서

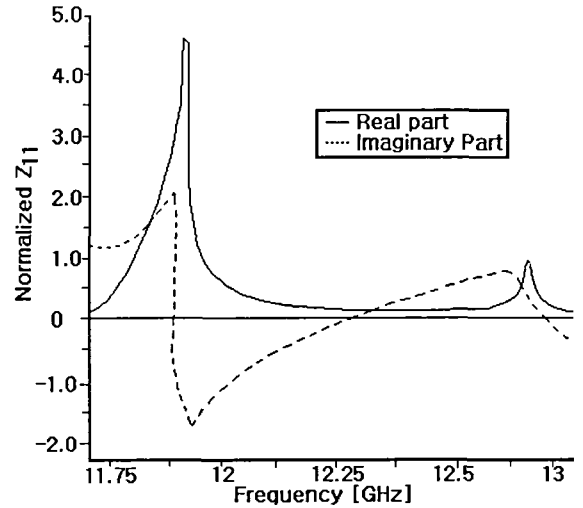


그림 2 HTS 안테나의 계산된 임피던스 응답

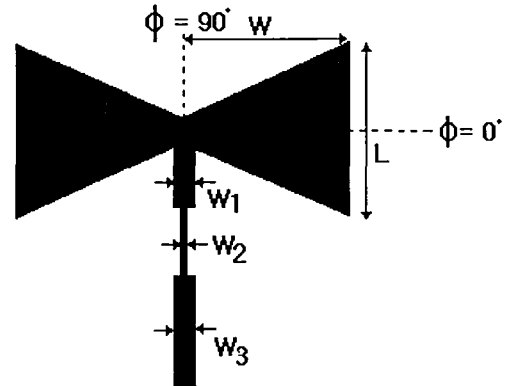


그림 3 설계된 광대역 HTS 안테나

$$I = \iint \frac{e^{ik|\vec{r}-\vec{r}_c|}}{|\vec{r}-\vec{r}_c|} ds \quad (3)$$

$$\vec{I}_j = \iint \frac{e^{ik|\vec{r}-\vec{r}_c|}}{|\vec{r}-\vec{r}_c|} (\vec{r}-\vec{v}_j) ds \quad (4)$$

이때 $\vec{r}-\vec{v}_j = \rho_j$ 이며 기저함수를 이루는 벡터는 참고 문헌 [3]을 참고하였다. 이때 점결합법을 사용하였으며 r_c 는 관찰점에서 삼각형 중심까지의 거리이고 전류는 다시 아래 식으로 유도될 수 있다.

$$I = \sum_j^3 \int_{S_j T} \sum_m \frac{(ik)^m}{(m+1)!} R_j^m ds \quad (5)$$

여기서

$$R_j^2 = a_j^2 + l^2 \quad (6)$$

이다. 급전 모델로 델타 함수를 사용하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{E} = \hat{y} \delta(y) \quad (7)$$

그러므로 해를 구하기 위한 행렬식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$[V] = [I][Z] \quad (8)$$

그림 2는 위 과정을 통하여 계산된 임피던스 응답을 나타내고 있다. 그림으로부터 실선은 안테나 임피던스의 실수부를 점선은 안테나 임피던스의 허수부를 나타낸다. 안테나의 최대 공진은 임피던스의 허수부가 '0'의 값을 가질 때이므로 이때 공진 주파수는 11.75 GHz이고 정규화된 초전도 안테나의 임피던스는 허수부가 '0'인 지점에서 4.72 ohm였다. 이를 바탕으로 두개의 삼각형 패치를 연결한 중앙에 1/4파장 변환기를 사용하여 마이크로스트립 방식으로 급전하였다. 설계한 초전도 안테나의 설계 패턴을 그림 3에 제시하였다. 초전도 안테나의 제작을 위해 1cm X 1cm의 YBCO 초전도체를 사용하였고 HP8510C백터 회로망 해석기를 이용해 마이크로파 암실에서 안테나의 각종 특성을 측정하였다.

II. 실험결과 및 고찰

a. 방사패턴

그림 4와 그림 5는 마이크로파 암실에서 측정된 초전도 안테나의 방사패턴을 나타낸 것이다. 그림에서 실선은 모멘트 법 해로부터 유도한 이론값을 나타내고 검은 원점으로 연결된

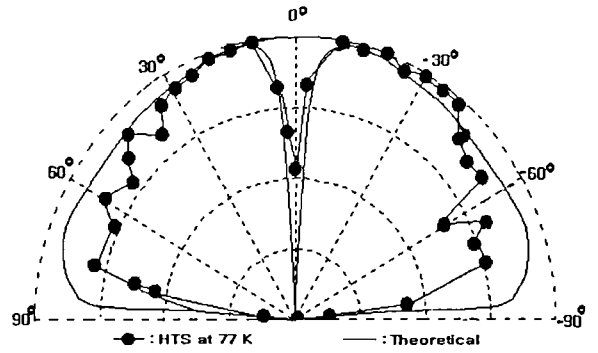


그림 4 초전도 안테나의 E-평면 방사패턴

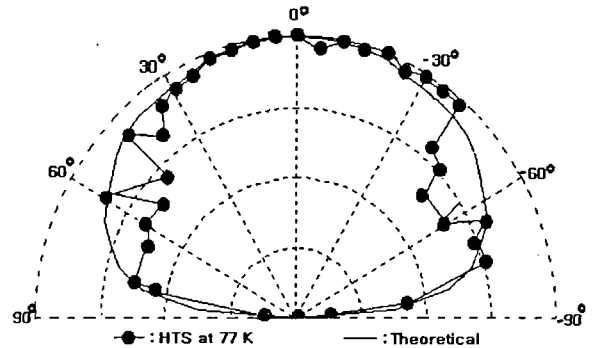


그림 5 초전도 안테나의 H-평면 방사패턴

곡선은 실험값을 나타낸다. 먼저 그림 4에 제시된 E-평면 방사패턴의 경우 측정된 방사패턴은 전체적으로 개략적인 일치율을 보여준다. 다만, 초전도 안테나의 특성 상 일반전도체 안테나에서 사용하는 패턴기록기를 사용할 수 없었기에 대체적으로 이산적인 분포를 보이고 있다. 그림 5에 제시된 H-평면 방사 패턴은 E-평면 방사 패턴에 비해 좌반면과 우반면에서 상당한 이탈을 보여준다. 이는 패턴 측정시 크라운오스텝내에서 헬륨 가스의 충격 등에 의한 실험오차일 것으로 추정된다.

b. 반사손실

그림 6에 액체질소 비등점인 77 K에서 측정된 제작된 초전도 안테나의 반사손실을 제시하였다. 여기서 실선으로 표시된 부분이 모멘트 법 해로부터 유도한 이론값을 나타내고 검은 점으로 연결된 부분이 측정값이다. 이론값은

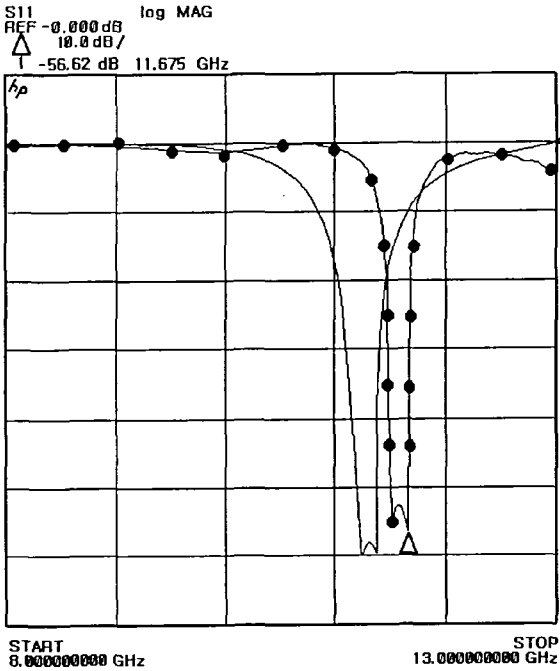


그림 6 제작된 초전도 안테나의 반사손실

11.35 GHz에서 -60 dB를 나타내고 있다. 회로망 해석기를 이용하여 측정된 초전도 안테나의 반사손실은 공진주파수 11.675 GHz에서 반사손실이 -56 dB를 나타내고 있다. 이론값과 실제값에서 0.325 GHz의 오차가 발생하고 있으며 반사손실에서 4 dB 가량의 오차가 발생하였음을 알 수 있다. 이는 제작 시 수반되는 식각 오차 및 온도 변화에 의한 기판(Mg)의 유전률 변화가 원인인 것으로 판단되지만 전체적으로 이론값과 대체적인 일치를 보여주고 있음을 알 수 있다.

c. 정재파비, 대역폭, 및 효율

제작된 초전도 안테나의 정재파비는 77 K에서 1.025를 나타냈다. 이는 제작된 초전도 안테나로 공급되는 신호 전력의 99% 이상이 초전도 안테나로 공급되고 있음을 시사하는 것이다. 제작된 안테나의 대역폭은 안테나의 Q값을 측정하여 다음 식에 의해 계산하였다.

$$B.W. = \frac{100}{Q\sqrt{2}} \quad (9)$$

Q 값으로부터 계산된 대역폭은 8.7%로 참고문헌 [2]의 Richard에 의해 제시된 0.85% - 1%의 대역폭을 약 10배 가량 상회하는 것이다. 제작된 초전도 안테나의 효율은 참고문헌 [1]에 제시된 방사차폐법을 이용하여 계산하였으며 계산된 효율은 93%였다. 이는 본 실험에서 제작된 초전도 안테나가 초전도 안테나의 우월한 특성인 높은 효율을 유지하면서 대역폭을 증가시킨 것으로 평가할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 고온초전도 안테나의 낮은 표면 저항으로 야기되는 높은 Q값으로 인해 일반전도체 안테나에 비하여 대역폭이 현격하게 작아지는 단점을 보완하기 위해 삼각형 방사패치 두개를 연결한 형태의 초전도 안테나를 제작하고 공진주파수, 반사손실, 대역폭, 효율, 방사패턴을 측정하였다. 측정된 초전도 안테나의 마이크로파 특성은 모멘트법으로 계산된 결과와 대체적인 일치를 보여주었으며 특히 대역폭의 경우 기존의 초전도 안테나에 비하여 약 10 배 정도 증가하는 효과를 가져왔다.

참고문헌

- [1] 정동철, 최명호, 강형근, 임성훈, 한병성, "고온초전도 마이크로스트립 안테나의 설계 및 특성해석", 대한전기학회 논문지 49권 4호 pp.219-225, 2000.
- [2] M. A. Richard, K. B. Bahshin, P. C. Clasp, "Superconducting microstrip antennas: an experimental comparison of two feeding methods," IEEE Trans. Ant. & Propag. Vol.42, no. 7 July, 1993.
- [3] S. M. Rao, D. R. Wilton, A. W. Glisson, "Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape", IEEE Trans. AP-32 vol. 3, pp.276-281, 1984