

# 'H'형태 공진기를 이용한 축소화된 위성통신 기지국용 고온초전도 안테나에 관한 연구

정동철, 임성훈\*, 최효상\*\*, 황종선\*\*\*, 한병성\*

우석대학교, 전북대학교\*, 조선대학교\*\*, 남도대학\*\*\*

## Study on the miniaturized HTS antenna using H-type resonators for satellite communication systems.

D.-C. Chung, S.-H. Lim,\* H.-S. Choi\*\* J.-S. Hwang\*\*\* and B.-S. Han\*

Woosuk Univ., Chonbuk Nat'l Univ.\*, Chosun Univ.\*\*., Namdo Univ.\*\*\*

### Abstract

The high- $T_c$  Superconducting (HTS) antenna which consists of "H" type resonator has the benefits for the miniaturization of antenna in comparison with the microstrip antenna of the similar dimension. To fabricate the "H" type antenna, HTS  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  (YBCO) thin films were deposited on MgO substrates using rf-magnetron sputtering. Standard etching processes were performed for the patterning of the "H" type antenna. For comparison between normal conducting antennas and superconducting antennas, the gold antennas with the same dimension were also fabricated. An aperture coupling was used for impedance matching between  $50 \Omega$  feed line and HTS radiating patch. The diverse experimental results were reported in terms of the resonant frequency, the return loss and the characteristics impedance. The "H" type superconducting antenna showed the performance of 1.36 in SWR, 24 % in efficiency, and 14.6 dB in the return loss superior to the normal conducting counterpart.

**Key Words :** HTS antenna, satellite communication, SWR, H-type resonator

### 1. 서 론

마이크로파 대역에서 초전도체의 이용은 다음과 같은 잇점이 있다. 첫째, 굵이나 구리와 같은 일반 전도체 물질에 비하여 표면 저항이 10~100여배 정도 작다. 이는 마이크로파 소자 응용에서 낮은 표면 저항을 가질 수 있음을 의미하며 낮은 표면 저항은 소자 내부의 저항에서 발생하는 방사전력의 손실을 최소화할 수 있다. 더불어 손실의 최소화는 안테나에서 이득의 증가와 필터나 전송선로, 공진기에서 삽입손실의 감소를 기대할 수 있다. 둘째 일반 전도체에서 표피 효과(skin effect)와는 비슷한 자계 투과 깊이(penetration depth)가 수백 GHz 영역까지 거의 일정

하다. 주파수에 무관한 자계 투과 깊이는 마이크로파 대역 및 밀리미터파 대역에서 물질내의 전자와 산란을 최소화할 수 있다는 점을 의미한다. 이러한 두가지 장점은 그동안 마이크로파 소자의 축소화에 응용할 수 있을 것으로 예견되어 왔다. 물론 일반 전도체 물질을 이용하여 마이크로파 소자의 축소가 불가능한 것은 아니나 축소화했을 경우, 대역통과 필터 등과 같은 소자의 삽입 손실을 현저히 떨어트리며 소자 물질의 저항 손실로 인한 이득의 감소 또한 심각하다. 본 논문에서는 'H' 형태 공진기를 이용하여 고온 초전도 안테나의 축소화를 실현하고자 한다. 초기 초전도 안테나의 개발은 주로 마이크로스트립 타입의 안테나를 중심으로 이루어졌다 [1,2]. 그러나 마이크

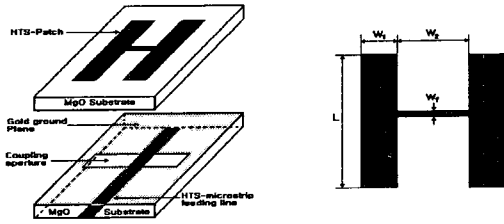


그림. 1 개구결합을 이용한 "H" 타입 고온초전도 안테나의 설계 패턴 및 구조.

로스트립 안테나는 "H" 타입의 안테나에 비하여 소형화(miniaturization)하는데 불리하다는 점 때문에 최근 초전도 안테나의 소형화는 주로 "H" 타입 형태로 이루어지고 있다 [3]. 본 논문에서는 두 개의 유전체 기판을 사용하여 접지면에 개구(aperture)를 만들고 이를 통하여 급전선과 초전도 패치 사이의 임피던스 결합을 도모하는 방식의 "H" 타입 안테나를 설계하였다.

일반 전도체 안테나와의 특성 비교를 위해 동일한 크기를 갖는 금 안테나가 열 증착법을 이용하여 제조되었으며 두 종류의 안테나 제작을 위해 표준 식각법을 사용하였다.

## 2. 초전도 안테나 설계, 제작 및 실험

### 2.1 초전도 박막의 증착 및 안테나 제작

초전도 안테나의 제작에 사용된 초전도 박막은 YBCO 초전도 박막이었으며 rf 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 제조하였다. 초전도 박막의 결정구조 특징을 알아보기 위하여 X-선 회절 실험을 행하였으며 4단자법을 이용하여 임계온도를 측정하였다. 제조된 박막의 결정구조는 강한 c축 배향을 나타내었고 임계온도는 90 K였다.

초전도 안테나의 형상화를 위해서 표준 식각법을 사용하였으며 식각 용액으로 EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) 수용액 (EDTA : 물 = 1 : 6)을 이용하였다. 열 증착법으로 제조된 금 박막의 안테나 형상화 위해 스퍼터링을 이용, 드라이 에칭을 실시하였다. 그림 1에 제시된 개구결합 "H" 타입 초전도 안테나는 두개의 유전체 기판 층으로 이루어져 있으며 첫번째 기판의 윗쪽면에 초전도 방사패치가 자리하고 아랫면에 개구가 형성된 접지면을 열 증착시켰다. 두번째 기판의 아랫면에는 50 Ω으로 설계된 급전선이 폭 0.497 mm 길이 10 mm인 초전도 박막

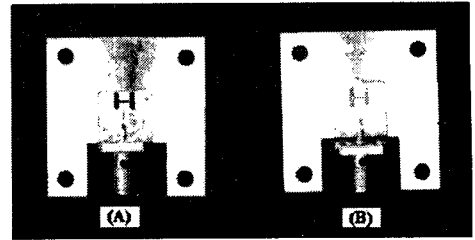


그림. 2 제작된 (a)초전도 안테나와 (b)금 안테나의 사진.

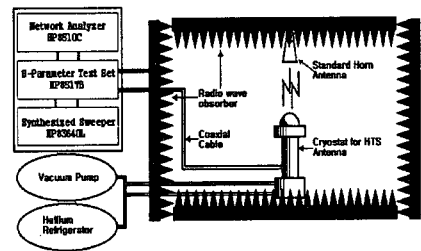


그림. 3 전체측정시스템의 개괄적 구조.

을 이용하여 제작되었다.

설계된 초전도 안테나는 안테나의 공진 길이는 4 mm 였으며 공진기의 폭  $W_1$  은 0.92 mm, 두 개의 전송선로 간의 간격  $W_2$  는 2.16 mm, 급전점에서의 선로의 폭  $W_f$  는 0.36 mm 였다. 그림 2는 상기의 과정을 거쳐서 제작된 초전도 안테나와 금 안테나의 사진을 보여주고 있다.

### 2.2 실험 장치의 구성

그림. 3은 본 실험을 위해서 자체 제작한 냉각 시스템의 전체적인 구조를 나타내었다. 전체적인 측정은 그림 3과 같은 전자파 흡수체로 채워진 마이크로웨이브 암실에서 HP 8510 C Network analyzer를 이용하여 이루어졌다. 먼저 샘플 안테나가 탑재된 냉각 시스템을 마이크로파 암실 바닥에 고정시키고 표준 혼 안테나를 회전시키는 방법을 취하여 방사 패턴을 측정하였으며 이를 이용하여 효율을 계산하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 공진주파수

그림 4는 온도변화에 따른 금 안테나와 초전도 안테나의 공진주파수를 나타내고 있다. 도시의 간략화를 위하여 초전도 안테나와 금 안테나가 특별한 변화

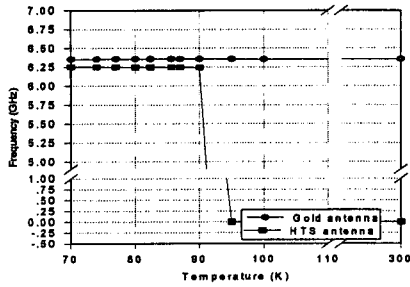


그림. 4 온도에 따른 공진주파수의 변화.

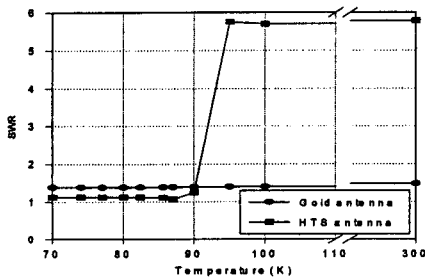


그림. 5 온도에 따른 SWR의 변화.

공진주파수는 1 GHz에서 5 GHz까지를 측약했다. 금 안테나는 전 온도 대역에 걸쳐 6.3532 GHz에서 6.3550 GHz까지 거의 미세하게 선형적인 증가를 보인다. 반면에 초전도 안테나의 경우 최초 공진이 초전도 안테나의 임계 온도인 90 K에서 비로소 상승을 시작하며 이때의 공진 주파수는 6.2440 GHz를 보여 준다. 금 안테나와 마찬가지로 초전도 안테나 역시 온도 하강에 따른 미세한 선형적 공진주파수 증가를 보이며 70 K에서 6.2517 GHz를 보였다. 온도 하강에 따른 공진주파수의 변화는 초전도 기판의 유전율이 온도에 따라 미세하게 감소하기 때문이며 유전율의 감소는 초전도 안테나와 금 안테나의 공진주파수 증가로 이어지는 것으로 보인다 [3]. 두 안테나 간의 공진주파수 차는 서로 다른 에칭 용액과 역시 서로 다른 재질을 사용했을 때 오는 식각오차를 포함하는 제작오차에 기인하는 것으로 판단된다.

### 3.2 정재파 비

그림. 5는 역시 온도 변화에 따른 금 안테나와 초전도 안테나의 정재파비를 나타내고 있다. 상온에서부터 70 K에 이르기까지 금 안테나의 정재파비는

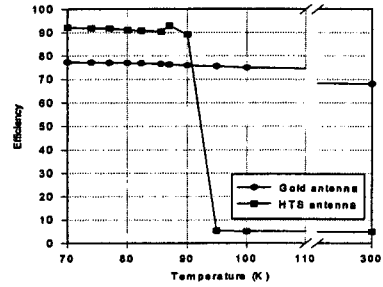


그림 6 온도에 따른 효율의 변화.

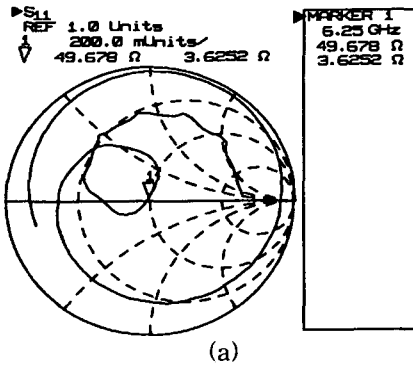
1.4800부터 1.3840까지의 변화를 보여주었다. 전체적으로 온도가 하강할수록 정재파비의 개선이 관찰되는데 이는 다음과 같은 요인으로 생각되어질 수 있다. 첫째 온도 하강에 따라 금 안테나의 전도도가 증가하고 둘째, 표면 임피던스가 감소하며 셋째 급전점에서 임피던스값이 변화하기 때문이다<sup>[2]</sup>. 초전도 안테나의 경우는 금 안테나와는 달리 상온에서 90 K에 이르기까지 대략 5에서 6 정도의 정재파비를 보이다가 임계 온도인 90 K에 이르러 극적인 정재파비의 개선이 관찰되었다. 이때 정재파비는 1.2530이었으며 온도가 하강함에 따라 70 K에서 1.1255를 나타내었다. 특이한 사실인 임계온도 근방인 87 K에서 1.07을 나타낸다는 점이다. 이러한 특징은 임계온도 부근에서 초전도체의 내부 임피던스가 급격한 등락을 보이는 것과 관련 있는 것으로 판단된다.

### 3.3 안테나의 효율

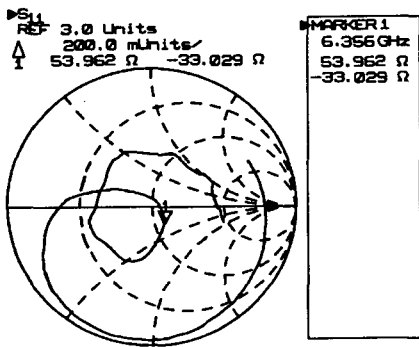
본 논문에서는 Wheeler가 제안한 방법을 이용하여 고온초전도 안테나의 효율을 계산하였다 [4]. 이를 위해 방사차폐(radiation shields)를 알루미늄으로 정교하게 제작하였으며 방사 차폐를 이용하여 cryostat 내의 고온초전도 안테나 및 비교용 금 안테나에 부착한 다음 방사 차폐가 부착되었을 때의 임피던스와 방사 차폐가 제거되었을 때의 임피던스를 측정하여 아래 식과 같이 효율을 계산하였으며 그 결과를 그림 6에 도시하였다.

$$\eta = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \quad (1)$$

여기서  $R_1$  방사 차폐를 하였을 때의 임피던스를  $R_2$ 는 방사 차폐를 하지 않았을 때의 임피던스를 나타낸다. 금 안테나의 효율은 전 온도 구간에



(a)



(b)

그림 7 77 K에서 특성임피던스.

(a) 초전도 안테나 (b) 금 안테나.

걸쳐 68 %에서 77.32 % 까지 온도가 하강함에 따라 증가 양상을 보여주었다. 이러한 양상은 임계 온도 하에서 표면임피던스의 감소가 두드러진 초전도 안테나에서 더욱 명확히 관찰되었다. 임계온도 하에서 초전도 안테나의 효율은 89.12 %에서 92.06 %까지 선형적인 증가를 하였다. 이러한 특징은 정재파비와 동일한 형태를 취하며 온도 하강에 따른 전도도의 증가와 표면임피던스의 감소가 주요한 원인으로 보인다.

### 3.4 특성 임피던스

그림 7은 77 K에서 초전도 안테나와 금 안테나의 특성임피던스를 스미스 도표에 근거하여 도시한 것이다. 먼저 그림의 (a)에 제시되어 있는 초전도 안테나의 특성임피던스는 허수부가 3.6252 옴을, 실수부가 49.678 옴임을 보여주고 있다. 이것은 특성임피던스의 허수부가 거의 '0'에 접근하고 있으며 실수부가 50 Ω 값에 근접한 것으로 우리가 원하던 급전 선로의

특성 임피던스 50 Ω과 거의 정확하게 일치하고 있음을 알 수 있다. 이것은 최대 전력 전달 조건에 의하여 급전선으로부터 전달되는 방사 전력 거의 전부가 고온초전도 안테나 패치로 공급되고 있음을 의미한다. 금 안테나의 특성임피던스를 도시하고 있는 그림 11의 (b)를 보면 마커(marker) 1에서 입력 임피던스의 허수부가 '0'에 접근하고 있지만 정확한 임피던스 결합이 일어나고 있지는 않다. 반사 손실 계적과 마찬가지로 공진주파수 6.356 GHz에서 입력 임피던스의 허수부가 -33.025 옴을 실수부가 63.9622 옴임을 보여주었다.

### 3. 결론

본 논문에서는 개구 결합을 이용한 H 형태의 공진기 타입 초전도 안테나를 설계 제작하고 이를 동일한 조건을 가진 금 안테나와 비교하여 그 특성을 비교하였다. 초전도 안테나는 일반 금속으로 이루어진 금 안테나에 비하여 정재파비에서 0.36 효율에서 24 % 이상 우수한 특성 나타내었다.

이 논문은 학술진흥재단에서 지원하는 지방대 육성 지원사업 (03-002-D00137)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] M. A. Richard, K. B. Bashin, P. C. Clasp, "Superconducting microstrip antennas: an experimental comparison of two feeding methods," *IEEE Trans on Antenna and Propagation*, vol. 41, No. 7, pp. 967-974 1993.
- [2] J. D. Lacey, G. Drossos, L. E. Davis, T. W. Button and P. Smith, "Comparative study of miniaturized HTS microstrip H-shaped antennas with and without enhanced capacitance", *Physica C*, vol. 282-287, pp.2511-2512 1997.
- [3] T. Konaka et al, "Relative permittivity and dielectric loss tangent of substrate materials for high- $T_c$  superconducting film," *J. Superconductivity*, vol. 4, no. 4, pp 283-288, 1991.
- [4] H. A. Wheeler, "The radiansphere around a small antenna," *Proc. IRE*, Vol. 47, pp. 1325-1331, Aug. 1959.