

論文2000-37TE-3-10

## 직접삽입 급전 방식을 이용한 고온초전도 마이크로스트립 안테나의 제작 및 특성 해석

(Fabrication and characteristic analysis of High- $T_c$   
superconducting microstrip antennas using direct inset  
feeding technique)

정 동 철 \*, 한 병 성 \*\*, 김 진 \*\*, 유 기 수 \*\*\*,  
홍 석 용 \*\*\*, 이 중 하 \*\*\*

(Dong-Chul Chung, Byoung-Sung Han, Jin Kim, Ki-Su Ryu,  
Suck-Yong Hong, and Jong-Ha Lee)

### 요 약

초전도체를 초고주파 소자에 응용하려고 할 경우, 초전도 전자기학의 불확실함이나 초전도 기판의 온도 의존성은 산업 응용을 위한 안테나를 제작하는데 있어 어려움을 준다. 따라서 실제 응용을 위해서는 일반 안테나와 비교하여 정확하고 자세한 특성이 알려져야만 한다. 본 논문에서는 금 안테나와 초전도 안테나의 비교 연구를 수행하였으며 반사 손실, 특성임피던스, 효율 및 다른 다양한 특성들을 보고하였다. 본 연구에 사용된 고온초전도 박막은  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  (YBCO)/MgO 이며 초전도 안테나는 마이크로스트립 급전선을 방사 패치의 50  $\Omega$  영역에 결합시키는 형태로 만들어졌다. 금 안테나와 초전도 안테나의 측정 결과는 이러한 구조를 이용하여 유용한 안테나가 제작될 수 있음을 보여주었다.

### Abstract

In applying high- $T_c$  superconducting material to microwave devices, Uncertainty of electromagnetics of high- $T_c$  superconductor(HTS) and the temperature dependence of the substrate fits with HTS thin film cause difficulty in realization of such antenna for industrial applications. It must be noted to characteristic the HTS antenna in contrast with normal conducting counterpart for this real application. In this paper, a comparative study between HTS microstrip antennas and gold antennas was reported in terms of the return loss, the characteristic impedance, efficiency, and other various characteristics. HTS thin films were  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  (YBCO) on MgO substrates. Superconducting microstrip antennas used in this work were to directly inset a microstrip transmission line into the 50  $\Omega$  region of the radiating patch. Measurement results of HTS antennas and gold antennas showed that usable antennas can be made using this architecture.

\* 正會員, 우석대학교 情報通信 컴퓨터工學部  
(School of Information & Computer, Woosuck  
University)

\*\* 正會員, 全北大學校 電氣工學科  
(Dept. of Electrical Eng. Chonbuk Nat'l University)

\*\*\* 正會員, 全州工業大學校 電子工學科  
(Dept. of Electronic Eng. Jeonju Technical  
College)

接受日字:1999年12月3日, 수정완료일:2000年3月20日

I. 서론

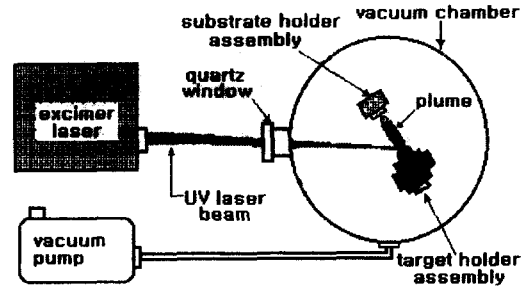
질소의 비등점인 77 K에서 초전도 현상을 일으키는 산화물 고온초전도체의 발견은 냉매로서 액체 질소를 사용할 수 있다는 장점 때문에 전자소자 응용에 폭발적인 관심을 불러 일으켰다. 현재 고온초전도체를 이용한 안테나 기술 개발은 첫째 고온초전도 안테나와 Josephson 접합 등과 같은 초전도 소자를 동시에 집적하여 고정밀 센서로서 활용하고자하는 시도이다<sup>[1,2]</sup>. 두 번째는 고온초전도체를 이용한 마이크로파 소자의 소형화(miniaturization)이다. 일반전도체를 이용하여 마이크로파 소자를 소형화할 경우 소형화에 따른 저항손이 심각하게 발생하지만 초전도체를 이용할 경우 저항손을 획기적으로 줄일 수 있다는 잇점이 있다<sup>[3,4]</sup>. 소자의 소형화에는 고유전률의 단결정 기판을 초전도 박막의 기판으로 사용하거나 kinetic 인덕턴스를 이용하는 방법 등이 사용되기도 한다. 세 번째는 초전도체가 가지고 있는 높은 임계전류 특성을 이용 임계전류 근방에서 동작하는 고전력 마이크로파 소자의 개발에 있다<sup>[5]</sup>.

본 논문에서는 제시하고자 하는 초전도 안테나는 일반 안테나와 달리 높은 유전률(9.6~32)의 기판을 사용해야하므로 일반 안테나에 비해 소자의 선폭이 몹시 협소하며 이로 인한 식각 오차로 급전선과 방사패치 간의 임피던스 미결합이 빈번하게 발생한다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 지금까지 사용된 방식으로는 전자기적 결합 방식, 갭 결합 방식, 1/4λ 변환기를 이용

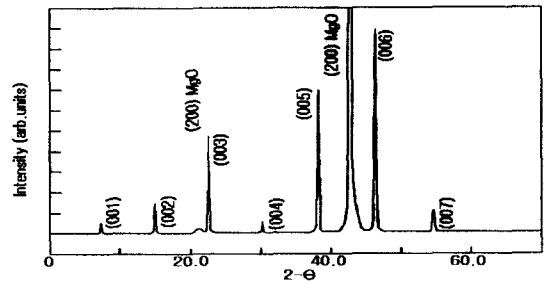
표 1. 펄스레이저 증착법에 의한 고온초전도 박막의 증착 조건

Table 1. Deposition conditions for high Tc superconducting thin film by pulsed-laser deposition(PLD).

증착 요소	증착 조건
반응 개스	O <sub>2</sub>
개스 압력	200 ~ 400 mTorr
증착 온도	500 ~ 750 °C
레이저 펄스 주파수	5 Hz
펄스 에너지	2 J/cm <sup>2</sup>
타겟과 기판 사이의 거리	40 mm



(a)



(b)

그림 1. (a) PLD 증착 시스템의 구조 및 (b) X-ray 회절 결과

Fig. 1. (a) The geometry of PLD deposition system and (b) X-ray diffraction pattern.

한 결합 방식, 1/4λ 변환기와 급전선 직접 삽입을 적절히 배합한 방식 등이 사용되어 왔다. 그러나 전자기적 결합 방식이나 갭 결합 방식은 초전도 박막을 이중 또는 삼중으로 증착시켜야 한다는 점에서, 1/4λ 변환기를 이용한 방식은 상대적으로 좁은 선폭으로 인한 식각 오차가 심각하다는 점에서 어려움이 있어왔다. 본 논문에서는 이러한 어려움을 극복하기 위해 급전선을 방사 패치의 50 Ω 영역에 직접 삽입하는 방식을 취하였다. 초전도 안테나의 제작을 위하여 펄스 레이저 증착법을 이용하여 YBCO 초전도 박막을 MgO 기판에 제작하였으며 표준 식각법을 이용하여 패턴을 형성하였다.

II. 펄스레이저 증착법을 이용한 고온초전도 박막의 제조 및 안테나의 제작

그림 1 (a)에 펄스레이저를 이용한 고온초전도 박막 증착 시스템의 개괄적인 구조를 나타내었다. 증착에 사용된 레이저는 248 nm의 파장을 갖는 KrF excimer

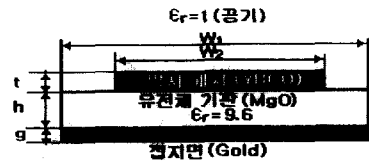


그림 2. 초전도 방사 패치의 측면 구조  
 Fig. 2. The lateral geometry of the HTS radiation patch.

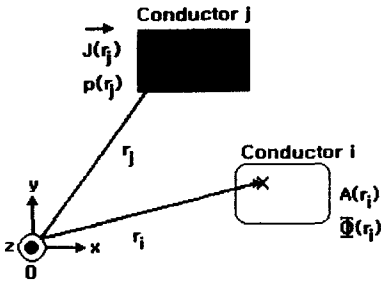


그림 3. Source의 위치와 Gm을 계산하기 위한 관찰점  
 Fig. 3. Positions of the source and the observation points for evaluating Gm.

laser였으며 YBCO 초전도 타겟을 회전시키면서 증착하였다. 타겟 표면에서 에너지 밀도는  $2 \text{ J/cm}^2$ 이며 순수한 산소 분위기에서  $10 \times 10 \times 0.5 \text{ mm}$  MgO 기판을 사용하였다. 전체적인 증착 조건은 표 1에 제시하였다. 증착된 YBCO 초전도 박막은 각각 X-ray 회절 패턴과 4 단자 법을 이용하여 분석하였으며 그림 1(b)에 회절패턴을 제시하였다. X-ray 패턴으로부터 증착된 박막은 c축 방향 지향성을 가지고 있음을 확인하였고 임계온도는 90 K, 임계 전류 밀도는  $4 \times 10 \text{ A/cm}^2$ 였다.

### III. 모멘트법을 이용한 고온초전도 마이크로스트립 안테나의 입력 임피던스의 계산 및 설계

본 연구에서 사용된 고온초전도 마이크로스트립 안테나의 동작 주파수는 현재 위성통신 주파수인 X-band 대역의 11.85 GHz로 하였다. 고온초전도 안테나의 패치면의 공진길이는 일반 전도체 안테나와 마찬가지로 반파장 공진길이에 해당하는  $\lambda_d/2 = \lambda_0 / (2\sqrt{\epsilon_r})$ 를 공진길이라고 취한 다음 누설에 의한 전기적 길이를 계산하여 안테나 길이의 초기값 L을 계산하였

으며, 이때 안테나 폭의 초기값, W 또한 부가적으로 발생이 가능한 고차 기생 모드를 여기시키지 않도록  $\lambda_0/2$ 를 폭으로 설정한 다음 기본 모드인  $\text{TM}_{10}$ 하에서 공진을 일으킬 수 있도록 고려하여 계산하였다<sup>[6]</sup>. 여기서  $\lambda_0$ 는 자유공간에서의 파장을,  $\lambda_d$ 는 유전체 기판에서의 파장을 나타내며, 일단 길이와 폭의 초기값이 결정되면 다음 소절에서 제시하는 고온초전도체의 전자기학적 모델을 고려하여 모멘트법을 이용, 원하는 주파수가 동작주파수의 범위에 합치되도록 전산모의실험을 통한 최적화된 값을 계산해냈다.

입력 임피던스의 모델링은 모멘트법을 이용하여 전위(electric potential) 및 자위(magnetic potential)에 대한 적분방정식을 푸는데 기반을 두고 있으며 임의의 숫자  $N_c$ 로 이루어진 전도체(또는 초전도체; 그림 2에서 제시한 것처럼 본 연구에서는 전도체의 숫자가 둘이며 방사패치는 초전도체, 접지면은 전도체로 이루어져 있다.)와  $N_d$ 의 유전체 층으로 채워진 물질에 있어서 전하 밀도 분포  $\rho$ 와 전류 밀도 분포 J를 결정하기 위한 것이다<sup>[7-8]</sup>. 각각의 전도체는 횡단면이 직사각형이며 z축 방향으로 공진길이의 반파장을 가지는 것으로 가정하였다. 정전적 근사에서 적분 방정식은 x 축과 y 축을 종속변수로 갖는 2차원 표현으로 감소될 수 있으며, 전류 밀도는  $J = J_z$ 로 표현할 수 있다. 이때 유전체 기판은 YBCO 박막의 증착에 사용된 MgO( $\epsilon_r = 9.6$ ) 기판을 사용하였다. 그림 2에서 t, h, g는 각각, 스트립의 두께, 유전체의 두께, 접지면의 두께를 나타낸다. 선로의 폭은  $W_1$ 이고 접지면의 폭은  $W_2$ 이다.

모델링을 하기 위한 첫 번째 단계는 전류밀도 J를 결정하는 것이다. 이를 위해 각각의 횡측면 전도체는 전류밀도가 상수가 되도록 기본 구간으로 나뉘어진다. 기본 구간은 일반 전도체의 경우에 표피 깊이보다 커서는 안되며 초전도체의 경우는 자계 침투깊이보다 커서는 안된다. 이는 결과의 정확도를 최대로 하기 위해서이다. Maxwell 방정식을 이용하여 단위구간 당 단위 길이의 포텐셜은 그림 3에서 보는 바와 같이 아래 처럼 쓸 수 있다.

$$u(r_i) = \frac{J(r_i)}{\sigma_i} + j\omega \sum_{k=1}^N \int_{S_k} G_m(r_i, r_k) J(r_k) ds_k \quad (1)$$

여기서  $\sigma_i$ 는 전도체 i의 전도도이며  $J = J_z$ 이고  $G_m$ 은 2차원 자계 그린 함수이며 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$G_m = \frac{-\mu_0 \mu_r}{4\pi} \text{Ln} |r_i - r_k| \quad (2)$$

준정전기적 근사에서 전도체 i의 횡축면 구간은 등전 위면으로 간주할 수 있으며 전도체 i에서의 단위 길이 당 자위  $U_i$  와 전도체 k에서 전체 전류  $I_k$ 의 일반적인 표현식은 아래식에 의해서 계산할 수 있다.

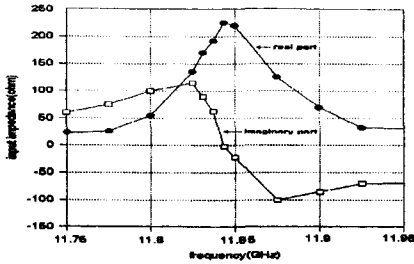


그림 4. 고온초전도 마이크로스트립 안테나의 입력 임피던스와 공진 주파수의 모멘트 해석법  
Fig. 4. Moment method solution of input impedances and resonant frequencies for the HTS microstrip antenna.

$$U_i = u(r_i) \quad (3)$$

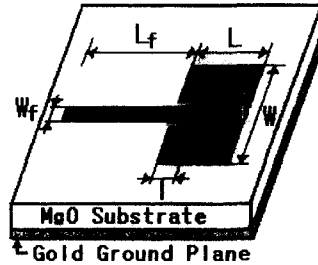
$$I_k = \int_{S_k} J(r_k) ds_k \quad (4)$$

이제 모멘트법을 적용함에 의해, 적분식 (1)은 행렬 형식으로 쓸 수 있다<sup>[7]</sup>. 방사 패치에서 단위 길이당 자위 행렬  $[U]$ 과 전류 행렬  $[I]$ 는 아래와 같이 표현할 수 있다.

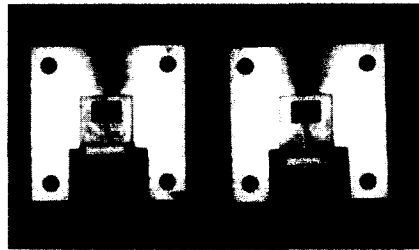
$$[U_i] = [Z_{ik}][I_k] \quad (5)$$

위 행렬식의 기본적 계산은 Galerkin 법을 사용하였다<sup>[7, 8]</sup>. 여기서  $[Z_{ik}]$ 는 전도체에서의 단위길이 당 직렬 임피던스 행렬이고 단위 길이 당 실수부 저항 성분  $[R_{ik}]$ 와 단위 길이당 상호 인덕턴스와 자기 인덕턴스로 이루어진 허수부 인덕턴스 성분  $\omega[L_{ij}]$ 의 합으로 나타낼 수 있으며 전체적으로 계산된 입력 임피던스에 따른 공진주파수의 모멘트법 해를 그림 4에 제시하였다. 안테나의 제작은 표준 식각법을 이용하였으며 에칭 용액으로 EDTA 수용액과 질산 수용액을 사용하였으며 비교용으로 열 증착법을 이용하여 초전도 안테나와 동일한 패턴의 금 마이크로스트립 안테나를 제작하였다.

제작된 안테나의 설계 패턴과 사진을 그림 5에 제시하였다. 안테나의 공진 길이(L)는 3,925  $\mu\text{m}$ , 폭(W)은 5,249  $\mu\text{m}$ 였다. 임피던스 결합을 얻기 위해 폭(Wf), 497  $\mu\text{m}$  길이(Lf) 3,927  $\mu\text{m}$ 의 굵전선이 방사 패치의 방사면 (W)로부터 안쪽으로 삽입된 길이(L)는 1,414  $\mu\text{m}$ 였다.



(a)



(b)

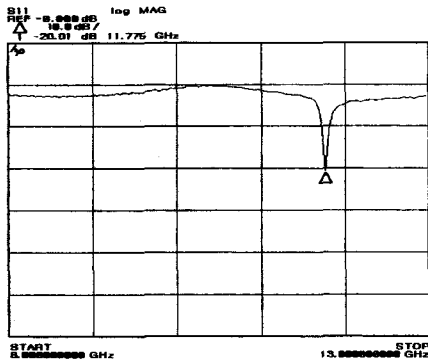
그림 5. 고온초전도 및 금 안테나의 (a) 설계 패턴과 (b) 안테나 사진  
Fig. 5. (a) Design patterns and (b) photograph of HTS and gold antennas.

#### IV. 실험 결과 및 고찰

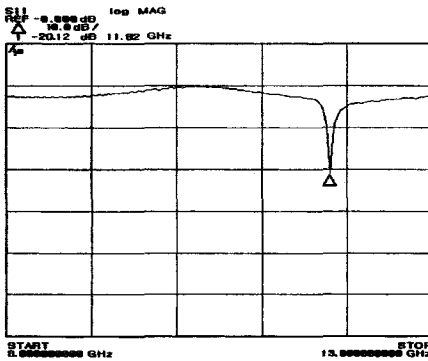
고온초전도 물질이 초전도성을 나타내기 위해서는 임계온도 이하로 안테나 환경을 냉각해야만 한다. 본 연구에서는 고온초전도 안테나의 특성을 측정하기 위한 냉매로서 액체 질소를 사용하였다. 고온초전도 안테나와 비교용으로 제작된 금 안테나는 각각 상온인 300 K와 액체 질소 비등점인 77 K에서 그 특성을 측정하였고 이를 위해서 HP8510C Network Analyzer를 사용하였으며 온도 변화에 의한 오차를 줄이기 위해 상온과 77 K에서 각기 따로 OSL(open, short, load) 오차 보정(calibration)을 실시하였다. 방사 패턴은 마이크로웨이브 암실에서 측정하였으며 측정 안테나(초전도 혹은 금 안테나)를 감싸고 있는 액체 질소 냉각 장

치의 무게 때문에 측정 안테나를 회전시키고 표준 혼 안테나를 고정키는 기존의 방법을 사용할 수는 없었다. 따라서 측정 안테나를 고정시키고 표준 혼 안테나를 회전시키는 방법을 사용하였기 때문에 보편적으로 사용하는 방사 패턴 기록기를 사용할 수 없었고

수는 11.82 GHz로 이동하여 주파수 편차가 45 MHz 가량 발생하였고 반사 손실은 -20.12 dB로 약 0.11 dB 정도 개선됨을 관찰할 수 있다. 공진주파수의 편차는 온도 하강에 따른 MgO 기판의 유전률 변화로 여겨지며 이러한 결과는 참고 문헌 [9]의 결과와도 잘 일치한다. 이러한 반사손실의 개선은 온도 하강에 따른 금 안테나의 전도도의 증가, 패치면 임피던스의 변화에 기인한 것으로 보여진다.



(a)



(b)

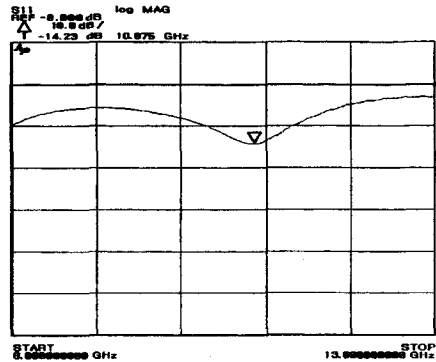
그림 6. 직접 삽입 급전 방식 금 안테나의 반사 손실 (a) 상온 (b) 77 K.

Fig. 6. Return loss of the gold antenna for direct inset feeding type. (a) room temperature (b) 77 K.

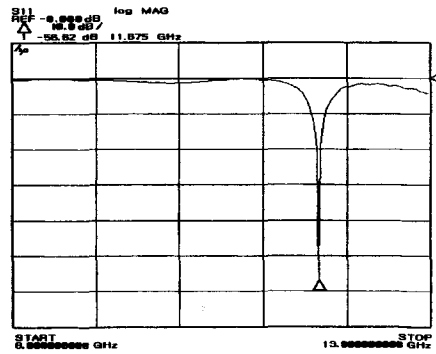
전체 방사면 180°에 대하여 5°씩 샘플링하여 방사 패턴을 측정하였다.

1. 공진주파수 및 반사손실

그림 6은 상온과 액체 질소 비등점인 77 K에서 비 교용으로 제작된 금 안테나의 공진주파수에 따른 반사 손실을 보여주고 있다. 먼저 그림 6의 (a)에 제시되어 있는 상온에서의 금 안테나의 반사손실은 공진주파수 11.775 GHz에서 -20.01 dB였으며 액체 질소 비등점인 77 K로 온도를 낮추었을 때 금 안테나의 공진주파



(a)



(b)

그림 7. 직접 삽입 급전 방식 HTS 안테나의 반사 손실 (a) 상온 (b) 77 K.

Fig. 7. Return loss of the HTS antenna for direct inset feeding type. (a) room temperature (b) 77 K.

그림 7은 상온과 액체 질소 비등점인 77 K에서 측정된 초전도 안테나의 공진주파수에 따른 반사손실의 변화를 보여주고 있다. 먼저 상온에서 측정된 초전도 안테나의 반사손실 및 공진주파수 특성은 그림 7의 (a)에서 보여지는 바와 같이 11.875 GHz에서 -14.23 dB를 보여주며 전체적으로 폭 넓은 통과 특성(최소 -4.8 dB)을 보여주는데 이러한 사실은 상온에서 고온초전도

체가 대략 10~12 Ω 정도의 저항을 가지는 반도체로서 동작하기 때문에 여겨진다<sup>[10]</sup>. 그러나 상온에서 이러한 특성은 초전도 현상을 나타내는, 액체 질소 비등점인 77 K에서 비약적인 공진을 이루게 되며 이때 공진주파수는 11.675 GHz이고 반사손실은 -56.62 dB를 나타낸다. 이러한 값들은 본 연구에서 설계된 초전도 안테나가 상당히 정확한 임피던스 결합을 이루고 있음을 나타내는 것이다. 또한 초전도 안테나와 금 안테나가 145 MHz의 공진주파수 차를 보여주는 것이 고찰되는데 이것은 세라믹으로 이루어진 초전도

수가 마커(marker) 1에서 입력 임피던스의 허수부가 '0'에 접근하고 있지만 정확한 임피던스 결합이 일어나고 있지는 않다. 상온의 경우 반사 손실 계적과 마찬가지로 공진주파수 11.775 GHz에서 입력 임피던스의 허수부가 -2.0645 Ω을 실수부가 40.322 Ω임을 보여준다. 또한 77 K에서는 11.82 GHz의 공진 주파수에서 입력 임피던스의 허수부가 -5.6191 Ω을, 실수부가 44.557 Ω을 나타내고 있으며 상온에 비하여 실수부가 훨씬 더 원하는 입력 임피던스인 50 Ω에 근접하고 있다.

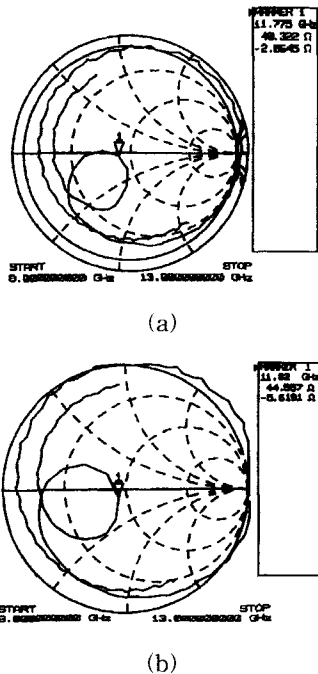


그림 8. 직접 삽입 급전 방식 금 안테나의 스미스 도표 (a) 상온 (b) 77 K  
 Fig. 8. Smith chart of the gold antenna for direct inset feeding type. (a) room temperature (b) 77 K.

안테나와 금속인 금 안테나가 가지고 있는 식각 오차의 차이로서 설명되어질 수 있으며 충분한 반복 실험을 통해 오차를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

2. 특성임피던스

그림 8과 그림 9는 각각 금 안테나와 고온초전도 안테나의 특성임피던스를 스미스 도표에 근거하여 나타낸 것이다.

먼저 상온과 77 K에서 금 안테나의 특성임피던스를 도시하고 있는 그림 8의 (a)와 (b)을 보면 공진 주파

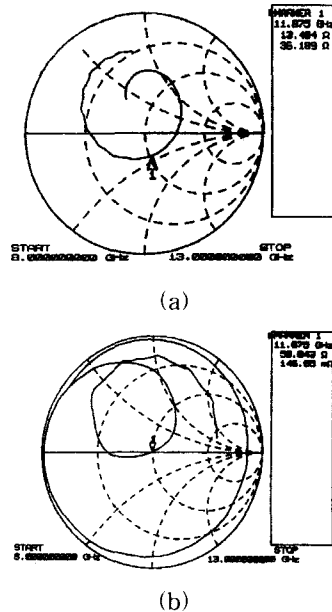


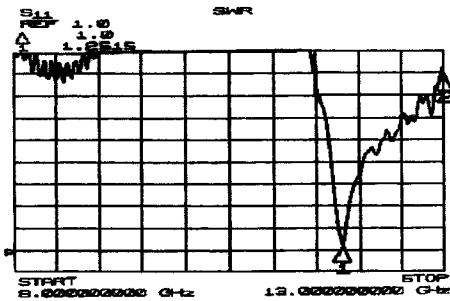
그림 9. 직접 삽입 급전 방식 HTS 안테나의 스미스 도표 (a) 상온 (b) 77 K  
 Fig. 9. Smith chart of the HTS antenna for direct inset feeding type. (a) room temperature (b) 77 K.

그림 9의 (a)와 (b)는 고온초전도 안테나의 입력 임피던스 계적을 스미스 도표에 근거하여 도시한 것이다. 그림 7의 반사 손실 계적에서와 마찬가지로 상온에서 고온초전도 안테나의 입력 임피던스는 마커 1에서 임피던스의 허수부가 36.189 Ω을, 실수부가 13.404 Ω을 보여주고 있다. 이것은 실제적으로 임피던스 결합이 실패했음을 의미하는 것이다. 그러나 그림 9 (b) 경우 11.675 GHz에서 입력 임피던스의 허수부가 '0'에 거의 정확하게 근접하고 있다. 이때 입력 임피던스의 허수부는 146.65 mΩ이고 실수부는 50.043 Ω으로서 우리가 원하던 급전 선로의 특성 임피던스 50 Ω과 거의 정확

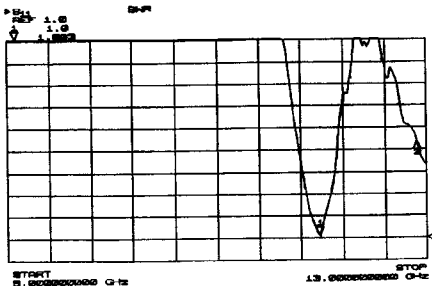
하게 일치하고 있다. 이것은 최대 전력 전달 조건에 의거하여 급전선으로부터 전달되는 방사 전력 거의 전부가 고온초전도 안테나 패치로 공급되고 있음을 의미한다. 보편적으로 반사 손실이 -15 dB 이상이면 상업적으로 효용 가치가 있다고 판단되는 점으로 미루어보아 매우 이상적인 임피던스 결합이 일어나고 있음을 알 수 있다.

3. 정재파비

그림 10의 (a)와 (b)는 77 K에서 비교용 금 안테나와 고온초전도 안테나의 주파수에 따른 정재파비를 나타내고 있다. 먼저 그림 10의 (a)의 경우 액체 질소 비등점인 77 K에서 금 안테나의 정재파비가 11.82 GHz에서 1.2515임을 보여주고 있다. 보편적으로 상업용으로 제작된 안테나의 정재파비 허용 기준이 2 이하임을 고려한다면 비교용으로 제작된 금 안테나의 임피던스 결합이 상당히 잘 이루어졌음을 알 수 있다. 그림



(a)



(b)

그림 10. 77 K에서 직접 삽입 급전 방식 금 안테나와 HTS 안테나의 정재파비

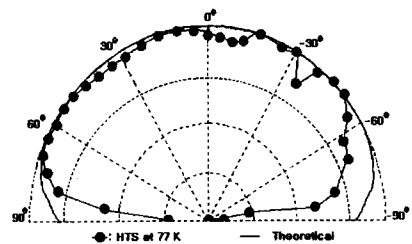
(a) 금 안테나의 정재파비 (b) HTS 안테나의 정재파비

Fig. 10. SWR of the gold and HTS antenna for direct inset feeding type at 77 K  
(a) SWR of the gold antenna (b) SWR of the HTS antenna.

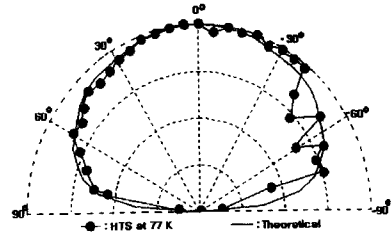
10의 (b)에 제시된 77 K에서 고온초전도 안테나의 정재파비는 11.675 GHz에서 1.003의 값을 가진다. 이는 이상적인 값인 정재파비 '1'에 근접한 값으로 급전 전력의 대부분이 정재파에 의한 제한 손실이 없이 고온초전도 방사 패치로 공급되고 있음을 의미한다.

4. 방사 패턴

그림 11의 (a)와 (b)에 측정된 초전도 안테나의 방사패턴을 이론값과 비교하여 제시하였다. 먼저 그림 11의 (a)를 보면 그림에서 실선으로 표시된 부분이 E-평면 패턴의 이론값이며 실선에 원을 찍어 표시한 부분이 샘플링하여 정규화(normalize)된 E-평면 패턴 값이다. 전체적으로 샘플링된 측정값의 특성상 매우 이산적인 모양을 가지고 있기는 하지만 고온초전도 마이크로스트립 안테나의 방사 패턴은 그 형태에 있어서 비교용 금 안테나와 비교하여 큰 차이점을 보이지 않았으므로 초전도 안테나의 패턴만을 제시하였다. 금 안테나와 고온초전도 안테나의 방사 패턴의 차이가 형태에 있어서 크게 차이가 나지 않는다는 사실로부터 다음과 같은 사항을 유추할 수 있다. 첫 번째 고온초전도 안테나의 방사 패치와 비교용 금 안테나의 방사 패치면의 전류 형태가 특별히 다르지 않다는 사실, 즉 기본 모드



(a)



(b)

그림 11. E-평면 방사 패턴과 H-평면 방사 패턴  
(a) E-평면 패턴 (b) H-평면 방사패턴

Fig. 11. E-plane and H-plane radiation pattern.  
(a) E-plane pattern and (b) H-plane pattern.

의 형태를 가지고 있다는 사실이다. 두 번째는 고온초전도 마이크로파 회로 설계에 있어서 항상 고려해야 되는 기본 모드는 일반 전도체와 같이 고려해도 무방하다는 사실을 유추할 수 있다. 그림 11의 (b)에 제시된 H-평면 방사 패턴의 경우 E-평면 패턴에 비하여 이론값으로부터 많은 이탈을 보여준다. 보편적으로 안테나의 방사 패턴이 0°를 중심으로 좌우 대칭을 이루는데 반하여 특히 좌반면(-90°~0°)의 매우 심각한 이탈을 보여주고 있는데 이는 다음과 같은 연유 때문으로 판단된다. 첫 번째 접지면과 황동치구 사이에서 전자파 회절(diffraction)을 생각할 수 있고 두 번째로 초전도 안테나를 냉각시키기 위해서 냉각 장치 내부를 순환하는 액체 질소의 충격에 의해 샘플 안테나 위치가 변형된 것으로 생각할 수 있다.

표 2. 각각 안테나의 효율  
Table 2. The efficiency of each antenna.

	77 K	room temperature
HTS antenna	92 %	0 %
gold antenna	78 %	70 %

5. 효율

본 논문에서는 Wheeler가 제안한 방법을 이용하여 고온초전도 안테나의 효율을 계산하였다<sup>[11]</sup>. 이를 위해 방사차폐(radiation shields)를 알루미늄으로 정교하게 제작하였으며 방사 차폐를 이용하여 냉각 장치 내의 고온초전도 안테나 및 비고용 금 안테나에 부착한 다음 방사 차폐가 부착되었을 때의 임피던스와 방사 차폐가 제거되었을 때의 임피던스를 측정하여 아래 식과 같이 효율을 계산하였다.

$$\eta = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \tag{6}$$

여기서  $R_1$ 을 방사 차폐를 하였을 때의 임피던스를  $R_2$ 는 방사 차폐를 하지 않았을 때의 임피던스를 나타낸다. 방사 차폐의 크기는 폭과 길이와 높이가 각각 15 mm 인 정육면체 형태를 가지고 있으며 접지면과 전기적 접촉을 좋게 하기 위하여 인듐 솔더링과 도전성 은 풀을 이용하였다. 각각의 안테나에 대하여 측정된 효율은 표 1에 나타내었다.

V. 결론

본 연구에서는 급전선 직접 삽입 급전 방식을 이용한 고온초전도 안테나의 설계 제작 과정에 관하여 기술하였으며 비고용 금 안테나 측정 결과를 비교하였다. 특히 본 연구에서 제시한 안테나 측정 시스템은 기존의 피측정 안테나(표준 안테나) 고정 방식에서 탈피 표준 혼 안테나를 측정 안테나 주변을 회전하면서 방사 패턴을 측정토록 고안 설계하였다. 이를 통하여 얻어진 초전도 안테나의 효율은 액체 질소 비등점인 77 K에서 92 %를 나타냈으며 이는 동일한 조건에서의 금 안테나의 효율인 78 %에 비하여 14 % 정도 개선된 성능을 보여주었다. 입력 임피던스 실수부의 경우 50.043 Ω을 가리키고 있으며 급전선과 방사패치가 거의 정확하게 50 Ω에서 임피던스 결합이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 정재파비가 1.003으로 이상적인 값에 근접해 있었고 방사 패턴은 비고용 금안테나와 큰 차이를 보이지 않았다.

참고 문헌

[1] 정동철, 허원일, 김민기, 한태희, 한병성 “고온초전도 마이크로스트립 패치 안테나 근거리 전자장 해석”, 전기전자재료학회 논문지, Vol. 9, No. 8, pp.783~788, 1996

[2] Kwang-Yong Kang et. al., “Microwave radiation and sensing of Josephson with the log-periodic toothed trapezoid antenna of high Tc superconducting thin films,” IEEE Trans on Appl. Supercond. vol. 9 No.2, pp 3074-3076, June 1999.

[3] M. J. Lancaster, H. Y. Wang and J.-S. Hong, “Thin film HTS planar antenna”, IEEE Trans on Appl. Supercond. Vol. 8, No. 4, pp.168~177, Dec., 1999.

[4] M. H. Zhu et. al., “Power dependence of radiation efficiency of circularly polarized YBaCuO microstrip antennas”, Physica C, Vol. 282-287, pp. 2513-2514, 1997.

[5] Z. Wu, D. Lacey, G. Drossos, L. E. Davis, T. W. Button and P. Smith, “Comparative

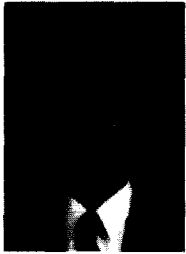


- study of miniaturized HTS microstrip H-shaped antennas with and without enhanced capacitance", *Physica C*, Vol. 282~287, pp. 2511~2511, 1997.
- [6] I. J. Bahl & Bhatia, *Microstrip antenna*, Artech House, 1992.
- [7] R. F. Harrington and C. Wei, "Losses on multiconductor transmission lines in multilayered dielectric media," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 32, pp. 702~707 1984.
- [8] A. Amadouche and J. Chilo, "Optimum computation of capacitance coefficients of multilevel interconnecting lines for advanced package," *IEEE Trans. Comp. Hybrids. Manufact. Technol.*, vol. 12, pp. 1989.
- [9] 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.
- [10] T. Konaka, M. Sato, H. Asano, and S. Kubo, "Relative permittivity and dielectric loss tangent of substrate materials for high-Tc superconducting film," *J. Superconductivity*, vol. 4, no. 4, pp 283~288, 1991.
- [11] H. A. Wheeler, "The radiansphere around a small antenna," *Proc. IRE.*, Vol. 47, pp. 1325~1331, Aug. 1959.

---

 저 자 소 개
 

---



정 동 철(正會員)

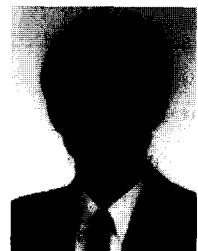
1967년 출생. 1996년 전북대학교 전기공학과 대학원 졸업(공학 석사). 1999년 전북대학교 전기공학과 대학원 졸업(공학 박사). 2000년 현재 우석대학교 컴퓨터 정보통신공학부 전임강사. 주관심분야 : 초고주파

및 안테나 공학, 고온초전도 초고주파 응용 소자.



김 진(正會員)

1971년 출생. 1998년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2000년 현재 전북대학교 전기공학과 대학원 석사 과정. 주관심분야 : 초고주파 소자, 스마트 안테나 및 광대역 안테나



한 병 성(正會員)

1951년 출생. 1975년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1981년 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학 석사). 1988년 프랑스 루이파스퇴르대학 졸업(공학 박사). 2000년 현재 전북대학교 전자정보 공학부

교수. 주관심분야 : 초전도 재료 합성 및 응용, 반도체 물성

유 기 수(正會員) 第36卷 T編 第3號 參照

홍 석 용(正會員)

1971년 출생. 1998년 전북산업대학교 전자공학과 졸업. 1999년 전북대학교 대학원 공학석사 수료. 2000년 현재 전주공업대 전자공학과 조교

이 종 하(正會員) 第36卷 T編 第3號 參照