

# 고온초전도 마이크로스트립 패치 안테나의 설계 및 특성 해석

論 文  
49C - 4 - 3

## Design and Characterization for High- $T_c$ Superconducting Microstrip Patch Antenna

鄭東哲\* · 崔明浩\*\* · 姜亨坤\*\* · 林成勳\*\* · 韓秉誠\*\*\*

(Dong-Chul Chung · Myung-Ho Choi · Hyeong-Gon Kang · Sung-Hun Lim · Byoung-Sung Han)

**Abstract** - In this paper, we report the experimental setup and characterization of experimental results for the HTS antenna. The constructions of experimental setup must be fabricated, cautiously. We constructed the cryostat made of 3 stages which consists of radome, vacuum stage and helium refrigerator for the HTS antenna. The HTS antenna was mounted to cryostat and various characteristics were measured at room temperature and liquid nitrogen temperature, 77 K. Also the results for the HTS antenna and the gold antenna were compared in terms of reflection coefficient, E-plane and H-plane radiation pattern, input impedance, SWR and efficiency. It appeared that the HTS antenna was superior to gold counterpart over the all characteristics.

**Key Words** : HTS antenna, Cryostat, Radiation pattern, Return loss, SWR, Efficiency

### 1. 서 론

본 논문에서는 고온초전도 박막을 이용하여 안테나를 설계 제작하고 측정 시스템을 구축하여 그 특성을 측정하였으며 비 교용 금 안테나와 성능을 비교하여 그 결과를 제시하였다[1]. 고온초전도체가 발견된 이래 값싼 액체 질소를 냉매로 이용할 수 있는 특징 때문에 고온초전도체는 초고주파 소자 분야, 전력에너지 저장 및 전송 분야 등에서 폭발적인 관심을 불러일으켰다[1-5].

현재 고온초전도체를 이용한 안테나 기술 개발은 다음과 같이 전개되고 있다. 첫 번째 고온초전도 안테나와 Josephson 접합 등과 같은 초전도 소자를 동시에 집적하여 고정밀 센서로서 활용하고자하는 시도이다[2]. 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[3-4]. 초전도 소자의 소형화에는 고유전률의 단결정 기판을 초전도 박막의 기판으로 사용하거나, 소자를 이루는 공진기 구조를 파장에 역비례하여 설계하는 방법과 역학적(kinetic) 인덕턴스를 이용하는 방법 등이 사용되기도 한다. 더불어 일반 전도체를 사용할 경우 소자

에 마이크로파 전력을 인가시 저항손도 급격히 증가하는 특성이 있다. 그러나 초전도체를 이용할 경우 임계 전류값까지 저항손이 증가하기는 하지만 일반 전도체에 비하여 수십배 정도 작다는 잇점이 있다. 세 번째는 초전도체가 가지고 있는 이러한 특성을 이용 임계전류 근방에서 동작하는 고전력 마이크로파 소자의 개발에 있다[5].

본 논문에서는 위성통신 주파수인 Ku-band에서 동작하는 고온초전도 마이크로스트립 안테나의 제작과 실험장치의 구성 및 특성해석에 대하여 보고하였다. 고온초전도 안테나 개발시 가장 큰 어려움은 특성 측정이 매우 어렵고 신뢰도를 확신할 수 없다는 점이다. 본 논문에서는 측정 시스템을 자체 제작하고 이를 이용하여 고온초전도 안테나와 비교용 금 안테나의 방사 패턴과 반사 손실, 정재파비, 특성 임피던스, 효율과 이득 등을 측정하였다.

### 2. 안테나 설계 및 측정 시스템의 구성

#### 2.1 마이크로스트립 안테나의 설계 및 최적화

초전도 마이크로스트립 안테나 및 비교용 금 안테나의 설계는 다음과 같은 순서에 의거하였다. 먼저 전송선로 모델을 이용하여 안테나 패치의 폭과 길이를 계산한 다음 모멘트법을 이용하여 입력 임피던스를 계산하였으며 이를 바탕으로 50  $\Omega$  급 전송선로와 패치면을 1/4  $\lambda$  변환기를 이용하여 임피던스 결합을 시켰다. 이때 모멘트 법에 의해서 계산된 패치면 입력 임피던스는 225  $\Omega$ 이었으며 50  $\Omega$  급전선로의 폭은 490  $\mu\text{m}$  그리고 1/4  $\lambda$  변환기의 폭은 196  $\mu\text{m}$ 였다. 최종적으로 전자기 시뮬레

\* 正 會 員 : 又石大 情報通信컴퓨터工學部 專任講師

\*\* 正 會 員 : 全北大 電子情報工學部 博士課程

\*\*\* 正 會 員 : 全北大 電子情報工學部 教授 · 工博

接受日字 : 1999年 11月 23日

最終完了 : 2000年 3月 20日

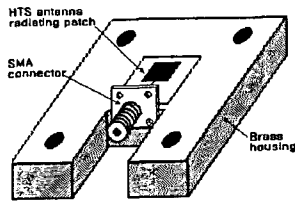


그림 1 고온초전도 안테나의 측정용 치구  
Fig. 1 Measurement housing for the HTS antenna

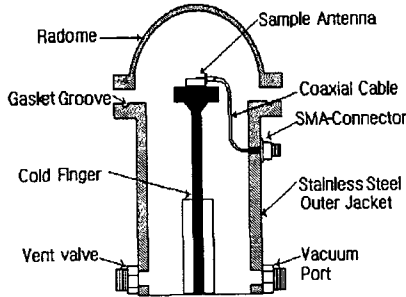


그림 2 고온초전도 안테나의 측정을 위한 cryostat  
Fig. 2 Cryostat for the measurement of the HTS antenna

이선 프로그램인 IE3D를 이용하여 전체 설계 패턴을 최적화하였다. 최적화된 안테나의 폭은 5,430  $\mu\text{m}$ 였으며 안테나의 공간 길이는 3,925  $\mu\text{m}$ 였다.

초전도 안테나의 제작을 위해 rf-sputtering 법으로 제조된  $\text{YBz}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}/\text{MgO}$  박막을 사용하였다. 제조된 박막의 임계 온도는 90.2 K였고 온도에 따른 기판의 유전률 변화를 관찰하기 위해 LCR 미터를 이용 상온과 77 K에서 유전률을 측정하였다. 측정 결과 상온에서 MgO 기판의 유전률은 9.8 이었으며 77 K에서의 유전률인 9.6 보다 약간 높은 값을 나타내었다.

### 2.2 측정용 치구(housing)의 제작 및 커넥터 연결

고온초전도 마이크로스트립 안테나의 측정을 위해 측정용 치구를 제작하였으며 그림 1과 같이 제작된 안테나를 치구에 장착하였다. 황동을 이용하여 측정용 치구를 제작하였으며 접지면과 전기적 결합을 양호하게 하고 기생 전자파를 억제하기 위해 치구 자체를 금 도금하였다. 또한 측정용 치구의 영향을 조사하기 위해 금 안테나를 상온에서 치구 없이 반사계수를 측정해보았으며 측정용 치구의 영향은 매우 미미하였다.

상기의 과정을 거쳐 장착된 고온초전도 마이크로스트립 안테나와 회로망 해석기 간의 전기적 정합을 위하여 Omni-Spectra 사 제품의 SMA 커넥터(Lot. no : 1052-3100)를 급전선로에 부착하였다. 또한 부착시 접촉 저항에 의한 손실을 최소화하기 위해 전송선로의 선단에 열 증착법을 이용하여 금을 증착, 산소 분위기 하에서 열처리하였으며 인듐을 녹여 최종적으로 커넥터 핀과 급전선로를 연결하였다.

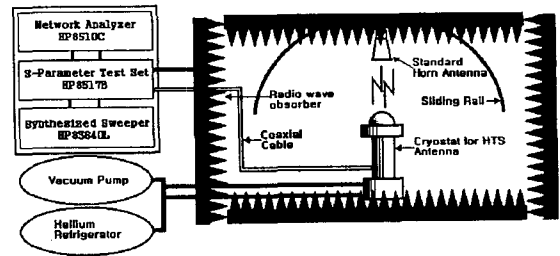


그림 3 안테나 특성 측정을 위한 전체적인 실험 장치의 구성  
Fig. 3 Total experimental system for the HTS antenna

### 2.3 측정용 cryostat의 설계 및 제작

그림 2와 같이 측정용 cryostat을 설계·제작하였다. 전체적인 구성은 세 부분으로 이루어져 있으며 상단의 레이돔을 제외한 전부분은 스테인레스 강을 이용하여 제작하였다. cryostat의 하단에는 헬륨 개스가 순환되도록 설계하였고 중간단에서는 열전달을 차단하기 위해 진공을 유지하고 있으며 샘플 안테나가 탑재되어있는 최종 상단에는 고밀도 폴리에틸렌을 이용한 레이돔을 장착하였다.

황동 치구에 부착된 각각의 고온초전도 안테나와 비교용 금 안테나는 도전성 은판을 이용하여 구리로 제작된 cold finger에 적재되었으며 SMA 커넥터와 동축 선로를 이용하여 cryostat의 RF 접속을 이루었고 cryostat 외부와의 기밀을 유지하기 위해 다시 SMA 커넥터를 사용하였다. 상기의 냉각 장치를 이용하여 상온(300 K)에서 40 K의 극저온까지 각종 안테나 파라미터들을 측정할 수 있다. 특히 고밀도 폴리에틸렌을 이용한 레이돔의 경우 그 영향을 조사하기 위해 상온에서 금 안테나를 대상으로 레이돔을 한 상태와 하지 않은 상태의 방사패턴을 측정하였는데 두 패턴 사이에 특별한 차이점을 보이지 않았다. 이러한 점으로 미루어보아 레이돔을 탑재한 상태로 극저온에서 고온초전도 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 패턴 측정 결과 또한 신뢰도 확보 면에서 큰 무리가 없을 것으로 판단되었다. 40 K까지 온도를 강하하는데 걸린 전체적인 냉각시간은 5 시간이었으며 안테나 샘플 하나를 측정하는데 12 시간이 소요되었다.

### 2.4 실험 장치의 구성

전체적인 측정은 그림 3과 같은 전자파 흡수체로 채워진 마이크로웨이브 암실에서 HP 8510 C 회로망 해석기를 이용하여 이루어졌다. 측정에 앞서 약 1 m 길이의 동축 선로의 영향과 다른 케이블 커넥터의 영향을 제거하기 위하여 OSL(open, short, load) 캘리브레이션을 시행하였으며 이때 회로망 해석기로부터 각각의 안테나로 공급되는 전력은 5 dBm이었다.

본 연구에서 측정한 방법은 참고 문헌 [6]의 Richard의 방법과 비교할 만하다. Richard의 실험의 경우 측정 안테나를 수신 모드로 표준 horn 안테나를 송신 모드로 사용하였다. 그러나 측정 안테나가 탑재되어있는 cryostat을 수신 모드로 사용하려면 방사 패턴을 측정하기 위해 cryostat 자체를 회전시켜야 한

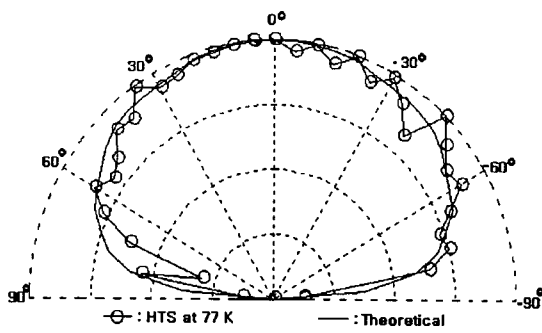


그림 4 77 K에서 고온초전도 안테나의 E-평면 방사 패턴  
Fig. 4 E-plane radiation pattern of HTS antennas at 77 K

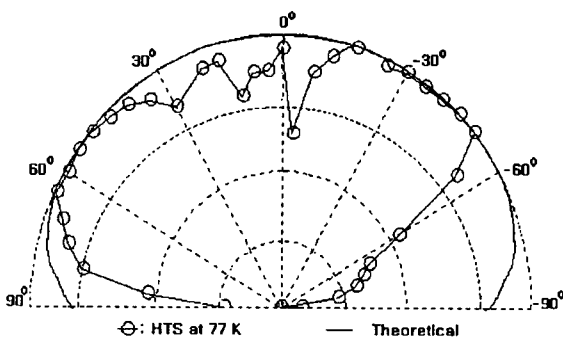


그림 5 77 K에서 고온초전도 안테나의 H-평면 방사 패턴  
Fig. 5 H-plane radiation pattern of HTS antennas at 77 K

다. 이 경우 cryostat의 무게를 감당하기 어려울 뿐만 아니라 표준 안테나로부터 전달되는 수신 전력이 cryostat 표면에서 산란되는 현상을 차단하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 그림 3에서 보여지는 것처럼 샘플 안테나가 탑재된 cryostat을 암실 바닥에 고정시키고 표준 혼 안테나를 sliding rail을 따라 회전시키는 방법을 취하였다. 측정에 앞서 sliding rail의 영향을 비교하기 위해 sliding rail을 제거한 경우와 장착한 경우의 투과 계수를 조사하였으며 특별한 차이점이 발견되지는 않았다. 이 경우에 샘플 안테나가 송신 모드로서 동작하게 되며 표준 혼 안테나가 수신 모드로서 동작하게 된다. 또한 원격장 유지를 위해 표준 안테나와 측정 안테나의 거리를 3 m로 하였다. 일반적으로 원격장은  $R \gg \lambda/2\pi$  인 경우이므로 3 m정도면 충분한 원격장이 유지된 것으로 판단할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 구조를 이용하여 E-평면과 H-평면의 방사 패턴을 측정하였으며 이를 통하여 효율을 계산하였다.

### 3. 측정결과 및 논의사항

#### 3.1 고온초전도 마이크로스트립 안테나의 방사 패턴

그림 4와 그림 5는 각각 고온초전도 마이크로스트립 안테나의 E-평면 및 H-평면 방사 패턴을 나타내고 있다. 본 연구에서 방사 패턴을 측정하기 위해 측정 안테나(비교용 금 안테나 또는 고온초전도 마이크로스트립 안테나)를 회전시

키는 대신 표준 혼 안테나를 수신 모드로 하여 측정 안테나 주변을 회전시켰기 때문에 일반적으로 사용하는 패턴 기록기를 사용할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 측정 안테나 주변 180° 각도를 5°씩 분할하여 각 지점에서 방사 강도를 측정하는 방법을 취하였다. 따라서 전체 E-평면 및 H-평면 강도 측정은 180° 패턴에 대하여 37개의 샘플링된 측정값을 얻을 수 있었다.

먼저 그림 4의 패턴을 보면 그림에서 실선으로 표시된 부분이 E-평면 패턴의 이론값이며 실선에 원을 찍어 표시한 부분이 샘플링하여 표준화(normalize)된 E-평면 패턴 값이다. 전체적으로 샘플링된 측정값의 특성상 매우 매끄럽지 못한 모양을 가지고 있기는 하지만 고온초전도 마이크로스트립 안테나의 방사 패턴은 그 형태에 있어서 비교용 금 안테나와 비교하여 큰 차이점을 보이지 않았으므로 고온초전도 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 패턴과 비교용 금 안테나의 방사 패턴의 전류 형태가 특별히 다르지 않다는 사실, 즉 기본 모드의 형태를 가지고 있다는 사실이다. 주지하다시피 방사 패턴을 결정하는 것은 안테나 방사 패턴에서의 전류의 형태이다. 물론 이러한 표현은 초전도체와 일반 도체의 차이를 가름짓는, 재질 내에서의 표면저항의 감소나 전류 밀도의 향상을 의미하지 않는다는 사실에 주의할 필요가 있다. 두 번째는 고온초전도 마이크로파 회로 설계에 있어서 항상 고려해야되는 기본 모드는 일반 전도체와 같이 고려해도 무방하다는 사실을 유추할 수 있다. 그러나 이러한 사항은 전체적으로 고온초전도 마이크로파 회로의 설계를 일반 전도체 마이크로파 회로의 설계와 같이 설계하여도 무방하다는 사실을 의미하지 않으며 전기적 길이의 차와 역학적(kinetic) 인덕턴스의 영향이 초전도 매질 내에 존재한다[7].

그림 5에 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°)은 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 cryostat 내의 샘플 안테나 위치가 순환되는 헬륨 가스의 충격에 의해 변형된 것으로 생각할 수 있다.

#### 3.2 고온초전도 안테나의 반사손실 및 공진 주파수

그림 6과 그림 7, 그림 8과 그림 9는 상온과 77 K에서 각각 비교용 금 안테나와 고온초전도 안테나의 주파수에 대한 반사 손실  $S_{11}$ 을 나타내고 있다. 먼저 비교용 금 안테나를 살펴보면 상온에서 공진 주파수가 11.84 GHz이고 이 지점에서의 반사 손실 -14.95 dB를 나타내고 있다. 또한 액체 질소 비등점 온도인 77 K에서는 공진 주파수 11.86 GHz에서 반사 손실이 -16.36 dB를 나타내고 있다. 반사 손실의 측면에서 보면 상온 값에 대하여 약 1.41 dB 가량 개선되고 있음을 보여주고 있는데 이는 온도 감소에 따른

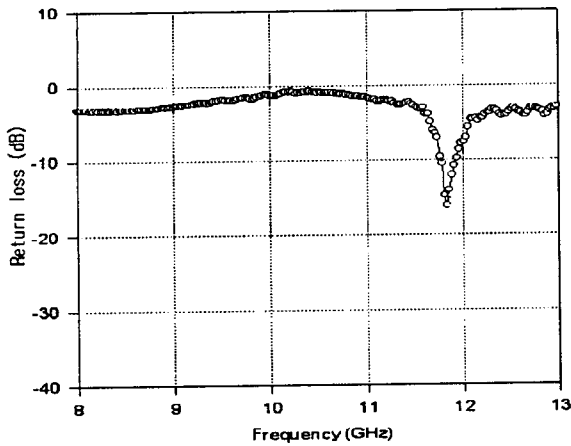


그림 6 상온에서 금 안테나의 반사 손실  
Fig. 6 Return loss( $S_{11}$ ) of the gold microstrip antenna at room temperature

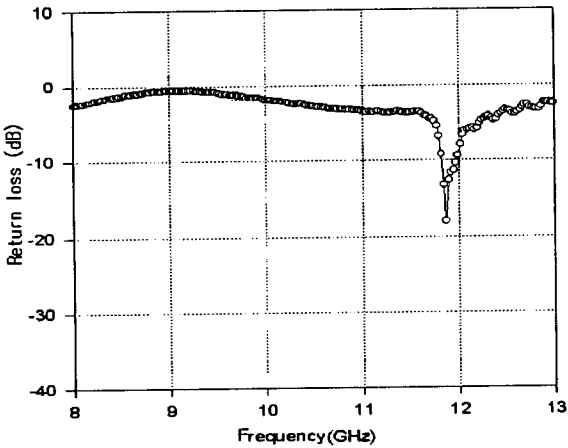


그림 7 77 K에서 금 마이크로스트립 안테나의 반사 손실  
Fig. 7 Return loss( $S_{11}$ ) of the gold microstrip antenna at 77K

금 안테나 방사 패치 저항의 감소에 기인하는 것으로 판단할 수 있다. 또한 공진 주파수의 경우 2 MHz 가량 증가하게 되는데 Konaka 등이 제시한 바, 온도 변화에 따른 기판의 유전율 변화가 공진 주파수에 영향을 준다는 보고와 일치한다[8].

그림 8과 그림 9는 각각 고온초전도 안테나의 상온과 77 K에서의 주파수에 따른 반사 손실의 변화를 나타내고 있다. 그림 8의 경우 예상했던 바와 같이 상온에서의 공진은 나타나지 않지만 그림 9에 제시된 77 K의 경우 반사 손실이 11.73 GHz에서 -32.467 dB로서 매우 급격한 하강을 보여준다.

금 안테나와 고온초전도 안테나의 주파수 차이는 제작 시 발생할 수 있는 과도 식각, 일반 전도체의 표피 효과와 유사하지만 공진주파수에 대하여 독립적인 초전도체의 침투 깊이(77 K에서 350 nm)와 온도 하강에 따른 초전도 박막과 금 박막에 사용된 유전체 기판의 유전율 변이 등이 원인인

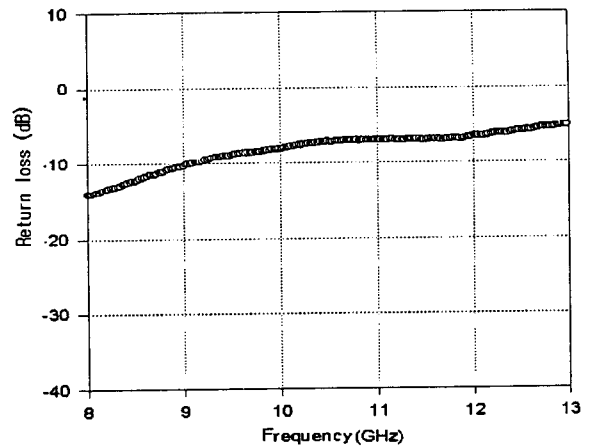


그림 8 상온에서 HTS 마이크로스트립 안테나의 반사 손실  
Fig. 8 Return loss ( $S_{11}$ ) of the HTS microstrip antenna at room temperature

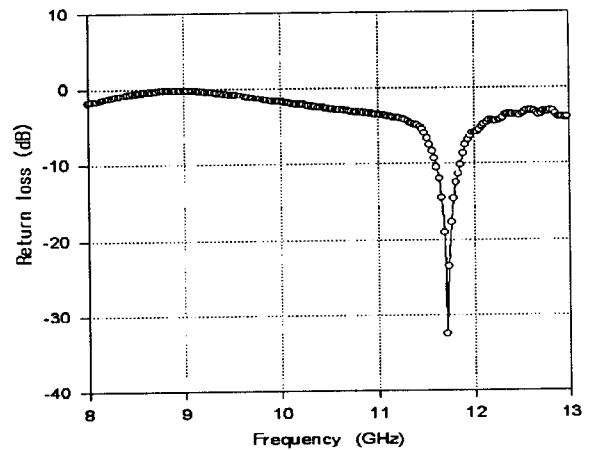


그림 9 77 K에서 HTS 마이크로스트립 안테나의 반사 손실  
Fig. 9 Return loss( $S_{11}$ ) of the HTS microstrip antenna at 77K

것으로 판단되며 이외에 역학적 인덕턴스의 영향도 공진주파수의 변이에 기여하는 것으로 설명할 수 있다[7].

### 3.3 고온초전도 안테나의 입력 임피던스

그림 10과 그림 11 그리고 그림 12와 그림 13은 각각 금 안테나와 고온초전도 안테나의 입력 임피던스를 스미스 도표에 근거하여 나타낸 것이다.

먼저 각각의 온도에서 금 안테나의 입력 임피던스를 도시하고 있는 그림 10과 그림 11을 보면 공진 주파수가 마커(marker) 1에서 입력 임피던스의 허수부가 '0'에 접근하고 있지만 정확한 임피던스 결합이 일어나고 있지는 않다. 상온의 경우 그림 6과 그림 7에 제시되어있는 반사 손실 제적과 마찬가지로 공진주파수 11.84 GHz에서 입력 임피던스의 허수부가 -12.92  $\Omega$ 을 실수부가 61.03  $\Omega$ 임을 보여준다. 또한 77 K에서는 11.86 GHz의 공진 주파수에서 입력 임피던스의 허수부가

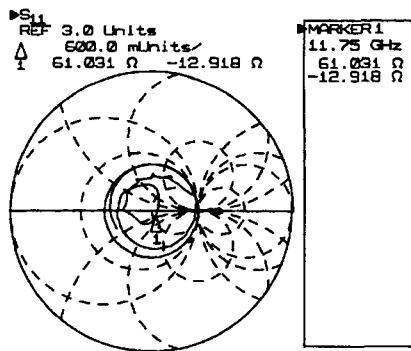


그림 10 상온에서 금 마이크로스트립 안테나의 스미스 도표  
Fig. 10 Smith chart of the gold microstrip antenna at room temperature

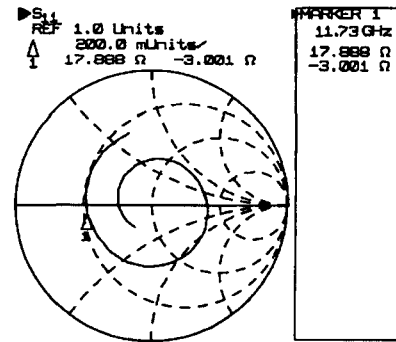


그림 12 상온에서 HTS microstrip 안테나의 스미스 도표  
Fig. 12 Smith chart of the HTS microstrip antenna at room temperature

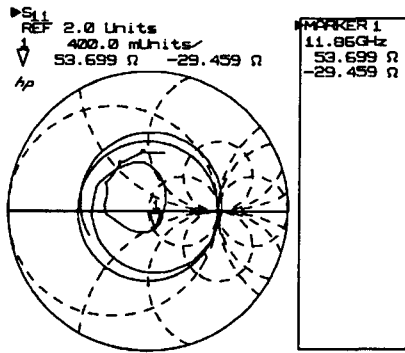


그림 11 77 K에서 금 마이크로스트립 안테나의 스미스 도표  
Fig. 11 Smith chart of the gold microstrip antenna at 77 K

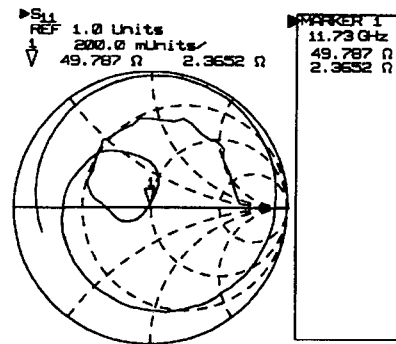


그림 13 77 K에서 금 마이크로스트립 안테나의 스미스 도표  
Fig. 13 Smith chart of the gold microstrip antenna at 77 K

는 11.86 GHz의 공진 주파수에서 입력 임피던스의 허수부가 -29.46 Ω을, 실수부가 53.70 Ω을 나타내고 있으며 상온에 비하여 실수부가 훨씬 더 원하는 입력 임피던스인 50 Ω에 근접하고 있다.

그림 12와 그림 13은 고온초전도 안테나의 입력 임피던스 궤적을 스미스 도표에 근거하여 도시한 것이다. 그림 8의 반사 손실 궤적에서와 마찬가지로 상온에서 고온초전도 안테나의 입력 임피던스는 마커 1에서 임피던스의 허수부가 -3.00 Ω을, 실수부가 17.89 Ω을 보여주고 있다. 이것은 실제적으로 임피던스 결합이 실패했음을 의미하는 것이다. 이는 상온에서 고온초전도 방사 패치가 대략 10 Ω의 저항을 갖는 반도체의 성질을 가지고 있기 때문이다. 그러나 그림 13의 경우 11.73 GHz에서 입력 임피던스의 허수부가 '0'에 거의 정확하게 근접하고 있다. 이때 입력 임피던스의 허수부는 2.36 Ω이고 실수부는 49.78 Ω으로서 우리가 원하던 급전 선로의 특성 임피던스 50 Ω과 거의 정확하게 일치하고 있다. 이것은 최대 전력 전달 조건에 의거하여 급전선으로부터 전달되는 방사 전력이 거의 전부 고온초전도 안테나 패치로 공급되고 있음을 의미한다. 보편적으로 반사 손실이 -15 dB 이상이면 상업적으로 효율 가치가 있

다고 판단되는 점으로 미루어보아 매우 이상적인 임피던스 결합이 일어나고 있다.

### 3.4 고온초전도 안테나의 정재파비

그림 14와 그림 15는 77 K에서 비교용 금 안테나와 고온초전도 안테나의 주파수에 따른 정재파비를 나타내고 있다. 먼저 그림 14의 경우 액체 질소 비등점인 77 K에서 금 안테나의 정재파비가 11.84 GHz에서 1.3581임을 보여주고 있다. 보편적으로 상업용으로 제작된 안테나의 정재파비 허용 기준이 2 이하임을 고려한다면 비교용으로 제작된 금 안테나의 임피던스 결합이 상당히 잘 이루어졌음을 시사하는 대목이다. 그림 15에 제시된 고온초전도 안테나의 77 K에서의 정재파비는 11.73 GHz에서 1.0488의 값을 가진다. 이는 이상적인 값인 정재파비 '1'에 근접한 값으로 급전 전력의 대부분이 정재파에 의한 변환 손실이 없이 고온초전도 방사 패치로 공급되고 있음을 의미하며 안테나 설계가 적절했음을 알 수 있다.

### 3.5 고온초전도 안테나의 효율 및 이득

일반적으로 소형 안테나의 효율을 측정하는 방법에는 방사분석(radiometric) 측정법, 지향성과 이득을 이용하는 방법

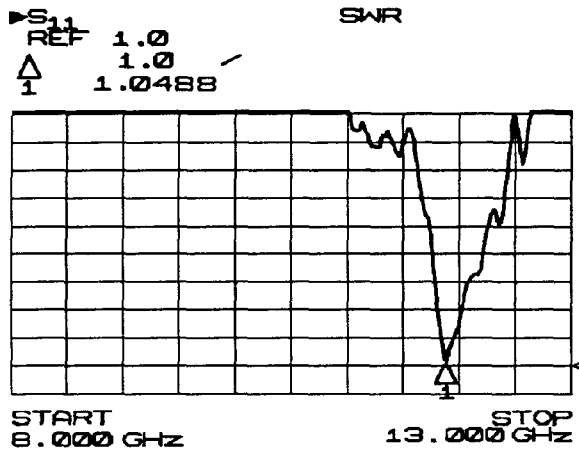


그림 15 77 K에서 HTS 마이크로스트립 안테나의 정재파비  
Fig. 15 VSWR of the HTS microstrip antenna at 77 K

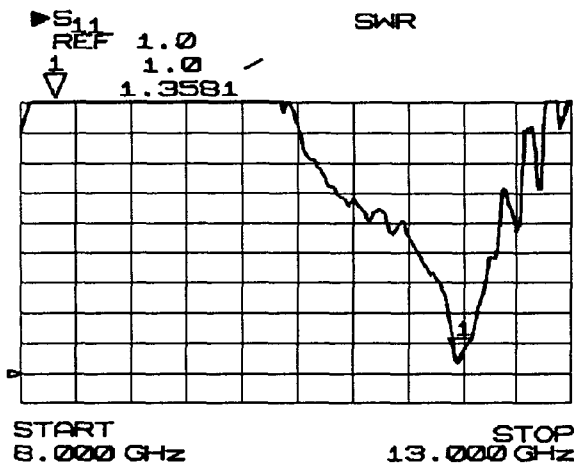


그림 14 77 K에서 금 마이크로스트립 안테나의 정재파비  
Fig. 14 VSWR of the gold microstrip antenna at 77 K

법, 시험 안테나 이용법, Wheeler 측정법 등을 들 수 있다. 하지만 마이크로스트립 안테나와 같이 소형의 인쇄된 기판 형태를 가지고 있는 안테나의 경우 지향성과 이득의 비율을 이용해서 측정하는 방법은 종종 부정확한 결과를 초래하곤 한다. 방사분석법과 시험 안테나법의 경우 전자는 소형의 전파 흡수체를 안테나 주변에 장착해야하는 어려움이 있으며 후자의 경우 시험 안테나의 정확도가 측정 안테나의 효율 측정에 매우 민감한 영향을 준다는 단점을 가지고 있다. 특히 일반적인 안테나 효율 측정과는 달리 고온초전도 안테나는 cryostat에 장착되기 때문에 cryostat에 탑재되어 있는 레이돔의 영향을 무시할 수 없다. 무엇보다도 중요한 것은 레이돔의 영향을 무시할 수 있거나 레이돔 안에 측정용 기구가 탑재될 수 있어야만 한다. 따라서 본 논문에서는 Wheeler가 제안한 방법을 이용하여 고온초전도 안테나의 효율을 계산하였다[9]. 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 특성 임피던

표 1 각각 안테나의 효율과 이득

Table 1 The efficiency and gain of each antenna

	77 K	Room temperature
HTS antenna	93 %	0 %
Gold antenna	75 %	68 %
Gain	4.8 dB	

스와 방사 차폐가 제거되었을 때의 특성 임피던스를 측정하여 아래 식과 같이 효율을 계산하였다.

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

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

안테나의 이득은 일반적인 S-파라미터 표현법을 사용할 경우 아래 식과 같이 표현할 수 있다.

$$G = \frac{|S_{21}|^2}{1 - |S_{11}|^2} \quad (2)$$

이때  $S_{11}$ 은 안테나의 반사 계수를  $S_{21}$ 은 안테나의 투과 계수를 나타낸다. 따라서 금 안테나에 대한 초전도 안테나의 상대적 이득은 다음 식으로 표현할 수 있으며 반사 계수 측정과 투과 계수 측정을 통해서 계산된 상대 이득을 표. 1에 나타내었다.

$$\frac{G_{HTS}}{G_{Au}} = \frac{\frac{|S_{21}|_{HTS}^2}{1 - |S_{11}|_{HTS}^2}}{\frac{|S_{21}|_{Au}^2}{1 - |S_{11}|_{Au}^2}} \quad (3)$$

#### 4. 결 론

본 연구에서는 고온초전도 안테나와 비교용 금 안테나의 제작과 측정 시스템 구축 및 측정 결과에 관하여 논의하였다. 특히 본 연구에서 제시한 안테나 측정 시스템은 기존의 피측정 안테나(표준 안테나) 고정 방식에서 과감히 탈피 피측정 안테나를 측정 안테나 주변을 회전하면서 방사 패턴을 측정토록 고안 설계하였다.

이를 통해서 얻어진 실험 값들 중 입력 임피던스의 경우 49.78  $\Omega$ 을 가리키고 있으며 이는 본 연구팀이 의도한 50  $\Omega$ 에 거의 근접한 값이다. 또한 정재파비가 1.0488로 이상적인 값에 근접해 있다. 또한 초전도 안테나의 효율과 금 안테나에 대한 상대 이득은 각각 93 %와 4.8 dB로서 비교용 금 안테나에 비하여 상대적으로 우수한 특성을 보여주었지만 방사 패턴은 비교용 금 안테나와 큰 차이를 보이지 않았다.

본 연구의 실험 결과를 기반으로 앞으로 수행되어야 할 연구는 실제 통신 시스템에 적용이 가능하도록 설계 기술 및 급전 기술을 최적화 하는 일이며 더불어 단독 안테나 소자를 주파수 배열이나 위상 배열을 통하여 배열 안테나화 하는 일이다. 이를 위해서는 최소 직경 2 inch 이상의 양질의 고온초전도 양면 박막이 절실히 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 정 동철, 허 원일, 김 민기, 한 태희, 한 병성 " 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] M. A. Richard, K. B. Bashin, P. C. Claspy, "Superconducting microstrip antennas: an experimental comparison of two feeding methods," IEEE Trans on Antenna and Propagation, vol. 41, No. 7, July 1993

[7] R. C. Hansen, "Superconducting antenna", IEEE Trans on Aerospace and Electron system, vol. 26, No. 2. March 1990.

[8] T. Konaka, M. Sato, H. Asano, and S. Kubo, "Relative permittivity and dielectric loss tangent of substrate materials for high-Tc superconducting film," J. Supercond. vol. 4, No. 4, pp 283-288, 1991.

[9] 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 (鄭 東 哲)

1967년 8월 20일 생. 1994년 전북대 전기공학과 졸업. 1999년 전북대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1999년 전북대 반도체물성연구센터 연구원, 2000년 현재 우석대 정보통신컴퓨터 공학부 전임강사.

E-mail:dchung@electric.chonbuk.ac.kr

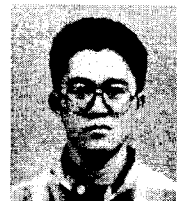


최 명 호 (崔 明 浩)

1965년 12월 5일생. 1992년 2월 전북대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사) 2000년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(공학)

강 형 곤 (姜 亨 坤)

1967년 11월 20일생. 1993년 2월 전북대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 2월 동대학원 석사과정 졸업(석사). 현재 동대학원 박사과정



임 성 훈 (林 成 勳)

1973년 11월 1일 생. 1996년 전북대 전기공학과 졸업, 1998년 전북대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 동대학원 전기공학과 박사과정



한 병 성 (韓 秉 誠)

1951년 12월 22일생. 1988년 프랑스 루이 파스퇴르대학 박사학위취득. 1988년 프랑스 CNRS(프랑스 국립과학연구소)연구원. 현재 전북대 전자정보공학부 교수