

# 고온초전도 마이크로스트립 패치 안테나; 비방사면 급전 방식을 이용한 초전도 안테나 특성

論 文  
49C-7-1

## High T<sub>c</sub> Superconducting Microstrip Patch Antenna ; Characterization of Superconducting Antenna using Non-Radiating Edge Feeding Technique

鄭 東 哲\* · 朴 晟 鎮\*\* · 黃 宗 善\*\*\* · 朴 鍾 廣§ · 韓 秉 誠§§

(Dong-Chul Chung · Sung-Jin Park · Jong-Sun Hwang · Jong-Kwang Park · Byoung-Sung Han)

**Abstract** - In this paper, we described the characterization of High-T<sub>c</sub> Superconducting(HTS) microstrip antenna using non-radiating edge feeding technique and reported the microwave properties of HTS antennas with temperature. To do this, we prepared the YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> superconducting thin film on MgO substrate using pulse-laser deposition techniques. The HTS microstrip antenna using non-radiating feeding technique was fabricated using chemical wet-etching. Then it was compared with identical antenna patterned with evaporated gold. The diverse measured results have been reported in terms of the input impedance, resonant frequency and return loss. In additional, at around the critical temperature, the effect of kinetic inductance which affect the resonant characteristic of the HTS microstrip antenna was reported.

**Key Words** : Non-radiating feeding technique, HTS microstrip antenna, Impedance matching

### 1. 서 론

본 논문에서는 비방사면 급전 방식을 이용한 고온초전도 마이크로스트립 안테나의 특성과 온도 변화에 따른 마이크로파 특성의 변화에 대하여 보고하였다[1].

고온초전도체를 마이크로파 소자에 응용할 경우 대략 세가지의 잇점이 있는 것으로 판단된다. 첫 번째 잇점은 일반 금속에 비하여 매우 낮은 표면 저항을 들 수 있다. 낮은 표면 저항은 마이크로파 소자의 삽입 손실을 현저하게 줄일 수 있으며 소자의 소형화(miniaturization)에 따른 손실 증가를 일반 금속으로 제작된 소자에 비하여 비약적으로 최소화할 수 있다. 두 번째 잇점은 주파수에 무관한 투과 깊이(penetration depth)를 들 수 있다. 이러한 특성은 주파수 증가시 초전도 마이크로파 소자에 야기되는 산란(dispersion)을 억제할 수 있기 때문에 수백 GHz에 이르기까지 양호도가 뛰어난 소자를 제작할 수 있다. 세 번째 잇점은 상대적으로 높은 임계온도 (~100 K)를 가지고 있기 때문에 냉매로서 액체 헬륨에 비하여 값싼 액체 질소를 사용할 수 있기 때문이다.

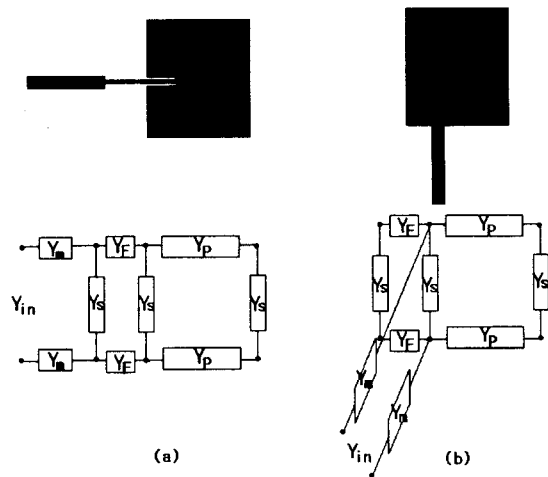


그림 1 (a) 임피던스 결합 회로 급전 방식과 (b) 비방사면 급전 방식의 등가회로

Fig. 1 Equivalent Circuits for (a) impedance-matching circuit and non-radiating feeding technique

이는 소자 제작시 패키징 문제의 가격대 성능비를 향상시킬 수 있는 것으로 생각되어져 왔으며 따라서 대부분의 고온초전도 마이크로파 특성 시험은 실제로 액체 질소 비등점인 77 K에서 수행되었다[2]. 그러나 주의할 점은 고온초전도 마이크로

\* 正 會 員 : 又石大 情報通信컴퓨터工學部 專任講師 · 工博

\*\* 正 會 員 : 全北大 電氣工學科 研究員

\*\*\* 正 會 員 : 潭陽大 電氣工學科 教授 · 工博

§ 正 會 員 : 全北大 電氣工學科 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 6月 13日

표 1 펄스레이저 증착법에 의한 고온초전도 박막의 증착 조건

Table 1 Deposition conditions for high Tc superconducting thin film by pulse-laser deposition

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

파 소자의 성능이 온도 변화에 따라서 여전히 특성이 변화한다는 사실이다. 특히 임계온도 근방에서 급격히 변화하는 역학적 인덕턴스 (kinetic inductance)는 흥미로운 고찰 대상이다. 따라서 본 연구에서는 임계온도 부근에서 역학적 인덕턴스의 영향으로 여겨지는 독특한 마이크로파 특성에 대하여 제시하였으며 온도 변화에 따른 반사손실과 공진 주파수의 변화를 보고하였다.

일반적으로 초전도 안테나는 일반 전도체 안테나와는 달리 높은 패치면 임피던스를 가지기 때문에 급전에 많은 어려움을 가지고 있다[3]. 보편적으로 사용하는 급전 방식에는 다음과 같은 방식이 있다. 첫 번째 고온초전도 마이크로스트립 급전 선로와 방사 패치 사이에 적절한 임피던스 결합 회로를 부가적으로 설계하는 방법이다. 그러나 이 방식은 주파수가 높아지거나, 기판의 유전율이 커질수록 좁아지는 선폭으로 인한 임피던스 미 결합이 발생하며 식각 에러에 의한 오차가 상대적으로 증가한다. 두 번째 방식으로 갭 결합 방식이나 전자기적 결합 방식을 들 수 있다. 이 방식은 패치면과 급전선 사이에 갭 결합을 유도하여 임피던스 결합을 이루는 방식이며 전자기적 결합 방식은 안테나 방사 패치의 아래 면의 적절한 위치에 급전선을 삽입하는 방식이다. 하지만 두 방식 모두 수치해석 상의 어려움과 제작 공정 상의 어려움을 수반한다. 세 번째 방식으로 고온초전도 마이크로스트립 급전선을 첫 번째 방식과는 달리 비방사면, 즉 공진 길이 면의 50 Ω 영역에 급전선을 위치하는 방식이다. 도식적 이해를 위해 그림 1에 첫 번째 방식과 세 번째 방식의 등가회로를 제시하였다. 그림에서 Y<sub>P</sub>는 방사 패치의 어드미턴스이고 Y<sub>S</sub>, Y<sub>F</sub>, Y<sub>m</sub>, Y<sub>in</sub> 은 병렬 어드미턴스, 급전점 어드미턴스, 급전선로 어드미턴스, 그리고 급전선로에서의 입력 임피던스를 나타내며 이때, 병렬 어드미턴스는 각각 컨덕턴스와 서셉턴스의 복소 형태( $Y_S = G + jB$ )로 표현할 수 있다. 이러한 비 방사면 급전 방식은 별도의 임피던스 결합회로를 들 필요가 없기 때문에 식각 에러에 의한 제작 오차를 현저하게 줄일 수 있는 장점이 있다.

안테나 제작을 위해서 사용된 초전도 박막은 펄스 레이저 증착법을 이용해서 만들어졌으며 MgO 기판 위에 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> 박막을 증착하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 두 번째 소절에서 펄스 레이저 증착 방식으로 제조된 고온초전도 박막의 특성에 대하여 소개하였으며 세 번째 소절에서 실험 결과 및 논의 사항을, 그리고 네 번째 소절에서 최종적으로 결론을 제시하였다.

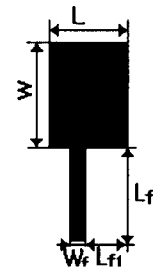


그림 2 비방사면 급전 방식을 이용한 고온초전도 마이크로스트립 안테나의 설계 패턴

Fig. 2 Design pattern of the HTS microstrip antenna using non-radiating edge feeding

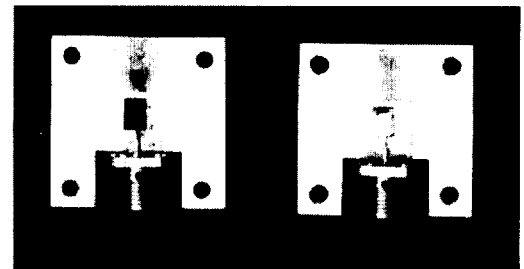


그림 3 고온초전도 마이크로스트립 안테나와 금 마이크로스트립 안테나 사진

Fig. 3 Photograph of the HTS microstrip antenna and the gold microstrip antenna

## 2. 고온초전도 박막의 제조 및 비방사면 급전 방식 안테나의 제작

펄스 레이저 증착 방식은 기존의 sputtering 방식보다 증착 속도가 빠르고 열처리 등 여타의 방식에서 유리하다. 증착에 사용된 레이저는 248 nm의 파장을 갖는 KrF excimer laser였으며 YBCO 초전도 타겟을 회전시키면서 증착하였다. 타겟 표면에서 에너지 밀도는 2 J/cm<sup>2</sup> 이며 순수한 산소 분위기에서 10 × 10 × 0.5 mm MgO 기판을 사용하였다. 타겟 표면과 기판 홀더 사이의 거리는 4 cm였다. 증착시 기판 온도는 200 mTorr의 산소압에서 750 °C를 유지하였고, 다시 400 mTorr의 산소 분위기에서 온도를 500 °C로 낮추었다. 여타의 증착 조건은 표. 1에 제시하였다. 증착된 YBCO 초전도 박막은 각각 X-ray 회절 패턴과 4 단자 법을 이용하여 분석하였다. 증착된 박막은 c 축 방향 지향성을 가지고 있었고 임계온도는 90 K, 임계 전류 밀도는 4 × 10<sup>6</sup> A/cm<sup>2</sup> 였다.

안테나의 제작은 표준 식각법을 이용하였으며 에칭 용액으로 EDTA 수용액과 질산 수용액을 사용하였다. 또한 비교용으로 열 증착법을 이용하여 초전도 안테나와 동일한 패턴의 금 마이크로스트립 안테나를 제작하였다. 제작된 안테나의 설계 패턴과 형상을 그림 2와 그림 3에 제시하였으며 안테나의 공진 길이는 3,625 μm, 폭은 5,249 μm였다. 자세한 설계 제원을 표 2에 제시하였다.

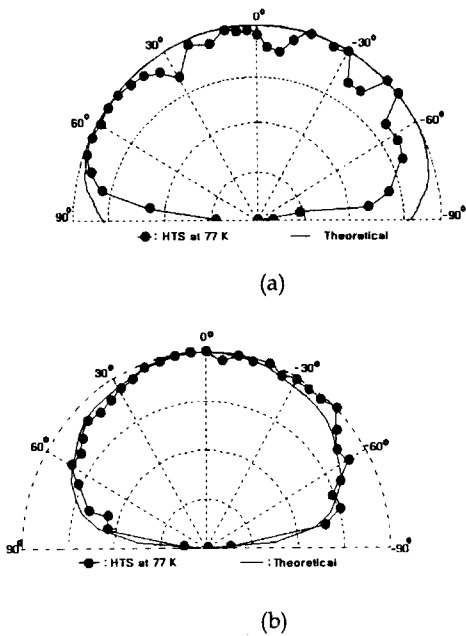


그림 4 E-평면 방사 패턴과 H-평면 방사 패턴 : (a) E-평면 방사패턴. (b) H-평면 방사패턴  
 Fig. 4 E-plane and H-plane radiation pattern : (a) E- plane radiation pattern and (b) H-plane radiation pattern.

표 2 고온초전도 안테나의 설계 제원

Table 2 Design dimension of HTS microstrip antenna

단위([unit: $\mu\text{m}$ ])				
W	L	$W_f$	$L_f$	$L_{fl}$
5429	3625	490	3925	2487

### 3. 실험 결과 고찰 및 논의

#### 3.1 방사 패턴

비방사면 급전 방식을 이용한 고온초전도 마이크로스트립 안테나의 방사 패턴 또한 참고문헌 [3]이나 참고문헌 [4]에서 제시한 방사 패턴과 큰 차이를 보이지 않았으며 이론값과 대체적인 일치성을 보여주었다[3,4]. 그림 4의 (a)에 E-평면 방사 패턴을 그림 4의 (b)에 H-평면 방사 패턴을 나타내었다. 전체적으로 단일 안테나 소자의 특성인 폭넓은 방사계 분포를 보여주며 이러한 분포는 일반 전도체 안테나와 비교하여 큰 차이를 보여주지 않기 때문에 고온초전도 안테나의 방사 패턴만을 제시하였다. 폭넓은 방사 패턴 특성으로부터 방사패턴을 결정하는 패치 내의 전류 분포가 형태상 일반 전도체 안테나의 전류 분포와 큰 차이가 없음을 유추할 수 있다. 따라서 방사 패턴이 지향성을 가지기 위해서는 안테나 소자의 적절한 배열을 통하여 가능할 것으로 판단된다.

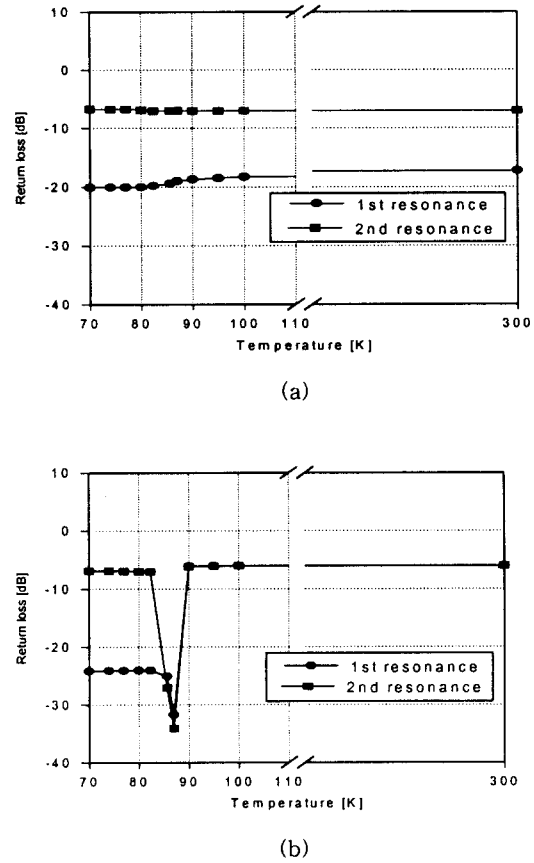
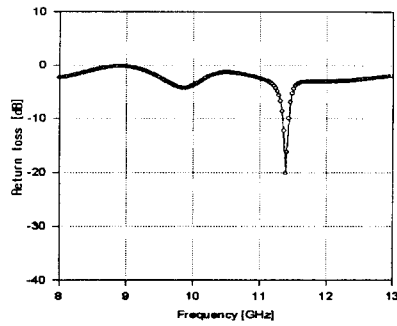


그림 5 온도에 따른 반사손실의 변화 : (a) 금 안테나의 반사손실 (b) 초전도 안테나의 반사손실

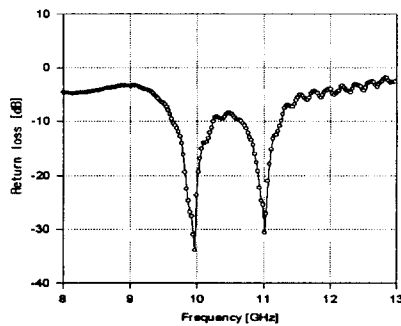
Fig. 5 Variation in the return loss with temperature : (a) return loss of gold antenna and (b) return loss of HTS antennas

#### 3.2 임계 온도 근방에서 반사손실과 공진 주파수의 변화

그림 5에 온도변화에 따른 비방사면 급전 방식의 금 안테나와 초전도 안테나의 반사손실을 나타내었다. 금 안테나의 경우 (그림 5(a)) 상온에서 두 개의 공진점이 발생하였다 (그림 6 참조) 첫 번째 공진점은 11.37 GHz로서 현재 설계한 안테나의 공진길이(L)에 해당되는 공진 주파수라고 볼 수 있으며 9.98 GHz에서 두 번째 공진점이 보여지는데 이는 안테나의 기본 모드를 결정하는 안테나의 폭(W)이 부가적으로 공진하는 것으로 판단된다. 물론 이러한 2차 공진은 비방사면 급전 방식을 취할 경우 중앙 급전 방식과는 다르게 흔히 발생하는 기생 주파수라고 판단할 수 있다. 금 안테나에서 1차 공진과 2차 공진에 따른 반사 손실은 온도에 따라서 매우 미세하게 변화(1차 공진 : -17.5 dB ~ -91.92 dB, 2차 공진 : -7.5 dB ~ -7.6 dB)한다. 이는 온도 저하에 따른 전도도의 증가와 표면 저항의 감소, 방사 패치면의 패



(a)



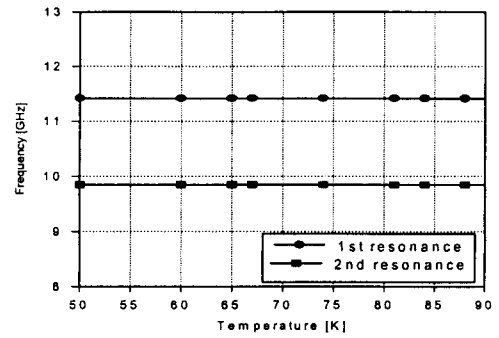
(b)

그림 6 88 K에서 초전도 안테나와 금 안테나의 반사손실 특성 : (a) 금 안테나의 반사손실. (b) 초전도 안테나의 반사손실

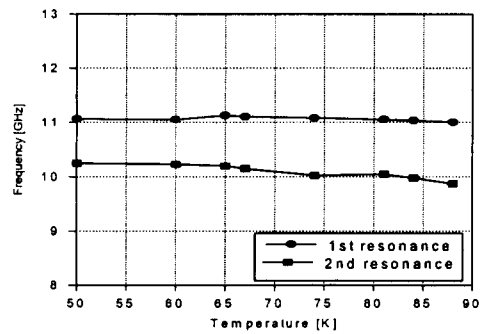
Fig. 6 Characteristics in the return loss of HTS and gold antenna at 88 K : (a) return loss of gold antenna (b) return loss of HTS antennas

치면 임피던스가 변화하기 때문인 것으로 판단되며 이러한 결과는 참고 문헌 [3]의 결과와 일치한다. 그림 5 (b) 비방사면 급전 방식 초전도 안테나의 온도에 따른 반사 손실을 나타내었다. 그림에서 주목할 점은 초전도 안테나의 반사손실이 임계 온도인 90 K에서 최초 공진을 시작한 이래 88 K에서 1차 공진과 2차 공진 모두 급격 한 반사손실의 감소를 보인다는 사실이다[5]. 88 K에서 1차 공진의 반사손실은 -31 dB이며 2차 공진의 반사손실은 -34 dB였다. 그러나 이러한 특이한 현상은 임계온도 근방에서만 나타나며 88 K 아래의 온도에서 반사손실이 증가하기 시작 83 K 부근에서 안정된다. 이때 1차 공진의 반사 손실은 -24.5 dB이고 2차 공진의 반사 손실은 -7.5 dB였다. 이러한 특이한 현상은 임계 온도 부근에서 급격하게 증가하는 역학적 인덕턴스와 투과 깊이의 영향으로 보여지며 온도가 하강할수록 안정적이 되는 역학적 인덕턴스와 투과 깊이의 특성과 일치한다[5].

그림 6은 초전도 안테나가 특이한 공진 현상을 보이는 88 K에서 초전도 안테나와 금 안테나의 주파수에 따른 반사 손실의 변화를 보여주고 있다. 금 안테나의 경우(그림 6 (a)), 2차 공진이 9.825 GHz에서 반사 손실 - 7.52 dB의 크기로 발생하고 있으며 1차 공진은 11.37 GHz에서 반사 손실



(a)

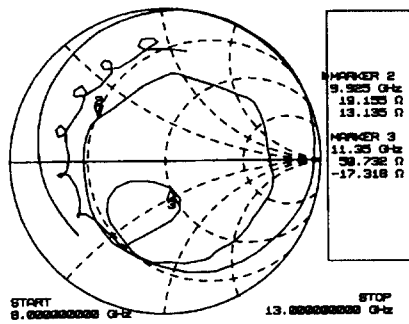


(b)

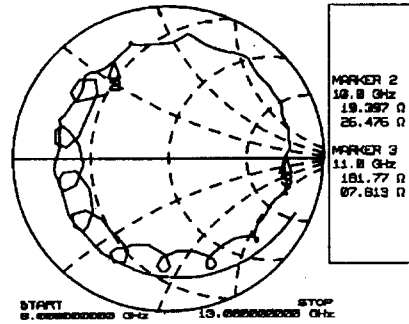
그림 7 온도에 따른 금 안테나와 초전도 안테나 공진 주파수의 변화 : (a) 금 안테나의 공진 주파수 (b) 초전도 안테나의 공진 주파수

Fig. 7 Variation of resonant frequency in gold and HTS antenna as a function of temperature: (a) resonant frequency of gold antenna (b) resonant frequency of HTS antennas

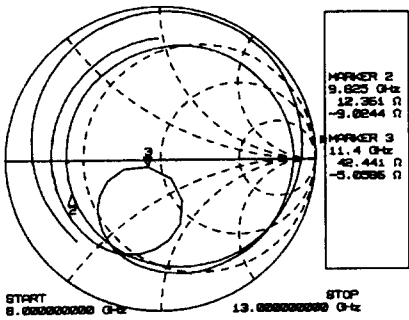
-19.56 dB의 크기로 발생하고 있음을 알 수 있다. 그림 6 (b)에 최대 공진 온도인 88 K에서 고온초전도 안테나의 주파수에 따른 반사 손실을 나타내었다. 1차 공진은 11.01 GHz에서 9.98 GHz에서 각각 공진 현상을 보여주고 있다. 두 안테나의 주파수 차이는 식각 오차와 유전체 기판의 유전률 변이로부터 기인하는 것으로 판단된다 [3]. 그림 7에 온도에 따른 비방사면 급전 방식의 금 안테나와 초전도 안테나의 공진 주파수 변화를 나타내었다. 금 안테나의 경우(그림 7 (a)), 전 온도 대역에 걸쳐 1차 공진이 11.35 GHz에서 11.42 GHz까지 변화를 보였고 2차 공진은 9.825 GHz에서 9.845 GHz까지 변화하였으며 대체로 온도 하강에 따라 평탄하게 선형적인 변화를 보였다. 그림 7 (b)에 온도 변화에 따른 초전도 안테나의 공진 주파수 변화를 나타내었다. 1차 공진의 경우 11 GHz에서 11.063 GHz까지 변화를 보이고 있고 2차 공진의 경우는 9.875 GHz에서 10.25 GHz까지 변화를 보였다. 금 안테나와 초전도 안테나의 변화는 온도 하강에 따른 유전률의 변화로 보여지며 온도에 따른 초전도 박막용 유전체 기판 유전률 변화와 이에 따른 공진 주파수의 변화와 일치함을 알 수 있다[6].



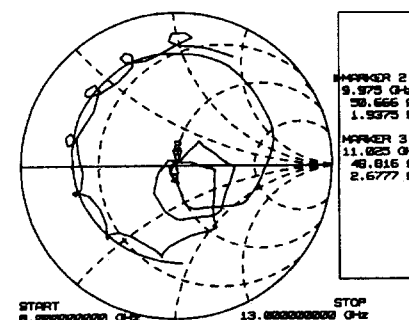
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 8 상온과 88 K에서 스미스 도표에 바탕을 둔 금 안테나의 입력 임피던스 : (a) 상온에서의 입력 임피던스 (b) 88 K에서의 입력 임피던스

Fig. 8 Input impedance based on Smith chart for gold antenna at room temperature and 88 K : (a) input impedance at room temperature (b) input impedance at 88 K

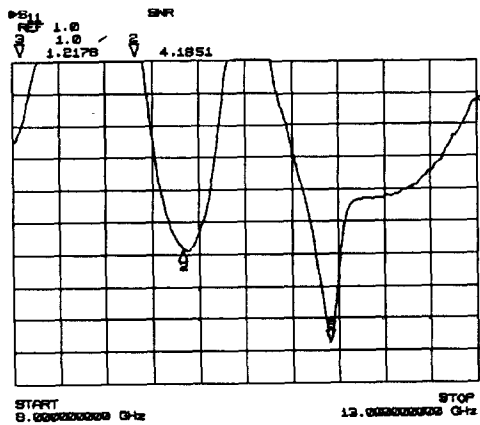
그림 9 상온과 88 K에서 스미스 도표에 바탕을 둔 초전도 안테나의 입력 임피던스 : (a) 상온에서의 입력 임피던스 (b) 88 K에서의 입력 임피던스

Fig. 9 Input impedance based on Smith chart for HTS antenna at room temperature and 88 K : (a) input impedance at room temperature (b) input impedance at 88 K

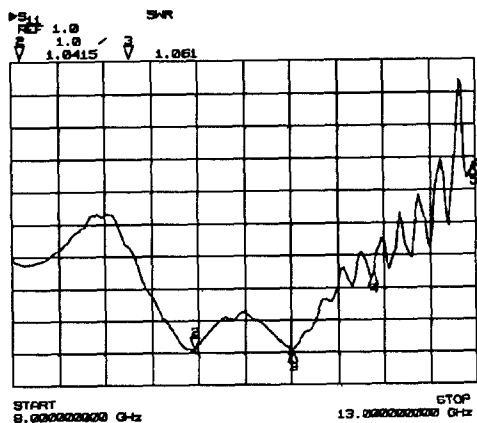
### 3.3 입력 임피던스

그림 8은 상온과 80 K에서 금 안테나의 입력 임피던스를 스미스 도표를 이용하여 나타낸 것이다. 먼저 그림 8 (a)에 도시한 상온에서의 금 안테나의 입력 임피던스는 1차 공진시(공진 주파수 11.35 GHz) 입력 임피던스의 실수부가 50.732 Ω이고 입력 임피던스의 허수부가 -17.318 Ω인 것을 알 수 있으며 2차 공진시(공진 주파수 9.925 GHz) 입력 임피던스의 실수부가 19.155 Ω이고 입력 임피던스의 허수부가 13.135 Ω임을 알 수 있다. 80 K에서 입력 임피던스의 변화(그림 8 (b))는 1차 공진에서 입력 임피던스의 실수부가 42.441 Ω으로 감소하면서 입력 임피던스의 허수부가 - 5.586 Ω으로 감소하고 있으며 2차 공진에서는 입력 임피던스의 실수부가 12.361 Ω으로 입력 임피던스의 허수부가 -9.90244 Ω으로 변화하는 것을 알 수 있다. 전체적으로 2차 공진시 입력 임피던스의 변화는 임피던스 결합에 큰 영향을 주지 않지만 1차 공진시에는 입력 임피던스의 허수부가 상당히 개선되는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 앞서 서술한 온도 하강에 따른 금 안테나 기판에서 임피던스의 변화,

기판에서 전도도 증가 등을 원인으로 생각할 수 있다. 그림 9는 상온과 88 K에서 초전도 안테나의 입력 임피던스를 스미스 도표를 이용하여 나타낸 것이며 그림 9 (a)에 보여지는 것처럼 초전도 안테나는 상온에서 전혀 공진을 보여주지 않으며 전체 주파수 검사 영역(8 GHz ~ 13 GHz) 걸쳐서 폭넓은 통과 특성을 보여준다. 이러한 특성은 초전도 안테나의 방사 패치가 상온에서 대략 12 Ω 정도의 저항을 갖는 반도체로서 동작하기 때문인 것으로 여겨진다. 그러나 88 K에서 1차 공진과 2차 공진은 거의 정확한 임피던스 결합을 이룬다. 1차 공진(11.025 GHz)의 경우 입력 임피던스의 실수부는 48.816 Ω에 입력 임피던스의 허수부는 2.677 Ω에서 공진하며 2차 공진(공진 주파수 9.975 GHz)시 입력 임피던스의 실수부는 50.666 Ω에 입력 임피던스의 허수부는 1.9375 Ω에서 공진함을 알 수 있다. 물론 이러한 특이한 공진 현상은 88 K에서 온도가 더 하강할수록 전술한 반사 손실과 마찬가지로 2차 공진은 현격하게 감소하며 1차 공진은 11.1 GHz 부근에서 안정된다.



(a)



(b)

그림 10 88 K에서 금 안테나와 초전도 안테나의 정재파비 :  
(a) 금 안테나의 정재파비 (b) 초전도 안테나의 정재파비

Fig. 10 SWR of gold antenna and HTS antenna at 88 K :  
(a) SWR of gold antenna (b) SWR of HTS antenna

### 3.4 정재파비

그림 10에 88 K에서 초전도 안테나의 금 안테나의 정재파비를 나타내었다. 88 K에서 금 안테나(그림 9 (a))는 입력 임피던스나 반사 손실과 마찬가지로 두 개의 공진점을 보여 주며 1차 공진점인 11.35 GHz에서 정재파비가 1.1278을 2차 공진점인 9.925 GHz에서 정재파비가 4.1581을 보여주고 있다. 부가적으로 발생하고 있는 2차 공진점에서 정재파비로 미루어 볼 때 임피던스 결합과 거의 무관한 기생 공진으로 파악할 수 있으며 1차 공진점에서 필요한 임피던스 결합이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 그림 9(b)에 88 K에서 고온 초전도 안테나의 정재파비를 나타내었다. 반사 손실이나 특성 임피던스의 변화와 마찬가지로 매우 특이한 정재파비 특성을 보여준다. 1차 공진점인 11.025 GHz에서 정재파비는 1.061이며 2차 공진점인 9.975 GHz에서 1.0415를 나타냈다. 또한 88 K 이하로 온도가 하강할수록 2차 공진은 소멸되고

1차 공진은 11.1 GHz에서 안정되는 특성을 보였다.

### 3.5 효율

본 논문에서는 Wheeler가 제안한 방법을 이용하여 고온 초전도 안테나의 효율을 계산하였다[7]. 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 임피던스와 방사 차폐가 제거되었을 때의 특성 임피던스를 측정하여 아래 식과 같이 효율을 계산하였다.

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

표 3 각각 안테나의 효율

Table 3 The efficiency of each antenna

	77 K	Room temperature
HTS antenna	91 %	0 %
Gold antenna	73 %	68 %

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 3에 나타내었다.

### 4. 결 론

비방사면 급전 방식을 이용한 고온초전도 안테나의 마이크로파 특성을 동일한 패턴을 가지는 금 안테나와 비교하여 제시하였다. 임계 온도 부근인 88 K에서 기본 모드를 결정하는 안테나의 폭이 공진 길이로 작용하여 2개의 공진이 시작된다는 것을 보고하였으며 이는 임계 온도 근방에서 급격히 변화하는 역학적 인덕턴스와 초전도 박막의 투과 깊이가 변화로 여겨진다. 전체적으로 초전도 안테나는 금 안테나에 비하여 반사 손실에서 최소 - 5 dB 이상 우수한 특성을 보여주었으며 정재파비에 있어서도 1,2차 공진에서 1.061과 1.0415를 보여주어 금 안테나에 비하여 상대적으로 우수함을 알 수 있다. 이후 연구 과제는 임계온도 부근에서의 역학적 임피던스와 투과 깊이의 변화를 정확히 계산 이론적으로 이를 설명하는 방향으로 진행되어야 할 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

[1] Dong-Chul Chung et. al. , " Fabrication and characterization of high-Tc superconducting microstrip antenna using non-radiating edge feeding technique", *Proc. of Korean Superconductivity Society's Meeting*,

pp. 129 - 133, 1998.

[2] Dong-Chul Chung, Kyung-Kuk Park, Sung-Jin Park, Byoung-Sung Han and Jong-Sun Hwang, "Comparison Between High-T<sub>c</sub> Superconducting Microstrip Filters and Normal Conducting Counterparts", *IEEE Trans. Appl. Supercon.*, vol. 9, no. 2, pp. 3882 - 3885, June, 1999.

[3] M. A. Richard, K. B. Bhasin, and P. C. Claspy, "Superconducting microstrip antennas: an experimental comparison of two feeding methods", *IEEE Trans on Antenna and Propagat.*, vol. 41. pp. 967-974, 1993.

[4] 정 동철, 강 형곤, 최 명호, 임 성훈, 한 병성, "고온초전도 마이크로스트립 패치 안테나의 설계 및 특성 해석", *대한전기학회 논문지 vol.49c*, no.5, 2000.

[5] Dong-Chul Chung, et al, "Anomalous microwave properties of high-T<sub>c</sub> superconducting microstrip antennas around the critical temperature", *J. of Appl. Phys.* vol. 8 no. 12, pp.7192-7194, Dec. 1999.

[6] T. Konaka, et al, "Relative permittivity and dielectric loss tangent of substrate materials for high-T<sub>c</sub> superconducting film," *J. Supercond.*, Vol. 4, no. 4, pp 283-288, 1991.

[7] 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 20일생. 1994년 전북대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1999년 전북대 반도체 물성연구센터 연구원. 2000년 현재 우석대 정보통신컴퓨터 공학부 전임강사  
E-mail : dchung@electric.chonbuk.ac.kr



**박 증 광 (朴 鍾 廣)**

1971년 12월 2일생. 1997년 호원대 전자공학과 졸업. 1999년 전북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정  
E-mail : bigtree@electric.chonbuk.ac.kr



**박 성 진 (朴 晟 鎭)**

1964년 10월 11일생. 1992년 2월 전북대학교 공대 전기공학과 졸업(석사). 1996년 2월 동 대학원 졸업(공학). 주관심분야 반도체 및 초전도체  
E-mail : psj6763@chollian.net



**한 병 성 (韓 秉 誠)**

1951년 12월 22일생. 1988년 프랑스 루이 파스퇴르대학 박사학위취득. 1988년 프랑스 CNRS(프랑스 국립과학연구소)연구원. 현재 전북대 공대 전기공학과 교수  
E-mail : hbs@moak.chonbuk.ac.kr

**황 종 선 (黃 宗 善)**

1953년 12월 13일생. 1977년 한양대 전기공학과 졸업. 1995년 전북대 대학원 졸업(공학). 1987-1998년 원자력 연구소 책임 연구원. 현재 담양대학 전기공학과 교수  
E-mail : hl4epw@chollian.net