

# HTS Broadband-Array Antenna for Satellite Communication

Dong-Chul Chung\*

<sup>a</sup> Div. of Information, Communication and Computers Eng. Woosuk University, Chonbuk, Korea

Received 20 August 2001

## 위성통신용 고온초전도 광대역 배열 안테나

정 동 철

### Abstract

Superconducting four-element patch array antenna was designed and fabricated using high- $T_c$  superconducting (HTS) thin film. The array antenna has single-feed circularly polarization and a resonance frequency of 11.85 GHz for satellite communication system. To fabricate this antenna  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) superconducting thin films were deposited using rf-magnetron sputtering technique. Sequential rotation technique based on radiation elements( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  phase delay) was utilized to achieve circularly polarization. Simulated and measured results, the analysis on resonant frequency(fr), return loss, and bandwidth are presented. The results show that 10 dB return loss bandwidth of the array antenna is 11.04 GHz ~ 12.59 GHz (13.15 %) and 3dB axial ratio bandwidth is 11.42 ~ 12.52 GHz (9.2 %).

*Keywords* : HTS antennas, Broadband, Satellite communication, Axial ratio, Radiation patterns

### I. 서 론

고온초전도 물질을 이용한 마이크로파 소자의 개발은 고온초전도체 고유의 낮은 표면저항을 이용할 수 있기 때문에 높은 효율과 낮은 삽입 손실, 그리고 일반전도체로 제작된 마이크로파 소자에 비하여 높은 이득을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다 [1]. 현재까지 대역통과 필터, 지연선로, 위상천이기, 믹서, 듀플렉서, 안테나 등 다양한 마이크로파 수동소자들이 고온초전도체를 이용하여 제작되었으며 일반전도체로는 구현할 수 없는 높은 정도의 소형화(miniaturization)와 효율 및 뛰어난 공진양호도

(Q)와 거의 0 dB에 가까운 삽입 손실을 구현할 수 있다[2].

고온초전도체를 이용한 마이크로파 소자의 뛰어난 성능에도 불구하고 고온초전도 안테나는 일반 전도체에 비하여 매우 협소한 대역폭(~ 1 % 내외)을 가지는 단점이 있다[3]. 이러한 단점은 고온초전도 물질의 낮은 표면 저항으로 인한 높은 공진양호도 (Q)로 인한 것이다[4]. 이러한 협대역을 극복하는 방법의 하나로 기판의 두께를 증가시키는 방법이 제시되었지만 이동통신 영역이나 위성통신 대역과 같은 마이크로파 대역에서는 안테나 패치에 표면파가 야기된다는 단점이 있기 때문에 실용적이 못하다 [5].

본 논문에서는 순차적 순환방식 (sequential rotation)을 이용하여 원편파를 발생시키는 고온

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

e-mail : dchung@woosuk.ac.kr

초전도 마이크로스트립 배열 안테나에 대하여 보고한다[6]. 순차적 순환방식을 이용한 안테나 배열 방식은 원형편파를 발생시키는 안테나의 반사손실 대역폭 특성과 편파 특성을 동시에 개선시키는 장점을 가지고 있다. 또한 기존의 적층방식이나 기생소자를 이용하는 방식보다 물리적 크기를 대폭적으로 줄일 수 있는 장점을 가지고 있으므로 고온초전도 안테나의 협대역 문제와 원편파 발생 문제를 용이하게 해결할 수 있다.

안테나 제작에 사용된 고온초전도 박막(YBCO 박막)은 rf-magnetron sputtering 법을 이용하여 증착하였으며 EDTA 수용액을 이용한 표준식각법을 사용하여 안테나 패턴을 형상화하였다. 설계된 안테나는 중심주파수는 11.85 GHz였고 모든 안테나 특성 측정은 액체질소의 비등점 온도인 77 K에서 수행되었다.

## II. 순차적 순환 급전 방식 초전도 배열 안테나의 설계 및 제작

초전도 안테나 제작을 위해 MgO 기판을 사용하였으며 off axis 방식의 rf-스퍼터링법을 이용하여 YBCO 박막을 제작하였다. YBCO 박막의 증착을 위하여 사용한 스퍼터링 조건은 다음과 같다. RF 전력은 75 W, 기판의 온도는 550 °C, 기판과 타겟 사이의 거리는 45 mm, 증착실의 기본 압력은  $1 \times 10^{-5}$  Torr, 증착 중의 가스 압력은  $2 \times 10^{-3}$  Torr 였으며 스퍼터링 가스로는 아르곤 80 %와 산소 20 % 비율의 혼합 가스를 사용하였다.

증착된 박막의 결정화를 위하여 다음과 같이 전기로에서 후열처리하였다. 후열처리 전기로 내의 불순물들을 제거하기 위하여 대기압의 헬륨가스를 공급하면서 50 °C/분의 속도로 승온시켰다. 온도가 880 °C로 안정되면 분위기 가스를 헬륨가스에서 산소가스로 전환시키고 제조된 박막 시료를 20 °C/초를 유지하면서 30 분 동안 열처리 한 후 2 °C/분의 속도로 냉각시키고 다시 600 °C에서 1시간을 유지시킨 후 같은 속도로 200 °C까지 냉각시킨 다음 전기로의 전원을 차단하여 상온까지 자연냉각시켰다.

순차적 순환 배열의 기본 원리는 급전 점에

서 각 방사 소자까지의 거리를 조절하여 반사 전압이 급전 점에서 상쇄되도록 하는 반면 급전선의 길이 차에 따른 각 방사 소자의 순차적 위상 지연을 보상하기 위해 패치를 구조적으로 위상 변이시켜 결국 각 패치에서 방사되는 전계는 동일시간에 동일 방향이 되도록 하는 것이다. 이때 패치의 회전방향을 안테나에서 사용하는 원형편파 방향으로 회전시킴으로써 중심주파수를 벗어나 선형편파가 되더라도 이 선형편파를 이용해서 원형편파를 발생시켜서 축비 대역폭도 넓힐 수 있다. Fig. 1은 본 논문에서 사용된 순차적 순환 배열 방식을 이용한 고온초전도 4 소자 배열 안테나의 구조를 제시한 것이다.

이 구조는 4 소자 중 상단에 위치하고 있는 안테나 기본 패치가 0°, 90°의 위상 차를 갖도록 하고 위, 아래 패치 사이에 180° 위상 차를 줌으로써 상단의 두 초전도 안테나 패치와 하단의 두 초전도 안테나 패치의 위상이 서로 역위상이 되도록 함으로서 원편파를 발생시킬 수 있도록 한 것이다.

안테나의 제작은 표준 식각법을 이용하였으며 에칭 용액으로 EDTA 수용액과 질산 수용액을 사용하였다. 제작된 안테나의 공진 길이(L)와 폭은 각각은 3,925  $\mu$ m 였으며 접동을 얻기 위한 접동선 코너의 길이는 470  $\mu$ m 였다. 안테나 패치와 임피던스 정합을 위해 사용된 급전선의 폭은 497  $\mu$ m 였으며 1/4파장 변환기를 이용하여 각각의 소자로부터 임피던스를 정합시켰다.

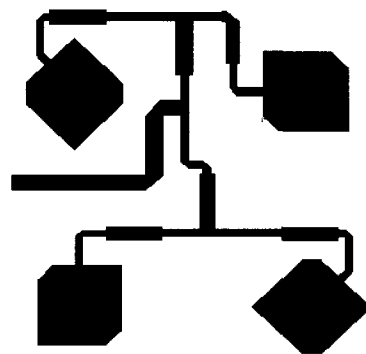
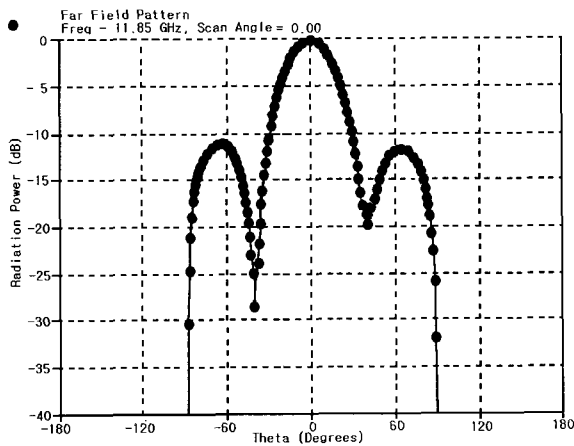
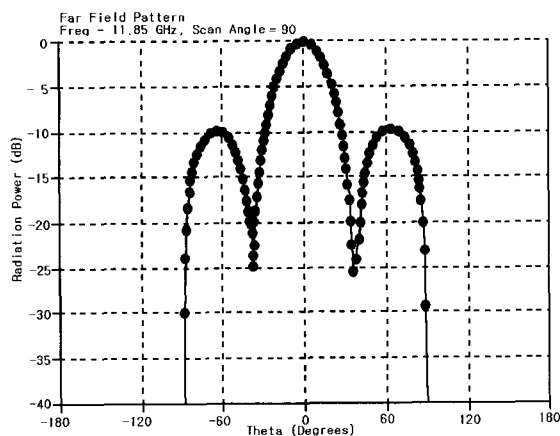


Fig. 1. Configuration of 4-element superconducting array antennas using sequential rotation techniques.

제작된 고온초전도 안테나는 자체 제작된 냉각기를 이용하여 측정하였으며 냉매로는 액체 헬륨을 사용하였다. 커넥터와 동축케이블 등에서 오차를 줄이기 위해 OSL(open, short load) 캘리브레이션을 실시하였으며 77 K에서 반사손실, 대역폭, 방사패턴, 이득 등의 안테나 특성 파라미터를 측정하였다.



(a)



(b)

Fig. 2. Radiation patterns of superconducting 4-element array antenna ; (a) E-plane pattern and (b) H-plane pattern.

### III. 측정 결과 및 논의 사항

#### 방사패턴

4소자 순차적 순환배열 방식을 이용한 초전도 안테나의 E 평면 방사패턴과 H 평면 방사패턴을 Fig. 2에 제시하였다. 그림에서 보여지는 것처럼  $\phi = 0^\circ$  에서 측정한 E 평면 방사패턴과  $\phi = 90^\circ$  에서 측정한 H 평면 방사패턴은 거의 동일한 패턴을 가지고 있다. 이는 원형편파를 발생시키는 전형적인 형태로서 본 논문에서 제작된 4 소자 순환배열 초전도 안테나가 편파 발생이 매우 용이함을 보여주고 있는 것이라고 판단된다.

#### 반사손실 및 대역폭

Fig. 3에 단일소자 초전도 안테나의 반사손실을 나타내었으며 Fig. 4에 4 소자 순차적 순환배열 방식을 이용한 초전도 배열 안테나의 반사손실을 나타내었다.

Fig. 3으로부터 단일소자 초전도 안테나의 대역폭은 11.56 GHz부터 12.23 GHz까지 0.67 GHz의 대역폭을 가지며 백분율 대역폭으로 환산하면 5.6 %의 대역폭을 가지고 있다. 참고문헌 [4]의 초전도 안테나 대역폭인 ~ 1 %와 비교해 보면 원편파를 발생시키지 않는 초전도 안테나에 비해서 약 6배 정도 대역폭을 확장시키는 효과를 가져왔음을 알 수 있다. 이때 최대 공진인 11.83 GHz에서 -36 dB의 크기의 반사손실

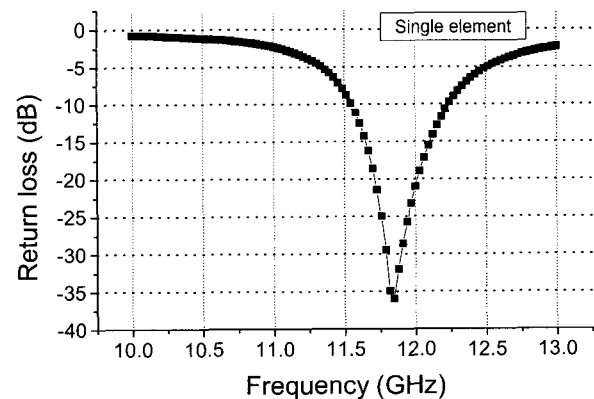


Fig. 3. Return loss of single element-superconducting antenna

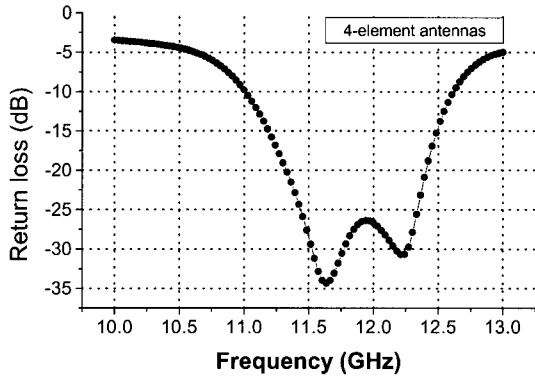


Fig. 4. Return loss of 4-element superconducting antenna with sequential rotation.

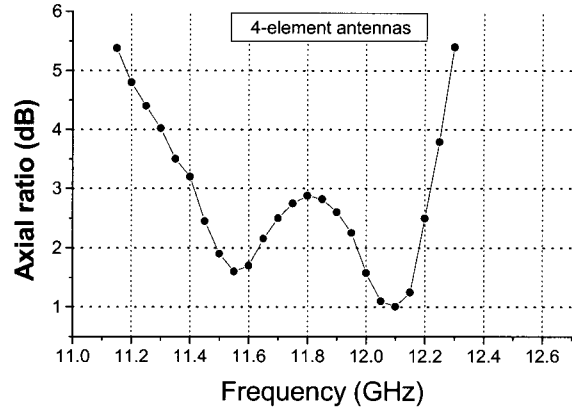


Fig. 6. Axial ratio of 4-element superconducting antenna with sequential rotation.

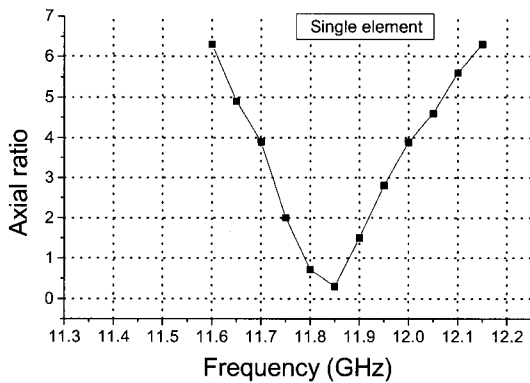


Fig. 5. Axial ratio of single element superconducting antenna.

을 갖고 있다.

Fig. 4로부터 순차적 순환 방식을 이용하는 초전도 4소자 배열 안테나의 대역폭은 11.04 GHz부터 12.59 GHz까지 1.55 GHz의 대역폭을 갖는다. 이를 백분율 대역폭으로 환산하면 13.15 %의 대역폭을 가지고 있다. 이는 단일 소자 초전도 안테나에 비하여 2.34배 대역폭을 확장시킨 것이다. 이때 제 1 최대 공진점은 11.63 GHz에서 -34 dB를 나타내며 제 2 최대 공진점은 12.23 GHz에서 -31 dB를 보여주고 있다. 이로부터 순차적 순환 배열 방식을 이용할 경우 원편파 발생 문제와 초전도 안테나의 협대역 문제를 해결할 수 있음을 알 수 있다.

### 축비 대역폭

Fig. 5에 단일소자 초전도 안테나의 축비 특성을 나타내었으며 Fig. 6에 4 소자 순차적 순환 방식을 이용한 초전도 배열 안테나의 축비 특성을 나타내었다.

Fig. 5으로부터 단일소자 초전도 안테나의 대역폭은 11.7 GHz부터 11.95 GHz까지 250 MHz의 축비 대역폭을 가지며 백분율 대역폭으로 환산하면 1.8 %의 대역폭을 가지고 있다. 이때 최대 축비 특성은 11.83 GHz에서 0.4 dB의 크기를 가지고 있다.

Fig. 6로부터 순차적 순환 방식을 이용하는 초전도 4소자 배열 안테나의 축비 대역폭은 11.42 GHz부터 12.21 GHz까지 1.21 GHz의 대역폭을 갖는다. 이를 백분율 축비 대역폭으로 환산하면 9.2 %의 축비 대역폭을 가지고 있는 것으로 계산된다. 이는 단일 소자 초전도 안테나에 비하여 5.4 배 축비 대역폭을 확장시킨 것이다. 이때 제 1 최대 축비점 12.05 GHz에서 0.42 dB를 나타내며 제 2 최대 축비점은 12.36 GHz에서 0.61 dB를 보여주고 있다. 따라서 순차적 순환 배열 방식을 이용할 경우 축비 특성 또한 매우 흥미롭게 축비 대역폭 특성을 개선할 수 있으리라고 판단된다.

### 이득 및 효율

초전도 안테나의 효율을 Wheeler의 방사차폐법을 이용하여 계산하였다 [7]. 이를 위해 방사

차폐(radiation shields)를 알루미늄으로 정교하게 제작하였으며 방사 차폐를 이용하여 cryostat 내의 고온초전도 안테나 및 비교용 금 안테나에 부착한 다음 방사 차폐가 부착되었을 때의 입력 임피던스와 방사 차폐가 제거되었을 때의 입력 임피던스를 측정하여 아래 식과 같이 효율을 계산하였다.

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

여기서  $R_1$ 은 방사 차폐를 하였을 때의 입력 임피던스를  $R_2$ 는 방사 차폐를 하지 않았을 때의 입력 임피던스를 나타낸다.

모든 특성은 액체 질소 비등점인 77 K 에서 이루어졌으며 단일소자 안테나의 효율은 89 % 를 4 소자 순차적 순환배열 안테나의 효율은 85 %로 계산되었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 중심 주파수 11.85 GHz를 갖는 고온초전도 원편파 발생 안테나를 단일 소자와 4 소자 배열로 제작하고 그 특성을 실험, 비교, 분석하였다. 본 논문에서 설계된 고온초전도 안테나는 기존의 협대역 문제를 최대 6 배 가량 개선시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 초전도 원편파 안테나를 순차적 순환배열을 이용하여 배열할 경우 축비 대역폭 특성과 반사

손실 대역폭 특성을 각각 2.34배와 5.4배 가량 확장시킬 수 있음을 확인하였다.

#### References

- [1] M. J. Lancaster, Y. Wang and J.-S. Hong, "Thin film HTS planar antenna, IEEE Trans. Appl. Supercond. vol. 8 no. 4, pp.168-177,(1998).
- [2] M. J. Lancaster, Passive Microwave Device application of high temperature superconductors, Cambridge University Press. Cambridge UK, (1997).
- [3] M. A. Richard et. al., "Superconducting microstrip antennas: an experimental comparison of two feeding methods", IEEE Trans on Antenna and Propagat., vol. 41. pp. 967-974, (1993).
- [4] Dong-Chul Chung, "Broadband HTS Microstrip Antennas for Satellite Communication," IEEE Trans. Appl., Supercond., vol.11, no. 1, March issue (2001).
- [5] J. Morrow, J. Williams, M. Davis, D. Lincon, H. Rampersad, D. Jazdyk, X. Zhang, S. Long and J. Wolfe, "Circularly polarized 20 GHz high-temperature superconducting microstrip antenna array" IEEE Trans. Appl. Supercond. vol. 9, no. 4, pp. 4725-4731, (1999).
- [6] P. S. Hall, J. S. Dahele, and J. R. James, "Design principles of sequentially fed, wide bandwidth, circularly polarized microstrip patch antennas", IEE Proc. Pt. H. vol. 136, no.5, pp.381-389, (1989).
- [7] H. A. Wheeler, "The radiansphere around a small antenna," Proc. IRE., vol. 47, pp. 1325-1331, Aug. (1959).