
정합회로 장착 고효율 소형안테나의 해석

황재호*

Analysis of High Efficiency Small Antenna with Matching Circuit

Jae-Ho Hwang*

요 약

본 논문에서는 초전도체 안테나와 같은 고효율 소형안테나를 해석하고 있다. 그런데 초전도체의 표면저항은 주파수의 제곱에 비례하여 증가하기 때문에 초전도체 안테나는 낮은 주파수대역에서 유용하다. 따라서 이에 사용되는 안테나의 크기가 커지게 되는데 이와 같은 안테나를 소형화 하는데 있어 정합회로의 역할은 매우 중요하다 할 수 있다. 본 논문은 초전도체 소형안테나를 구성함에 있어 손실특성을 최소화 할 수 있는 최적의 정합회로 구조를 준정근사법을 이용하여 해석한다. 또한 결과의 유효성을 확인하기 위해 안테나의 입력임피던스특성과 방사특성을 평가한다.

ABSTRACT

This paper deals with the analysis of high efficiency small antenna like superconductor antenna. The superconductor antenna is useful to low frequency range because surface resistance of superconductor increased with the rate of square of frequency. Thus, the used antenna increases in size. For such a reason, the role of the matching circuit is very important in small antenna. In this paper, low loss antenna included the optimal structure of matching circuit is analyzed by using quasi-static approximation. To verify the results of this paper, input impedance and radiation characteristics of this antenna have been evaluated.

키워드

정합회로, 입력임피던스, 방사효율, 모멘트법

Key word

Matching circuit, Input impedance, Radiation efficiency, Moment method

* 종신회원 :경주대학교 군정보서관학과 (jhwang@gu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 05. 14

심사완료일자 : 2012. 06. 04

I. 서론

초전도체는 임계온도(T_c)이하의 저온에서 저항이 영이 되고 완전 반자성 특성을 가지게 되어 다양한 분야에 응용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에 통신 기기에 있어 이와 같은 초전도 특성을 응용하게 되면 저손실 특성을 확보할 수 있어 공진기, 전송선로, 필터, 안테나 등에 유용하다 할 수 있다. 특히, 초전도재료를 안테나에 사용하게 되면 효율이 높은 안테나를 구현할 수는 있지만, 그런데 초전도체의 표면저항은 주파수의 제곱에 비례하여 증가하기 때문에 초전도체 안테나는 낮은 주파수대역에서 유용하여 안테나의 크기가 커지게 된다. 따라서 이러한 안테나를 소형화하는 데는 고려해야 할 사항이 몇 가지 있다. 일반적으로 안테나를 소형화하는데 있어 어려운 점은 안테나를 사용하는 파장에 비해 아주 짧게 하면 손실저항이 증가하게 되는데 이는 방사효율을 감소시키는 원인이 되기도 한다. 또한 안테나를 소형화하게 되면 입력임피던스의 실수부인 저항 값은 작아지고 허수부인 리액턴스값이 높아지게 되는데 이와 같은 허수부를 없애고 실수부를 50Ω 에 맞추기 위해서는 정합회로가 필요하게 된다. 그런데 이들 정합회로의 손실은 안테나가 소형으로 될수록 안테나의 도체손실보다 커져 안테나의 전체 특성에 영향을 미치게 된다. 따라서 안테나와 정합회로 모두 도체손실을 감소시키는 것이 안테나를 소형화 하는데 가장 중요하다 할 수 있다.

고효율안테나를 구현하기위한 초전도체 안테나에 대한 연구는 산화물초전도 재료가 발견되기 전부터 시작되었으며, 상온의 안테나 효율 특성보다 크게 개선된 결과를 얻을 수 있었다. 한편, 산화물 초전도 재료의 발견이후에는 안테나의 정합에 대한 관심이 높아져서 스텐부착 다이폴안테나, 초전도 헤리컬안테나에 $1/4$ 파장 임피던스 트랜스포머를 장착한 안테나 등이 보고되었다.[1],[2] 그러나 이와 같은 초전도체 안테나는 정합회로를 포함하고 있어 크기가 커지는 단점이 있다.

본 논문은 초전도재료를 사용한 고효율안테나의 소형화를 구현하기 위한 정합회로의 구조를 적절히 선택하는데 있어 정합회로를 포함한 소형안테나의 특성을 해석하여 유효성을 입증한다. 초전도체 안테나의 경우 초전도체 막을 형성하는데 유전체기판이 필수적이어

서, 안테나의 해석에 있어서는 유전체기판의 영향을 고려해야 하는데, 준정근사법(quasi-static approximation)은 기판으로 사용하는 유전체의 비유전율이 낮은 경우 매우 유효함이 확인되었다.[3] 따라서 본 논문에서도 이러한 준정근사법과 모멘트법(MoM)을 이용하여 정합회로를 포함한 안테나를 해석한다.

II. 정합회로 장착 소형안테나 구조

그림1은 접지면이 없는 기판상에 인쇄된 소형안테나를 나타내고 있다. 안테나의 구조로는 일반적으로 안테나의 소형화에 사용되는 메안더(Meander)형을 사용했으면 동일평면상에 T형 정합회로를 구성했다.

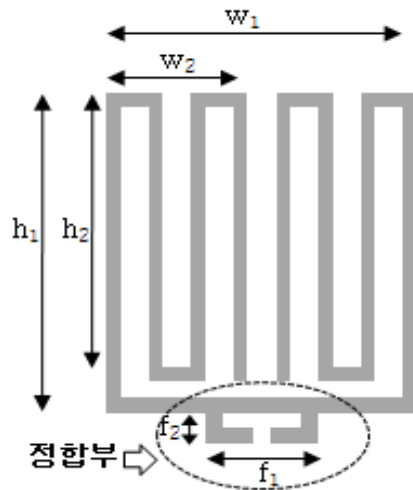


그림 1. 정합회로를 포함한 소형안테나 구조
Fig. 1 Structure of small antenna with matching circuit

이와 같은 안테나를 엄밀히 해석하려면 사용되는 기판 매질의 Green함수를 도출하여 매질의 전자계를 구해야 하나, Green함수의 수식이 복잡한 관계로 그림1과 같은 복잡한 구조의 안테나의 경우 계산시간이 길어지는 단점이 있다.[4][5] 따라서 본 논문에서는 유전체의 영향을 근사적으로 해석할 수 있는 준정근사법을 이용하여 정합회로를 포함한 안테나를 모멘트법으로 수치 해석한다.

준정근사법이란 유전체 기관위의 안테나를 해석함에 있어 유전체의 특성을 내부에 형성되는 분극전류로 근사하는 것을 말하며 이때 분극전류는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{J}^d = j\omega\epsilon_0(\epsilon_r - 1)\bar{E}^d \quad (1)$$

여기서 \bar{E}^d 는 유전체 내부의 전계로 분극전류와 마찬가지로 안테나에 수직인 방향성분으로 나타난다. 이와 같이 분극전류로 유전체의 영향을 고려한다면 이제는 안테나를 자유공간상에 놓여있는 것으로 생각할 수 있다. 이와 같은 안테나를 모멘트법으로 해석하기 위해서는 안테나를 여러 개의 세그먼트로 분할하여야 하는데, 각 세그먼트간의 상호임피던스는 다음과 같다.

$$Z_{ij} = -\frac{1}{I_i I_j} \left(\int_v \bar{E} \cdot \bar{J} dV + \int_v \bar{E} \cdot \bar{J}^d dV \right) \quad (2)$$

여기서 분극전류 \bar{J}^d 가 포함된 항은 유전체의 특성을 포함하고 있어 기관으로 사용하는 매질의 전자계특성을 반영하게 된다.

한편, 안테나도체의 박막 또는 인쇄에 사용되는 유전체기관의 크기는 6cm×6cm로 한다. 또한 안테나를 형성하는 도체의 폭(w)이 3mm 정도로 그다지 넓지 않기 때문에 등가적으로 반경을 w/4로 하는 원통형 선형안테나로 해석한다.

III. 입력임피던스 및 방사효율 특성

그림1과 같은 구조의 안테나에 있어 안테나 파라미터 변화에 따른 공진주파수와 입력임피던스특성을 살펴보기 위해 표1과 같은 안테나 파라미터를 설정한다.

여기서 안테나의 외각길이인 W_1 과 h_1 은 5cm로 고정하고, 메안더 안테나의 구부림 횟수를 변화시켜가며 입력임피던스를 계산한다.

표 1. 안테나 파라미터
Table. 1 Parameter of antenna

유형	W_2 [mm]	f_1 [mm]	구부림 횟수
No.1	20	15	2회
No.2	21	13	3회
No.3	23	23	5회

그림2는 표1의 안테나 파라미터 변화에 따른 입력임피던스특성을 계산한 결과를 나타내고 있다.

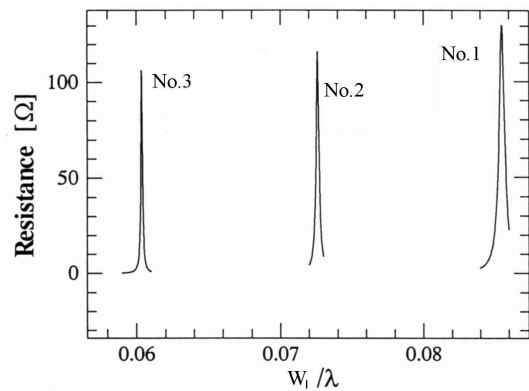


그림 2. 파라미터 변화에 따른 입력 임피던스 특성 (실수부)

Fig. 2 Impedance characteristic for different parameter of antenna (Real part)

그림2의 결과를 살펴보면 안테나의 구부림 횟수가 많을수록 공진주파수가 낮아지고 입력임피던스의 저항값이 줄어드는 경향이 나타나는데, 이는 구부림 횟수가 많은 경우 안테나의 전장이 길어지게 되기 때문이다. 이때 안테나의 전장은 No.1, No.2, No.3에서 각각 366 mm, 500 mm, 636 mm 정도가 된다.

일반적으로 안테나를 소형화하면 방사저항에 비해 손실저항이 커지게 되어 방사효율이 저하된다.[6] 이에 안테나의 고효율특성을 파악하려면 방사효율특성이 필수적이라 할 수 있다. 방사효율은 식(3)으로 계산된다.

$$\eta = \frac{L_t - L_l}{L_t} \quad (3)$$

여기서 전체전력 L_t 과 손실전력 L_l 는 각각 다음식과 같다.

$$L_t = Re \sum_{m=1}^N (Z_{mn} + Z_{mn}^L) I_m I_n^* \quad (4)$$

$$L_l = Re \sum_{m=1}^N (Z_{mn}^L) I_m I_n^* \quad (5)$$

그림3은 표1의 안테나 파라미터 변화에 따른 방사효율 특성을 계산한 결과이다. 각 유형별로 방사효율의 차이가 나타나고 있는데, No.3의 경우 0.5이하로 가장 열악한 효율특성을 보이고 있고, No.1의 경우 보다 넓은 주파수대역에서 안정적이고 높은 방사효율을 나타내고 있는 것을 확인 할 수 있다.

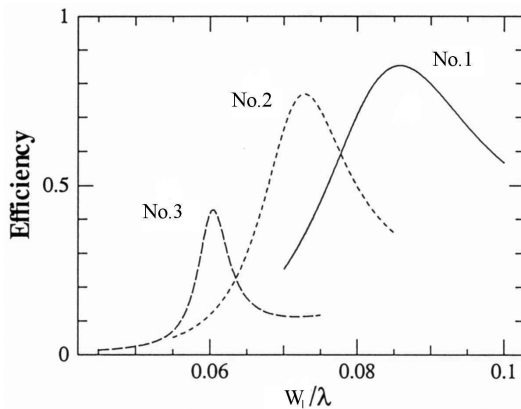


그림 3. 파라미터 변화에 따른 방사효율 특성
Fig. 3 Radiation efficiency for different parameter of antenna

다음은 안테나에 장착된 정합회로의 파라미터 변화에 따른 입력임피던스 특성을 살펴본다.

표2는 그림1의 정합회로 파라미터 f_1 과 f_2 를 변화했을 때의 임피던스 특성을 계산한 결과를 나타내고 있다. 결과로부터 정합회로의 파라미터 f_1 과 f_2 를 크게 할수록 입력임피던스의 저항값이 커지는 경향이 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 이 두개의 파라미터를 적절히 선택하면 쉽게 급전부의 정합조건을 만족 시킬 수 있다. 여기서 정합회로의 f_1 과 f_2 를 각각 12 mm, 3 mm로 한 No.8

의 경우 입력임피던스의 저항값이 거의 50 Ω에 일치하는 것을 알 수 있다.

표 2. 정합회로 변화에 따른 입력임피던스 특성
Table. 2 Impedance characteristic for different parameter of matching circuit

유형	f_1 [mm]	f_2 [mm]	Z_{in} [Ω]	
			R	X
No.5	10	5	80	0
No.6	12	5	115	0
No.7	15	5	180	0
No.8	12	3	48	0
No.9	12	7	149	0

IV. 안테나의 지향성 특성

소형안테나를 실제 사용하는데 있어 문제가 되는 것 중에는 안테나의 지향성 특성을 들 수 있다. 여기서는 그림1의 안테나에 대한 지향성 특성을 살펴본다. 그림4는 계산에 사용한 좌표계를 나타내고 있다.

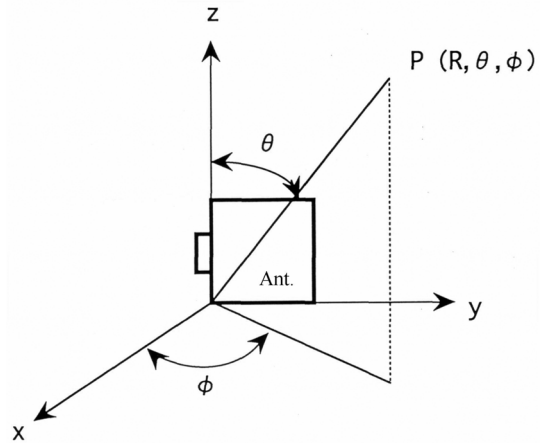


그림 4. 좌표계 및 안테나의 위치
Fig. 4 Coordinate system and position of antenna

급전부를 z축 상에 일치시키고 안테나가 인쇄되어 있는 면을 yz면과 같이 위치시켜 방사특성을 해석한다. 지향성 함수와 방사계의 관계는 식(6)에 나타내고 있다.

$$\bar{E}(R, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkR}}{R} \bar{D}(R, \theta, \phi) \quad (6)$$

여기서 E 와 D 는 각각 방사계와 지향성함수이다. 식 (6)으로부터 구할 수 있는 지향성함수를 이용하면 다음과 같은 지향성이득, G 를 계산할 수 있다.

$$G = \frac{|D_{\theta, \phi}|^2}{30 G_i} \quad (7)$$

여기서 G_i 는 입력컨덕턴스이다. 또한 지향성이득을 계산하는데 있어 안테나의 도체손(ρ)은 $1.72 \times 10^{-8} \Omega m$ 로 한다.

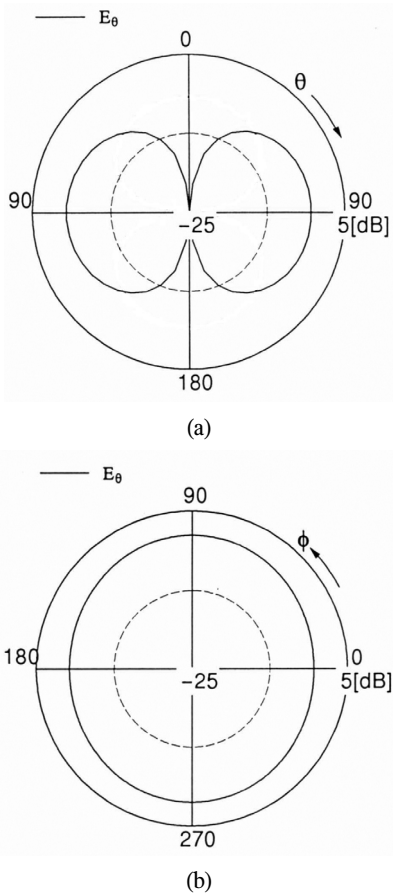


그림 5. 안테나의 방사 패턴 (a) E면 특성 (b) H면 특성
Fig. 5 Radiation patterns of antenna
(a) E-plane (b) H-plane

그림5는 위의 식을 이용하여 안테나의 지향성이득을 계산한 방사 패턴을 나타내고 있다. yz 면에 나타나는 전계의 θ 성분은 전형적인 반파장 다이폴안테나의 특성을 보이고 있으며, xy 면의 등방성특성 역시 다이폴안테나의 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 초전도 재료를 사용한 고효율안테나의 소형화를 구현하기 위해 장착하는 정합회로의 구조를 변화 시키면서 안테나의 특성을 해석을 하였다. 또한 정합회로를 포함한 소형안테나의 주요특성을 해석하는데 있어 기관으로 사용하는 유전체의 특성을 분극전류로 근사하는 준정근사법을 이용하여 복잡한 구조의 안테나를 보다 쉽고 빠르게 해석하였다.

특히 복잡한 구조의 안테나 급전부에 T형 정합회로를 장착하여 정합회로의 두 가지 파라미터조절을 통해 쉽게 임피던스를 정합할 수 있음을 확인하였다.

따라서 이와 같은 정합회로 구조와 이를 포함하는 안테나를 해석함에 있어 근사법을 이용하면 복잡한 구조의 초전도체 안테나를 설계함에 있어 유용할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] S. K. Khamas , M. J. Mehler, T. S. Maclean, C. E. Gough, N. McNalford and M. A. Harmer, "High-Tc superconducting short dipole antenna," *Electron. Lett.*, Vol.25, 25th year of publication, pp. S69-70, Nov. 1989.
- [2] O. Michikami, et.al., "High-Tc superconducting microwave devices for communication systems," *ISS'92*, Nov. 1992.
- [3] 황재호, "초전도안테나의 근사해석에 관한 연구," 한국정보통신학회 춘계학술대회, pp. 77-79, 2012.
- [4] D. M. Pozar, S. M. Voda, "A rigorous analysis of a Microstripline fed patch antenna", *IEEE Trans. AP.*, Vol.35, No.12, pp. 1343-1349, Dec. 1987.

- [5] I. Park, R. Mittra and M. I. Aksun, "Numerically efficient analysis of planar microstrip configurations using closed-form Green's functions", IEEE Trans. MTT., Vol.43, No.2, pp. 394-400, Feb. 1995.
- [6] A. Taektomi, K. Sawaya, S.Adachi, S.Ohshima and N.Yaoi,"A method for measuring surface impedance of superconductor and dielectric characteristics of substrate by using strip line resonator", IEICE Trans. Electron., Vol.E77-C, No.8, pp. 1234-1241, Aug. 1994.
- [7] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison Wesley, 1990.

저자소개



황재호 (Jae-Ho Hwang)

1987년 광운대학교
전자통신공학 학사
1992년 한양대학교
전자통신공학 석사

1998년 일본 도호쿠대학 전기통신공학 박사
1998년 ~ 2000년 NEC-TOKIN 주임연구원
2000년 ~ 2001년 삼성전자 책임연구원
2001년 ~ 현재 경주대학교 군정보서관학과 교수
※ 관심분야: 이동통신, 안테나 해석 및 설계,
RF수동소자, 전자장 수치해석