

유한요소법을 이용한 고온초전도 마이크로스트립 안테나 주변 전·자장 해석
Near field Analysis of HTS Microstrip Antenna using Finte Element Method

정동철* 박성진 허원일 한병성
구할본

전북대학교 전기공학과
전남대학교 전기공학과

Dong-Chul Chung* Sung-Jin Park
Won-II Huh Byoung-Sung Han
Hal-Bon Ku

Dept. of Elec. Chunbuk Univ.

Dept. of Elec. Chunnam Univ.

Abstract

In this research, FEM solution to analysis near field of high Tc superconductor microstrip antenna is presented. This method uses the interpolation function with vector edge triangular element. The advantage of this element is elimination of spurious solutions which are attributed to the lack of enforcement of the divergence condition.

The solutions of this method will be used to have a good fundamental data for next reaserch about analysis of HTS microstrip array antenna etc.

1. 서론

1986년 Bednorz 와 Muller의 LaBaCuO산화물 초전도체의 발견^[1]은 보다 높은 임계온도를 갖는 고온초전도 물질 합성연구의 시발점이 되었으며, 그 결과 액체질소 비등점 이상에서 초전도 현상을 나타내는 YBaCuO산화물 초전도체가 출현하게 되었다. 현 시점에서의 연구 동향은 새로운 초전도 물질의 개발이라는 과제와 아울러 기 개발된 초전도를 산업현장에 응용하려는 연구가 활발하게 진행되고 있는 바, 초전도 박막을 이용한 각종 소자 개발과

초전도 박막을 이용한 각종 소자개발과 초전도 선재를 이용한 각종 기기의 개발을 들 수 있다.

한편, 마이크로스트립 안테나는 1953년 D. champs에 의해 기본개념이 제안된 후^[2], 1974년 Munson은 로켓트 및 미사일에 이용할 수 있는 사각형 모양의 마이크로 스트립 배열 안테나를 제작하여 사용하였으며, 인공위성과 NASA의 셔틀 우주선과 통신을 위한 인공 위성용 마이크로스트립 안테나가 1980년대에 개발되었고^[3], 직접 위성방송 TV 수신용 안테나로 원편파 마이크로스트립 안테나가 개발 이용되고 있다.

마이크로스트립 안테나는 유전체 손실과 급전손실에 의한 안테나의 이득이 제한을 받고, 주파수 대역폭이 좁으며 가용 전력량이 작다는 단점을 가지고 있지만 실험실에서 제작이 가능할 정도로 만들기 쉬우며 반도체에서 이용되고 있는 사진식각 (photo-lithographic)기술에 의한 대량생산이 가능하다는 장점이 있어 수백 MHz에서 50 GHz의 넓은 주파수 대역에서 널리 사용되고 있다^[4]. 특히 크기가 작고 가볍우며 원통 주위에 부착할 수 있기 때문에 고속으로 이동하는 물체인 인공위성, 로켓트, 미사일,

광대역 레이다 및 인공위성용 안테나에 폭넓게 활용될 수도 있다.

최근 무선전화나 인공위성을 이용한 통신 수요의 증가와 이동통신의 대중화에 따른 안테나의 수요가 급증하고 있는 추세에서 현재 사용되고 있는 일반 도체를 주 재료로 하여 제작된 마이크로스트립 안테나는 효율, 크기, 지향성 및 이득등에서 한계를 보여 주고 있어, 고주파 영역에서 효율과 지향성이 향상된 고온 초전도 패치 안테나의 개발이 정보 통신 분야에서의 핵심과제로 부각되고 있다.

따라서 본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 고온 초전도 박막 마이크로 스트립 안테나의 패치 내부 및 주변의 전자계를 해석하였다. 현재, 일반 도체를 포함한 마이크로스트립 안테나의 해석은 전송선로 모델이나 캐브티 모델을 이용한 해석과 모멘트법을 이용한 해석 등을 들 수 있는데 각각의 해석법들이 가지고 있는 특성 상의 제약으로 특히 패치 주변의 전계와 내부 전자장을 해석하는데 있어서 기술적 어려움을 수반하고 있다. 반면, 유한 요소법의 경우 마이크로 스트립 안테나를 해석하는데 있어서 무한경계를 해결치 못하는 단점을 가지고 있어서 일찌기 경계요소법과 결합한 하이브리드 법이 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 유한요소법의 무한 경계문제 접근에 앞서 선행되어야 할 복사소자 내부 및 주변 전자장을 해석하였다.

2. HTS 마이크로스트립 안테나 설계

일반적으로 사용되는 모든 안테나는 전 주파수에 걸쳐 좋은 특성을 기대하기는 어렵고 어느 한정된 주파수 범위에서만 사용이 가능하다. 고온 초전도 마이크로 스트립 안테나에도 이것은 적용되어지며 구형 패치 안테나인 경우 길이 L 에 의해서 정해지는 주파수 범위가 안테나의 특성을 좌우한다. 이때의 중심 주파수를 공진 주파수라 하며, 공진 주파수가 안테나의 중심 주파수와 일치하기 때문에 패치 안테나를 공진기로도 볼 수 있다. 패치 길이가 L 일때 구형 패치 안테나의 공진주파수 f_r 은 다음식에 의하여 구할 수 있다^[5].

$$f_r = \frac{c}{2(\epsilon_{eff})^{1/2}(L+2\Delta L)} \quad (1)$$

여기에서, $L = \frac{c}{2f_r\sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L$ 이며

fringing field,

$$\Delta L = \frac{0.412(\epsilon_{eff} + 0.300)\left(\frac{W}{h} + 0.262\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258)\left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} h \quad (2)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} F\left(\frac{W}{h}\right) - C \quad (3)$$

$$F\left(\frac{W}{h}\right) = \begin{cases} (1 + 12\frac{h}{W})^{-1/2} + 0.04(1 - \frac{W}{h})^2 & \text{--- } \frac{W}{h} \leq 1 \\ (1 + 12\frac{h}{W})^{-1/2} & \text{--- } \frac{W}{h} \geq 1 \end{cases}$$

$$C = \frac{\epsilon_r - 1}{4.6} \frac{t}{\sqrt{\frac{W}{h}}} \quad (4)$$

로 주어지며, 위의 식중, c 는 광속도, ϵ_r 는 상대 유전상수, ϵ_{eff} 는 유효 유전상수, w 는 패치의 폭, h 는 유전체 기판의 두께, t 는 박막의 두께이다. ΔL 은 개방구조에 의한 누설 전자장 때문에 생기는 것으로 누설 전자장이 없는 이상적인 경우로 만들기 위해서는 ΔL 만큼의 길이 보상이 필요하다. 여기서 구한 패치 길이 $L+2\Delta L$ 가 반파장의 정수배가 되는 주파수에서 공진이 일어난다.

또한 공진주파수를 알면 마이크로스트립 안테나의 폭 W 는 다음 공식에 의하여 구할 수 있다.

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right)^{-1/2} \quad (5)$$

해석될 고온 초전도 마이크로스트립 안테나의 기본 구조는 그림1과 같다.

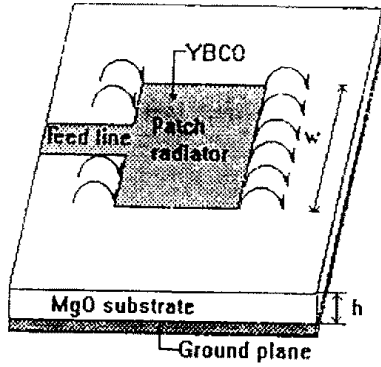


그림.1 HTS 마이크로스트립 안테나의 구조
Fig.1 Configuration of HTS microstrip antenna.

3. FEM에 의한 마이크로스트립 안테나 해석

본 연구에서는 고온 초전도 마이크로스트립 패치를 해석하기 위한 도구로서 2차원 삼각형 변요소를 이용한 FEM을 이용하였다. 복사 패치에 인가되는 입사파를 quasi-TEM 모드로 가정하고 식 (6)와 같은 Helmholtz 방정식을 풀었다.

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu_r} \nabla \times \vec{E} \right) - k_0^2 \epsilon_r \vec{E} = 0 \quad (6)$$

여기서 $k_0 = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ 이고 패치면은 완전 도체이다.

요소의 정식화를 위해서 가중 잔차법 (Weighted residual method) 중에서 가중함수 (Weighting function)로 요소의 형상함수 - 보간함수 (Interpolation function)를 사용하여 Galerkin 법을 이용하여 (7)식과 같이 유한요소 정식화를 하였다.

$$\int_v [(\nabla \times \vec{N}) \cdot \left(\frac{1}{\mu_r} \nabla \times \vec{E} \right) - k_0^2 \epsilon_r \vec{N} \cdot \vec{E}] + \int_x \vec{N} \cdot \left(\frac{1}{\mu_r} \nabla \times \vec{E} \right) ds = 0 \quad (7)$$

(7)식에서 면적분의 경우 도파관 또는 동축선로의 입력포트를 제외한 나머지 면은 모두 완전도체이므로 입력포트를 제외한 면에서는 그 값이 0이된다. 그러나 입력포트에서는 입사파(incident wave)와 반사파(reflect wave)가 있으므로 이를 고려하여 적분해야 하며 이때 이 포트에서 전계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{E}(x, y, z) &= \vec{E}^{inc} + \vec{E}^{ref} \\ &= \hat{y}E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-jz} + \hat{y}RE_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{+jz}, \quad (8) \\ &0 \leq x \leq a \end{aligned}$$

여기서 R: 반사 계수 (reflect coefficient)이고

$$k_z = \sqrt{k_0^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}$$

a: 도파관의 폭

$\phi(x, y)$ 는 전위분포를 나타내며, 해석영역에서의 전위분포를, 식 (5)와 같은 부분 전위함수로 나눈다.

$$\phi(x, y) = [N]^T \phi^e \quad (9)$$

이와 같은 함수들에 대한 대수방정식을 얻은 다음 직접법을 이용하여 전체 전위분포를 구하였다. 여기서 [N]은 2차원 삼각형 변요소를 위한 형상함수이고 ϕ^e 는 요소의 노드점 전위벡터이다.

3.1 단락형 도파관의 적용

본 연구에서 제시한 방법의 타당성을 검사하기 위해서 결과를 쉽게 예측할 수 있는 도파관 모델에 대해서 도파관 feeding을 사용하여 해석을 해 보았다. 도파관의 차단 주파수는 1.93GHz이며 동작주파수는 2.54 GHz였다. 그림 2의 해석결과를 보면 파가 진행되다가 도파관 양끝의 단락으로 인하여 정지파가 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 본 연구에서 프로그램한 유한요소법 알고리즘이 적절함을 보여주는 것이라 할 수 있다.

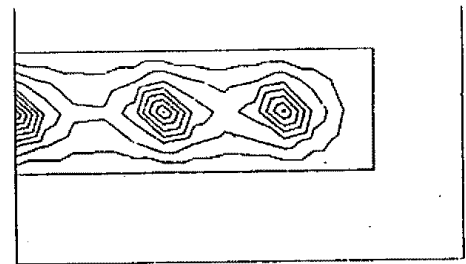


그림.2 도파관 내에서의 정재파 형상
Fig.2 Contour plot of standing wave in wave guide.

3.2 마이크로스트립 안테나에의 적용

연구 결과 얻어진 알고리즘을 마이크로스트립 복사소자에 적용하였다. 패치의 크기는 폭이 5.43mm이며 길이는 3.438mm 였고 기판의 유전률은 MgO의 유전률인 9.6으로 하였다. 복사소자 내외부의 전위 변화를 고찰하기 위해 패치의 중심인 $\lambda_g/4$ 면에서부터 4등분하여 전위를 계산하고 contour plot을 이용하여 도시하였다

각각의 그림을 살펴보면 패치 면을 따라

변화하는 전위의 분포가 예상했던 패치 내의 전자파의 분포와 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

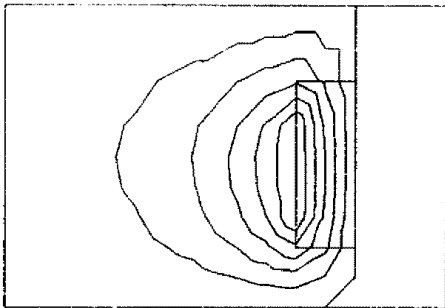


그림.3 $3\lambda_g/12$ 지점에서의 등전위 분포

Fig.3 Contour plot of electric equipotential line at $3\lambda_g/12$.

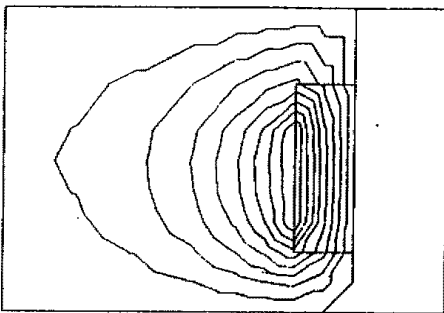


그림.4 $4\lambda_g/12$ 지점에서의 등전위 분포

Fig.4 Contour plot of electric equipotential line at $4\lambda_g/12$.

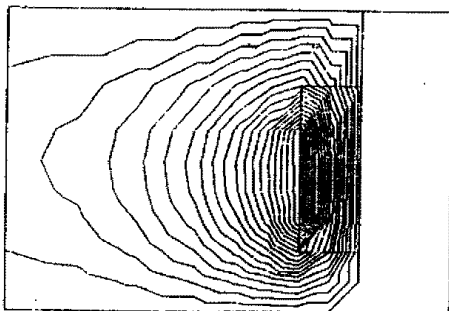


그림.5 $4\lambda_g/12$ 지점에서의 등전위 분포

Fig.5 Contour plot of electric equipotential line at $4\lambda_g/12$.

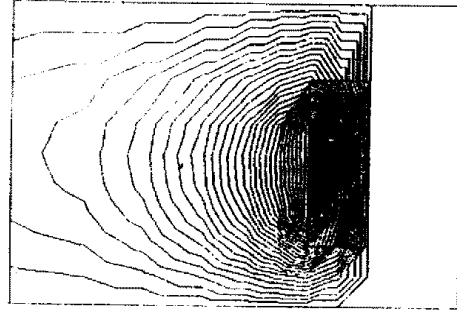


그림.6 $5\lambda_g/12$ 지점에서의 등전위 분포

Fig.6 Contour plot of electric equipotential line at $5\lambda_g/12$.

4. 결론

본 연구에서는 고온 초전도 마이크로스트립 안테나의 주변 등전위 분포를 유한요소법을 이용하여 해석하였다. 마이크로스트립 안테나의 전위분포를 계산하기 위해 패치 주변을 삼각형 변요소로 분할하고 $\lambda_g/4$ 면에서부터 4등분하여 전위의 변화를 고찰해 본 결과 전위분포가 예상했던 패치 내의 전자파의 분포가 일치하는 것을 확인하였다.

따라서 본 연구에서 제시된 알고리즘은 이러한 소자의 개발에 앞서 선행되어야 할 초전도 전자장에 대한 해석을 시도하였으며 이를 바탕으로 각종 초전도 기기의 해석에 관한 기반을 확립할 수 있으리라고 본다. 따라서 앞으로 수행되어야 할 과제는 방사효율 계산과 무한경계를 효율적으로 처리할 수 있는 새로운 알고리즘 개발이 선행되어야 한다.

참 고 문 헌

1. J.G Bednorz, M.T Takashige and Muller, Eurphy., Lett., vol.3 pp. 379 (1987).
2. G.A Deschamps, Microstrip microwave antenna 3rd USAF Symp. on Antenna pp. 573 (1953).
3. R.E Munson "Conformal microstrip antenna and phased array" IEEE Trans. on AP.-22 pp. 74 - 77 Jan. (1974)
4. L.Lewin, "Radiation from discontinuities of open circuit microstrip" Proc., Int., Elec., Eng., vol. 107, pp. 160, Feb.,(1953).
5. I.J Bahl & Bhatia, "Microstrip antenna", Artech House, pp. 309-315, (1992)