

온열치료를 위한 MR호환 평판가열안테나 개발 및 성능평가

김동혁*, 천송이*, 장무영*, 윤민석*, 김영민**, 정복동***, 남상희****, 문치웅*****

인제대학교 의용공학과*, 인제대학교 의료영상과학대학원**, 인피니트***, 인제대학교 의료영상연구소****

Development and evaluation of MR compatible patch antenna for hyperthermia

D. H. Kim*, M. Y. Jang*, S. I. Chun*, M. S. Yoon*, Y. B. Kim**, B. D. Jung***, S. H. Nam****, C. W. Mun*****

Inje Univ. Dept of Biomedical Engineering, Inje Univ. Dept of image & science**, infinitt***, Inje Univ. Medical image research center*****

요 약

최근 열 치료법은 종양을 효율적으로 제거하는 방법으로 높은 해부학적 영상 대조도와 온도영상이 가능한 MRI와 결합하여 사용되고 있다. 본 연구는 2.45GHz에서 동작하도록 개발된 MR 호환 가능한 초고주파 평판 가열 안테나를 개발 및 성능평가에 대한 연구이다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 평판 가열 안테나의 특성 및 전자과 인체 흡수율(SAR)을 확인하고, 가열실험을 수행함으로써 제작된 안테나의 열 치료 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

Abstract

The thermal treatment have been combined with MRI which is able to acquire both an anatomical image with high-contrast and a thermal image, and have recently used for removing the tumor effectively. This study is to make a patch antenna which is designed to operate at 2.45GHz that has compatibility with MRI. The characteristic and specific absorption rate(SAR) were confirmed using computer simulation and confirmed a possibility of hyperthermia by performing experiment

Key Word : MRI, Microwave thermotherapy, Probe-antenna, Hyperthermia

I. 서론

고온 열치료는 몸에 열을 가하여 열에 의해 암세포를 손상시키고 종양의 생존에 필요한 물질을 제거해 그 생존을 파괴하는 방법이다. 이러한 종양을 가열하는 방법에는 FUS, HIFU, Laser, Radiofrequency, Microwave를 이용한 방법들이 주로 사용되고 있다. 최근 이러한 열 치료는 영상 진단장비와 결합하여 사용

하는 방법들이 제시되고 있다^[1]. 초음파에 의한 방법은 침투 효과에서 우수한 특성을 보이고 있으나 이 방법은 공기나 얇은 부분에서 반사와 손실에 의한 한계를 가지고 있다. RF과 경우 전장에 의해 생긴 전류를 흘려 저항손에 의해 발열을 이용한 것으로 침투 깊이와 흡수 전력의 크기에서 유리하지만 비유전율이 적은 부분에서는 과열 현상이 문제가 된다. 초고주파의 경우는 다른 방법에 비해 침투성이 낮지만 주파수에 따

라 침투 깊이가 달라지기 때문에 가열을 하는 대상과 목적에 맞는 주파수를 사용 할 수 있다²⁻⁴⁾. 특히 가열을 목적으로 하는 안테나의 경우 주로 삽입형태의 안테나가 보고되고 있다. 인체 삽입형 안테나는 안테나 특성 중 방사패턴으로 특정부위를 가열하는 것이다. 안테나의 종류와 방사패턴에 따라 가열하는 대상이나 형태가 바뀐다.

본 연구에서는 제작이 용이하며 특성이 우수하고 MR호환성을 갖는 평판 가열 안테나 개발 및 성능평가를 목적으로 한다. 가열실험을 통해 특성을 확인하고 열치료 적용 가능성을 확인하는 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 평판 가열 안테나의 설계

평판 가열 안테나의 종류 중 제작이 용이한 probe feed를 선택하여 그림.1 과 표.1에 제시된 2.45GHz 통신용 평판 가열 안테나의 사양을 기준으로 하여 계산식에 의하여 각 변수 L(패치 가로), W(패치 세로), Lg(그라운드 가로), Wg(그라운드 세로), h(높이)를 계산하였다⁵⁻⁸⁾.

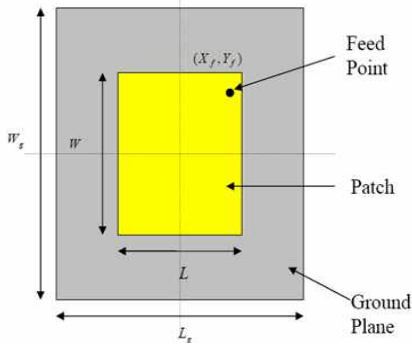


그림.1 평판 가열 안테나 모양 및 설계에 필요한 변수

표.1 2.45GHz RFID reader용 안테나 사양

항목	목표 사양
크기	60L*60W*2H[mm]
공진 주파수	2.45[GHz]
VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)	≤1.5
3dB 빙폭	55[°]
선형이득	≤6[dBi]
편파	원형편파

표.2 각 변수의 산출하는 수식 및 계산치

The length extension (ΔL); The Effective length (L_{eff}); Effective dielectric constant (ϵ_{reff}); Frequency of operation (f_0); Dielectric constant of the substrate (ϵ_r)

수식	계산치
$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}$	$f_0=2.45\text{GHz}$ $\epsilon_r=1.0006(\text{air})$ $W=6.1\text{cm}$
$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}}$	$h=0.5\text{cm}$ $\epsilon_{reff}=1.0005$
$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}}$	$L_{reff}=6.1\text{cm}$
$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)}$	$\Delta L=0.346\text{cm}$
$L = L_{eff} - 2\Delta L$	$L=5.408\text{cm}$
$L_g = 6h + L$ $W_g = 6h + W$	$L_g=8.408\text{cm}$ $W_g=9.1\text{cm}$

2. 컴퓨터 모의실험

전자기적 구조해석이 가능한 HFSS(Ansoft, LLC, PA, U.S.A.) 상용 S/W로 유한요소법(Finite Element Methods, FEM)을 이용하여 그림.1에 나타낸 평판 가열 안테나의 기본구조를 이용하여 계산된 값으로 probe feed 구조와 크기를 설정하고 probe의 구조는 내부 코어와 외각도체를 MR에 영향을 받지 않는 구리로 설정한다. (그림.2) 패치와 ground는 물질의 특성을 갖지 않는 완전도체의 평면으로 설정하였다⁹⁾. 평판 가열 안테나의 구조에서 가변을 설정할 수 있도록 패치와 그라운드 사이의 유전상수에 따라 변화할 수 있다. feed point는 직각좌표계의 중심을 원점으로 기준으로 feed point의 좌표를 설정하여 mm단위로 좌표를 변환시킴으로써 최적의 feed point를 구하였다.

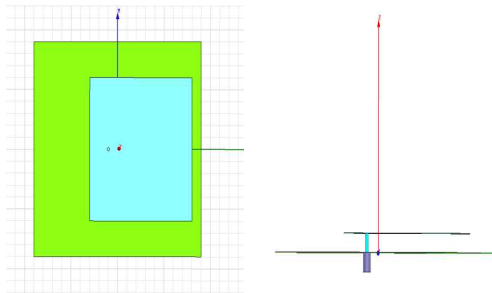


그림.2 HFSS S/W를 사용한 평판 가열 안테나의 모양

가열특성을 알아보기 위해 평판 가열 안테나의 방사패턴 방향으로 물의 유전율을 갖는 물체를 위치시키고 모의실험을 수행하여 전자파인체흡수율(SAR)을 확인하였다.

3. 안테나 제작 및 성능 평가

표.2의 수식에 의한 변수의 값으로는 제작이 용이하지 않기 때문에 컴퓨터 모의실험시 제작을 고려하여 보정된 값으로 사용하였다.(표.3) 패치와 ground를 구리판으로 사용하고 SMA컨넥터를 사용하여 제작하였다. (그림.3) network analyzer (Anritsu, BTS master, MS2026A)를 사용하여 제작한 안테나의 반사손실을 측정하였다.

표.3 평판 가열 안테나 변수 계산치 및 보정치

변수	계산	보정
W	6.1cm	5cm
L	5.408cm	5cm
Lg	8.408cm	8cm
Wg	9.1cm	8cm
h	0.5cm	0.5cm

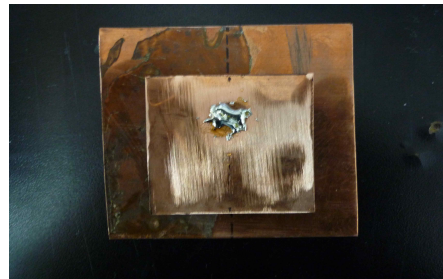
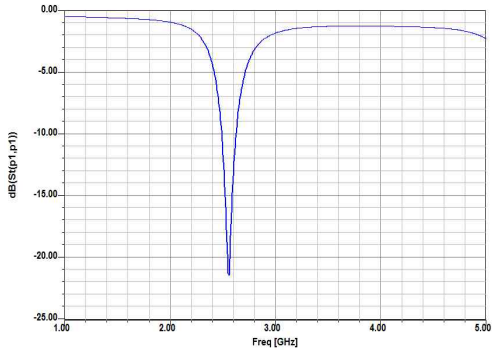


그림.3 실제 제작한 평판 가열 안테나

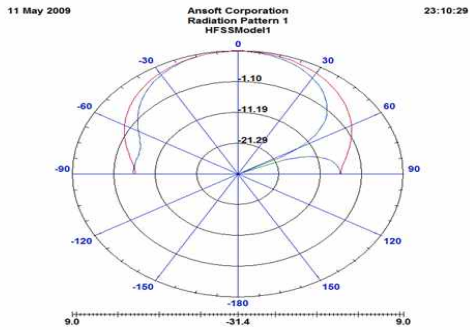
제작한 평판 안테나를 Network analyzer로 최적의 상태를 확인한 후 2.45GHz 고주파발생기와 연결하여 환천(agarose gel)으로 100W, 10분동안 가열 시험을 수행을 하였다. 온도측정은 전자기파의 영향을 받지 않는 광학온도계(Neoptix, REFLEX-4, Canada)를 사용하여 온도를 측정하였다.

III. 결과

컴퓨터 모의실험에서 feed point의 좌표는 그라운드 중앙에서 x축으로 -0.5cm, 패치중앙에서 x축으로-1cm로 설정되었을 때 최저의 반사손실을 보였다. 반사손실이 2.45GHz에서 -14.89dB로 확인되었고(그림.4a), 방사패턴은 우수원형편파의 형태로 관찰되었다.(그림.4b) 가열 특성을 확인할 수 있는 전자파 흡수로 색변화에 따른 가열 가능성을 확인할 수 있었다.(그림.5) 제작한 평판 가열 안테나의 경우, 유전체 삽입 전 2.6GHz에서 (그림.6a), 유전체 삽입 후 2.45GHz에서 공진주파수를 측정할 수 있었다.(그림.6b)



a: 반사손실 결과



b: 방사 패턴 결과

그림.4 컴퓨터 모의실험 결과

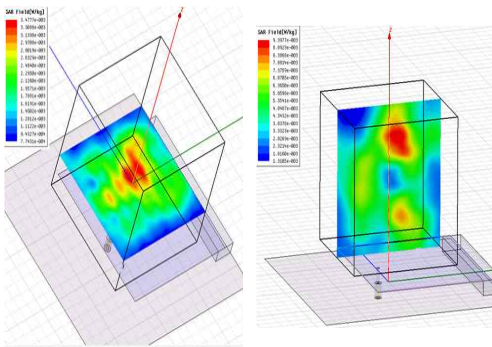
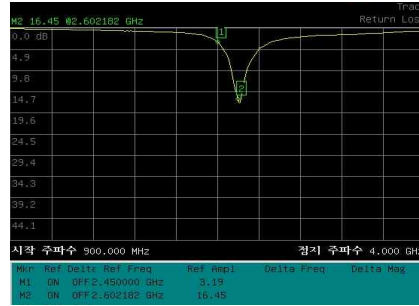
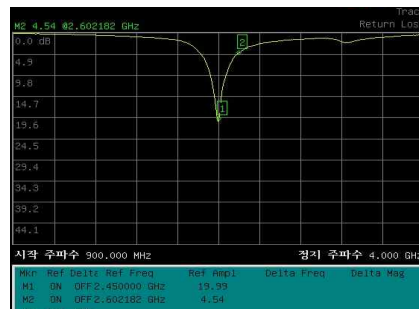


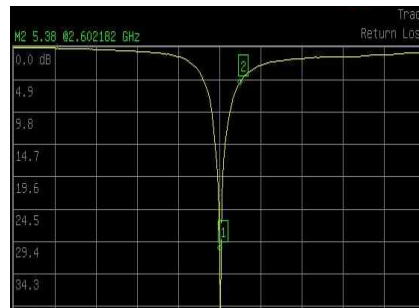
그림.5 컴퓨터 모의실험을 통한 SAR분포



a:유전체 삽입 전



b:유전체 삽입 후



c: 반사손실 최저상태 (M1: -29.6dB)

그림.6 제작한 평판 가열 안테나의 반사손실 측정

한천을 이용한 가열실험으로 한천의 온도가 가열의 10분동안은 26℃에서 44.4℃까지 상승하고 이후는 온도가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.(그림.7)

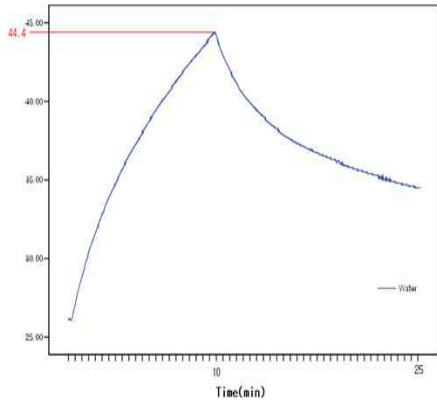


그림.7 한천을 이용한 가열실험

IV. 고찰

컴퓨터 모의실험과 안테나 제작단계 사이에서 오차가 생겼으나 이는 유전체로 조절이 가능하였다. 컴퓨터 모의실험을 통한 SAR로 부분적이 아닌 전체적인 가열이 이루어지기 때문에 종양에 대한 선택적인 가열이 어렵다고 판단된다. 이는 직접적인 종양 치료로 사용되기 보다 종양을 찾기위해 삽입되는 나노발열입자와 같은 물질을 가열하여 치료하는 장비로서 사용할 수 있다고 판단된다. 고주파 발생기의 출력전력과 실험시간에 따라 온도상승이 비례할 것이라고 판단되며 비자성체인 구리로 제작한 안테나로 가열을 통해 MR 온도영상으로 측정하여 온도분포를 확인하는 것은 앞으로 연구에서 수행할 과제이다.

V. 결론

본 연구에서는 2.45GHz 대역에서 동작하는 MR호환 가열용 평판 가열 안테나를 개발하고 한천을 이용한 가열 실험으로 가열특성 확인 및 평가를 하는 것이다. 중심주파수에 최적의 특성을 가지는 평판 가열 안테나를 제작하기위해 컴퓨터 모의실험을 수행하여 반사계수와 방사패턴, SAR분포를 획득하였다. 제작한 평판 가열 안테나가 초고주파를 이용한 가열 실험으로 열 치료용 안테나로 사용할 수 있는 가능성을 보여주었다.

참 고 문 헌

- [1] K.S. Shin, H.S. Shin, and N. Kim, "SAR Analysis on the Coaxial-Slot Antenna for Hyperthermia", Journal of KIEES, vol. 13, no. 7, pp. 732-739, 2002
- [2] 장순범, 박동국, "소형 마이크로스트립 패치 안테나" 전자공학회 논문지 제 14권, 제 4호, pp.351-355, 4월 2003년.
- [3] 김용진, "가변 원형편파 모드 특성을 갖는 원형 링 슬롯 안테나." 전자공학회 논문지, 제 45 권, 제 1 호, pp.78-84, 1월 2008년.
- [4] 김일권, "The Characteristics of Koch Island Microstrip Patch Antenna" 한국통신학회논문지, No.3A, pp.166-170, 2003년.
- [5] 김낙환, 이면섭, "삼입형 안테나를 이용한 가온장치의 설계" 전자공학회 논문지 1986년.
- [6] 박정흠, "2.45GHz RFID용 원형편파안테나의 설계 및 제작" 전자공학회 논문지 제 42 권 제 4 호, pp.63-68, 12월 2005년.
- [7] J. R. James and P. S. Hall, "Handbook of Microstrip Antenna", Peter Peregrinus, 1989.
- [8] R. B. Waterhouse, "Microstrip Patch Antennas - A Designer's Guide", Kluwer Academic Publishers, p. 46, 2003.
- [9] Kunal Parikh, "Simulation of Rectangular, Single-layer, coaxial-fed patch antennas Using Agilent High Frequency Structure Simulator (HFSS)", Virginia Polytechnic Institute and University, p. 3, Dec. 2003.