

배열 안테나를 이용한 원기둥 모형의 국부 가열을 위한 연구

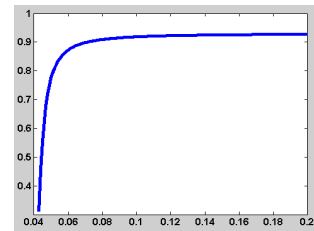
우태희*, 유민균*, 정용식**, 천창을*
 서울시립대학교*, 광운대학교**

A study using array antenna for local area heating of cylindrical model

Tae-Hee Woo*, Minkyun Yoo*, Young-seek Chung** and Changyul Cheon*
 University of Seoul*, Kwangwoon University**

Abstract - 본 논문에서는 유방암치료에 적용되는 Microwave Hyperthermia를 이용한 국부 가열의 방법론적인 접근을 하였다. 그 결과 위상과 거리를 변수로 하여 정확성과 효율성을 2개의 높이는 알고리즘을 찾게 되었다. 그래서 실험적으로 증명하기 위하여 3개의 Waveguide antenna 및 안테나에 파워를 분배해주는 파워 디바이더를 제작하였다.

과되어 들어 정상세포에 미칠 영향을 줄일 수 있다. 이를 계산하기 위해 MathWork 社의 Matlab으로 프로그래밍 하였다. 결과는 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 거리에 따른 평균투과계수의 변화 그래프

위를 통하여, Point source와 대상체 사이의 거리가 길수록 좋다는 것을 알 수 있지만, 모의실험을 위해 평균투과계수가 0.9이상의 값을 갖는 적절한 지점을 선택하였다.

1. 서 론

우리나라 여성에게 있어서 가장 발생빈도가 높은 유방암에 대한 기존의 치료방법은 유방절제술과 방사선, 항암제, Hyperthermia등이 있다. 하지만 현재의 유방절제술은 시술 후에 유방에 외적인 장애를 야기하고, 방사선치료는 감마선, X선등을 이용하여 최대한 정상세포에 영향을 주지 않는 방법이나 이 방법만으로 완치에 무리가 있다. 또 항암제치료는 그 단위 크기를 일정 크기 이하로 작게 만드는 것에 불과하다. 이런 한계를 갖고 있기 때문에 Hyperthermia를 이용한 방법이 각광받고 있는 추세다.[1]

기존의 Hyperthermia는 하나의 안테나로 암세포의 공진주파수를 이용해 유전자열 하는 방식이었다. 하지만 하나의 안테나로 가열하는 방법은 피부나 다른 세포에 영향을 미치게 되므로, 다른 세포에 미치는 영향을 최소화하는 방법을 찾을 필요성이 있었다. 그러한 동기로 다른 세포에 미치는 영향을 최소화하는 방법을 찾아보았고, 본 논문에서는 2가지 방법을 제시하였다. 첫째로 위상 배열을 이용한 방법, 둘째로 표적과 안테나 사이의 거리를 이용한 방법이다.

2.1.2 E-field 집중을 위한 위상 배열 설계

다음으로 연구한 방법은 위상차를 이용한 방법으로, 모의실험을 위해 수식 (1)를 사용하여 MathWork 社의 Matlab으로 프로그래밍 하였다. 여기서 R 은 목표지점과 Point source 사이의 거리이고, E_0 는 소스의 세기이다.

$$E = E_0 \frac{e^{-jkR}}{R} \quad (k = \omega \sqrt{\mu\epsilon}) \quad (1)$$

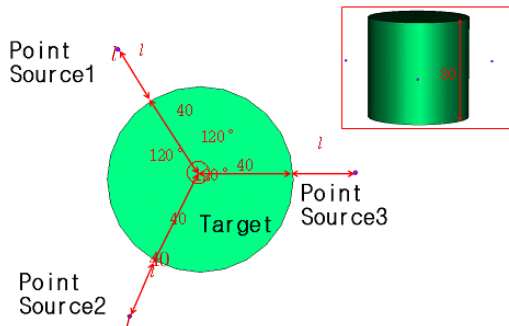
Matlab으로 계산한 결과 각 Point source에 의한 대상체 내부에서 목표지점의 E-field의 세기와 위상을 구할 수 있고, 이때 목표지점에서 각 Point source에 의한 E-field의 위상을 같은 위상으로 하면 목표지점에서 최대의 크기를 갖는다. 이를 이용하면 원하는 지점에 효과적으로 E-field를 집중 시킬 수 있고, 정상세포에 미치는 영향을 최소화 할 수 있다.

2. 본 론

2.1 E-field 집중을 위한 설계의 모델링

실험으로 증명하기에 앞서, 먼저 간단한 모델링을 하였다. 먼저 대상체 외부에 Point source가 있다 가정면, 각 Point source에 의해서 원기둥 표면에 또 다른 Point source가 유도된다하였다. 그리하여 유도된 각 Point source에 의한 원기둥 내부의 E-field의 분포를 알아보는 방식으로 접근하였다.

외부의 각 Point source는 xy평면상에서 원점으로부터 같은거리에서 떨어져 있고, 그 거리는 2.1.1에서 보일 것이다. 대상체는 중심이 원점에 있고, 반지름 40 mm 높이 80 mm의 원기둥으로 모델링 하였다.



<그림 1> 세 개의 Point source와 대상체 그림

2.1.1 E-field 집중을 위한 Point source와 대상체사이의 거리

먼저 연구한 방법은 대상체와 Point source사이의 거리를 변수로 하여, 등 간격을 갖는 표면에서의 평균투과계수를 구하여 가장 효과적인 Point source의 거리를 찾는 것이다. 이를 이용하면 E-field가 효과적으로 내부에 투과되고, 실제 실험이면 피부가 될 표면에 에너지가 많이 투

2.2 Waveguide안테나 설계

위 알고리즘을 실험적으로 증명하기 위하여 몇 가지 장비를 설계하였다. 가장 먼저 Waveguide를 설계하였다. 실험에 사용 될 주파수는 2 GHz이므로, 2 GHz에서 Dominant mode를 갖는 Circular waveguide 안테나를 제작하였다.[2] Circular waveguide는 TE₁₁에서 Dominant mode를 가지므로 수식(3)을 이용하여 안테나를 제작 할 수 있다. 실험에 사용될 안테나의 크기가 너무 크면 실험에 무리가 있으므로 Waveguide안을 유전체로 채워서 적당한 크기로 축소하였다.

$$f_{c_{nm}} = \frac{p'_{nm}}{2\pi a \sqrt{\mu\epsilon}} \quad (3)$$

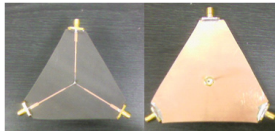
하지만 이것만으로 2 GHz에 Mode를 갖는 안테나를 만드는 것에 무리가 있는데, 실험에서 사용될 지방의 펄턴과 안테나가 바로 닿게 되면 안테나의 공진주파수가 틀어지게 되기 때문이다. 이는 Waveguide 안테나를 통해서 나가던 Wave가 대상체의 표면에서 반사를 일으켜 생기는 현상이다. 이를 보완하기 위해 유전율을 유효유전율로 대체 하였고, 이는 시행착오를 통하여 구하였다.

이상적으로 완벽히 같은 3개의 안테나를 만들 수 없었으므로 실험을 위해선 모든 안테나의 S₁₁이 일치해야 함에도 불구하고 일반적으로 허용 가능한 10%미만의 오차는 무시하였다.

2.3 Power divider 설계

2.2에서 설계한 3개의 안테나에 같은 크기의 파워를 분배시켜주기 위한 3port 실험을 하기 위해 Power divider를 설계하였다. 동축선로로 Feeding하였으며, 동축선로와 만나는 지점에서 3개의 150 옴라인으로 나

누어지고 중간에 Quarter-wave transformer를 사용하여 끝부분을 50 Ω으로 정합시켰다.



〈그림 3〉 파워디바이더

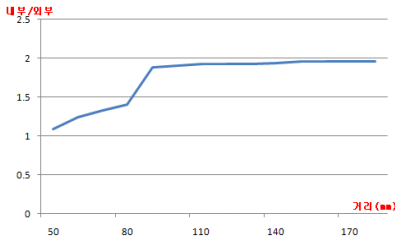
2.4 시뮬레이션 및 모의실험 결과

위에서 제시한 두 가지 방법을 실험적으로 증명하기에 앞서 시뮬레이션을 해보았다. 모의실험에선 3개의 Point source를 이용하여 구현하였으며, 2.2에서 만든 3개의 Waveguide 안테나를 이용하였다.

2.4.1 거리에 따른 투과정도 알고리즘의 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에서 투과계수를 직접 구할 수 없으므로, 대상체 내부의 가장 큰 SAR값과 외부의 가장 큰 SAR값의 비를 구하였다. 이렇게 설정한 이유는 실제상황에서 외부는 피부조직으로 정상조직이다. 따라서 표면 전체에 미치는 영향을 고려해야 하므로, 최대값으로 계산하였다. 내부의 경우는 SAR의 최대값을 갖는 부분이 위상배열에 따라서 움직이는 것이므로, 내부 역시 최대값을 갖는 부분으로 계산하였다.

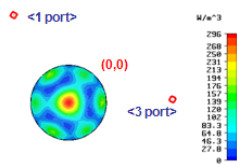
대상체의 반지름이 40 mm인 것을 감안하여, 50 mm인 경우부터 10 mm간격으로 180 mm까지 시뮬레이션을 하였다. 그때의 결과는 〈그림 4〉와 같다.



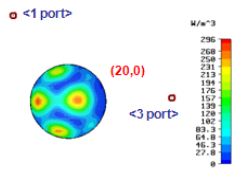
〈그림 4〉 거리에 따른 내부와 외부 최대 SAR의 비율 그래프

최대값의 비율이므로 〈그림 2〉와 완벽하게 같지 않으나, 어느 정도 뒷부분에 수렴하는 것과 그 부분이 거의 일치하는 것을 볼 수 있었다. 이로써 모의실험에서 사용할 거리를 정할 수 있고, 꼭 지방의 경우만이 아니라 다른 유전율을 갖는 물질에 대해서도 적용 시킬 수 있다.

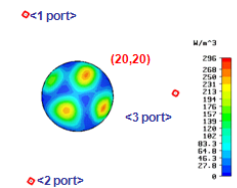
2.4.2 위상배열 알고리즘의 시뮬레이션 결과



(a) (0, 0)을 표적으로 했을 때 SAR



(b) (20, 0)을 표적으로 했을 때 SAR

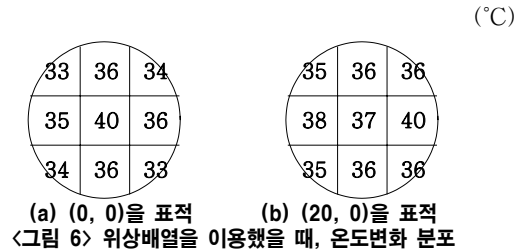


(c) (20, 20)을 표적으로 했을 때 SAR
〈그림 5〉 위상배열을 이용했을 때, SAR 분포

결과 〈그림 5〉을 보면, 위상배열을 사용하였을 경우 원하는 목표지점에 E-field가 정확하게 모이는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 최대값이 되는 것은 아니었는데, 이는 Point source와 거리에 따라서 E-field의 크기가 감소하기 때문이라고 추측된다.

2.4.2 위상배열 알고리즘의 모의실험 결과

대상체는 지방의 모형으로 대체하였고, Point source는 2.2에서 만든 Waveguide안테나로 대체하였다. 아래 〈그림 6〉은 대상체를 z=0인 평면으로 자른 단면에서의 온도를 나타낸 것으로, 단면을 9등분하여 각 부분의 중심 부분에서의 온도를 측정된 것이다.



(a) (0, 0)을 표적 (b) (20, 0)을 표적
〈그림 6〉 위상배열을 이용했을 때, 온도변화 분포



〈그림 7〉 Waveguide antenna와 대상체

〈그림 6〉의 결과를 보면 2.4.2에서 보인 SAR분포와 유사하게 온도변화를 보이는 것을 확인 할 수 있다. 대상체는 지방의 모형으로 대체하였고, 실험은 〈그림 7〉과 같이 구성하였다. 본 실험에서 SAR분포에서 봤던 것처럼 에너지가 가지 않는 부분을 찾을 수 없었다. 이는 E-field에 의한 에너지 전달은 없지만, 열의 확산에 의한 에너지 전달인 것으로 추측된다.

3. 결 론

본 논문에서는 배열안테나를 이용한 원기둥 모형의 국부가열의 알고리즘을 제시하고, 이를 시뮬레이션과 모의실험을 통하여 가능성을 보였다. 대상체와 안테나 사이의 적절한 거리를 선택하여 위상배열을 이용하면 Microwave Hyperthermia에서 정상세포에 미치는 영향을 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 원기둥형이나 지방이 아니어도 적용이 가능한 알고리즘이므로, 유방암 뿐만 아니라 다른 조직에서도 사용이 가능할 것으로 예측된다. 더불어 크기배열을 이용한 알고리즘을 이용하면 더 효과적인 결과를 낼 수 있을 것으로 사려된다.

[참 고 문 헌]

[1] S. Fujimoto, K. Kobayashi, M. Takahashi, K. Nemoto, I. Yamamoto, T. Mutou, T. Toyasawa, T. Ashida, S. Hayashi, N. Igarashi and H. Ohkubo, 'Clinical pilot studies on pre-operative hyperthermic tumor ablation for advanced breast carcinoma using an 8MHz radiofrequency heating device', Int. J. Hyperthermia, vol. 19, pp. 13-22, 2003.
[2] David M. Pozar, 'Microwave Engineering' John Wiley & Sons, 2005
[3] Arunachalam, K., Udpa, S.S., Udpa, L. 'Microwave Breast Cancer Hyperthermia using Deformable Mirror', Antennas and Propagation