

## 근거리 빔 스캐닝 안테나에 관한 연구

송우영\*

### A Study on the Near Field Beam Scanning of the Array Antenna

Woo-Young Song\*

**요약** 본 논문은 근거리 빔 스캐닝 배열 안테나의 3차원 초점을 갖도록 급전하는 방법에 대하여 연구하였다. 기존의 배열 안테나 이론은 원거리 측정점에 대한 것이 대부분이다. 기본적 개념은 방사되는 신호의 위상을 원하는 지점에서 동위상이 되도록 급전하는 것이다. 본 연구에서도 이러한 기본적인 원리를 적용하여 배열 안테나 크기에 비해 측정점의 거리가 근거리에 위치한 점에서 최대 수신 전력을 갖도록 위상을 보상해 주는 방법을 제안 하였다. 제안한 방법으로 자유 공간에 11개의 안테나를 3가지 방법으로 배열하여 3차원 공간에서의 방사패턴과 근거리내의 평면에서의 수신 신호의 크기에 계산하여 대한 등고선 그래프를 작성하였다. 그래프를 분석한 결과 배열 안테나의 근거리 영역에서 빔 스캐닝이 가능하다는 것을 확인하였다.

**Abstract** In this paper, a method of feeding for the near field beam scanning array antenna with three dimensional focal point has been studied. The conventional array antenna theory is mostly about the far field points. The basic idea is to feed the transmitted signal so that it is in phase at the desired point. In this study, a method is proposed to compensate the phase to have the maximum received power at the point where the measurement point distance is near to the array antenna size. In the proposed method, 11 point source antennas are arrayed in three ways in free space. And the contour map is plotted by calculating the radiation patterns in the three dimensional space and the received signal intensities in the plane within the near space. As a result, it was confirmed that 3 dimensional beam scanning is possible also in the near field of the array antenna.

**Key Words** : Array antenna, Tumor treatment, Hyperthermia, Near field array, Planar array

#### 1. 서론

정상적인 세포보다 종양세포는 온도에 민감한 반응을 보인다고 알려져 있다. 전자파 온열 치료법 (Hyperthermia Therapy)은 외과적인 수술없이 인간의 종양세포 치료 방법에도 사용되고 있다. 전자파를 인체의 외부에 투사하여 세포의 온도를 40~45° 까지 상승시킴으로 치료 효과를 얻는 것이다[1-2]. Maged Aldhaeebi와 Ibrahim Elshafiey는 머리와 목부위의 종양을 치료하기 위하여 중심

주파수가 433MHz와 1372MHz인 안테나를 설계 제작하였으며[3] 이 외에도 유방암 및 기타 암치료를 위한 온열처리법을 위한 방법이 제시되었다 [4-6]. 이 때 하나의 안테나를 이용하는 경우 안테나 빔 폭이 넓어져 정상세포에 과도한 전자파 에너지를 공급하여 정상세포를 죽일 수도 있다는 문제점이 있다. 배열안테나를 이용하면 정상세포와 종양세포로 투사되는 전자파의 양을 조절하여 이러한 문제점을 피할 수 있다. 6가지의 배열 방식에 따른 종양 위치와 깊이에 따른 빔의 모양을

This work was supported by the research grant of Cheongju University (2015.09.01~2017.08.31.)

\*Department of Electronic Engineering, University of Cheong-Ju (microwave@cju.ac.kr)

Received May 29, 2017

Revised June 22, 2017

Accepted June 23, 2017

컴퓨터 모의실험을 통해 결과를 보여주고 있다[7].

온열 치료법에 적용되는 배열 안테나의 경우 배열 안테나 시스템의 크기에 비해 비교적 가까운 거리에 위치하게 되므로 기존의 배열 이론인 원거리 해석 방식으로는 투사 전력의 양을 예측하기가 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 근거리 해석 방식을 적용하여 균일한 매질의 직육면체에 빔이 주사되는 경우 평면과 깊이에 따른 수신 전력을 계산함으로써 온열 치료 방법에 사용될 수 있는 배열 안테나 해석 방식의 가능성을 고찰 하고자 한다.

## 2. 배열 안테나

배열 안테나에 대한 이론은 공간에 배열된 등방성 점전원의 배열요소(array factor)를 구하는 것으로 시작된다. 등방성 점원 안테나의 경우 모든 방향으로 균일하게 방사하는 특성을 갖고 있으며, 구좌표계의 원점에 놓인 점원 안테나의 방사장은 아래의 식과 같이 나타난다[8].

$$A \frac{e^{j\beta r}}{r} \quad (1)$$

### 2.1 원형 배열 안테나의 배열 성분

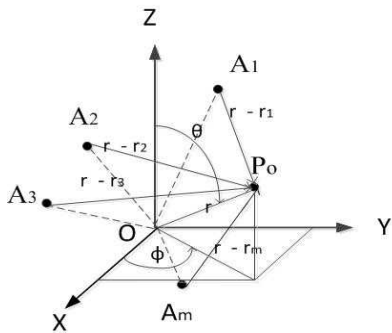


그림 1. 배열 안테나에 대한 좌표계  
Fig. 1. Coordinate System for Array Antenna

그림 1과 같이 M개의 안테나가 자유공간에 분포되어 있을 때,  $P_0(r, \theta, \phi)$ 에서의 배열 성분  $AF(r, \theta, \phi)$  은 아래와 같다.

$$AF(r, \theta, \phi) = \frac{\sum_{m=1}^M A_m e^{j\alpha_m j\psi_m}}{r_m} \quad (2)$$

여기서  $A_m$ 은 m번째 안테나에 급전되는 신호의 크기를  $\alpha_m$ 은 m번째 안테나의 위상을 나타낸 것이다. 배열안테나의 크기에 비해 r점이 원거리에 위치하면,  $r, r_1, \dots, r_n$ 는 평행으로 간주되며 분모의  $r \simeq r_1 \simeq \dots \simeq r_m$  이 되어

$$\psi_m = \beta b \sin\theta \cos(\phi - \phi_m) \quad (3)$$

여기서  $\beta$ 는 전파 상수로써  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ 이다. 따라서 배열 성분 AF는 다음과 같다.

$$AF(r, \theta, \phi) = \frac{\sum_{m=1}^M A_m e^{j\alpha_m j\psi_m}}{r} \quad (4)$$

또한  $(\theta_0, \phi_0)$ 방향에서 최대의 빔이 형성되기 위해서는, 즉 동위상이 되기 위한 조건을 만들어 주어야 하므로

$$\alpha_m = -\beta b \sin\theta_0 \cos(\phi_0 - \phi_m) \quad (5)$$

이 되도록 급전 시켜 주어야 한다.

### 2.2 근거리 배열 안테나의 배열 성분

신호를 받는 점까지의 거리가 동작 신호의 파장에 대하여는 원거리이지만 배열 안테나의 크기 r가 건물 만하면  $r, r_1, \dots, r_m$ 가 평행이라는 조건은 성립되지 않으므로 식(3)의  $\psi_m$ 은 식(3)인 아닌

$$\psi'_m = \beta(r - r_m) \quad (6)$$

가 되어야 한다. 안테나가  $z = z_a$  인 면상에 반경이  $b$ 인 원둘레를 따라 배열되어 있는 경우는

$$r_m = \sqrt{(x - x_m)^2 + (y - y_m)^2 + (z - z_m)^2} \quad (7)$$

따라서 식(2)는 식(6)와 식(7)를 이용하여 계산되어야 한다.

$$AF(r, \theta, \phi) = \frac{\sum_{m=1}^M A_m e^{j\alpha_m j\psi'_m}}{r_m} \quad (8)$$

3차원 공간상의 한 점  $(x_0, y_0, z_0)$ 인 점에서 주 빔(main beam)이 형성되기 위해서는

$$\beta r_1 = \beta r_2 \dots = \beta r_m \quad (9)$$

이 되어야 동위상의 신호가 수신되므로 근거리에서  $m$ 번째 안테나에 급전되는 신호의 위상은

$$\alpha_m = -\beta(r_m - r_{min}) \quad (10)$$

만큼 보상 해주어야 한다.

### 3. 모의실험 및 고찰

본 장에서는 모의실험을 통해 온열처리용 안테나와 같이 근거리에서 안테나를 사용할 경우의 빔 주사 방법의 성능 분석 및 방사패턴을 고찰하기 위하여 11개의 점원 안테나를 그림 2, 그림 3과 같이 직선과 반경이  $r$ 인 원둘레를 따라 배열한 경우의 방사패턴을 계산함으로써 근거리에서의 빔 주사 방법이 타당한 방법임을 확인 하고자 한다. 그림 2(a)와, 그림 3(a)의  $P(x_0, z_0)$ 는 배열 안테나의 초점에 해당되는 점이다.  $z_0$ 는 초점이 맺혀야 하는 깊이에 해당하는 점의  $z$ 좌표이고,  $z_1, z_2$

는 깊이의 변화에 따른 수신 신호의 세기를 비교하기 위한 점의  $z$ 좌표이다.

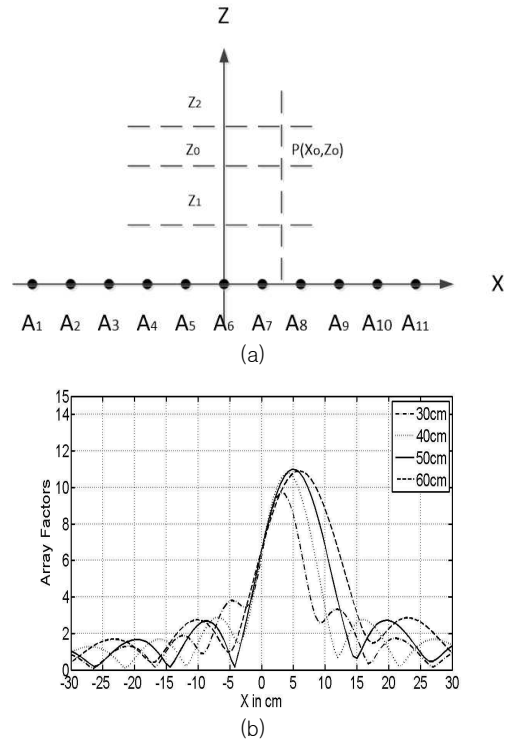


그림 2. 모의실험을 위한 x축에 직선 배열 안테나의 좌표계(a) 및 방사패턴(b)  
Fig. 2. Coordinates(a) and Radiation patterns(b) of Linear Array Antenna along x axis for Simulation

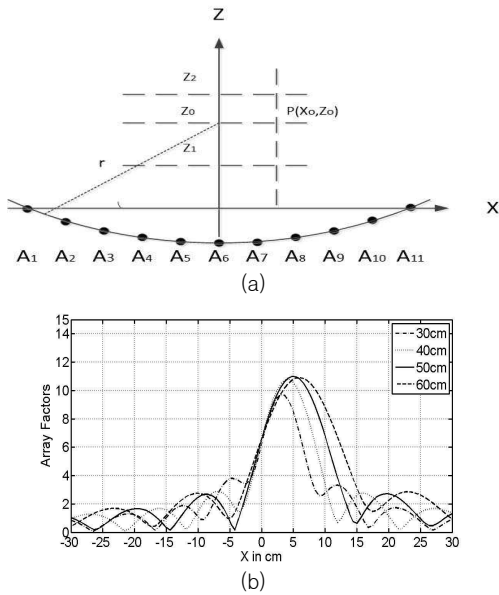


그림 3. 중심이  $(0, z_0)$ 이고 반경이  $r$ 인 원둘레를 따라 배열된 배열 안테나의 좌표계(a) 및 방사패턴(b)  
 Fig. 3. Coordinates(a) and Radiation Patterns(b) of Circular Array Antenna centered at  $(0, z_0)$  and radius  $r$  for Simulation

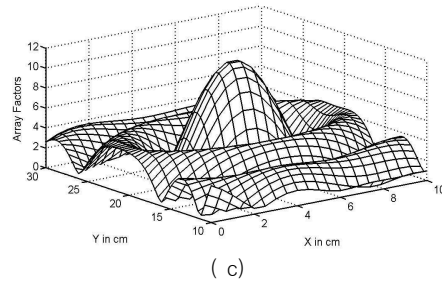
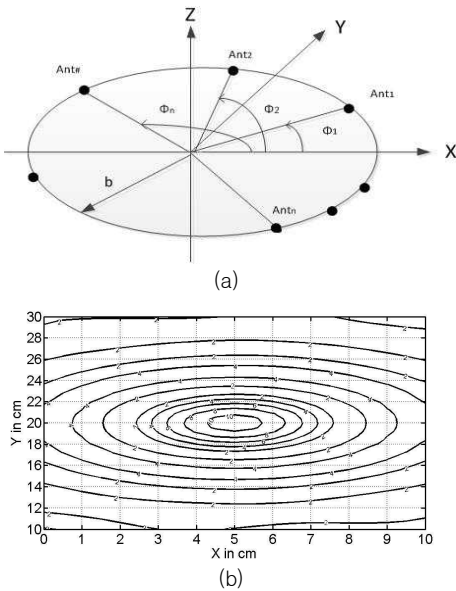


그림 4. 모의실험을 위해 반경이  $b$ 인 원둘레를 따라 배열된 배열 안테나의 좌표계(a), 등고선도(b), 3D 방사패턴(c)  
 Fig. 4. Coordinates(a), ContourMap(b) and 3D Radiation Patterns of Circular Array Antenna of Radius  $b$  for Simulation

모의실험을 위해 동작 주파수는 500MHz로 가정하고, 초점의 위치를 (5cm, 50cm)로 하기 위하여  $x$ 는 고정시키고  $z=30cm, 40cm, 50cm, 60cm$ 로 변화 시키면서 계산한 결과 식(10)과 같이 위상 보상을 해 준 결과 그림 2, 그림 3의 (b)에 나타난 바와 같이 원하는 위치 (5cm, 50cm)에서 최대의 신호가 예측 되고 있음을 볼 수 있다.

그림 4 (a)는 안테나를  $z = 0$ 인면에 반경이  $b=60cm$ 인 원을 따라 11개의 안테나를 등 간격으로 배열 시킨 배열 안테나의 좌표계이며, (5cm, 20cm, 50cm)인 점에 초점이 생기도록 식(10)을 이용하여 안테나를 급전한 결과에 대한,  $0cm \leq x \leq 10cm, 10cm \leq y \leq 30cm, z = 50cm$ 인면의 수신 신호의 세기를 나타낸 것이다. 그림 4.(b)와 (c)는 수신 신호의 크기를 등고선도와 3차원 그래프로 나타낸 것이다. 이때도 그림 2, 그림 3에서와 같이 원하는  $z=60cm$ 인 면의 점(5cm, 20cm) 위치에서 최대 수신점이 나타남으로 3차원 초점을 갖는 배열 안테나의 근거리 빔 스캐닝이 가능하다는 것을 확인 할 수 있다.

### 4. 결론

본 연구에서는 배열 안테나의 근거리 빔특성을 계산하고, 근거리에 위치한 한 점  $(x_0, y_0, z_0)$ 에서 수신 전력이 최대가 되도록 배열 안테나의 급전

시 공급해야 하는 위상을 구하기 위한 방법을 제안하였고, 모의실험을 통해 제안한 방식이 타당함을 확인 했다. 이 방법은 온열치리와 같이 배열 안테나의 근거리에 위치한 중앙 세포의 위치, 깊이와 크기가 주어는 경우 이에 적합한 방사패턴 합성을 위한 급전 계수의 계산이 가능하다는 것을 밝혔다. 이 연구에서는 방사 공간이 균일하다는 가정 하에 연구가 이루어졌지만 앞으로는 인체의 전자파 전달 특성을 고려한 연구가 있어야 하겠다.

### REFERENCES

[1] <http://cafe.naver.com/wbhyperthermia/3>

[2] T. Yunoki, Y. Tabuchi, A. Hayashi, and T. Kondo, "Inhibition of PoloLike Kinase 1 Promotes Hyperthermia Sensitivity via Inactivation of Heat Shock Transcription Factor 1 in Human Retinoblastoma Cells," Investigative Ophthalmology & Visual Science, vol. 54, pp. 8353-8363, 2013.

[3] Maged Aldhaeabi and Ibrahim Elshafiey, "New Antenna Design for Hyperthermia Treatment of Human Head" IEEE Conference 2014 UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation, pp.96-100, 2014.

[4] Ruth V. Sabariego, Luis Landesa, and Fernando Obelleiro, "Synthesis of an array antennas for hyperthermia applicatiions", IEEE Trans. on magnetics, Vol. 36, No. 4, pp.1696 - 1699, July 2000.

[5] C. M. Rappaport, "Synthesis of optimum microwave antenna applicators for use in treating deep localized tumors," in Progress in Electromagnetics Research, PIER 1, J. A. Kong, Ed. Cambridge, ch. 2. MA: Elsevier, 1989.

[6] Phong Thanh Nguyen; Amin Abbosh; Stuart Crozier, "Microwave Hyperthermia for

Breast Cancer Treatment Using Electromagnetic and Thermal Focusing Tested on Realistic Breast Models and Antenna Arrays", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. 63, No.10, pp.4426-4434, Oct, 2015.

[7] K.H. Sayidmarie and A.M. Abdulkhaleq, "investigation of six array geometris for focused array hyperthermia application", Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 23, pp.181 - 194, 2012.

[8] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, "Antenna Theory and Design", John Wiley & Sons, Inc, NewYork, 1998.

---

### 저자약력

---

송 우 영 (Woo-Young Song)

[정회원]



- 1981년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1982년 3월 ~ 현재 : 청주대학교 이공대학 전자공학과 교수

<관심분야>

안테나, 초고주파 공학