

무선 전력 수전용 공동 안테나

권익승 · 김기채
영남대학교

Cavity-Backed Slot Antenna for Microwave Power Reception

Ick Seung Kwon · Ki-Chai Kim
Yeungnam University

E-mail : gasiano@bora.dacom.co.kr · kckim@ynuucc.yeungnam.ac.kr

요 약

사용주파수 2.45 GHz에서 렉테나 소자용으로 사용하기 위한 공동 안테나의 기본특성을 모멘트 법을 사용하여 해석하고 있다. 제안된 공동 안테나는 표면에 직사각형의 폭이 좁은 슬롯과 내부에 슬롯면과 수직방향의 급전 및 무급전 포스트를 가지며, RF-DC 변환회로를 공동의 하단부에 장착할 수 있는 구조적 특징을 가진다. 수치계산 결과, 안테나 급전단에서 약 50 dB의 최대 반사손실을 얻고 있다.

ABSTRACT

The fundamental characteristics of the cavity-backed slot antenna at 2.45 GHz are analyzed with the method of moment for the use of a part of rectenna element. The proposed antenna has a rectangular-narrow slot on the upper surface and a feed post and a parasitic post inside of the cavity. The interior posts are perpendicular to the slot surface in order that the microwave circuits can be attached to the bottom of the cavity. Theoretical results shows that the maximum return loss of 50 dB at the input terminal of the antenna is achieved.

1. 서 론

렉테나는 RF전력을 수전하기 위한 안테나이자 RF전력을 DC전력으로 변환하기 위한 컨버터이다. 즉, 렉테나는 RF전력을 수전하기 위한 안테나와 이를 DC전력으로 변환하기 위한 정류회로, 그리고 입출력 필터회로들로 구성되어 있다 [1-2]. 공동 안테나는 작고 견고할 뿐만 아니라 박형의 구조적 특징을 가지고 있다. 또한 배열로 구성할 경우 소자간 상호결합이 작아 대형 배열 안테나 시스템에 적합하다. 이상과 같이, 공동 안테나는 무선 전력전송용으로 적합한 구조와 특성을 갖춘 안테나로 알려져 있다 [3-4].

일반적으로 렉테나 사이트는 대형 배열 안테나 시스템으로 운영되는데 이를 유지하고 보수하는 일은 용이하지 않다. 본 논문에서는 공동 안테나의 급전, 보수 및 유지를 용이하게 하기 위하여 급전 포스트를 슬롯면과 수직으로 배치하여 RF-DC 변환회로가 공동의 하단에 장착될 수 있는 구조를 제안하고 있다. 또한 공동의 깊이를 낮

추면서 개구를 효과적으로 여기하기 위하여 무급전 포스트를 공동 내부의 적절한 위치에 삽입하고 급전 및 무급전 포스트를 단락시켰다.

수치계산 결과, 급전선로의 특성 임피던스가 50 Ω 인 경우 공동안테나는 2.45 GHz에서 약 50 dB의 급전단 반사손실을 가지며 슬롯의 길이와 공동의 깊이를 적절히 상호 조절하면 양호한 반사특성을 얻을 수 있음을 확인하였다.

II. 이론해석

그림 1은 폭이 좁은 직사각형의 슬롯을 개구로 갖고 내부에 급전 포스트 (#1)와 무급전 포스트 (#2)를 배치한 공동 안테나의 구조와 좌표계 및 치수를 나타낸다. 공동은 x, y, z 축 방향으로 각각 a, b, c 의 크기를 가지며 슬롯은 $z=0$ 상의 무한 도체 평면위에 놓여있다. 슬롯의 크기는 $2h \times 2w$ 이며 내부 포스트들은 무한 도체 평면에 단락되

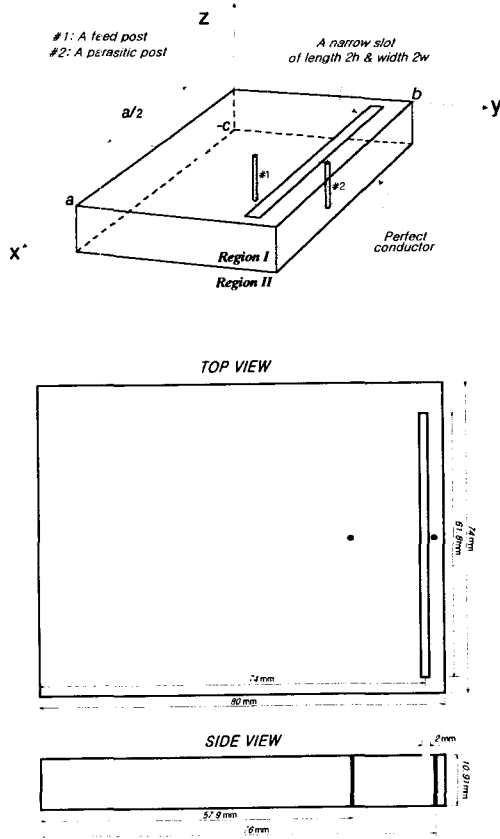


그림 1. 공동 안테나의 구조와 좌표계.

어 있다. 내부 포스트들은 슬롯면에 대해 수직으로 배치되어 있는데, 이는 RF-DC 정류회로를 포함한 마이크로파 회로를 공동의 하단에 용이하게 장착하기 위해서이다. 렉테나 소자로서의 공동 안테나가 배열로 구성되면 거대한 렉테나 사이트가 건설되며, 이 경우 마이크로파 회로부분을 유지하고 보수하는 일은 쉬운 일이 아니다. 따라서 RF-DC 변환에 관여하는 회로부분을 공동의 하단에 장착하는 것이 렉테나 사이트를 보수하고 유지하기에 적합한 구조이다.

그림 1에서 전자계를 공동 내부 (영역 I) 및 반무한 공간 (영역 II)으로 분할하고 급전 포스트의 $z = -c$ 인 위치에 전압 V_1 인 델타함수적 전원으로 급전한다고 가정하면, 급전 및 무급전 포스트에 흐르는 전류분포 J_1 , J_2 와 개구면 전계분포 E_a 에 관한 연립 적분방정식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{j\omega\epsilon} \int \int_{S_1} \bar{K}'_{a11} \cdot J_1 ds_1' + \frac{1}{j\omega\epsilon} \int \int_{S_2} \bar{K}'_{a12} \cdot J_2 ds_2'$$

$$= -\frac{1}{j\omega\epsilon} \int \int_{S_a} \bar{K}'_{ela} \cdot (E_a \times \hat{z}) ds_a' = -V_1 \delta(z+c) \hat{z} \quad (1)$$

$$\frac{1}{j\omega\epsilon} \int \int_{S_1} \bar{K}'_{e21} \cdot J_1 ds_1' + \frac{1}{j\omega\epsilon} \int \int_{S_2} \bar{K}'_{e22} \cdot J_2 ds_2' - \frac{1}{j\omega\epsilon} \int \int_{S_a} \bar{K}'_{e2a} \cdot (E_a \times \hat{z}) ds_a' = 0 \quad (2)$$

$$\left[\int \int_{S_1} \bar{K}'_{m1} \cdot J_1 ds_1' + \int \int_{S_2} \bar{K}'_{m2} \cdot J_2 ds_2' + \frac{1}{j\omega\mu} \int \int_{S_a} \bar{K}'_{ma} \cdot (E_a \times \hat{z}) ds_a' = -\frac{1}{j\omega\mu} \int \int_{S_a} \bar{K}''_{ma} \cdot (E_a \times \hat{z}) ds_a' \right]_{t.c.} \quad (3)$$

여기서, \hat{z} 는 z 방향의 단위벡터이며, 적분 핵 \bar{K} 는 전류원 및 자유원이 전계 또는 자계를 생성하는 다이애덕 그린함수이다. 또한 시간 의존성은 $\exp(j\omega t)$ 이며, s_1, s_2 및 s_a 는 각각 급전 포스트의 표면, 무급전 포스트의 표면 및 $z=0$ 에 위치한 개구면을 나타낸다. 그리고 $[]_{t.c.}$ 는 접선성분을 나타내며 적분 핵 \bar{K} 의 윗첨자 I, II는 각각 영역 I과 영역 II를 나타낸다.

그림 1의 공동 안테나를 모멘트 법을 적용하여 수치적으로 해석하기 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

- i) 공동 안테나의 경계면은 완전 도체이며, 두께는 파장에 비해 충분히 얇다.
- ii) 내부 포스트들의 반경은 파장에 비해 충분히 작아서 전류는 포스트의 중심축에 집중하여 흐른다.
- iii) 개구는 $z=0$ 의 무한 도체 평면상에 놓여있다.
- iv) 개구는 직사각형의 슬롯으로, 폭은 파장에 비해 충분히 작아서 개구에 유기되는 전계는 슬롯의 폭 방향 성분만이 존재한다.

상기의 가정하에 모멘트 법을 적용하여 적분방정식에 대한 수치적 해를 얻기 위하여 포스트 상의 전류분포 J_1, J_2 그리고 슬롯에 유기되는 전계 E_a 를 기저의 함수를 이용하여 다음 식과 같이 전개한다.

$$J_1 = \hat{z} \sum_q^Q I_q f_q(z') \quad (4)$$

$$J_2 = \hat{z} \sum_r^R I_r f_r(z') \quad (5)$$

$$E_a = \hat{y} \sum_p^P E_p f_p(x') g(y') \quad (6)$$

$$f_i(t') = \begin{cases} \frac{\sin k(t' - t_{i-1})}{\sin k\Delta t} & , t_{i-1} < t' < t_i \\ \frac{\sin k(t_{i+1} - t')}{\sin k\Delta t} & , t_i < t' < t_{i+1} \end{cases} \quad (7)$$

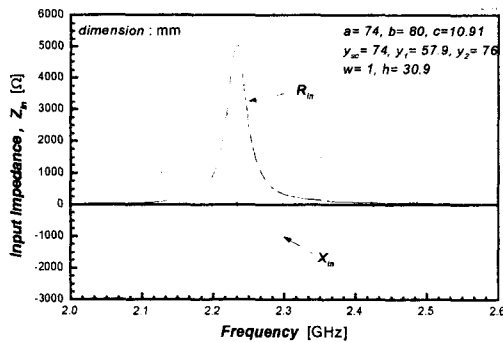
$$g(y') = \frac{1}{\sqrt{w^2 - (y - y_{sc})^2}} \quad (8)$$

여기서, $t = z, x$, $i = q, r, p$ 그리고 $\Delta t = t_i - t_{i-1} = t_{i+1} - t_i$ 이며 y_{sc} 와 w 는 각각 슬롯의 y -축 방향의 중심과 폭이고 k 는 자유공간의 파수이다. 포스트 #1, #2와 슬롯 길이방향의 전개함수는 수식 (7)과 같이 구분적 정현함수로 가정하고, 슬롯 폭방향의 전개함수는 슬롯의 폭이 길이에 비해 상당히 좁다는 가정으로부터 수식 (8)과 같이 두었다 [5,6]. 본 논문에서는 Galerkin의 모멘트 법을 사용하였으며, 슬롯의 폭방향 전개분포는 수식 (8)과 같이 이미 알고 있는 값이므로 이에 대한 시험함수는 무시했다 [3].

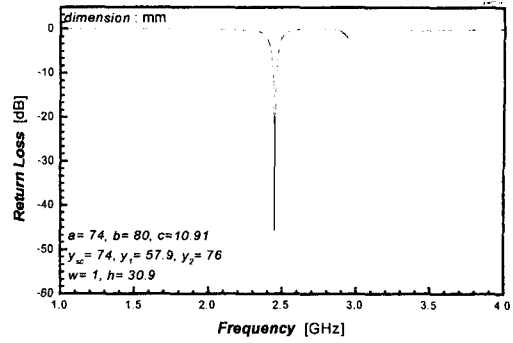
III. 계산결과 및 검토

그림 2는 그림 1에서 제시된 공동 안테나의 입력 임피던스 및 반사손실의 주파수 특성을 나타낸다. 공동의 치수와 내부 포스트들의 위치 및 슬롯의 위치와 길이를 적절히 조정하면 2.45 GHz에서 최대의 반사손실을 갖도록 공동 안테나를 설계할 수 있다. 이 경우 입력저항은 50.24 Ω이며 반사손실의 크기는 50 dB이다.

본 논문에서 제안된 공동 안테나는 슬롯의 길

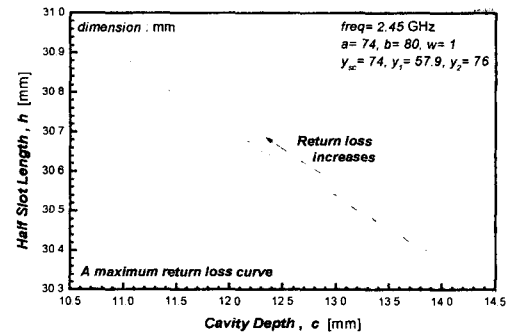


(a) 입력 임피던스

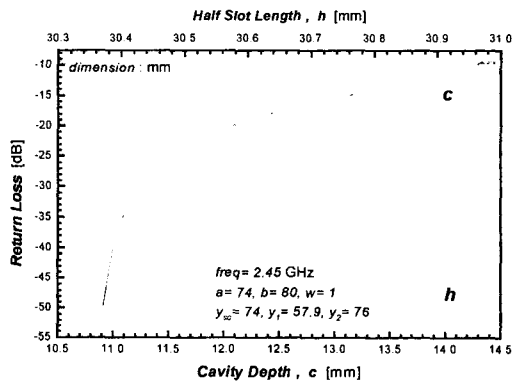


(b) 반사손실

그림 2. 공동 안테나의 주파수특성.



(a) 최대 반사손실



(b) 반사손실

그림 3. 공동깊이와 슬롯길이의 반사손실 특성.

이 $2h$ 와 공동의 깊이 c 를 적절히 조정하면 급전단에서의 반사손실 특성을 조정할 수 있는 특성을 가지고 있다. 최대 반사손실을 얻을 수 있는 슬롯의 길이와 공동의 깊이는 서로 반비례 관계가 성립한다. 이와 같은 공동의 깊이와 슬롯의 길이의 관계를 그림 3에 나타내었다.

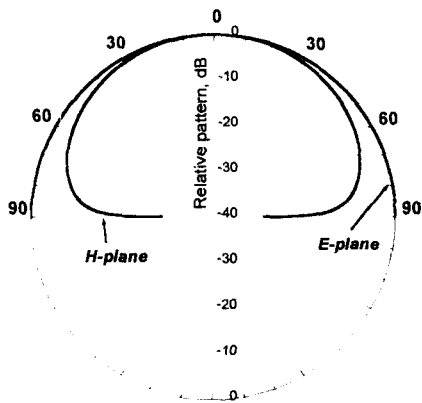


그림 4. 방사지향성

그림 4는 그림 1의 공동 안테나에 대한 방사지향 특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 최대 방사방향은 정면 방향을 향하고 있다.

IV. 결론

무선 전력전송용 렉테나를 목적으로 폭이 좁은 직사각형 슬롯을 개구로 가지고 공동 내부에 급전 및 두급전 포스트를 개구면과 수직으로 배치한 공동 안테나를 제안하여 기본 특성을 검토하였다. 본 공동 안테나는 무급전 포스트의 위치 및 슬롯길이와 공동깊이의 상호 조정을 통해 안테나 급전단에서의 반사손실을 최대한 증가시킬 수 있으며, RF-DC 변환 회로를 공동의 하단에 장착할 수 있는 구조적 특징을 가지고 있다. 앞으로는 공동 안테나를 사용한 배열구조와 RF-DC 변환 효율이 높은 회로를 설계하여 본 공동 안테나와 결합하여 검토할 계획이다.

참고문헌

- [1] N. Shinohara and H. Matsumoto, "Experimental study of large array for microwave energy transmission," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol.MTT-46, no.3, pp.261-268, March 1998.
- [2] J. O. McSpadden, T. Yoo, and K. Chang, "Theoretical and experimental investigation of a rectenna element for microwave power transmission," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol.MTT-40, no.12, pp.2359-2366, Dec. 1992.
- [3] A. Hadidi and M. Hamid, "Aperture field and circuit parameters of cavity-backed slot radiator," IEE Proc., vol.136, pt.H, no.2, pp.139-146, April 1989.

[4] K. C. Kim and I. S. Kwon, "Forced resonant type small cavity-backed slot antennas for electromagnetic power transmission," ISAP 2000, to be published, Aug. 2000.

[5] S. Hashemi-Yeganeh, "On the summation of double infinite series field computations inside rectangular cavities," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol.MTT-43, no.3, pp.641-646, March 1995.

[6] J. Galejs, "Admittance of a rectangular slot which is backed by a rectangular cavity," IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol.AP-11, pp.119-126, March 1963.