

5.8 GHz 다이폴 안테나를 이용한 렉테나 설계

Design of a 5.8 GHz Rectenna Using Dipole Antenna

오 경 민* 이 현 욱** 남 희*** 홍 태 의***
 (Kyoung-Min Oh) (Hyun-Wook Lee) (Hee Nam) (Tae-Ui Hong)

이 대 성**** 황 학 인***** 이 증 철*****
 (Dae-Sung Lee) (Hak-In Hwang) (Jong-Chul Lee)

요 약

본 논문에서는 Quasi Yagi 효과를 갖는 다이폴 안테나와 CPS 구조의 공진기를 이용한 정류회로를 이용하여 5.8 GHz에서 무선전력 전송이 가능한 렉테나를 설계하였다. CPW 급전 구조를 이용하여 CPW의 접지 면을 다이폴의 반사기로 사용하여 야기 우다 안테나와 비슷한 구조로 기존의 다이폴 안테나보다 이득을 높이는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 CPS 구조의 공진기를 이용하여 2차 고조파가 제거된 정류회로를 설계하였다. 그 결과 본 논문에서 제안한 렉테나는 부하저항이 1.4 kΩ에서 61%의 RF-to-DC Power 최대 변환 효율을 얻었다.

Abstract

In this paper, a new rectenna is presented for the wireless transmission of microwave power using dipole antenna (Quasi Yagi effect) and rectifier of CPS resonator structure. The dipole antenna with CPW feedline has high peak gain than a general dipole antenna. A ground plane of CPW is used to reflect a dipole as a Yagi antenna. Therefore, the new rectenna receives the RF power better than the one using general dipole. A RF-to-DC conversion efficiency of 61 % using a 1.4 kΩ load resistor is obtained at 5.8 GHz.

Key words: Rectenna, printed dipole antenna, CPS resonator, quasi yagi, wireless power transmission

I. 서 론

오늘날 지능형 교통 시스템(ITS) 및 무선 통신에서

정보시스템의 성능은 날로 발전해 가고 있으며 더불어 이러한 시스템을 동작시키기 위한 전력 공급 기술 역시 진화 하고 있으며 이에 본 논문에서는 차세대

† 본 연구는 교육과학기술부 뇌과학 원천기술개발 사업의 지원으로 수행되었습니다.

* 주저자 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

*** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 박사과정

**** 공저자 : KETI 나노메카트로닉연구센터 책임연구원

***** 공저자 : KETI 나노메카트로닉연구센터장

***** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 교수

† 논문접수일 : 2008년 12월 10일

† 논문심사일 : 2009년 2월 4일

† 게재확정일 : 2009년 2월 5일

무선 전력 공급 기술(wireless power transmission)인 렉테나 설계에 대한 연구 결과를 발표한다.

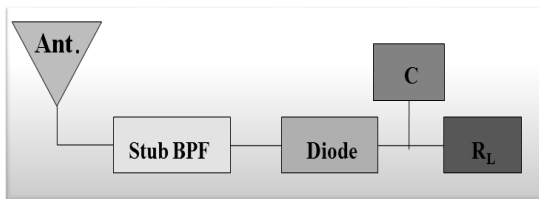
초창기 무선 전력 전송 기술은 차세대 청정에너지 개발 목적의 일환으로 우주 공간에 설치되어진 태양 전지판에 의해 생성된 직류 전압을, 지구로 송전하기 위해 RF 전력으로 변환하여 전송하고 지구에서는 받은 RF 전력을 DC 전압으로 변환을 하는 것으로 1968년 Peter Glaser 박사가 최초로 제안한 이후, 꾸준한 연구가 진행 되어왔다 [1]. 근래에 들어서는 여러 가지 정보 수집을 위한 센서들 중 인체나 수중 등에서의 센싱은 전력 공급이 어려운 환경이므로 이를 해결하기 위해 RF전력을 이용하여 전력을 공급하는 것을 목적으로 연구가 넓혀지면서 앞으로 다가올 USN (Ubiquitous Sensor Network)에 큰 영향을 줄 것으로 예상되어 진다.

본 논문에서는 ISM 대역인 5.8 GHz에서 동작하는 다이폴 안테나를 이용하여 렉테나를 설계한다.

II. 5.8 GHz 다이폴 안테나 설계

<그림 1>은 렉테나의 기본 구조를 나타낸 그림이며, 무선 전력 전송의 효율을 높이기 위하여

지향성과 선형이득이 큰 안테나가 설계되어야 한다. 이는 곧 안테나의 사이즈가 클수록 유리하다는 의미인데, 최근 각종 전자기기가 소형화되는 추세로 미루어본다면 안테나의 크기 소형화 역시 중요한 문제이다. 일반적으로 렉테나용 안테나로는 제작이 쉽고 선형이득이 좋은 패치 안테나와 다이폴 안테나를 사용한다 [2]. 본 논문에서는 소형, 경량화 추세에 맞추어 평판 인쇄형 구조의 다이폴 안테나를 설계하며, CPW 급전 구조를 이용하여 접지 면을 다이폴의

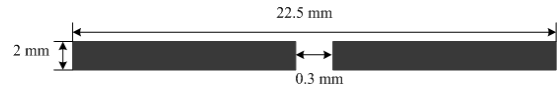


<그림 1> 렉테나의 기본적인 구조

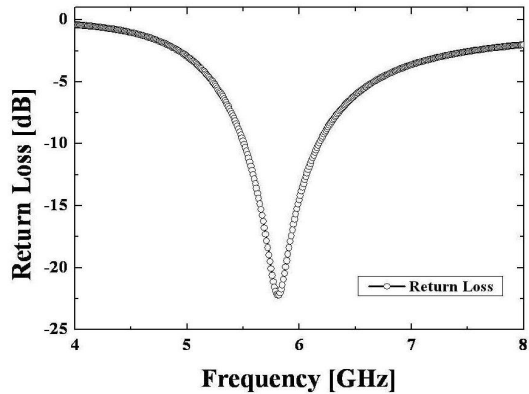
<Fig. 1> General geometry of a rectenna

반사기로 사용하여 야기 우다 안테나와 비슷한 구조로 기존의 다이폴 안테나보다 이득을 높이는 결과를 얻도록 한다.

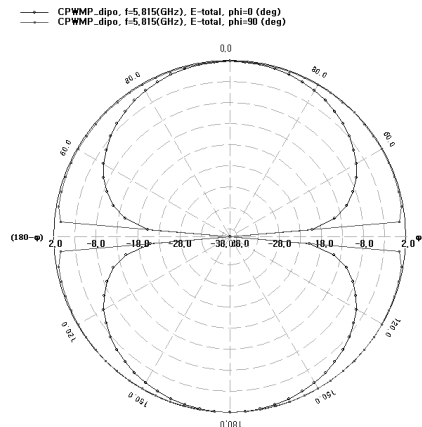
<그림 2(a)>는 5.8 GHz에서 동작하는 기존의 다이폴 안테나의 구조를 나타내었고, 다이폴 안테나의 반사 손실은 <그림 2(b)>의 그래프를 보면 5.8 GHz에서 22 dB를 나타내며 <그림 2(c)>에서 다이폴 안



(a) 일반적인 다이폴 안테나의구조



(b) 다이폴 안테나의 반사 손실



(c) 방사패턴(5.8 GHz)

<그림 2> 일반적인 다이폴 안테나 (a) 구조,

(b) 반사손실, (c) 방사패턴

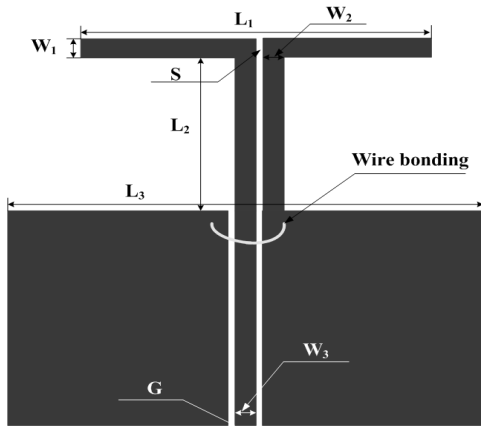
<Fig. 2> General dipole antenna (a) Structure,

(b) Return loss, (c) Radiation pattern

테나의 방사 패턴을 확인할 수 있다.

다음은 본 논문에서 렉테나용 안테나로 선택한 다이폴 안테나이다. 기존의 다이폴 안테나에 급전을 CPW 구조로 하여 접지면을 야기 우다 안테나의 반사기와 같은 역할을 하게 함으로써 안테나의 이득을 높였다 [3].

<그림 3>에서 기존의 다이폴 안테나에 CPW 급전 구조를 추가하여 접지 면이 다이폴 안테나의 반사기 역할을 하게 하여. 이때 다이폴 안테나와 접지면 사이의 거리 L_2 는 약 $\lambda/4$ 이며, 반사기 역할을 하는 접지 면의 길이 L_3 는 다이폴 안테나의 길이 $\lambda/2$ 보다 약간 더 길게 설계하였다. 그리고 와이어 본딩을 통하여 양쪽 접지면의 위상을 동일하게 함으로써 결합

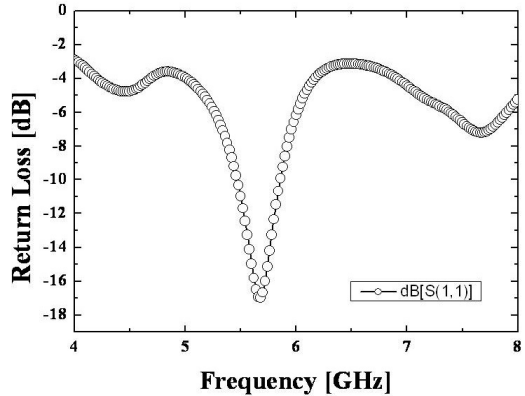


<그림 3> CPW 급전구조를 이용한 다이폴 안테나
 <Fig. 3> Dipole antenna (Quasi Yagi) using CPW feed-line

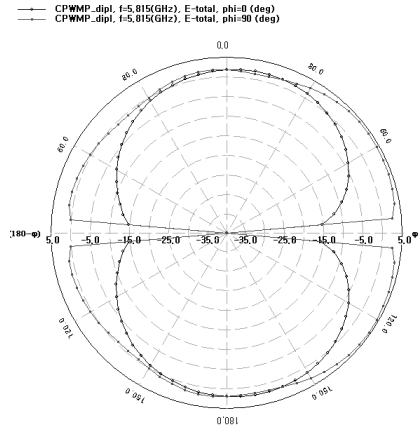
<표 1> 제안된 안테나 설계 사양

<Table 1> Design parameters of proposal antenna

Parameter	Value [mm]
L1	23
L2	18
L3	35
W1	2
W2	2
W3	2
S	0.3
G	0.3



(a) CPW 급전 구조를 갖는 다이폴 안테나의 반사 손실



(b) CPW 급전 구조를 갖는 다이폴 안테나의 방사패턴

<그림 4> CPW 급전 구조를 갖는 다이폴 안테나
 (a) 반사 손실, (b) 방사 패턴

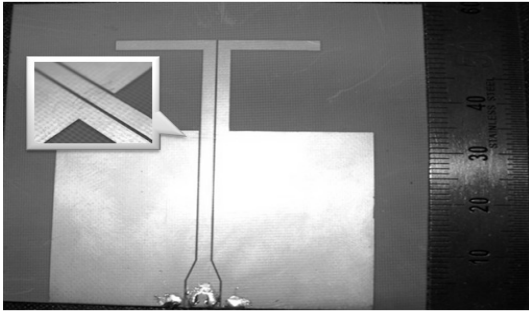
<Fig. 4> The dipole antenna with CPW feed line
 (a) Return loss and, (b) Radiation pattern

슬롯모드로 인한 기생 성분을 억압하였다 [4]. Zeland사의 IE3D 설계 툴을 이용하여 설계하였다.

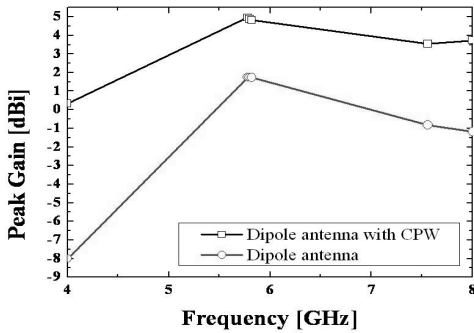
<그림 4(a)>는 CPW 급전 다이폴 안테나의 반사계수를 나타낸 그래프이다. 5.8 GHz에서 15 dB를 나타내며, 방사 패턴은 <그림 4(b)>와 같은 결과를 보였다.

<그림 5>는 CPW 급전선을 갖는 다이폴 안테나를 제작한 사진이며, 부분을 작은 사진으로 확대 하였다.

<그림 6>에서 기존의 다이폴 안테나와 이득을 비교해보면 기존의 다이폴 안테나는 5.8 GHz에서 1.7 dBi의 이득을 얻었으며, CPW 급전 구조를 갖는 다이폴 안테나는 5.8 GHz에서 4.8 dBi의 이득을 얻었다.



<그림 5> CPW 급전을 갖는 다이폴 안테나 사진
<Fig. 5> Photograph of the dipole antenna with CPW feed line

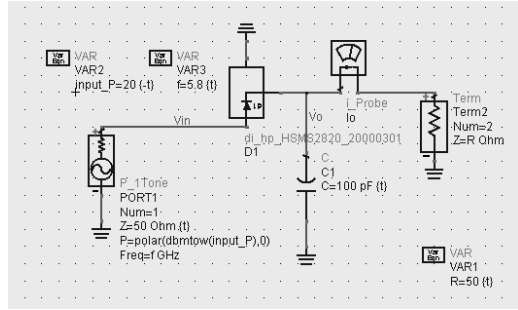


<그림 6> 일반적인 평판 인쇄형 다이폴 안테나와 CPW 급전 구조를 갖는 다이폴 안테나의 최대 이득 비교
<Fig. 6> Comparison of peak gain between a general dipole antenna and the new dipole antenna with CPW feed line

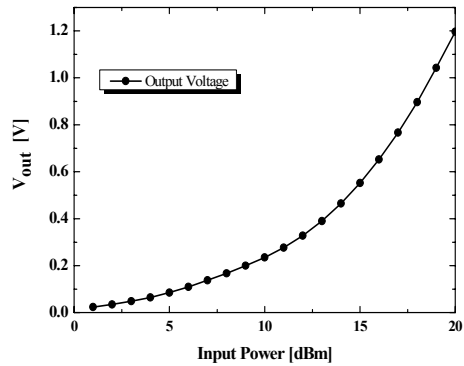
III. CPS 구조의 공진기를 이용한 정류회로 설계

정류회로에서는 RF-to-DC 변환과 비교적 높은 전압에서 사용 가능한 Agilent 사의 HSMS - 2820 쇼트키 다이오드를 사용하였고 ADS (Advanced Design System) 설계 툴을 이용하여 다이오드의 동작 특성을 확인하였다. <그림 7(a)>는 5.8 GHz에서 다이오드의 검파특성을 확인하기 위해 간단한 검파회로 구조이며 <그림 7(b)>는 각각 전달된 입사전력에서 검출된 출력 전압 결과이다.

다음으로 정류회로의 구성은 비선형소자인 다이오



(a) 검파회로 구조



(b) 입사전력에 따른 검파된 출력 전압

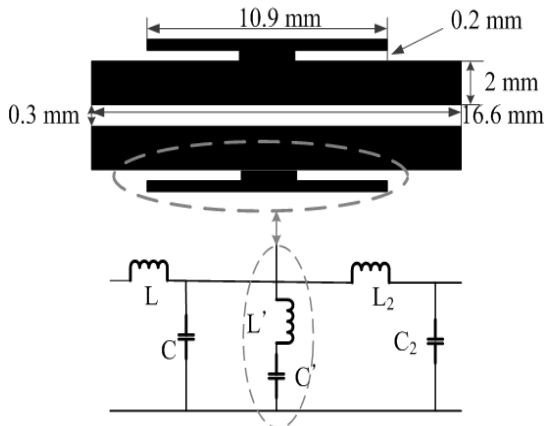
<그림 7> (a) 검파회로의 구조 (b) 출력 전압 결과
<Fig. 7> (a) Structure of the voltage detector circuit and (b) simulation results

드로부터 발생하는 고조파로 인한 손실을 감소하기 위해 고조파 억제 및 안테나와 다이오드 사이의 임피던스 정합 회로와 DC 전력은 부하로 전달시키고 RF 전력은 제거하는 여파기(병렬 커패시터)로 구성하였다.

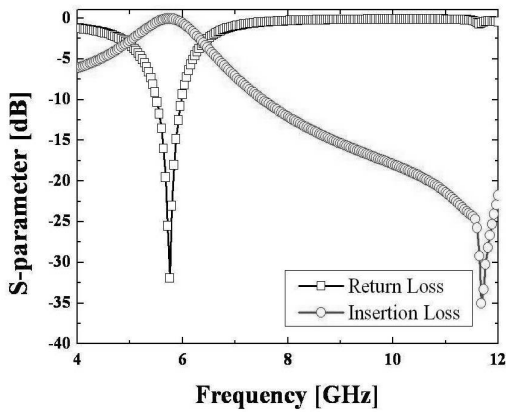
1. 임피던스 정합 회로 설계

다이폴 안테나와 CPW 급전 사이에 $\lambda/4$ 길이의 CPS 구조에 개방형 스텐브 공진기를 이용하여 5.8 GHz의 중심 주파수는 통과되고, 2차 고조파 성분인 11.6 GHz에서는 억압이 되는 임피던스 정합회로를 설계하였다 [6].

<그림 8(a)>는 정합 회로의 구조를 나타낸 것이며, <그림 8(b)>는 정합 회로의 S-parameter 결과 그래프로 5.8 GHz에서는 삽입손실이 0.1 dB이고, 반사손실은 27 dB로 통과시키고, 2차 고조파인 11.6 GHz는 억제된 결과를 얻었다.



(a) 임피던스 정합회로의 구조



(b) 임피던스 정합 회로의 S-parameter 결과

<그림 8> (a) 임피던스 정합회로의 구조, (b) S-parameter 시뮬레이션 결과

<Fig. 8> (a) Structure of the impedance matching circuit and (b) S-parameters' simulation results

2. 렉테나 모의 실험 결과

혼 안테나의 이득은 5.8 GHz에서 15.45 dBi 이고 1m 거리에서 송신 하였을 때 본 논문에 제안한 안테나에 입사되는 전력은 다음 식으로 구할 수 있다 [7].

$$P_r = SA_{er} \quad (1)$$

$$S = \frac{P_t}{4\pi R^2} G_t \quad (2)$$

$$G_r = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{er} \Rightarrow A_{er} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_r \quad (3)$$

$$P_r = P_t \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2} G_t G_r \quad (4)$$

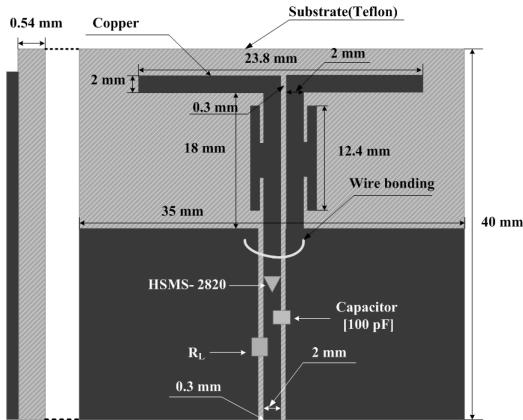
위 식은 정합된 조건일 때가 조건이고, P_r 은 수신 전력, S 는 단위 면적당 전력, G_r 은 수신 안테나의 이득, A_{er} 은 유효 면적을 각각 나타낸다. 송신 안테나의 입사전력이 40 dBm(10 W) 일 때, 위 식에 대입하여 수신되는 전력을 계산하면 $P_r = 20$ dBm 수신된다. 이는 같은 조건에서 기존의 다이폴 안테나로 수신했을 경우를 계산했을 때 $P_r = 16.9$ dBm 보다 높은 것으로 같은 송신 전력 시 본문에서 제안한 안테나가 더 많은 전력 수신이 가능하다. 이에 정류 회로단에 전달되는 전력은 0 dBm에서 20 dBm 이므로 이를 위하여 설계한 정합 회로와 HSMS-2820 쇼트키 다이오드의 입력 단에 정합시키고 출력 단에는 RF 바이패스를 위한 커패시터(100 pF)를 병렬로 연결한 후 부하에 걸리는 전압을 측정하여 효율을 구하였다. 효율은 다음 식으로 구할 수 있다 [8].

$$\eta = \frac{V_{dc}^2}{P_{in}} * 100 [\%] \quad (5)$$

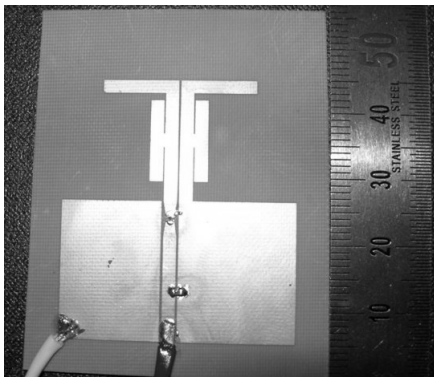
<그림 9(a)>는 최적화 과정을 통해 설계한 렉테나의 구조이며, CPW 구조로 밑면에 접지 면이 없으며 CPW의 양 접지면의 전위차를 맞춰 주기 위하여 와이어 본딩 처리를 하였다. <그림 9(b)>는 유전율 2.54에 유전체 두께가 0.54mm인 Teflon 기판에 제작한 사진이며 제작한 렉테나의 크기는 $40 \times 35\text{mm}^2$ 이다. 부하저항은 측정 시 여러 저항을 사용하기 위하여 구리선을 이용하여 의도적으로 집적화 하지 않았다.

<그림 10(a)>는 0~20 dBm의 입사전력이 정류회로단에 전달되었을 때 각각의 부하 저항에 전달되는 DC V_{out} 를 부하저항 및 입사전력에 따라 그래프로 나타낸 결과이다.

<그림 10(b)>에서 보는 바와 같이 렉테나 설계 결과 정류 회로 단으로 20 dBm의 전력이 전달되었을 때, 그리고 부하저항이 1.4kΩ 일 때 식 (5)을 이용하



(a) 제안된 렉테나의 구조



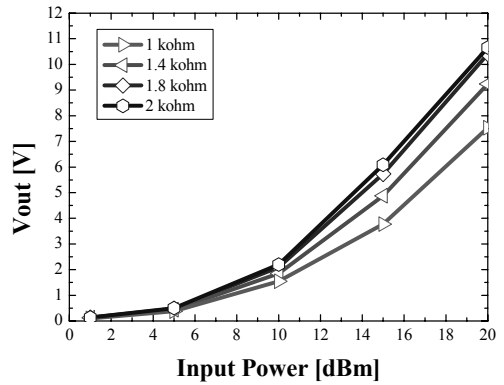
(b) 제안된 렉테나의 사진

<그림 9> 제안한 렉테나의 구조 및 사진
<Fig. 9> Structure and photograph of the proposed rectenna

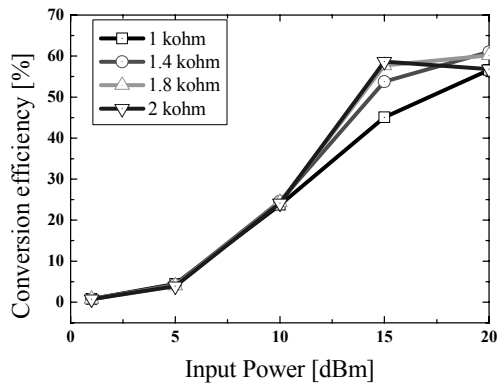
여 효율을 구하였고 가장 높은 61%의 RF-to-DC Power 변환 효율을 보여 주었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 CPW 급전 구조의 다이폴 안테나와 CPS 공진기를 이용하여 5.8 GHz 대역에서 무선 전력 전송이 가능한 렉테나를 설계하였다. CPW 급전 구조의 다이폴 안테나는 접지면이 다이폴 안테나의 반사기로서 작용하여 기존의 일반적인 평판 인쇄형 다이폴 안테나의 이득보다 높은 4.8 dBi의 이득을 얻었다. 이는 송신 측에서 전력을 보냈을 시 일반



(a) 정류 회로 단계 전달되는 전력에 대한 DC Vout 결과 그래프



(b) 정류 회로 단계 전달되는 전력에 대한 변환 효율

<그림 10> 정류 회로 단계 전달되는 전력에 대한 (a) 출력 전압과, (b) 변환 효율 결과

<Fig. 10> Output power of the rectifier

(a) DC Vout vs. input power

(b) RF-to-DC conversion efficiency vs. input power

적인 다이폴 안테나보다 더 큰 전력을 얻을 수가 있음을 의미한다. 그 결과 부하저항이 1.4kΩ에서 9.25 V의 DC 전압을 얻었으며, 이는 61%의 RF-to-DC 전력 최대 변환 효율을 갖게 된다. 변환효율은 정류회로 단계 정합 회로를 개선시킴으로써 더 높일 수 있으며, 렉테나에 사용된 안테나에 도파기 부분을 추가한다면, 3소자 야기 우다 안테나로서 조금 더 높은 이득을 얻을 수 있다. 앞으로 이중 대역 혹은 삼중 대역 안테나를 이용하여 다중 대역에서 동작하는 렉테나를 설계하여 다양한 응용시스템의 전력 공급 장

치로 사용될 것을 기대해본다.

참 고 문 헌

- [1] W. C. Brown, "The history of power transmission by radio waves," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 32, no. 9, pp. 1230-1242, Sept. 1984.
- [2] 박종철, 이영철, "마이크로파 Rectenna의 설계와 DC 변환 효율 분석에 관한 연구," *대한전자공학회 논문지*, 제5권, 제2호, pp. 88-93, 1996. 2.
- [3] L. Zhu and K. Wu, "Model-based characterization of CPS-fed printed dipole for innovative design of uniplanar integrated antenna," *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol. 9, no. 9, pp. 342-344, Sept. 1999.
- [4] C. Y. Lee, "The effects of the coupled slotline mode and air-bridges on CPW and NLC waveguide discontinuities," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 43, pp. 2759-2765, Dec. 1995.
- [5] Y. H. Suh and K. Chang, "Coplanar stripline resonators modeling and applications to filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, no. 5, pp. 1289 - 1296, May 2002.
- [6] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 3rd Ed., Wiley Interscience, 2005.
- [7] 오경민, 이현욱, 남 희, 윤기철, 홍태의, 이대성, 황학인, 이종철, "스터브를 이용한 광대역 렉테나 설계," *한국ITS학회 논문지*, 제7권, 제4호, pp.86-96, 2008. 8.
- [8] Y. J. Ren, M. F. Farooqui, and K. Chang, "A compact dual-frequency rectifying antenna with high-order harmonic-rejection," *IEEE. Trans. Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 7, pp.2110-2113, July 2007.

저자소개



오 경 민 (Oh, Kyoung-Min)

2007년 2월 : 서경대학교 전자통신공학과 (공학사)

2007년 2월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정



이 현 옥 (Lee, Hyun-Wook)

2007년 2월 : 광운대학교 전파공학과 (공학사)

2007년 2월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정



남 희 (Nam, Hee)

2003년 2월 : 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2006년 8월 : 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
 2007년 2월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정



홍 태 의 (Hong, Tae-Ui)

1985년 2월 : 인천대학교 전자공학과 (공학사)
 1987년 8월 : 인천대학교 전자공학과 (공학석사)
 1992년 2월 ~ 2004년 2월 : 전자부품연구원 책임연구원
 2004년 3월 ~ 2005년 6월 : 경운대학교 멀티미디어공학과 객원교수
 2004년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정 수료
 2005년 7월 ~ 현재 : 요업기술원 책임연구원



이 대 성 (Lee, Dae-Sung)

1990년 2월 : KAIST 전자공학과 (공학사)
 2000년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
 1990년 3월 ~ 1996년 8월 : 대성전기 전장개발실 선임연구원
 1996년 3월 ~ 현재 : 전자부품연구원 책임연구원



황 학 인 (Hwang, Hak-In)

1982년 2월 : 한양대학교 무기재료공학과 (공학사)
 1984년 2월 : 한양대학교 무기재료공학과 (공학석사)
 1998년 2월 : 한양대학교 광전자재료공학과 (공학박사)
 1984년 1월 ~ 1993년 2월 : 삼성전자 정보통신기술연구소 OA부품개발2실장
 1993년 2월 ~ 1998년 9월 : 전자부품연구원 선임연구원/센서연구실장
 1998년 10월 ~ 2000년 6월 : 스위스연방공대(EPFL) S. Researcher
 2000년 8월 ~ 현재 : 전자부품연구원 수석연구원/ 나노센서연구센터장



이 중 철 (Lee, Jong-Chul)

1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
 1989년 12월 : Arizona State Univ. EE Dept. (공학석사)
 1994년 5월 : Texas A&M Univ. EE Dept. (공학박사)
 1994년 6월 ~ 1996년 2월 : 현대전자 광소자 개발실 선임연구원
 1996년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 교수