

## 스터브 필터를 이용한 광대역 렉테나 설계

### A Broad-band Rectenna Using Stub Filter

오경민*	이현욱**	남희***	윤기철***	홍태의***
(Kyoung-Min Oh)	(Hyun-Wook Lee)	(Hee Nam)	(Ki-Cheol Yoon)	(Tae-ui Hong)
	이대성****	황학인*****	이종철*****	
	(Dae-Sung Lee)	(Hak-In Hwang)	(Jong-Chul Lee)	

#### 요약

본 논문에서는 광대역 평면 모노폴 안테나와 광대역 대역통과 스텐브 여파기를 이용하여 2.45 GHz에서 무선전력 전송이 가능한 광대역 렉테나를 설계 및 제작하였다. 기존의 일반적인 평면형 안테나의 크기를 표면전류분포를 이용하여 방사체와 접지면의 크기를 줄일 수 있었고, 광대역 효과를 얻기 위해 확장된 접지면에 2차 고조파가 제거된 스텐브 여파기를 사용한 정류회로단을 효율적으로 집적화 시킬 수 있었다. 그 결과 본 논문에서 제안한 렉테나는 부하저항이 270 Ohm에서 80%의 RF-to-DC Power 최대 변환 효율을 보이며, 1.8 ~ 2.8 GHz의 넓은 대역에서 RF-to-DC Power 변환효율이 50% 이상을 유지한다.

#### Abstract

In this paper, a new broadband rectenna is presented for the wireless transmission of microwave power. The new broadband rectenna element is based on a new printed monopole broadband antenna with size reduction using surface current distribution and a new broadband stub bandpass filter with suppression of second harmonics. A RF-to-DC conversion efficiency of 80 % using a 270 ohm load resistor is obtain at 2.45 GHz. Also, a conversion efficiency of above 50 % is maintained from 1.8 GHz to 2.8 GHz.

**Key words:** Broadband rectenna, printed monopole antenna, stub BPF, rectifier, wireless power transmission

† 본 연구는 2007년도 후반기 광운대학교 연구년 수행 결과 및 교과학부 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 7월 21일

† 논문심사일 : 2008년 7월 23일

† 게재확정일 : 2008년 8월 8일

## 1. 서론

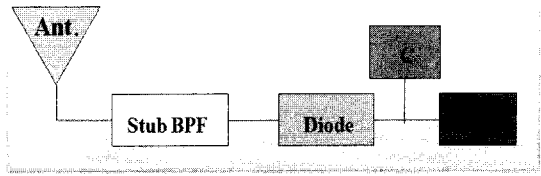
지능형 교통 시스템(ITS) 및 무선통신에서 시스템의 성능은 날로 발전해 가고 있으며, 더불어 이러한 시스템을 동작시키기 위한 전력 공급기술 역시 진화 하고 있으며 이에 본 논문에서는 차세대 무선 전력 공급기술인 렉테나를 소개한다.

초창기 무선전력 전송기술은 차세대 청정에너지 개발 목적의 일환으로, 우주 공간에 설치되어진 태양 전지판에 의해 생성된 직류 전압을 지구로 송전하기 위해 RF power로 변환하여 전송하고, 지구에서는 받은 RF power를 DC 전압으로 변환을 하는 것으로 1968년 Peter Glaser 박사가 최초로 제안한 이후, 꾸준한 연구가 진행 되어왔다 [1]. 근래에 들어서는 여러가지 정보 수집을 위한 센서들 중 인체나 수중 등에서의 센싱은 전력 공급이 어려운 환경이므로 이를 해결하기 위해 RF power를 이용하여 전력을 공급하는 것을 목적으로 연구가 넓혀지면서 앞으로 다가올 USN (Ubiquitous Sensor Network)에 큰 영향을 줄 것으로 예상되어 진다. 무선 렉테나에 대해서 간단히 언급하면, 렉테나(Rectenna)란 정류회로(rectifier)와 안테나(antenna)의 합성어로 크게 두 부분으로 나뉜다. 안테나에 입사된 RF Power를 정류회로를 통해 DC Power로 변환하는 것이 목적이며, 그러므로 변환효율(conversion efficiency)이 중요한 파라미터가 되고, 이는 안테나와 정류회로 사이에 정합회로를 추가 시키므로 임피던스 정합을 통해 효율을 높일 수 있다.

본 논문에서는 광대역 안테나 및 스텔브 필터를 이용하여 2.45 GHz을 중심으로 넓은 대역에서 전력을 전송받을 수 있는 소형 렉테나 설계를 목적으로 한다.

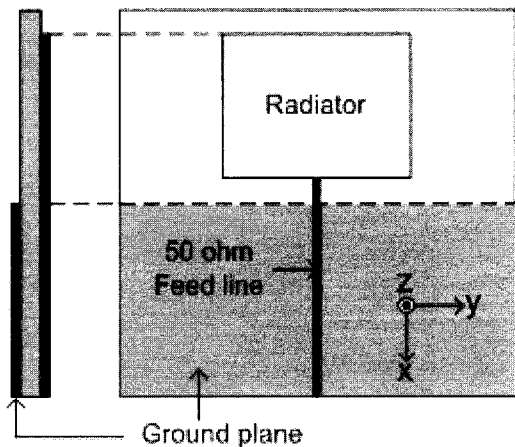
## II. 광대역 평면형 모노폴 안테나 설계 및 제작

<그림 1>은 렉테나의 기본 구조를 나타낸 그림이며, RF-DC 변환효율을 높이기 위해서는 지향성과 선형이득이 큰 안테나가 설계되어야 한다. 이는



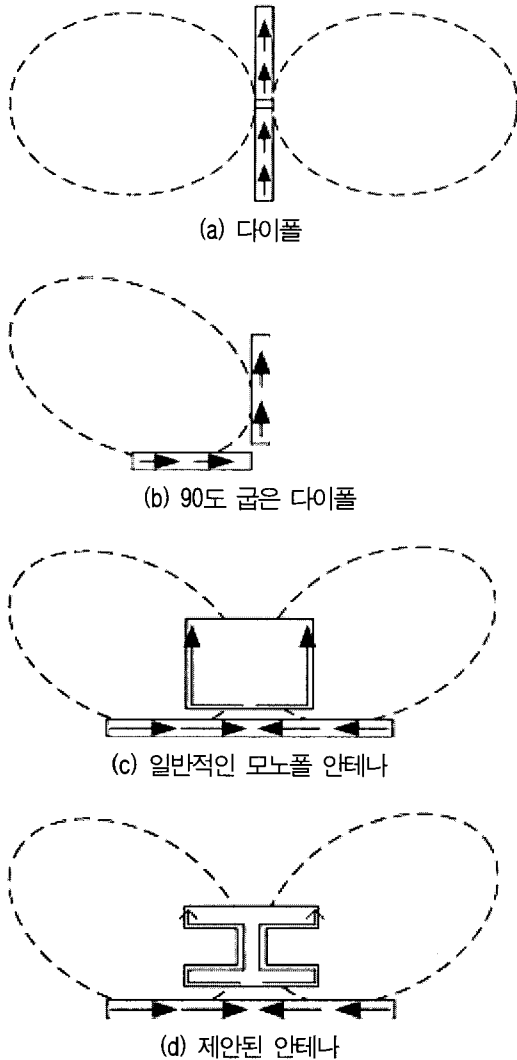
<그림 1> 렉테나의 기본적인 구조  
<Fig. 1> General geometry of a rectenna

곧 안테나의 사이즈가 클수록 유리하다는 뜻이지만, 최근 각종 전자기기가 소형화되는 추세이므로 정류안테나의 소형화 역시 중요한 문제이다. 제작이 쉽고 저렴하며 선형이득이 큰 마이크로스트립 패치안테나가 정류안테나로써 주로 이용되고 있으나 [2], 대역폭이 좁고 기판두께가 어느 정도 보장되어야 하며, 정류회로와 연결 시 추가적인 공간이 필요하다는 문제가 있다. 안테나 크기의 감소를 위해 적층구조를 이용한다 하더라도 두께가 두꺼워지는 단점이 생긴다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점들을 보완하고자 정류안테나로써 평면형 모노폴 안테나를 제안한다. 이러한 안테나는, 마이크로스트립 안테나보다 선형이득은 작지만 접지면 크기를 늘려 광대역 특성을 얻을 수 있고 [3], 증가된 접지면에 정류회로를 구현할 수 있기 때문에 렉테나 면적 활용 면에서 매우 효율적이다.



<그림 2> 일반적인 평면형 모노폴 안테나의 구조  
<Fig. 2> Geometry of a general monopole antenna

<그림 2>에 일반적인 평면형 모노폴 안테나를 나타내었다. 평면형 모노폴 안테나는 표면전류분포가 방사패턴에 큰 영향을 미치고, 이는 다이폴 안테나의 경우와 매우 유사하다 [1]. <그림 3>에는 기본 형태의 다이폴, 90도 굽은 다이폴, 일반적인 모노폴 안테나와 제안된 광대역 안테나의 표면전류와 방사패턴을 나타내었다 [3].

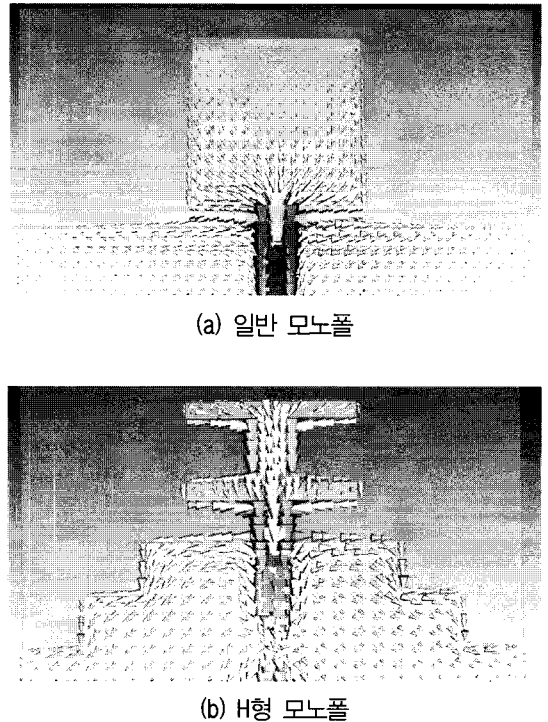


<그림 3> 안테나의 표면전류와 방사패턴

<Fig. 3> Surface currents and radiation patterns of antennas (a) Dipole and (b) Bended dipole with 90 degree, (c) General printed monopole antenna, (d) New printed monopole antenna

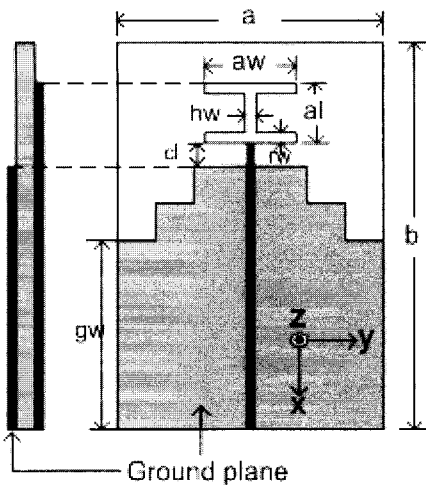
그림에서 알 수 있듯이 방사체뿐만 아니라 접지면의 길이와 너비는 다이폴의 굽기와 길이에 해당한다. 여기서 <그림 3-(c)와 (d)>에 주목할 필요가 있다. 전류는 도체판 끝에서 경계의 직각방향으로 흐르지 않는다는 것이 조건이지만, 안테나가 선형상이 아니고 판 형상으로 되면 <그림 3-(c)>와 같이 가장자리에 표면전류가 흐르게 된다. 마이크로 스트립패치의 경우, 방사체와 접지면사이의 유전체에 에너지가 저장되는 공진현상에 의해 표면전류를 한 방향으로 강제할 수 있다는 차이점이 있다 [4].

이와 같은 특성을 바탕으로 접지면 너비(다이폴 한쪽 arm의 길이에 해당)와 방사체 가장자리에 흐르는 전류 경로의 길이를 대략  $\lambda/2$  로 유지시켜 준다면, 방사체와 접지면의 형태를 변화시켜서 크기의 감소 효과를 볼 수 있다. <그림 4>에는 표면전류 분포에 대한 시뮬레이션 결과를 표시하였다.



<그림 4> 모노폴 안테나의 표면전류분포

<Fig. 4> Surface current distribution of a printed monopole antenna (a) General printed monopole and (b) H-shaped printed monopole



<그림 5> 제안한 H 형태의 평면형 모노폴 안테나의 구조

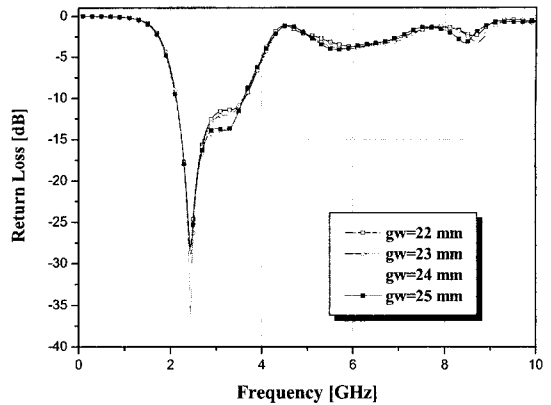
<Fig. 5> Geometry of the proposed H-shaped printed monopole antenna.

<표 1> 제안된 안테나 파라미터

<Table 1> Parameters of the proposed antenna

Parameters	Value(mm)
a	36
b	50
aw	13.6
al	9
cl	3
hw	16
gw	24
rw	1.5

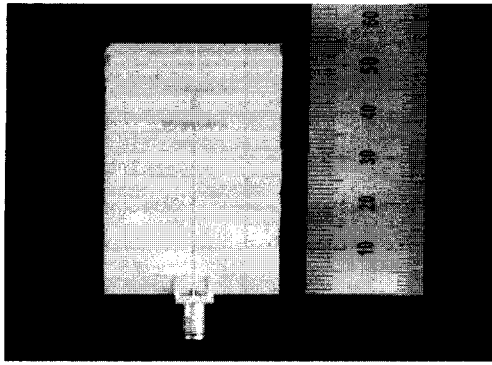
따라서 본 논문에서는 <그림 2>의 방사체를 <그림 5>와 같은 누운 H 자 형태로 변화시키고 접지면은 테이프링을 하여 전체적인 사이즈감소 효과를 얻을 수 있었다. cl 과 hw 는 50 Ω feedline 과의 임피던스 정합에 크게 관여하고, rw는 표면전류가 가장자리로 흐를 정도로 짧게 하였다. 최적화 과정을 통하여 나타난 안테나파라미터를 <표 1>에 나타내었다. 앞서 평면형 모노폴의 표면전류분포가 방사패턴에 미치는 양상이 다이폴과 유사함을 언급했듯이 접지면의 길이와 너비는 다이폴의 굵기와 길이에



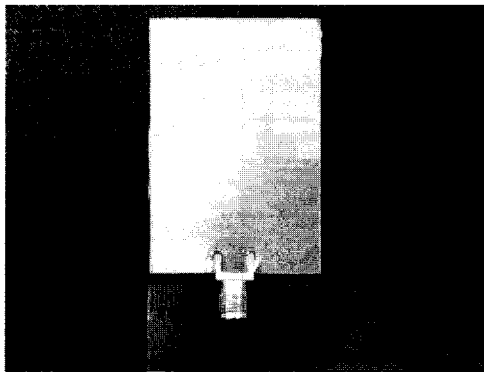
<그림 6> 접지면 너비(gw) 에 따른 안테나의 반사 손실  
<Fig. 6> Return loss of the antenna as a function of width of the ground plane(gw)

해당한다. 따라서 접지면의 길이가 늘어나는 것은 비대칭적인 다이폴의 굵기가 두꺼워지는 것으로 생각 할 수 있으며, 이는 일반적인 다이폴의 굵기가 두꺼워지는 것과 동일한 효과가 나타난다 [3]. 다이폴의 굵기가 두꺼워지면 대역폭이 증가하게 되는데, 평면형 모노폴 안테나에서는 등가적으로 다이폴의 두께에 해당하는 그라운드의 길이가 늘어나면 안테나의 임피던스 대역폭이 증가하는 현상을 시뮬레이션을 통하여 관찰할 수 있으며 <그림 5>에 나타내었다. 접지면의 길이가 증가함에 따라 대역폭이 증가하고, 어느 정도 길이 이상이 되면 변화가 거의 없음을 확인 할 수 있었다.

안테나의 실제 제작에 앞서 3차원 전자파 해석과 그에 따른 S-파라미터를 구하기 위해서 HFSS (High Frequency Structure Simulator)V.11 을 사용하였다. 이를 통하여 식으로는 예측하기 어려운 최적의 임피던스 정합위치를 확인하였고, 방사체와 접지면 가장자리에 흐르는 전류의 경로길이를 대략  $\lambda/2$  로 하여 목표 공진 주파수인 2.45 GHz 를 구현 할 수 있었다. 그리고, cl = 3 mm, hw = 1.6 mm 일 때 임피던스 정합이 이루어지는 것을 확인 할 수 있었다. 제안한 안테나의 크기는 기판의 유전율과 두께의해 크게 변하지 않지만 정류회로의 필터 사이즈감소를 위하여 비유전율 10.2 인 RT-duroid 기판을 사용하였다.



(a) 앞면

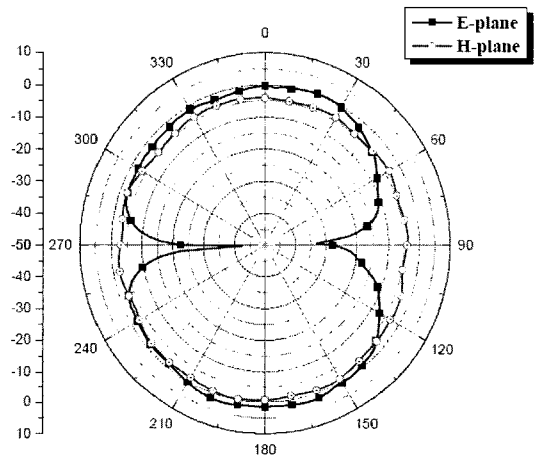


(b) 뒷면

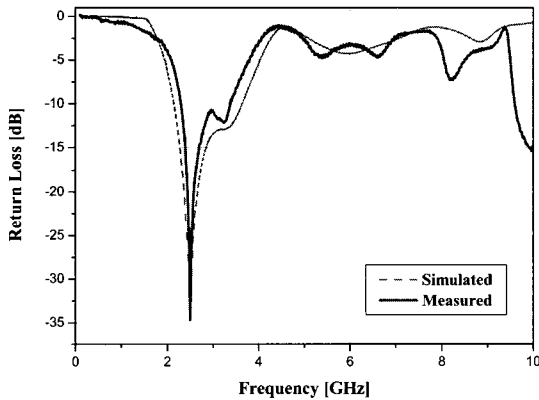
<그림 7> 제작된 안테나

<Fig. 7> Photographs of the antenna (a) front and (b) back(Ground) of the antenna

<그림 7>는 제작된 안테나의 실제 모습이며, <그림 8>은 최적화된 안테나의 반사손실을 시뮬레이션과 측정치를 비교하여 나타낸 그래프이다. 계산 결과, 입력 임피던스대역은 반사손실 -10 dB 이하에서 2.13~3.66 GHz (62.4 %) 대역이었으며, 측정 결과는 2.26~3.33 GHz (43.7 %) 대역을 나타내었다. 측정된 결과에서 공진 주파수는 계산된 결과와 거의 유사하지만 대역폭에서 많은 차이를 보였다. 이는 측정 시 방사체에 흐르는 전류의 방향이 주파수에 따라 급격히 변화했기 때문으로 판단된다 [3].

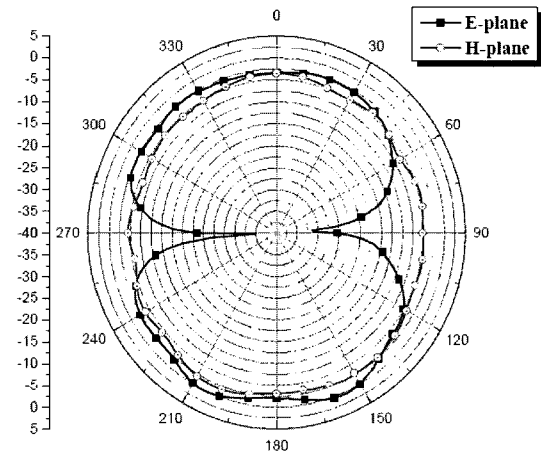


(a)  $f=2.45$  GHz

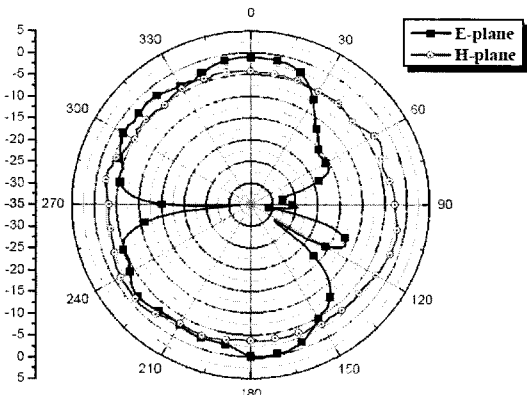


<그림 8> 제안한 안테나의 측정 및 시뮬레이션 된 반사 손실

<Fig. 8> Measured and simulated return loss for the proposed antenna



(b)  $f=2.26$  GHz



(c)  $f=3.33$  GHz

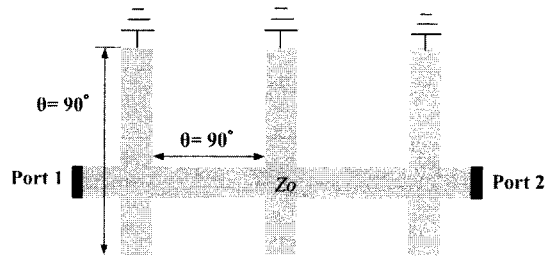
<그림 9> 측정된 방사 패턴  
<Fig. 9> Measured radiation patterns

<그림 9>는 중심 주파수인 2.45 GHz, 43.7 % 대역의 양 끝인 2.26 GHz, 3.33 GHz의 측정 방사패턴을 나타낸 그림이다. 일반적인 모노폴 안테나의 경우 H-plane 특성이 전방향성이어야 한다. 본 논문에서 설계한 모노폴 안테나의 H-plane 특성은 대체로 전 방향성 패턴을 보여 어느 위치에서라도 송수신이 가능하다는 것을 알 수 있다. 또한, 최대이득은 2.45 GHz에서 1.9 dBi, 양 끝 대역 주파수인 2.26 GHz에서 0.55 dBi, 3.33 GHz에서 0.37 dBi 로 확인되어 대역폭 내의 주파수에 있어서 대체로 일정한 패턴을 보였다.

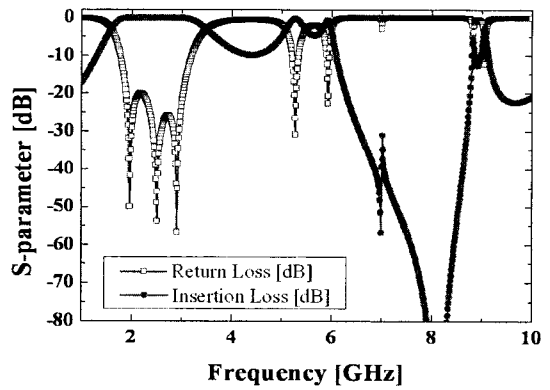
### III. 스텐브 필터를 이용한 정류회로 설계

#### 1. 광대역 대역통과 여파기 설계

정류회로의 구성은 RF-to-DC 변환을 위한 Agilent 사의 HSMS-2820 쇼트키 다이오드와 비선형 소자인 다이오드로부터 발생하는 고조파로 인한 손실을 감소하기 위해 고조파 억제 및 넓은 주파수 대역을 통과 시키는 대역통과 스텐브 여파기와 DC power를 부하로 전달시키고 RF power는 제거하는 여파기(병렬 캐패시터)로 구성하였다.



(a) Tapped line을 이용한 단락형 광대역 대역통과 스텐브 여파기



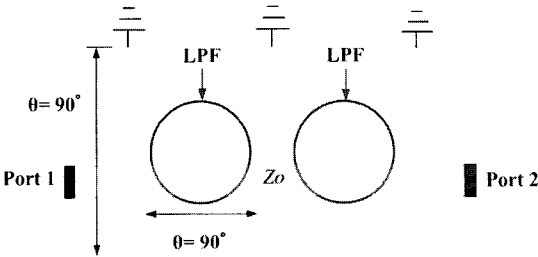
(b) 측정결과 그래프

<그림 10> Tapped line을 이용한 단락형 광대역 대역통과 스텐브 여파기 및 측정결과 그래프  
<Fig. 10> (a) Broad band-pass short stub filter using tapped line and (b) Measurement results

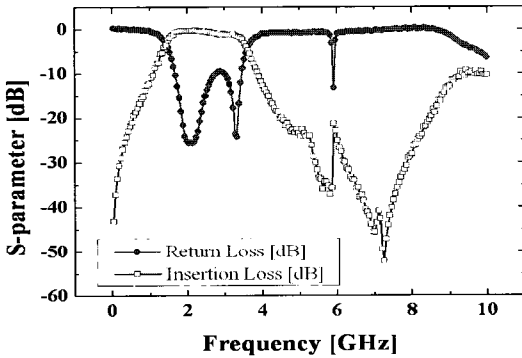
본 논문에서 사용한 대역통과 스텐브 여파기는 기존의 스텐브 여파기와는 다르게 광대역뿐만 아니라 협대역도 설계가 가능하여 다양한 목적으로 사용할 수 있는 Tapped line을 이용한 스텐브 여파기를 IE3D를 사용하여 설계하였다 [5].

<그림 10 (a)> 의 광대역 대역통과 여파기의 스텐브와 전송선로 길이는 모두  $\lambda/4$  이며 중심 주파수 2.45 GHz에서 삽입손실 0.1 dB, 반사손실은 20 dB를 나타내며, 대역폭은 74 % 로 약 1.8 GHz에서 3.3 GHz의 통과대역이 측정되었다. 그러나 위 <그림 10 (b)>를 보면 5.5 GHz에서 고조파 성분이 생긴 것을 알 수 있다. 이 고조파는 RF-to-DC 변환효율을 감소시키므로 제거를 위해 각  $\lambda/4$  전송선로 길이에 저대역 통과 여파기(LPF)를 추가 시켰다 [6].

<그림 11 (a)>는 기존의 광대역 대역통과 여파기에 저대역 통과 여파기(LPF)를 추가하여, 그림 10의 (b)와 같이 2.45 GHz에서 삽입손실 0.4 dB, 반사손실 10 dB, 대역폭은 72 % 으로 광대역 특성을 보이며, 고조파가 억제된 결과를 얻었다.

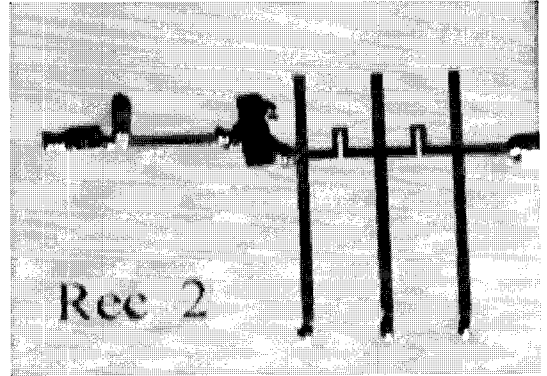
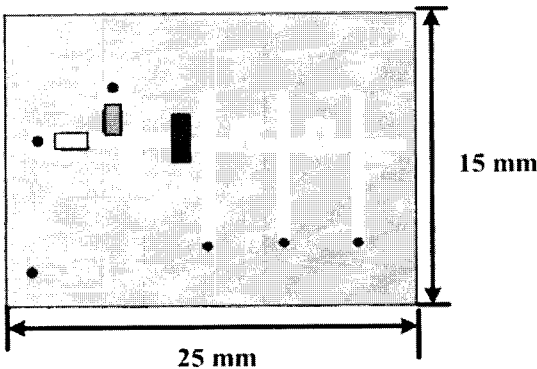


(a) 저대역 통과 여파기가 추가된 광대역 대역통과 여파기



(b) 측정 결과

<그림 11> 제안한 광대역 대역통과 여파기 및 측정 결과  
<Fig. 11> (a) Proposed broadband pass filter and (b) measurement result



<그림 12> 정류 회로 제작 사진 (Size = 25 x 15 mm)  
<Fig. 12> Photograph of the rectifier (Size = 25 x 15 mm)

## 2. 렉테나 측정 결과

혼 안테나의 이득은 2.45 GHz에서 15.45 dBi 이고 1m 거리에서 송신 하였을 때 본 논문에서 제안한 안테나에 입사되는 power는 다음 식으로 구할 수 있다 [4].

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

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

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

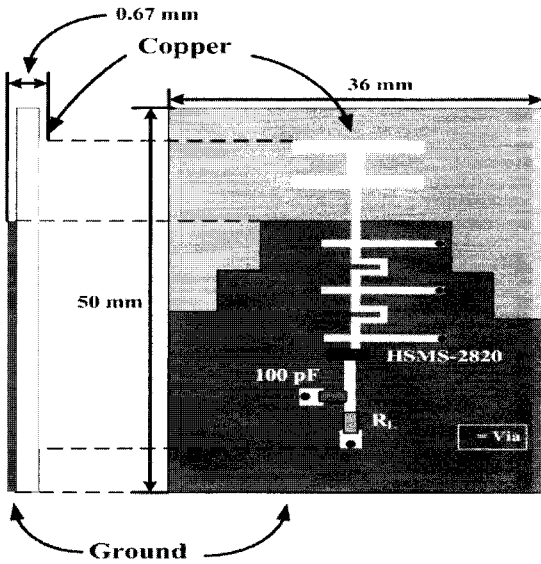
$$P_r = P_t \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2} G_t G_r \quad (4)$$

위 식은 정합상태일 때가 조건이고  $P_r$  은 수신파워,  $S$  는 단위 면적당 파워,  $G_r$  은 수신 안테나의 이득,  $A_{er}$ 은 유효면적을 각각 나타낸다. 송신 안테나에 입사되는 전력이 40 dBm (10 W) 일 때, 위 식에 대입하여 수신되는 파워를 계산하면  $P_r = 17.2$  dBm 이고 단위 면적당으로 환산하면  $2.83 \text{ mW/cm}^2$  이 수신된다. 따라서 정류회로단에 전달되는 파워를 0 dBm에서 18 dBm 사이로 예상할 수 있으므로 이를 위에서 설계한 광대역 대역 통과 여파기와 HSMS-2820 쇼트키 다이오드의 입력단을 임피던스 정합시키고, 출력단에는 RF 바이패스를 위한 캐패시터(100 pF)를 병렬로 연결한 후 부하에 걸리는 전

압을 측정하여 효율을 구하였다. 효율은 다음 식(5)를 통해 구할 수 있다.

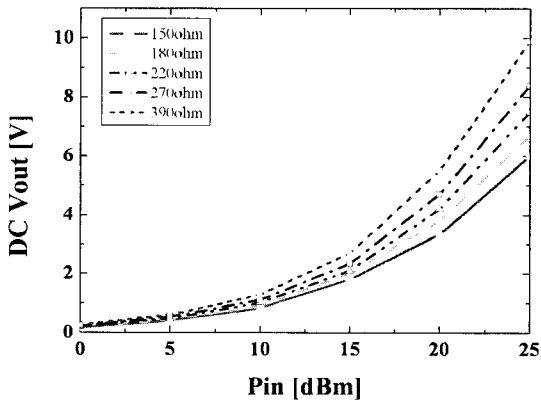
$$\eta = \frac{V_{dc}^2}{R_L P_{in}} * 100 [\%] \quad (5)$$

제작은 비유전율 10.2, 두께 0.635 mm의 RT-Duroid 기판을 사용하였다.

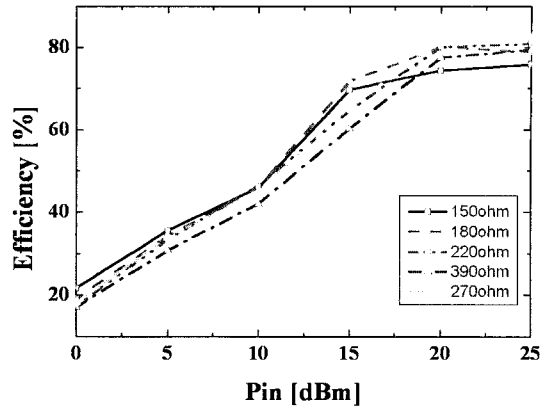


<그림 13> 제안한 렉테나 구조

<Fig. 13> Configuration of the proposed rectenna



(a) 정류회로단에 전달되는 전력에 대한 DC Vout 측정 결과



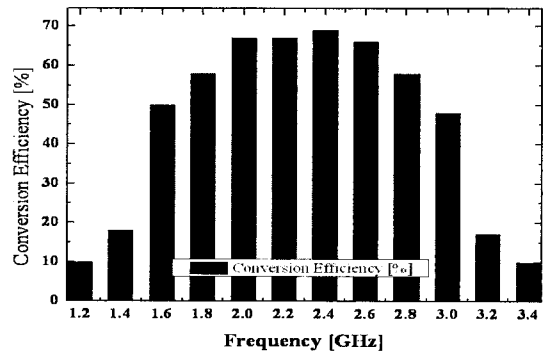
(b) 정류회로단에 전달되는 전력에 대한 변환효율

<그림 14> 정류회로단에 전달되는 전력에 대한 Vout과 환효율 측정결과

<Fig. 14> Measured DC Vout versus input power and RF-to-DC conversion efficiency versus input power (a) Measured DC Vout and (b) RF-to-DC conversion efficiency

<그림 14>에서 보는 바와 같이 렉테나 측정결과 정류회로단으로 20 dBm의 전력이 전달되었을 때 부하저항이 270 Ω에서 가장 높은 80 % 이상의 RF-to-DC Power 변환 효율을 보여 주었다.

다음은 광대역에서 동작하는 렉테나를 측정하기 위해서 정류회로단으로 부하가 150 Ω일 때, 15 dBm의 일정한 RF power가 1.2 ~ 3.4 GHz까지 각 주파수마다 전달된다고 하였을 때의 효율을 측정하였다.



<그림 15> 광대역에서의 렉테나 효율 측정

<Fig. 15> Measured RF-to-DC conversion efficiency at broad band (1.2 ~ 3.4 GHz)



<그림 15> 는 광대역에서 동작하는 렉테나의 효율을 나타내어주는 측정결과이다. 주파수대역이 1.8 ~ 2.8 GHz에서 RF-to-DC 변환효율이 모두 50 % 이상임을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 광대역 평면 모노폴 안테나와 광대역 대역통과 스텔브 여파기를 이용하여 넓은 대역에서 무선전력 전송이 가능한 렉테나를 설계 및 제작하였다. 그 결과 부하저항이 270  $\Omega$ 에서 80 mW의 DC출력을 얻었으며 이는 80 %의 RF-to-DC Power 최대 변환효율을 갖는다. 그리고 1.8 ~ 2.8 GHz에서 RF-to-DC Power 변환효율이 50% 이상을 유지하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 앞으로 각종 무선센서를 이용한 응용시스템에서 보다 원활한 전력을 공급할 수 있으리라 기대한다. 이 후에는 폴리이미드 같은 얇은 소재에 안테나와 정류회로단을 설계하여 소형화된 렉테나 및 높은 변환효율을 갖는 렉테나 설계방법에 대한 연구가 이루어져 전력 공급의 새로운 계기가 될 것을 기대해본다.

#### 참고문헌

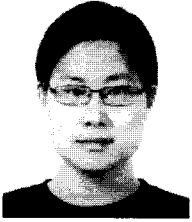
- [1] W. C. Brown, "The history of power transmission by radio waves," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 32, no. 9, pp. 1230-1242, Sept. 1984.
- [2] 박종철, 이영철, "마이크로파 Rectenna의 설계와 DC 변환 효율 분석에 관한 연구," *대한전자공학회 논문지*, 제5권, 제2호, pp. 88-93, 1996. 2.
- [3] 이동현, 박위상, "표면 전류분포를 이용한 T 자형 UWB 평면형 모노폴 안테나 해석," *한국전자과학기술 논문지*, 제16권, 제9호, pp. 883-892, 2005. 9.
- [4] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 3rd Ed., Wiley Interscience, 2005.
- [5] T. S. Yun, T. U. Hong, B. J. lee, J. J. Choi, J. Y. Kim, K. B. Kim, and J. C. Lee, "New band-pass filter design with tapped-line using J/K-inverter," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 49, no. 4, pp. 1253-1256, June 2007.
- [6] R. Li and D. I. Kim, "A new compact low-pass filter design with broad stopband and sharp skirt characteristic," *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf.*, vol. 1, pp. 1-3, Dec. 2005.

저자소개



오 경 민 (Oh, Kyoung-Min)

2007년 2월 : 서경대학교 전자통신공학과 (공학사)  
2007년 2월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정



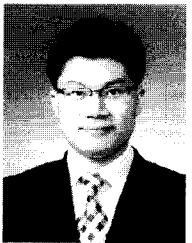
이 현 욱 (Lee, Hyun-Wook)

2007년 2월 : 광운대학교 전파공학과 (공학사)  
2007년 2월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정



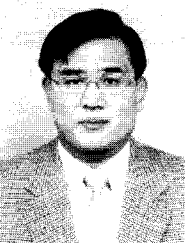
남 희 (Nam, Hee)

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



윤 기 철 (Yoon, Ki-Cheol)

2005년 2월 : 우송대학교 컴퓨터전자정보공학부 (공학사)  
2007년 2월 : 광운대학교 전파공학과 (공학석사)  
2007년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정



홍 태 의 (Hong, Tae-Ui)

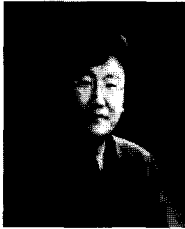
1985년 2월 : 인천대학교 전자공학과 (공학사)  
1987년 8월 : 인천대학교 전자공학과 (공학석사)  
1992년 2월 ~ 2004년 2월 : 전자부품연구원 책임연구원  
2004년 3월 ~ 2005년 6월 : 경운대학교 멀티미디어공학과 객원교수  
2004년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정 수료  
2005년 7월 ~ 현재 : 요업기술원 책임연구원

저자소개



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 종 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 전임강사/조교수/부교수/교수