

900MHz대 무선 전력 전송을 위한 저전력 렉테나

김예지¹ · 박동국[†] · 손경락² · 강인호³

(원고접수일 : 2011년 2월 16일, 원고수정일 : 2011년 3월 22일, 심사완료일 : 2011년 4월 5일)

Low Power Rectenna for Wireless Power Transmission at 900MHz

Yea-Ji Kim¹ · Dong-Kook Park[†] · Kyung-Rak Sohn² · In-Ho Kang³

요약: 본 논문은 900MHz대 무선전력전송을 위한 렉테나를 제안한다. 렉테나는 무선 RF 전력을 수신하여 DC 전력으로 변환하는 소자로서 안테나와 정류회로 및 충전부 회로로 구성이 된다. 본 논문에서는 900MHz 전력을 수신하기 위해 슬롯 안테나, 0dBm에서 40%의 정류효율을 갖는 정류회로 및 미약한 전력을 충전 후 부하에 일정한 전압을 공급하는 충전부 회로를 설계하였다. 1W의 전력을 송신하는 RFID 리더기를 송신기로 사용하는 실험에서, 제안하는 렉테나는 0dBm의 입사 전력 환경 하에서 50k Ω 의 부하저항에 3.3V의 일정한 전압을 280초 정도 공급하는 것을 확인할 수 있었다.

주제어: 무선전력전송, 렉테나, 슬롯 안테나, 정류기, 슈퍼커패시터

Abstract: In this paper, a rectenna for wireless power transmission at 900MHz is proposed. Rectenna is a device transforming RF power into DC power and it may consist of a antenna, rectifying and charging circuits. In this paper, we designed a slot antenna to receive 900MHz signal, a rectifying circuit of about 40% efficiency at 0dBm input, and a charging circuit to store a weak power signal and supply constant voltage to load. From the experiment using a RFID reader as a transmitter for 1W power, it was found that the proposed rectenna receiving about 0dBm power can supply 3.3V constant voltage to 50k Ω load during 280sec.

Key words: Wireless power transmission, Rectenna, Slot antenna, Rectifier, Super capacitor

1. 서 론

전자기파를 이용하여 무선으로 전력을 공급하는 연구는 100여년 전 니콜라 테슬라(NiKola Tesla)에 의해 제안되었으나 지금까지 일부 제한된 용도로만 사용되어 왔다[1]. 그러나 2008년 미국 MIT에서 발행하는 테크놀로지 리뷰에서 10대 유망기술 중 하나로 무선전력전송이 포함 될 정도로 미래 사회에 파급효과가 매우 클 것으로 예상됨에 따라 최근에 많은 연구가 진행 중에 있다[2-6].

일반적으로 무선전력 전송에 사용되는 신호의 주파수는 ISM 대역을 사용하고 있으며, 수신부 안테나로 입력되는 전력이 10dBm 이상일 때 RF 전력을 DC로 변환하는 전력변환 효율이 약 60%~80% 정도로 구현되고 있다[7,8]. 입력전력이 클 때 일반적으로 전력변환 효율이 좋게 나타나고 있다. 그러나 이를 위해 높은 전력을 무분별하게 방사할 경우 다른 기기의 장애 및 인체에도 해로운 영향을 끼칠 수 있어 국가별로 허용전력밀도에 대해 제한을 두고 있다[9].

[†] 교신저자(한국해양대학교 전자통신공학과, E-mail:dkpark@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4311)

1 한국해양대학교 전자통신공학과 대학원

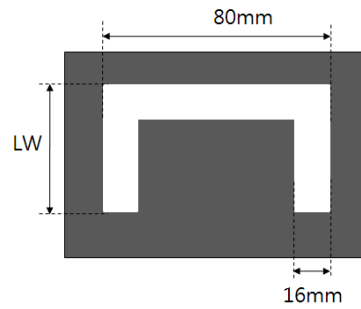
2 한국해양대학교 전자통신공학과

3 한국해양대학교 전파공학과

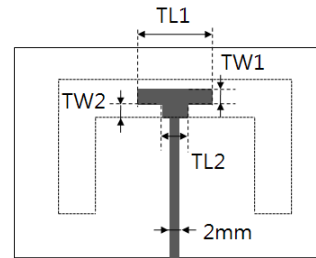
그러므로 10dBm 이하의 비교적 미약한 입력 전력에서 구동될 수 있는 렉테나를 개발하는 것은 의미가 있다. 본 논문에서는 0dBm 정도의 저전력을 수신하여 3.3V의 일정한 전압을 부하에 공급하는 렉테나를 구현하고자 한다. 1W의 전력을 송신하는 900MHz대 RFID 리더기를 송신기로 사용하여 제안하는 렉테나의 특성을 측정하였다.

2. 렉테나 설계 및 제작

무선전력 전송의 주요 부품인 렉테나(rectenna)는 정류기(rectifier)와 안테나(antenna)의 합성어로서, RF전력을 안테나로 수신하여 정류회로를 통해 DC전력으로 변환하는 소자이다. 일반적으로 DC로 변환된 전력이 부하를 구동하기에 충분하지 않고, 또한 DC 전력의 값이 변화가 심한 경우 일정한 전압을 부하에 공급하기 위해 충전회로부를 구성한다. 본 논문에서도 안테나, 정류회로부와 충전회로부로 구성된 렉테나를 설계하였으며, 그 과정을 살펴보면 다음과 같다.



(a) Front side



(b) Back side

Figure 1: The proposed slot antenna

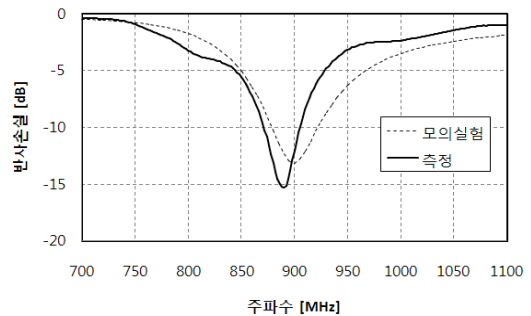
2.1 안테나 설계 및 제작

안테나의 크기를 줄이고 안테나에 정류회로부를 장착할 수 있는 구조를 고려하여 Figure 1와 같은 슬롯 안테나를 설계하였다.

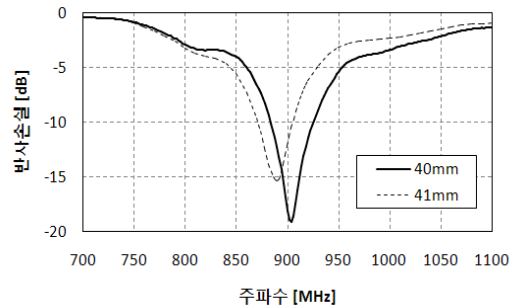
슬롯의 양끝부분을 90도로 꺾어 “ㄷ”자 형태로 슬롯의 모양을 만들고, “ㄷ”자 형의 안쪽에 정류회로부를 구성하여 렉테나의 크기를 줄일 수 있도록 설계하였다. 안테나의 급전은 슬롯이 있는 기판의 반대편에 50Ω의 마이크로스트립 선로를 통해 구현하였으며, 임피던스 정합을 위해 “T”형의 스텐브(stub)를 마이크로스트립 선로의 끝 부분에 설계하였다.

두께 1mm의 FR-4 기판을 사용하여 900MHz에서 동작하는 슬롯 안테나의 길이(LW)와 임피던스 정합을 위한 “T”형 스텐브의 크기(TL1, TL2, TW1, TW2)를 Ansoft 사의 Designer를 사용하여 설계 하였다.

시뮬레이션을 통해 설계된 슬롯 안테나의 반사손실 특성을 Figure 2 (a)에 나타내었다. Figure 2 (a)에는 실제로 안테나를 제작하여 측정한 결과와



(a)



(b)

Figure 2: Return loss of the proposed antenna

함께 제시하였다. 측정치가 시뮬레이션 값보다 약 10MHz 아래에서 공진이 생기므로 슬롯의 길이 (LW)를 재설계하여 41mm에서 40mm로 변경하여 900MHz에서 공진이 되도록 튜닝을 하였고, 실험으로 확인한 결과를 Figure 2 (b)에 나타내었다. 이렇게 튜닝이 된 실제 안테나의 모습을 Figure 3에 나타내었다.



(a) Front side



(b) Back side

Figure 3: The fabricated slot antenna

2.2 정류회로부 설계 및 제작

안테나를 통해 수신된 미약한 RF전력은 비선형 소자인 다이오드 회로를 통해 정류하게 되는데 일반적으로 사용하는 다이오드는 turn on 전압이 낮은 쇼트키 다이오드를 사용한다[6]. 본 논문에서는 정류 전압을 크게하기 위해 Figure 4와 같은 배전압 구조의 정류회로를 설계하였고, 다이오드는 HSMS-2852 쇼트키 다이오드를 사용하였다. 그리고 안테나와 정류회로와의 임피던스 정합을 위해 Figure 4와 같이 C_m 와 L_m 을 이용하여 임피던스 정합을 구현하였다.

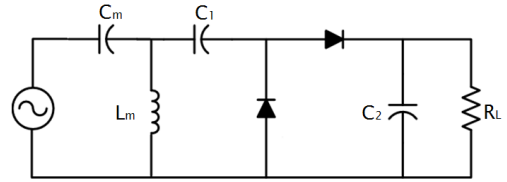


Figure 4: The proposed rectifying circuit

임피던스 정합 회로의 설계에서 주의할 점은 인가되는 입력 전력에 따라 다이오드의 임피던스가 달라진다는 점이다. 따라서 안테나에 수신되는 전력을 고려하여 평균적인 전력을 이용하여 정합회로를 설계하는 것이 필요하며, 본 논문에서는 0dBm 을 기준으로 설계를 하였다. 물론 부하 저항 R_L 의 값에 따라서도 임피던스가 변하게 되며, 본 논문에서는 $R_L=1k\Omega$, $C_1=100pF$ $C_2=100pF$ 으로 두고, 정합회로를 설계한 결과 $C_m=1.8pF$, $L_m=12nH$ 의 값을 얻었다.

두께 1mm의 FR-4 기판에 제작한 정류회로부 (Fig. 4)의 모양을 Figure 5에 나타내었다. 신호 발생기를 통해 직접 RF 전력을 인가하여 DC로 변

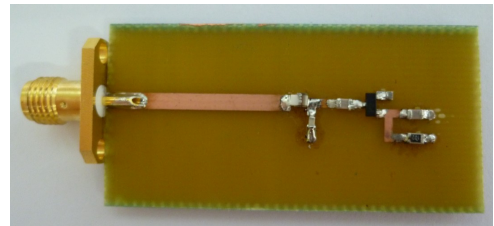


Figure 5: The fabricated rectifying circuit

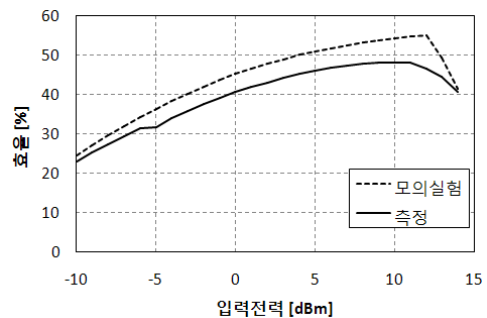


Figure 6: The efficiency of the rectifying circuit

환되는 효율을 측정하여 모의실험으로 구한 결과값과 함께 Figure 6에 나타내었다. 측정치와 모의실험 값과는 약 4%의 오차가 있으며, 0dBm의 입력 전력에서 약 40%의 변환효율을 얻었다.

2.3 충전회로부 설계 및 제작

저전력 환경에서는 안테나를 통해 입력되는 RF 에너지가 작으므로 정류되는 DC 에너지 또한 작다. 그러므로 정류된 에너지를 충전하여 부하가 동작할 수 있는 에너지만큼 모을 수 있도록 하는 충전부의 설계가 필요하다. 슈퍼 콘덴서는 작은 사이즈에 큰 용량을 가지므로 렉테나의 충전용 소자로 적합하여 본 논문에서는 0.1F의 슈퍼 콘덴서를 사용하여 정류회로를 통해 변환 된 전력을 충전하였다.

신호 발생기에서 900MHz, 0dBm의 전력을 직접 Figure 5의 정류회로에 인가하면서, Figure 4의 C₂ 위치에 있는 100pF의 칩 콘덴서를 0.1F의 슈퍼 콘덴서로 대체하여 콘덴서 양단에 충전되는 전압을 비교하여 Figure 7에 나타내었다. 100pF의 콘덴서는 10초 이내에 2.07V전압으로 충전이 된다. 콘덴서에 충전되는 에너지는

$$E = \frac{1}{2} C V^2 \tag{1}$$

을 이용하여 구할 수 있으므로, 15분 충전 후 100pF 칩 콘덴서에 충전되는 에너지는 칩 콘덴서 양단 전압이 2.07V이므로 약 0.214nJ의 에너지가 저장됨을 알 수 있다. 반면 0.1F의 슈퍼 커패시터는 충전되는 시간이 느리나 15분 후 커패시터의 양단

전압은 2.11V로 저장되는 에너지양은 222mJ이다. 0.1F의 슈퍼커패시터가 100pF에 비하여 큰 에너지를 저장할 수 있음을 확인하였다. 이때 0.1F의 슈퍼 콘덴서가 있을 때와 100pF의 콘덴서가 있을 때의 입력 임피던스 변화는 미미하여 입력 정합회로는 동일한 것을 사용하였다.

한편, 슈퍼 콘덴서를 사용하더라도 시간에 따라 저장되는 에너지가 달라지고 또한 송신기와 의 거리에 따라 수신되는 전력이 달라지므로 일정한 DC 전압을 얻기 어렵다. 그러므로 부하에서 요구하는 일정한 전압을 공급하기 위해 부스트 컨버터를 사용하였다. TI사의 TPS61200 부스트 컨버터는 입력 전압 0.3V~5.5V 를 입력으로 받아 일정한 전압으로 출력하는 레귤레이터 역할을 한다. 회로 구성에 따라 출력 전압을 1.8V에서 5.5V까지 조절이 가능하며, 본 논문에서는 3.3V의 출력 전압이 나오도록 회로를 구성 하였다.

또한 TPS61200 부스트 컨버터는 ON/OFF 기능이 있어 슈퍼 콘덴서가 어느 정도 에너지를 저장할 때 까지는 에너지 소모가 일어나지 않도록 부스트 컨버터를 OFF 할 수 있다.

3. 실험 및 분석

안테나와 정류부 및 충전부를 합쳐 제작한 렉테나를 Figure 8에 나타내었다. 1W의 전력을 송신하는 RFID 리더기를 통해 900MHz 신호를 송신하고 거리 50cm 떨어진 위치에 렉테나를 놓고 렉테나의 특성 실험을 하였다. 실험 setup 모습을 Figure 9에 나타내었다.

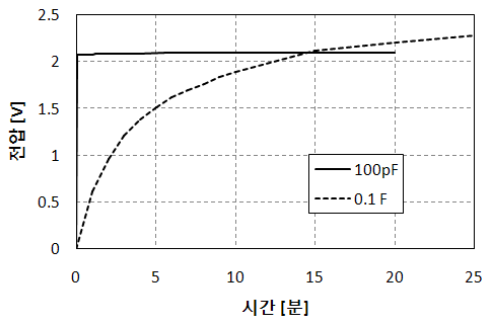


Figure 7: Variation of charging voltges of two capacitors

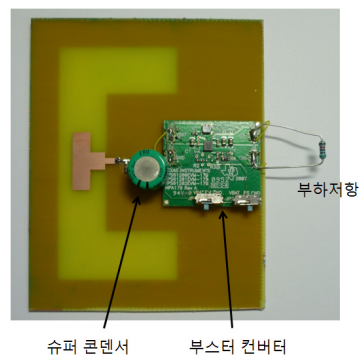


Figure 8: The fabricated rectenna

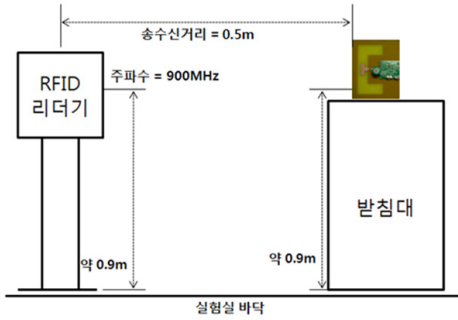


Figure 9: Experiment setup for rectenna

900MHz RFID 리더기에서 슬롯 안테나까지의 거리 50cm는 리더기에서 송신된 1W의 전력이 슬롯 안테나를 통해 약 0dBm 정도의 전력이 수신되는 거리이다.

실험의 순서는 다음과 같이 하였다. 먼저, 부스터 컨버터를 OFF 상태로 하고, RFID 리더기에서 송신되는 전력을 렉테나를 통해 슈퍼 콘덴서에 충전하였다.

충전을 시작한지 20분 후 부스터 컨버터를 ON 상태로 변환하여 3.3V의 일정한 전압을 부하에 공급하였다. 부하는 50kΩ의 저항을 사용하였다. 50kΩ의 부하 저항에 약 280초 정도 3.3V의 전압이 가해진 후 전압이 0.3V로 떨어지면서 부스터 컨버터가 동작을 멈추었다. 그러면 다시 부스터 컨버터를 OFF 상태가 되도록 하여 슈퍼 콘덴서를 충전하고 앞서 한 과정을 반복하여 수행하였다. 이러한 일련의 과정을 정리하여 Figure 10에 나타내었다.

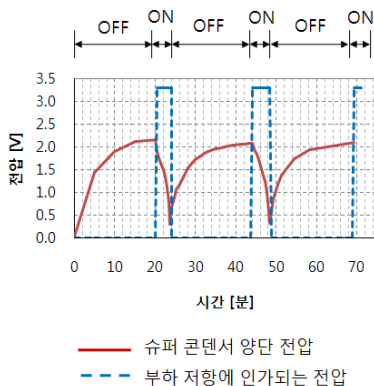


Figure 10: Voltage variation of super capacitor and load

Figure 10의 결과로부터 약 0dBm의 입력 전력에서도 3.3V의 일정한 DC전압을 얻을 수 있음을 확인하였고, 이것은 미국의 Powercast 회사에서 개발한 제품[10]과 비슷한 수준의 성능으로서 조금 더 소형화가 이루어진다면 실제 필드에서 바로 응용할 수 있는 수준으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 900MHz 대역에서 동작하는 렉테나를 제작하고, 1W의 전력을 방사하는 RFID 리더기를 송신기로 사용하여, 제작한 렉테나의 특성을 실험 하였다. 제작한 렉테나의 안테나는 “ㄷ”자 형의 슬롯형태로 구현하였으며, “ㄷ”자 형의 안쪽 공간에 정류회로를 배치하여 렉테나의 크기를 소형화 하였다. 또한 정류회로를 통해 얻은 에너지를 사용가능한 DC 전압으로 만들기 위해 슈퍼 콘덴서와 부스터 컨버터를 사용하였다.

RFID 리더기를 송신기로 사용한 실험에서 렉테나의 안테나로 약 0dBm의 입력 전력이 수신되는 환경에서 20분간 슈퍼 콘덴서를 충전하여, 3.3V의 일정한 DC전압으로 50kΩ의 부하 저항에 약 60mJ의 에너지를 전달 할 수 있음을 확인하였다. 이는 짧은 시간동안 작동하여 센서를 구동하고 측정된 값을 전송하는 응용 분야에 사용이 가능 할 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2010학년도 한국해양대학교 공과대학의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] 강승열, 김용해, 이명래, 정태형, “무선에너지 전송기술,” 전자통신동향분석, 제23권 제6호, pp. 59-69, 2008.
- [2] MIT, Technology Review, March/April 2008.
- [3] William C. Brown, “The history of power transmission by radio waves”, IEEE Trans. Microw. Theory Tech.,

vol. MTT-32, no. 9, pp. 1230-1242, 1984.

- [4] Tetsuo Nozawa, "Battery charging goes wireless", Nikkei Electronics Asia, pp. 16-24, 2007.
- [5] J. O. McSpadden and J. C. Mankins, "Space solar power programs and microwave wireless power transmission technology," IEEE Microwave Magazine, pp. 46-57, 2002.
- [6] 서홍은 A study on a rectenna for Low Power Density at 2.45GHz, 한국해양대학교 석사논문, 2009.
- [7] J. McSpadden, L. Fan, and K. Chang, "Design and experiments of a high-conversion-efficiency 5.8GHz rectenna", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-46, no. 12, pp. 2053-2060, 1998.
- [8] Y. Suh and K. Chang, "A high efficiency dual frequency rectenna for 2.45- and 5.8-GHz wireless power transmission", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-50, no. 7, pp. 1784-1789, 2002.
- [9] www.fcc.gov/oet/info/documents/bulletins/#65
- [10] www.powercastco.com

저 자 소 개



김예지(金睿智)

2009년 한국해양대학교 전자통신공학과(공학사), 2011년 한국해양대학교 전자통신공학과(공학석사). 관심분야: 무선전력전송, 안테나



박동국(朴東國)

1987년 부산대학교 전자공학과(공학사), 1989년 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사), 1994년 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학박사), 1994년 - 1996년 LG전자(선임연구원), 1996년 - 현재 한국해양대학교 전자통신공학과(교수). 관심분야: 무선전력전송, 안테나공학, 초고주파 공학, 레이더



손경락(孫慶洛)

1992년 경북대학교 전자공학과(공학사), 1995년 경북대학교 전자공학과(공학석사), 2002년 경북대학교 전자공학과(공학박사), 1992년-1993년 현대전자(연구원), 1995년 - 1999년 현대자동차(선임연구원), 2006년 - 2007년 UNSW 방문교수, 2003년 - 2011년 현재 한국해양대학교 전자통신공학과(부교수). 관심분야: 광 무선통신, 수중광통신, 광섬유센서시스템



강인호(姜仁鎬)

1986년 서강대학교 전자공학과(공학사), 1989년 서강대학교 전자공학과(공학석사), 1996년 서강대학교 전자공학과(공학박사), 1996년 - 현재 한국해양대학교 전자공학과(교수). 관심분야: 무선통신용 필터, 초고주파 수동소자