

5.8 GHz 다이폴 안테나를 이용한 렉테나 설계

Design of a 5.8 GHz Rectenna Using Dipole Antenna

오경민, 이현욱, 남희, 홍태의,
(광운대학교 석사과정) (광운대학교 석사과정) (광운대학교 박사과정) (광운대학교 박사과정)
이대성, 황학인, 이종철
(KETI) (KETI) (광운대학교 교수)

Key Words : Dipole antenna, CPW, Rectenna, RF-DC conversion efficiency

목 차

- I. 서론
- II. 5.8 GHz 다이폴 안테나 설계
- III. 정류회로 설계
- IV. 결론
- 참고문헌

I. 서론

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 무선 전력 공급 기술(Wireless Power Transmission)인 렉테나를 소개한다.

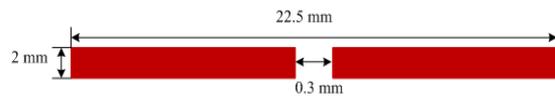
초장기 무선 전력 전송 기술은 차세대 청정에너지 개발 목적의 일환으로 우주 공간에 설치되어진 태양 전지판에 의해 생성된 직류 전압을, 지구로 송전하기 위해 RF 전력로 변환하여 전송하고 지구에서는 받은 RF 전력을 DC 전압으로 변환을 하는 것으로 1968년 Peter Glaser 박사가 최초로 제안한 이후, 꾸준한 연구가 진행 되어왔다 [1]. 근래에 들어서는 여러 가지 정보 수집을 위한 센서들 중 인체나 수중 등에서의 센싱은 전력 공급이 어려운 환경이므로 이를 해결하기 위해 RF전력을 이용하여 전력을 공급하는 것을 목적으로 연구가 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 설계하여 하였다.

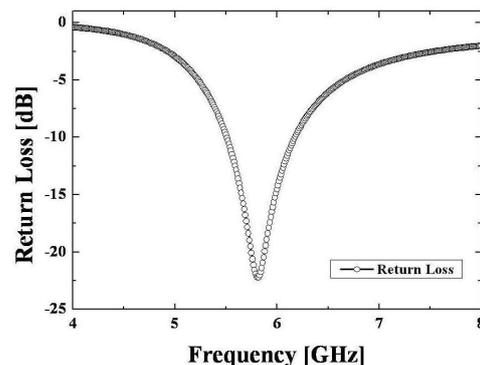
II. 5.8 GHz 다이폴 안테나 설계

무선 전력 전송의 효율을 높이기 위해선 렉테나용 안테나로

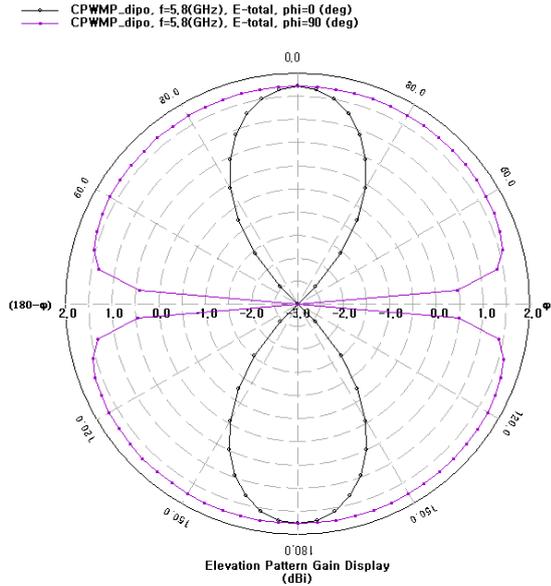
는 지향성과 선형이득이 큰 안테나가 설계되어야 한다. 이는 곧 안테나의 사이즈가 클수록 유리하다는 말이기도 한데, 최근 각종 전자기기가 소형화되는 추세를 미루어본다면 안테나의 사이즈 소형화 역시 중요한 문제이다. 일반적으로 렉테나용 안테나로는 제작이 쉽고 선형이득이 좋은 패치 안테나와 다이폴 안테나를 사용한다[2]. 본 논문에서는 소형 경량화 추세에 맞추어 평판 인쇄형 구조 다이폴 안테나를 설계하였고 CPW 급전 구조를 이용하여 접지 면을 다이폴의 반사기로 사용하여 야기 우다 안테나와 비슷한 구조로 기존의 다이폴보다 이득을 높이는 결과를 얻었다.



(a) 일반적인 다이폴 안테나의구조



(b) 다이폴 안테나의 반사 손실

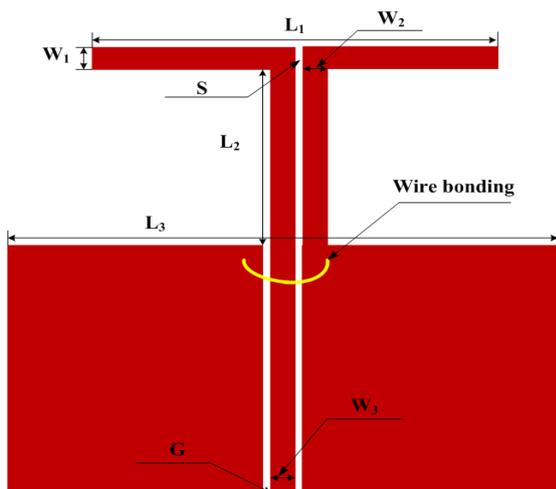


(C) 방사 패턴 (5.8 GHz)

<그림 1> 일적반직 다이폴 안테나의 구조와 반사손실 및 방사패턴

그림 1(a)는 5.8 GHz에서 동작하는 기존의 다이폴 안테나의 구조를 나타내었고 다이폴 안테나의 반사 계수는 그림 1(b)의 그래프를 보면 5.8 GHz에서 22 dB를 나타내며 그림 1(c)에서 다이폴 안테나의 방사 패턴을 확인하였다.

다음은 본 논문에서 레테나용 안테나로 사용되어질 다이폴 안테나이다. 기존의 다이폴 안테나에 급전을 CPW 구조로 하여 접지면을 야기 우다 안테나의 반사기 역할을 하게 함으로써 안테나의 이득을 높였다[3].



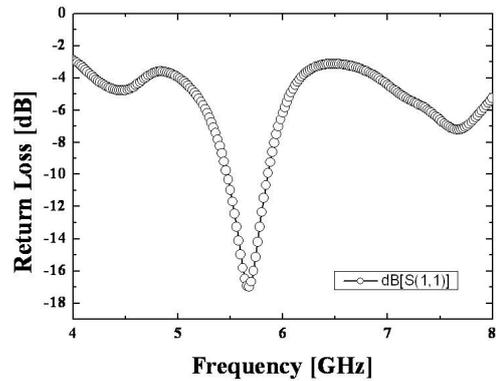
<그림 2>CPW 급전구조를 이용한 다이폴 안테나

그림 2 기존의 다이폴 안테나에 CPW 급전 구조를 추가하여 접지 면이 다이폴 안테나의 반사기 역할을 하여 야기 우다

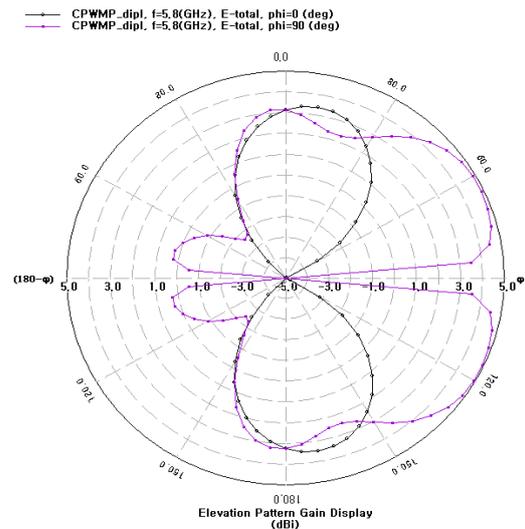
안테나 같은 효과를 얻었다. 이때 다이폴 안테나와 접지면 사이의 거리 D는 약 $\lambda/4$ 이며 반사기 역할을 하는 접지면의 길이 L_R 은 다이폴 안테나의 길이 $\lambda/2$ 보다 약간 더 길게 설계하였다. 그리고 wire-bonding을 통하여 양쪽 접지면의 위상을 동일하게 함으로써 coupled slot mode로 인한 기생 성분을 억압하였다[4].

<표 1> 안테나 설계 사양.

Parameter	Value [mm]
L1	22.5
L2	15
L3	33
W1	2
W2	2
W3	2
S	0.3
G	0.3



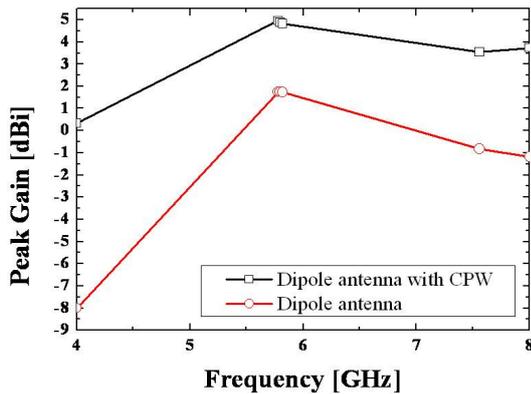
(a) CPW 급전 구조의 다이폴 안테나의 반사 손실



(b) CPW 급전 구조의 다이폴 안테나 방사패턴

<그림 3> CPW 급전 구조의 다이폴 안테나의 반사 손실과 방사 패턴

그림 3(a)은 CPW 급전 다이폴 안테나의 반사계수를 나타낸 그래프이다. 5.8 GHz에서 15 dB를 나타내며 방사 패턴은 그림 3(b)와 같은 결과를 보였으며 이는 야기 우다 안테나와 비슷한 방사패턴이다. 그림 4에서 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.



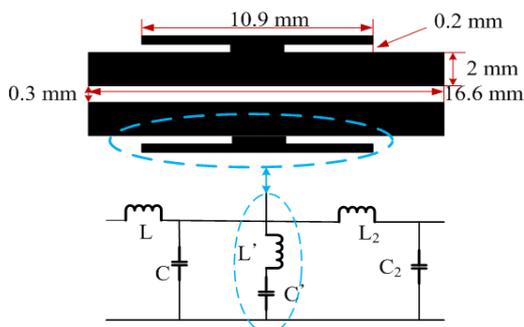
<그림 4> 일반적인 평판 인쇄형 다이폴 안테나와 CPW 급전 구조를 갖는 다이폴 안테나의 최대 이득 비교

III. 정류회로 설계

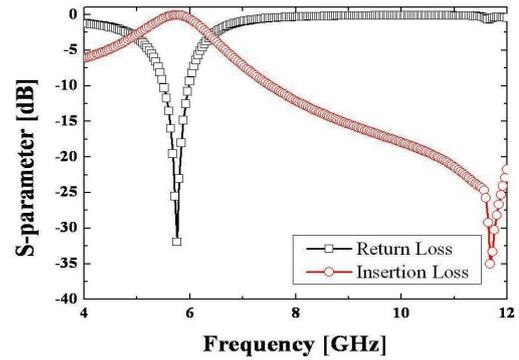
정류회로의 구성은 RF-to-DC 변환을 위한 Agilent 사의 HSMS-2820 쇼트키 다이오드와 비선형소자인 다이오드로부터 발생하는 고조파로 인한 손실을 감소하기 위해 고조파 억제 및 안테나와 다이오드 사이의 임피던스 매칭회로와 DC 파워는 부하로 전달시키고 RF 파워는 제거하는 병렬 캐패시터)로 구성하였다.

1. 임피던스 정합회로 설계

다이폴 안테나와 CPW 급전 사이에 $\lambda/4$ 길이의 CPS 구조에 공진기를 이용하여 간단한 구조의 공진기를 이용하여 임피던스 정합회로를 설계하였다[5].



(a) 임피던스 정합회로의 구조



(b) 임피던스 정합 회로의 S-parameter 결과

<그림 5> 임피던스 정합 회로의 구조 및 S-parameter 결과

그림 5(a)는 매칭회로의 구조를 나타낸 것이며 그림 5(b) 매칭 회로의 S-parameter 결과 그래프로 5.8 GHz는 삽입손실이 0.1 dB이고 반사손실은 27 dB로 통과시키고 2차 고조파인 11.6 GHz는 억제된 결과를 얻었다.

2. 렉테나 측정 결과

혼 안테나의 이득은 5.8 GHz에서 15.45 dBi 이고 1m 거리에서 송신 하였을 때 본 논문에 제안한 안테나에 입사되는 파워는 다음 식으로 구할 수 있다 [6].

$$P_r = S A_{er} \quad (1)$$

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

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

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

위 식은 matched condition 일 때 가 조건이고 P_r 은 수신파워, S 는 단위 면적당 파워, G_r 은 수신 안테나의 이득, A_{er} 은 유효 면적을 각각 나타낸다. 송신 안테나의 입사전력이 40 dBm(1 W) 일 때, 위 식에 대입하여 수신되는 파워를 계산하면 $P_r=20$ dBm 수신된다. 이는 기존의 다이폴 안테나로 수신했을 경우 16.9 dBm 보다 높은 것으로 같은 송신 전력 시 본 논문에서 제안한 안테나가 더 많은 전력 수신이 가능하다. 이에 정류 회로 단에 전달되는 파워를 0 dBm에서 20 dBm 이므로 이를 위에서 설계한 매칭회로와 HSMS-2820 쇼트키 다이오드의 입력 단에 매칭시키고 출력 단에는 RF 바이패스를 위한 캐패시터(100 pF)를 병렬로 연결한 후 부하에 걸리는 전압을 측정하여 효율을 구하였다. 효율은 다음 식으로 구할 수 있다.

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

그림 6은 유전율 2.54 인 Teflon 기판에 설계한 렉테나의 구조이다.

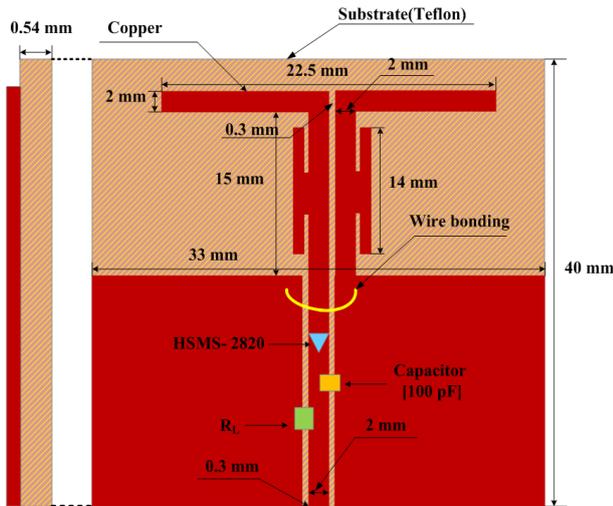
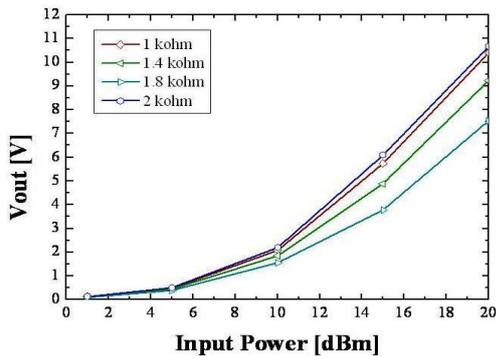
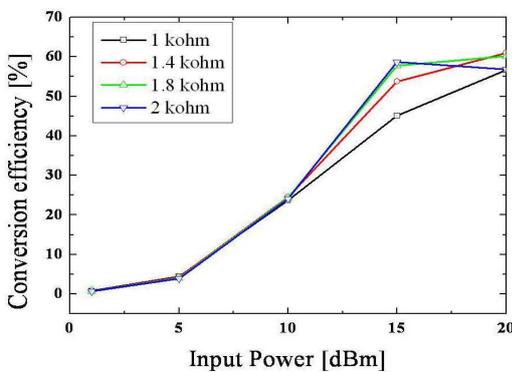


그림 6. 제안한 렉테나의 구조

그림 7(a)는 0 ~ 20 dBm 의 입사전력이 정류회로 단에 전달 되었을 때 부하 저항에 전달되는 DC Vout를 부하저항에 따라 그래프로 나타낸 결과이다.



(a) 정류 회로 단에 전달되는 전력에 대한 DC Vout 측정 결과



(b) 정류 회로 단에 전달되는 전력에 대한 효율

<그림 7> 정류 회로 단에 전달되는 전력에 대한 측정 결과

그림 7(b)에서 보는 바와 같이 렉테나 측정 결과 정류 회로 단으로 20 dBm의 전력이 전달되었을 때 부하저항이 1.4 kΩ 에서 가장 높은 61 %의 RF-to-DC Power 변환 효율을 보여 주었다.

IV. 결론

본 논문에서는 CPW 급전 구조의 다이폴 안테나와 CPS 공진기를 이용하여 5.8 GHz 대역에서 무선 전력 전송을 가능한 렉테나를 설계하였다. CPW 급전 구조의 다이폴 안테나는 접지 면이 다이폴 안테나의 반사기로서 작용하여 기존의 일반적인 평판 인쇄형 다이폴 안테나의 이득보다 높은 4.8 dBi 의 이득을 얻었다. 그 결과 부하저항이 1.4 kΩ 에서 9.25 V 의 DC 전압을 얻었으며 이는 61% 의 RF-to-DC 전력 최대 변환 효율을 갖는다. 변환효율은 정류회로 단에 매칭회로를 개선시킴으로서 더 높일 수 있으며 렉테나에 사용된 안테나에 도파기 부분을 추가한다면 3소자 야기 우다 안테나로써 조금 더 높은 이득을 얻을 수 있다.[7] 앞으로 이 중 대역 혹은 삼중 대역 안테나를 이용하여 다중 대역에서 동작하는 렉테나를 설계하여 다양한 응용시스템의 전력 공급 장치로 사용 될 것을 기대해본다.

V. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 뇌과학 원천기술개발 사업의 지원으로 수행되었습니다.

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. 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. Y. Taguchi, Q. Chen, and K. Sawaya, "Broadband monopole Yagi-Uda antenna," *IEICE B*, vol. J83-B, no. 1 pp. 56-64, Jan. 2000.