

Rectenna의 형태와 방향변화에 따른 변환효율 분석에 관한 연구

°윤 동기**, 박 양하**, 김 관호**, 이 영철*
*경남대학교 전자공학과, ** 한국전기연구소

A Study on the Conversion Efficiency of Rectenna for Microwave Wireless Power Transmission System

°Dong-gi Youn**, Yang-ha Park**, Kwan-ho Kim**, Young-Chul Rhee*

* Dept. of Electronic Engineering, Kyungnam Univ.,** Korea Electrotechnology Research Institute

ABSTRACT

In this paper, we analyzed Microwave-DC conversion efficiency for the rectennas and it's position change. Rectenna consist of a two major parts, receiving antenna and rectifying circuits. We made two types of 2.45GHz rectennas which the dipole and the patch antenna. Rectifying circuit is a GaAs-schottky diode with a large forward current and reverse breakdown voltage.

The results of RF-DC conversion efficiency for two rectennas, patch type has 75.6% efficiency with 400Ω load resistor and dipole type has 69.75% efficiency with 360Ω load resistor. When the rectennas has optimal load resistor, Rectenna efficiency shows of ±10% at 70° ~110° position.

1. 서론

무선전력전송(Wireless Power Transmission)은 미래 에너지 자원의 한 형태인 우주 태양광 발전(Solar Power Satellites) 개념에서 처음 제기되어진 기술로 1968년 미국의 Peter Glaser 박사가 제안한 이래 세계 각국에서 꾸준히 연구되고 있다. 이 기술의 특징은 지상의 태양광 발전에 비해 효율이 높고 기후에 영향을 받지 않아 무한한 에너지를 획득할 수 있다

는 장점을 가지고 있으며, SPS를 실현하기 위해 우주 공간에 태양광(太陽光)을 이용한 전력 발생 부분과 지상에서의 전력 변환부분에 초점을 두고 개발하고 있다.[1]

현재 무선전력전송 기술을 보유한 선진국에서는 무선전력전송을 이용한 기술에 대한 기본 연구를 마치고 실용화 단계에 있다. 미국의 경우 서기 2000년 이내에 지상 약 20km의 성층권에 무선 중계 시스템(SRRS : Stratosphere Radio Relay System)을 운영하고, 장차 우주 정거장(Space Platform) 및 달기지(Lunar Power Base)를 건설할 때 이 기술을 이용하여 에너지를 공급할 계획이며, 우주 상공에 수십 km에 달하는 태양 전지판으로부터 생성된 에너지를 지구로 송전하는 계획도 가지고 있다. 일본의 경우 통신종합연구소와 여러 대학교 및 산업체간의 공동 연구로 1995년 40m 고도에 50kW의 전력을 송전하는 ETHER(Energy Transmission to a High Altitude Long Endurance Airship Experiment) 계획의 시험을 마쳤고, 차후 성층권 통신방송중계용 비행선을 개발할 계획을 가지고 있다.[2] 국내에서는 한국전기연구소에서 국가적인 미래 우주 개발과 에너지 개발의 차원에서 무선전력전송에 대한 이론적·기술적 연구를 진행중에 있다.

본 논문은 무선전력전송 시스템의 전력 변환부에서 가장 핵심이 되는 Rectenna(Rectifying Antenna)를 패치와 다이폴형태로 설계 및 제작하고, 제작된 각 Rectenna의 부하에 따른 정류효율 및 방향 변화에

다른 RF-DC 변환효율에 관해 분석하였다.

II. Rectenna의 설계 및 제작

무선전력전송에 사용되는 소자인 Rectenna(Rectifying Antenna)는 안테나와 정류회로를 포함하는 정류형 안테나로서 안테나로부터 수신된 RF 에너지를 DC 에너지로 변환하는 역할을 한다.

기본적인 Rectenna의 구조는 2.45GHz의 마이크로파를 받아들이는 마이크로스트립 패치 안테나, 임피던스 정합회로와 필터회로, 그리고 정류회로등 그림 1과 같이 이루어진다.

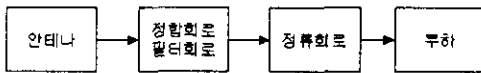


그림 1. 기본적인 Rectenna의 구조

Rectenna의 설계시 가장 먼저 고려되어야 할 것은 마이크로파 신호의 사용 주파수이며, 자유공간에서의 대기중 감쇄와 Rectenna의 크기가 가장 큰 고려의 대상이다.

본 논문에서는 대기중 감쇄가 적고, ISM(Industrial, Medical, Scientific) 대역인 2.45GHz Rectenna를 설계하였다. 2.45GHz Rectenna는 1960년대에 처음 설계되었고, 그후 높은 입력 전력에 대한 다이오드 제작 기술 향상과 변환 회로의 개선으로 인해 전력 변환효율은 38%에서 85%까지 개선되어져 왔다.

변환효율을 높이기 위한 Rectenna 소자의 개발은 무선전력전송을 위한 가장 기본이며 핵심이 되는 기술중 하나이며, 현재 다이폴 안테나와 마이크로스트립 패치 안테나를 이용한 Rectenna가 가장 많이 사용되고 있다.

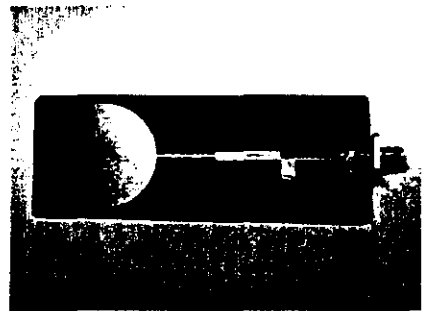
다이폴 안테나의 경우 패치 안테나에 비해 이득이 낮고, 편파특성이 선형편파(linear polarization)밖에는 얻을 수 없다는 단점 때문에 패치 안테나에 비해 사용범위가 좁다. 그러나 유전체 기판을 사용하지 않아도 되고, 무게나 제작의 편의성 등이 패치 안테나에 비해 우수하기 때문에 특정 용도에서는 패치를 대신하여 쓰이고 있다.[3]

본 논문에서 다이폴 안테나의 제작에는 마이크로스트립 형태가 아니라 직경이 1mm인 리드선을 이용하였고, 수직편파(Vertical polarization) 특성과 2.7dB의 이득을 가지도록 설계되었다. 패치 안테나의 제작에는 유전율이 4.4이고, 두께가 1.6mm인 FR-4 기판을 사용하였고, 수직편파(Vertical polarization) 특성과 4.3dB의 이득을 가지도록 설계되었다.

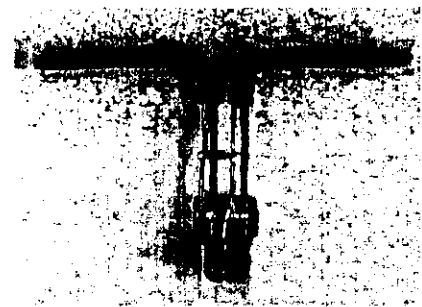
Rectenna의 설계시 안테나와 정류회로와의 임피던

스 부정합에 따른 손실을 줄이기 위한 임피던스 정합회로를 부가하였고, 안테나로부터 들어온 신호가 재 방사되어 다른 통신 장치등에 영향을 미치지 않도록 하기 위해 고주파 성분을 제거해주는 필터회로를 부가하였다.

Rectenna의 효율을 결정하는 것은 Rectenna의 정류회로에 포함되어 있는 다이오드의 변환효율이 가장 큰 변수로 작용하는데, 본 논문에서는 현재 시중에 유통되고 있는 여러 종류의 다이오드 특성을 조사하여 큰 순방향 전류와 역내압을 가지고 다이오드 자체의 소비 전력이 적은 GaAs Schottky Diode를 사용하였다. 정류회로에 포함되는 capacitor는 2012 type의 chip capacitor를 사용하였다. 입력 정합회로 및 필터회로는 패치 안테나의 경우 마이크로스트립 라인으로 구성하였고, 다이폴 안테나의 경우 리드선의 길이값을 조정하여 구성해 주었다.



(a) 패치 형태의 Rectenna



(b) 다이폴 형태의 Rectenna

그림 2. 제작된 Rectenna의 구조

그림 2에는 제시된 설계 원칙을 적용하여 제작된 패치와 다이폴 형태의 Rectenna 구조를 나타내었다. 마이크로스트립 패치 안테나의 경우 안테나와 정류회로와의 임피던스 정합회로 및 필터는 분포소자(Distributed Element)로 구성하였고, 다이폴 안테나

의 경우 리드선의 길이를 이용하여 정합화로 및 필터를 구성하였다. 마이크로스트립 패치 안테나와 정류회로 및 다이폴 안테나의 설계는 Simulation 프로그램인 PCAA, Ensemble, Super Compact, 그리고 Touchstone을 사용하였다.[6~10]

III. 실험 및 결과

본 논문에서 설계되고 제작된 패치형과 다이폴형 Rectenna의 부하와 방향에 따른 RF-DC 변환효율을 측정하기 위해 그림 3과 같은 실험 장치를 구성하였다.

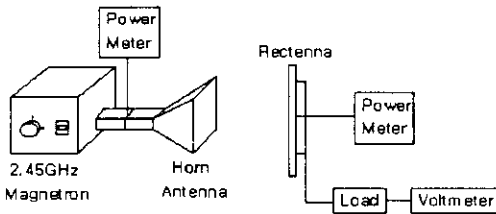


그림 3. 무선전력전송 실험 블록도

RF Source는 2.45GHz 1kW 출력을 가지는 Magnetron을 사용하여 Rectenna에서의 수신 전력이 8mW가 되도록 하였고, 송신용 안테나로는 20dB의 이득을 가지는 Horn 안테나를 사용하였다. 송신용 안테나와 RF Source간에는 3-STUB 튜너로 임피던스 정합 하였고, RF Source의 송신 전력은 30dB의 결합도를 가지는 Directional Coupler에 Power Meter를 연결하여 측정하였다.

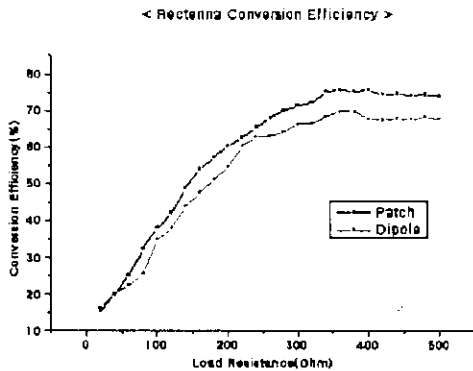


그림 4. Rectenna 종류에 따른 변환효율

측정 결과에서 다이폴형 Rectenna는 300Ω 이상의 부하 저항일 때 RF-DC 변환효율이 65%이상 되었으며,

부하 저항이 360Ω일 때 69.75%의 최대 변환효율을 나타내었다. 패치형 Rectenna는 300Ω 이상의 부하저항일 때 RF-DC 변환효율이 70%이상 되었으며, 부하 저항이 400Ω일 때 75.6%의 최대 변환효율을 나타내었다. 부하 저항값이 증가함에 따라 변환효율도 증가하지만 부하 저항이 두 형태의 Rectenna 모두 300Ω이상일 때 거의 일정한 값을 유지하였고, 다이폴형은 부하 저항이 360Ω 이상일 때, 패치형은 부하 저항이 400Ω이상일 때 변환효율이 조금씩 감소하였다.

< Rectenna Conversion Efficiency >

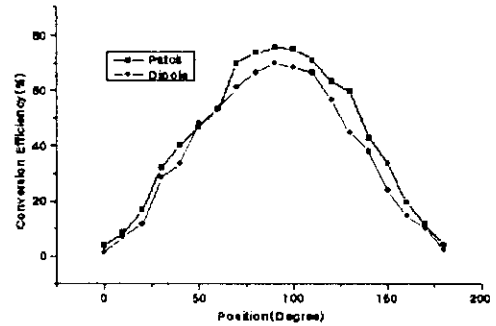


그림 5. Rectenna 방향에 따른 변환효율

그림 5는 각 Rectenna가 최적의 효율을 얻는 최적 부하 저항(패치는 400Ω, 다이폴은 360Ω)으로 고정된 후 Rectenna element의 방향에 따른 출력 변환효율을 나타낸 것이다. 각 Rectenna element가 입사전력을 받는 방향에 따라 변환효율도 계속해서 변화하였으나, 70° ~ 110° 이내의 방향에서 변환효율 값이 ±10%의 변화를 가짐을 알 수 있었다.

각 Rectenna의 형태와 방향에 따른 변환효율 측정시 송신용 발전기의 주파수 불안정과 출력 전력의 변화로 변환효율 측정시 ±5%이내의 오차가 발생되었으리라 사료되며, 실제 적용시에는 이 값을 고려해 주어야 한다.

IV. 결론

본 논문에서는 패치와 다이폴 형태의 Rectenna를 설계 및 제작하고, Rectenna의 종류와 위치에 따른 변환효율을 분석해 보았다.

Rectenna 종류에 따른 변환효율을 측정하기 위해 각각의 회로에 대한 측정장치를 그림 6과 같이 구성하였으며, 각 Rectenna의 RF-DC 변환효율 측정결과 패치 형태는 부하 저항이 400Ω일 때 75.6%, 다이폴 형태는 부하 저항이 360Ω일 때 69.75%의 최대

변환효율을 얻을 수 있었다. 실험 결과에서 동일한 거리와 입력전력일 때 패치 형태가 다이폴 형태의 Rectenna에 비해 약 5%이상 변환효율이 더 우수하다는 것을 알 수 있었다. 이는 패치 안테나의 이득이 다이폴 안테나에 비해 1.6dB이상 크기 때문에 보다 효율이 우수하게 나타났지만, Rectenna는 안테나 자체의 이득만 가지는 것이 아니므로 실제 이득값 차에 비해 변환효율 값의 차가 크지는 않았다.

위치에 따른 변환효율 실험에는 각 Rectenna가 최적의 효율을 얻는 최적 부하 저항(패치는 400Ω, 다이폴은 360Ω)를 사용하였고, 20dB 송신 혼 안테나와 Rectenna 사이의 거리는 30cm로 고정하였다. 각 Rectenna의 방향에 따른 RF-DC 변환효율 측정결과 두 Rectenna 모두 70° ~ 110° 의 방향에서 최대 변환효율을 얻을 수 있었다.

본 논문에서 설계되고 제작된 각 Rectenna를 비교한 결과 패치 형태가 다이폴 형태의 Rectenna보다 우수한 특성을 나타내었다. 그러나 다이폴 형태의 경우 그 크기와 무게가 기존의 기판을 이용하지 않음으로 인해 패치 형태에 비해 우수하므로 이러한 각 Rectenna의 특성을 이용해 응용분야에 따라 선택적으로 적용할 수 있다.

앞으로 제작된 각 Rectenna의 RF-DC 변환효율을 높일 수 있는 방안과 새로운 형태의 Rectenna에 대한 연구가 필요하며, 방향 변화에 관계없이 정류가 가능한 Rectenna 개발을 계속적으로 수행할 것이다.

참고문헌

- [1] William C. Brown, "The History of Power Transmission by Radio Waves", IEEE Trans. on MTT., Vol. MTT-32, No. 9, Sept. 1984
- [2] James O. Mcspadden, Taewhan Yoo, and Kai Chang, "Theoretical and Experimental Investigation of a Rectenna element for Microwave Power Transmission", IEEE Teans. on MTT., Vol. 40, No. 12, December 1992
- [3] Takeo ITO, Yoshiyuki FUJINO and Masaharu FUJITA, "Fundamental Experiment of Rectenna Array for Microwave Power Reception", IEICE Trans. Comm., Vol. E76-B, No. 12 December 1993
- [4] Trinogga, Kaizhou, Hunter, "Practical Microstrip Circuit Design", Ellis Horwood Ltd., 1991
- [5] J. R. James and P. S. Hall, "Handbook of Microstrip Antennas", Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom, 1989
- [6] PCAAD Ver. 3.0, Antenna Design Associates,

- Inc., 1997
- [7] Ensemble Ver. 4.02, Boulder Microwave Technologies, Inc. 1996
- [8] Super Compact Ver. 6.3, Compact Software Inc., 1994
- [9] Touchstone Ver. 1.83, EESof, Inc., 1987