

## 2.45GHz 마이크로파-DC 변환 기초 무선전력전송 실험에 관한 연구

정희원 윤 동 기\*\*, 박 양 하\*, 김 관 호\*, 이 영 철\*\*

### A Study on the Fundamental Experiment of Wireless Power Transmission for 2.45GHz Microwave to DC Conversion

Dong-Gi Youn\*\*, Yang-Ha Park\*, Kwan-Ho Kim\*, Young-Chul Rhee\*\* *Regular Members*

#### 요 약

본 논문에서는 2.45GHz 대역을 중심으로 무선전력전송에 대한 실험을 수행하기 위하여 고효율 마이크로파-DC 변환특성을 나타내는 마이크로스트립 단위 정류안테나를 설계·제작하였으며, 기초 무선전력전송을 위한 20×20 배열 정류안테나 시스템을 구축하였다. 여러 개의 배열 정류안테나는 마이크로파-DC 변환효율을 우수하게 하기 위하여 모듈방식에 의한 직·병렬 연결로 집전 시켰으며, 실험결과 단위 정류안테나는 75.6%의 변환효율을 보였고, 송신안테나에서 정류안테나까지의 무선전력전송 효율은 33%를 달성하였다.

#### ABSTRACT

For a basic experiment on Wireless Power Transmission(WPT) of 2.45GHz frequency band, we had developed and tested a rectenna cell based on microstrip antennas to get a high microwave to DC conversion efficiency. Square type microstrip array rectenna with 20×20 was constructed using the developed rectenna for basic experiment. We examined dependence of the rectenna array characteristics on the parallel and series electrical connection of the sub-arrays which is composed to have better Microwave-DC conversion efficiency in the central area of the rectenna array. A 75.6% conversion efficiency from unit rectenna cell with 400Ω load and a 33% wireless power transmission efficiency from transmitted antenna to load with 20×20 rectenna array system was achieved.

#### I. 서 론

무선전력전송이란 전력에너지를 마이크로파 에너지로 변환시키고 이 에너지를 자유공간에 전달하며, 다시 자유공간의 수신안테나에 의하여 마이크로파 신호를 DC로 변환시키는 방법으로 전력에너지를 무선으로 전송하는 방식이다.

무선전력전송(WPT : Wireless Power Transmission)은 19세기말 Nicola Tesla의 방전유도실험에 의해 처음 시도된 후 1959년 William C. Brown의

무인헬기용 구동전원으로 마이크로파를 이용한 송전 방식의 제안과 이에 대한 실험으로 기본개념이 정립되었다. 1968년 Peter Glaser에 의해 미래의 대체 에너지를 확보하기 위한 수단으로 우주태양광발전(SPS : Solar Power Satellite)이 제안되면서 1973년 NASA JPL에서 30kW의 무선송전실험을 계기로 무선전력전송의 가능성을 보였다<sup>[1]</sup>. 무선전력전송의 장기적 실현 대상인 SPS는 지상보다 태양에너지밀도가 높고 기후와 주야간 지속적 발전에 의해 지상으로 무선방식에 의해 전력을 공급할 수 있어 은실

\* 한국전기연구소 전력전자연구부 정보통신팀(ds5drq@netian.com)

\*\* 경남대학교 전자공학과

논문번호 : 98418-0923, 접수일자 : 1998년 9월 23일

가스감축과 화석연료 고갈에 대비한 미래의 유효한 대체에너지로 평가되고 있다. 향후 10~20년내에 SPS를 실현하기 위해 추진되고 있는 미국의 Solar Disk 및 Solar Tower와 일본의 SPS2000이 대표적인 예이다. 지금까지 무선전력전송을 응용하는 연구 개발 사례는 WISPER(저궤도상의 위성에 무선에너지 전송시험), SABER(Raytheon사의 헬리콥터 부상 시험), SHARP(캐나다의 무인 비행체를 이용한 통신방송, 원격장치용 플랫폼 개발), MILAX(일본의 모형헬기 부상시험), ETHER(통신방송중계용 비행선), ALASKA21(알래스카주의 무선전력송전망) 등이 있으며 본격적인 무선전력전송용 전파자원의 확보를 위한 연구문서초안이 1977년 ITU-T에 제출되었다<sup>[2-3]</sup>. 국내에서는 한국전기연구소에서 처음으로 새로운 전기에너지의 공간이용과 장기적인 우주태양광 발전의 연구를 위해 무선전력전송시스템의 실용화 연구를 추진하고 있다. 본 논문은 이러한 무선전력전송을 실현하기 위한 기본구성시스템의 실험과 시스템 설계에 중요한 전송효율 특성을 측정하고자 하였다. 기존의 무선전송시스템의 개념에서 보면 전송계의 설계파라미터는 이미 확립되어 있으므로 수신된 무선에너지신호를 DC전압으로 변환시키는 단위 정류안테나(Rectenna Cell)의 변환효율이 성능분석을 통한 전체 전송효율의 특성이 평가 될 수 있다. 무선전력 전송시스템 구성은 송전단에 2.45GHz의 신호를 발생시키는 마그네트론(Magnetron)을 포함한 전력변환시스템, 아이솔레이터, 3-스텝(Stub)튜너, 방향성결합기 및 혼(Horn) 안테나로 구성하였으며, 수전단은 마이크로스트립형 패치 안테나를 20×20 배열시킨 배열 정류안테나(Rectenna Array) 및 부하로 하였다. 송신단의 출력은 10~100W로 가변시켰으며, 전송거리는 10m로 하여 부하값에 따른 전송효율을 시험하였다.

## II. 정류안테나의 구성요소해석

무선전력전송 시스템의 설계에서 가장 고려해야 할 사항은 정류안테나(Rectenna : Rectifying Antenna)이며 정류안테나는 마이크로파 전력을 입사 받아 직류 전압(DC)으로 변환시키는 전력 변환소자이다. 정류안테나는 크게 마이크로파를 받아들이는 안테나 부분과 필터 및 정류용 다이오드를 포함한 정류회로 부분으로 그림 (1)과 같이 구성된다.

정류안테나에 이용되는 안테나는 마이크로파 전력을 반사나 손실 없이 입사되는 특성이 요구되며,

일반적으로 다이폴 안테나와 마이크로스트립 패치형 안테나를 많이 사용한다. 특히 무선전력전송 시스템에서는 수전 전력을 높이기 위하여 안테나를 배열 (Antenna Array)시킴으로서 마이크로파 전력의 입사면적을 넓혀 수전 전력을 크게 한다.<sup>[4]</sup>

그림 (1)에서 필터는 입사 마이크로파의 고조파 성분들이 안테나를 통해 재방사 되는 것을 막고, 고조파 성분들이 출력 직류전압에 유입되어 리플이 발생하는 것을 막기 위해 저역통과필터나 대역통과 필터를 사용한다. 필터를 설계할 때에는 입사되는 마이크로파 주파수만 통과시키고 그 밖의 주파수 특히 다이오드의 비선형 동작 특성에 의하여 발생 될지도 모를 입사파의 고조파(Harmonics)에 의한 손실이 발생되지 않도록 설계되어야 한다.

안테나와 필터를 통과한 마이크로파 신호에 의하여 DC 전력을 얻기 위하여 정류소자는 입력된 마이크로파 전력을 누설 없이 직류전력으로 변환하는 성능(전송효율과 정류효율)이 요구되며 원하는 전압·전력값을 얻기 위해 여러 개의 마이크로파 정류 다이오드를 사용한다.<sup>[5]</sup>

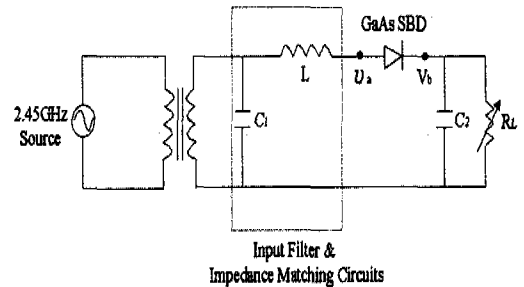


그림 1. 단위 정류안테나(Rectenna cell)의 기본구성.  
Fig. 1 Rectenna cell diagram.

이와 같이 마이크로파 전력을 DC전력으로 변환시키는 정류다이오드는 외부에서 바이어스 전압이 인가되지 않더라도 동작하는 Zero-bias다이오드이어야 하며, 마이크로파 주파수에서 동작하기 위해 스위칭 속도가 높은 쇼트키 다이오드(Schottky Diode)를 주로 사용한다. 이러한 Zero-Bias 쇼트키 다이오드는 보통 낮은 장벽 저항 특성에 의하여 큰 포화 전류 특성과 큰 내부저항을 나타내므로 비교적 큰 부하 저항값을 갖는 특성이 있다. 마이크로파 전력용 정류 다이오드는 가능한 선형특성이 우수하여 비교적 고조파 발생이 작은 다이오드를 선택해야 하며, 특히 바이어스 전압을 인가하지 않기 때문에 동작 주파수에서 전력 변환손실이 작아야만 하고, 높

은 입력전력에서 사용하기 위해 높은 역방향 전압과 적은 전력 소비(Power Consumption)를 가지는 다이오드를 선택해야 한다.<sup>[6]</sup>

이와 같은 정류다이오드의 특성을 고려하여 그림(2)에서 입사되는 마이크로파 신호가 이상적인 신호라 가정하여  $\omega$  각주파수로 입사되는 신호를  $v_a$ 라 하면

$$v_a = V_1 \cos \omega t \quad (1)$$

로 표현되며 정류다이오드의 출력전압을  $V_b$ 라 할 때  $V_b = V_{DC}$ 값이 되어야 하므로 정류 다이오드의 양단 전압  $v_{SB}$ 는

$$v_{SB} = V_1 \cos \omega_0 t - V_{DC} \quad (2)$$

이다. 정류 다이오드에 흐르는 전류는  $I_{SB}$ 라 하면 이 전류값은 주기적 함수형태로써 다음 식과 같이 전개 할 수 있다.

$$I_{SB} = I_0 + I_1 \cos(\omega t - \phi_1) + I_2 \cos(2\omega t - \phi_2) + \dots \quad (3)$$

윗 식에서  $I_0$ 는 부하에 흐르는 전류로써  $I_0 = V_{DC}/R_L$ 로 나타나며,  $I_1$ 와  $\phi_1$ 은 안테나를 향하여 반사되는 입사신호의 전류성분과 위상이며 기본 주파수에 체배된 주파수 성분이 다이오드의 비선형 특성으로 존재할 수 있음을 알 수 있다. 이와 같이 다이오드로부터 안테나방향으로 전달되는 성분 에 의하여 반사가 일어나며 손실이 발생되고 다이오드의 정류효율을 저하시킨다. 기본주파수 성분에 의하여 나타나는 입력 임피던스를  $Z_{in}$ 이라 할 때

$$Z_{in} = \left| \frac{V_1}{I_1} \right| \cos \phi_1 + j \left| \frac{V_1}{I_1} \right| \sin \phi_1 \quad (4)$$

이 되며  $Z_{in}$ 에 의하여 나타나는 손실을 없애기 위하여 입력단에 임피던스 정합회로를 최적화 시켜야 한다. 정류안테나 시스템의 각 부분별 설계이론을 근거로 전체적인 정류안테나의 직류 변환효율은 입사되는 마이크로파 전력과 부하양단에 나타나는 전력 및 정류다이오드로부터 반사되는 전력과의 관계로부터 다음과 같이 정의된다.

$$\eta = \frac{\text{부하단의 DC전력}}{\text{정류안테나에 흡수되는 전력}} \quad (5)$$

그림 (1)에서 안테나에 입사되는 최대 유효전력

$P_{in}$ 이라 하고 정류안테나의 부하저항에서 나타나는 전력을  $P_{out}$  이라 할 때 부하의 양단전압에 의하여  $P_{out}$ 은

$$P_{out} = \frac{V_{out}^2}{R_L} \quad (6)$$

이 되며 다이오드에 흡수되는 전력은 안테나에 입사된 유효최대전력  $P_{in}$ 과 다이오드에서 반사된 전력  $P_{refl}$ 에 의하여 구할 수 있다. 부하단의 전력  $P_{out}$ 에 의하여 정류안테나의 전력 변환 효율은 식(5)에 의하여 (7)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in} - P_{refl}} \quad (7)$$

이때  $P_{refl}$ 는 안테나의 반사손실을 의미하며 식(8)과 같이 표현된다.

$$P_{refl} = I_n \cdot Z_{in} \quad (8)$$

$Z_{in}$ 은 (4)식과 같으며,  $I_n$ 는 제 n 고조파 ( $n=1,2,3,\dots$ )에 대한 안테나의 입력 임피던스와 전류성분이다.

### III. 단위 정류안테나(rectenna cell)의 설계와 효율분석

무선전력전송시스템을 구축하기 위하여 가장 고려되어야 할 사항은 사용주파수의 선정과 우수한 효율특성을 나타내는 정류안테나의 설계기술이다. 본 논문에서는 ISM(Industrial, Scientific, Medical) 대역에서 2.45GHz를 선정하였으며, 우수한 변환효율 특성을 나타내기 위하여 정류안테나를 다양하게 설계하였다. 설계하고자 하는 정류안테나의 구조는 2.45 GHz의 마이크로파를 받아들이는 마이크로파 수신안테나, 필터, 임피던스 정합회로 및 마이크로파 정류 다이오드 회로로 구성된다. 정류안테나(Rectenna)에 사용되는 안테나 소자는 다이폴 안테나와 마이크로 스트립 패치 안테나를 많이 사용되며 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 편이성 등이 패치 안테나에 비해 우수하기 때문에 특정 용도에서는 패치를 대신하여

쓰이고 있다. 마이크로스트립형 패치 안테나는 가볍고, 제작하기 쉬우며, 소형인 여러 가지 특징을 가지고 있어 소형 박막 기술이 요구되는 통신 위성용 안테나, 항공기용 안테나 등에 이용되며, 다른 안테나에 비해 상대적으로 대역폭이 좁으며 입사 전력의 크기에 제한을 가지고 이득이 작다는 단점을 가지고 있다.<sup>[7]</sup> 이와 같은 장단점을 고려하여 본 논문에서는 다이폴 안테나의 제작에는 직경이 1mm인 리드선을 이용하였고, 수직편파(Vertical Polarization) 특성과 2.7dB의 이득을 가지도록 설계하였다. 마이크로스트립 패치 안테나의 제작에는 유전율이 4.4이고, 두께가 1.6mm인 FR-4 기판을 사용하여 수직편파(Vertical Polarization) 특성과 4.3dB의 이득을 가지도록 설계하였다. 정류안테나 설계시 안테나로부터 들어온 신호의 고주파 성분을 제거해 주는 저역 통과필터 회로를 설계하였으며, 마이크로파 정류 다이오드(쇼트키 다이오드)와 회로사이에 임피던스 부정합에 따른 손실을 줄이기 위한 임피던스 정합회로를 설계하였다. 정류안테나의 변환효율을 가능한 최대로 높이기 위하여 본 논문에서는 여러 종류의 다이오드 특성을 조사하여 큰 순방향 전류와 역내압을 가지고, 다이오드 자체의 소비 전력이 적은 GaAs 쇼트키 다이오드(HP-285X)를 사용하였다. GaAs 쇼트키 다이오드의 데이터에 의하여 정합회로, 필터회로, 그리고 안테나는 마이크로파 프로그램인 PCAAD<sup>[11]</sup>, Ensemble<sup>[12]</sup>, Super Compact<sup>[13]</sup>을 사용하여 마이크로파 집적회로(MIC)기법으로 그림(2)와 같이 설계·제작하였다. 제작된 단위 정류안테나의 RF-DC 변환효율을 측정하기 위해 그림(3)과 같이 실험장치를 구성하였다. 마이크로파 신호원은 2.45GHz 100W 출력을 가지는 마그네트론(Magnetron)을 사용하였고, 송신용 안테나로는 20dB i의 이득을 가지는 Horn 안테나를 사용하였다. 송신

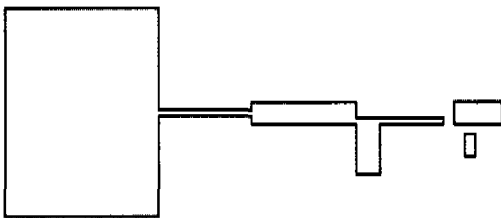


그림 2. 단위정류안테나의 구조  
Fig. 2 The structure of unit rectenna cell.

안테나와 마그네트론 사이에 3-스텝(Stub) 튜너로 임피던스를 정합 시켰고, 가변감쇠기를 중간에 설치

하여 송신전력을 조정하였다. 송신전력의 측정은 30 dB 방향성 결합기를 통하여 나타나는 전력을 마이크로파 전력계를 연결하여 측정하였다. 부하저항에 따른 단위 정류안테나의 변환효율 측정시 마그네트론의 출력은 3W, 송신안테나와 정류안테나사이의 거리를 1m로 고정하였고, 식(6)-(7)에 의하면 부하저항 값에 따라 정류안테나의 변환효율값이 변화되

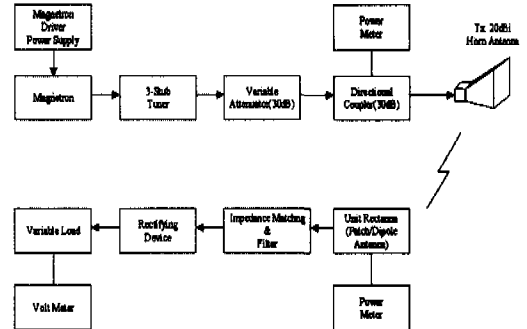


그림 3. 단위정류안테나 측정 시스템  
Fig. 3 Unit rectenna cell measurement system.

므로 최적 부하값에 따른 최대 변환효율값을 구하기 위하여 부하저항을 20~500Ω까지 가변시켰다. 그림(4)는 부하 저항에 따른 마이크로스트립 패치형 정류안테나와 다이폴 안테나의 변환효율 관계를 보여주고 있다. 측정 결과에서 다이폴형 정류안테나는 300Ω 이상의 부하 저항일 때 RF-DC 변환효율이 65%이상 되었으며, 부하 저항이 360Ω일 때 69.75%의 최대 변환효율을 나타내었다. 패치형 정류안테나는 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 정류안테나 모두 300Ω이상일

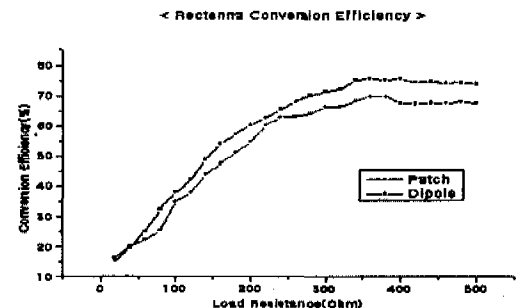


그림 4. 부하저항에 따른 단위정류안테나의 효율  
Fig. 4 Unit Rectenna conversion efficiency with variable loads.

때 거의 일정한 값을 유지하였고, 다이폴형은 부하 저항이 360Ω 이상일 때, 패치형은 부하 저항이 400Ω 이상일 때 변환효율이 조금씩 감소하였다. 마이크로스트립 패치 안테나가 다이폴 안테나보다 우수한 변환효율 특성을 보이고 있으므로 마이크로스트립 패치 안테나를 중심으로 부하 저항을 400Ω으로 고정한 후 단위 정류안테나에 대하여 입력 전력에 따른 출력효율을 관계 측정된 결과는 그림 (5)와 같다. 마이크로스트립 패치형 단위 정류안테나는 입사전력값이 커짐에 따라 변환효율도 계속해서 증가하였으나, 최대 80% 정도에서 더 이상 변환효율이 증가하지 않음을 알 수 있었다. 그림 (6)은 각각의 정류안테나가 최적의 효율을 얻는 최적 부하저항(패치는 400Ω, 다이폴은 360Ω)으로 고정한 후 단위 정류안테나의 방향에 따른 출력 변환효율을 나타낸 것이다. 각각의 단위 정류안테나에 입사되는 방향에 따라 변환효율도 계속해서 변화하였으나, 70° ~ 110° 이내의 방향에서 변환효율 값이 ±10%의 변화를 가짐을 알 수 있었다.

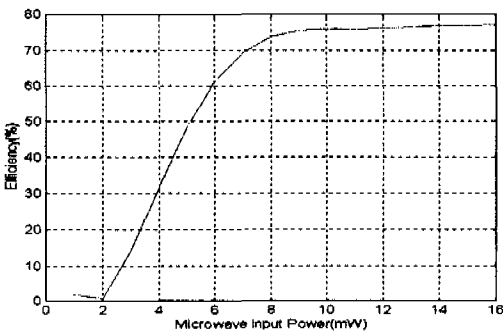


그림 5. 입사전력에 대한 단위 정류안테나 변환효율관계  
Fig. 5 Square Patch Rectenna conversion efficiency with input power

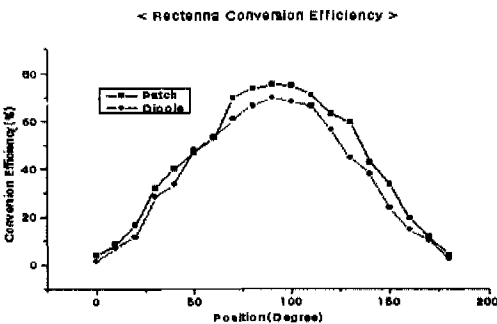


그림 6. 정류안테나 각도에 따른 변환효율관계  
Fig. 6 Rectenna conversion efficiency with position

#### IV. 무선전력전송 실험

앞 절에서 분석한 단위 정류안테나가 가지는 최대 변환효율과 최적 부하조건을 이용하여 마이크로스트립 패치형 안테나의 배열에 따른 변환효율을 분석하고자 2×2, 4×4, 16×16, 20×20로 배열시킨 정류안테나를 구성하였으며 표 1.과 같은 1kW 규모 무선전력전송 실험장치를 제작하였다(그림7-b). 정류안테나는 기판 유전율이 4.4, 두께가 1.6mm인 FR-4기판을 사용하였으며 HMIC(Hybrid Monolithic Integrated Circuits) 기법으로 제작하였으며 그림 (7-a)은 가로, 세로 20×20으로 배열시킨 정류안테나를 보여주고 있다. 그림 (7-a)와 같이 제작된 배열 정류안테나에서 전파의 수신효율을 높이기 위하여 마이크로스트립 패치형 안테나를 전면으로 하고 정류회로 부분은 안테나 뒷면에 수직으로 연결시킴으로써 단위 정류안테나가 밀집되도록 하였으며, 수신부에서는 각각 정류회로에서 발생된 DC전압을 집전시키기 위하여 그림 (8)과 같이 최종 부하단에서 부하값이 400Ω이 되도록 직·병렬회로를 구성

기기 종류	용도
1kW Magnetron	Source
3-STUB Tuner	임피던스정합
30dB Directional Coupler	계측기와의 연결
HP 436A Power Meter	송·수신 전력측정
가변 감쇄기 RU-601	가변부하저항
HI-1710	마이크로파 전력측정
전력계 : Iwatsu SC-7403 Digital MultiMeter	출력전압측정
20dBi Horn Antenna	전력 송신용

표 1. 무선전력전송시스템구성  
Table. 1 System configuration of Wireless Power Transmission system

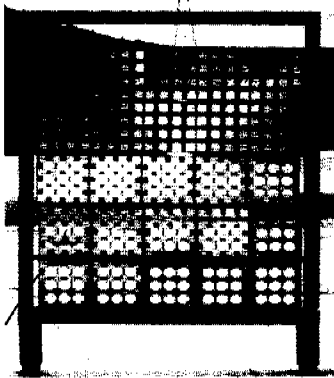
시켰다. 각각의 정류안테나 사이의 간격은 0.25λ 가 되도록 하여 0.25 스텝(stub)에 의하여 근접 정류안테나에 영향을 없애도록 하였다. 소규모 무선전력전송 실험장치에서 송신단의 안테나는 이득이 20dBi이며 2.45GHz의 주파수에서 SWR=1.173, 방사각은 17° 였다. 입력 필터는 통과대역에서 2.3dB의 감쇄를 가졌고, 정합회로의 입력 SWR은 1.14였다. 구성된 무선전력전송 시스템에서 송신부와 정류안테나 사이 간격을 10m, 부하저항 400Ω, 송신부의 출력

전력을 100W로 고정하였으며 설계된 정류안테나 배열 수에 따른 출력과 효율을 측정하였을 때 표 2와 같은 결과를 얻었다.

Rectenna Array 개수	Rectenna Array 수신전력(W)	Rectenna Array 출력전력(W)	Rectenna Array 변환효율(%)
2×2	1.95	0.97	49
4×4	8.03	5.3	66
16×16	29.5	21	71
20×20	47.9	33.1	69.1

표 2. 정류안테나(rectenna) Array 개수에 따른 출력전력과 효율  
Table. 2 Output power and conversion efficiency with array elements

측정 결과로부터 정류안테나의 배열에 따라 배열 수가 증가하면 마이크로파 수신부의 수신면적이 넓어져 정류안테나의 출력전력이 커진다는 것을 알 수 있었다. 그러나 정류안테나 배열수가 2×2, 4×4 일 때는 송신안테나의 방사패턴의 중심과 거의 일치하여 단위 정류안테나 당 나타나는 평균전력은 0.5W이상 되었으나 정류안테나 배열수가 16×16, 20×20와 같이 배열수가 많은 경우에는 단위 정류안테나에 나타나는 평균전력은 0.1W정도 수신되어 송신안테나의 방사패턴에 따라 빔의 중앙에서는 비교적 큰 전력을 집전하게 되고 배열 정류안테나의 가장자리로 갈수록 수전 전력값은 상대적으로 작아짐을 알 수 있었다. 이와 같이 송신 안테나의 방사패턴에 따라 배열 정류안테나의 수신면적이 제한되므로 어느 정도 범위에서는 더 이상 수신 전력이 증가되지 않으며 정류안테나의 변환효율이 감소됨을 알 수 있다.



(a) 배열(20×20) 정류안테나



(b) 2.45 GHz 무선전력전송시스템

그림 7. 2.45GHz 기초 무선전력전송시스템의 모습

- (a) 배열(20×20) 정류안테나
- (b) 2.45 GHz 무선전력전송시스템

Fig. 7 Figure of 2.45GHz Wireless Power Transmission system

- (a) Array Rectenna(20×20)
- (b) 2.45 GHz Wireless Power Transmission system

20×20 배열 정류안테나에 대한 송신측에서 수신측까지 무선전력전송 시스템 전체 효율은 거리에 따른 전파의 감쇄분을 일정하다고 고려하여 계산한 결과 약 33%이었으며 무선전력전송시스템에서의 전송효율은 자유공간의 전파상태(습도 온도등)의 감쇄가 일정하다고 가정할 때 무선전력전송의 수신 정류안테나에서의 변환효율 감쇄에 따라 전송효율이 결정되므로 정류안테나의 구성요소에서 손실원인을 감소시키는 것이 가장 큰 요인으로 나타났다. 무선전력전송시스템에서 송신 안테나와 수신안테나 사이

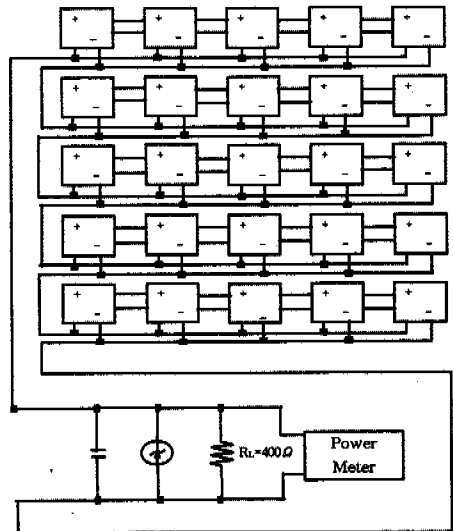


그림 8. 배열 정류안테나의 집전회로  
Fig. 8 Wiring diagram of Array Rectenna

의 전송효율을 높이기 위하여 송신단은 지향성이 좋은 파라볼라 안테나를 사용해야 하며, 수신단은 송신 안테나의 방사패턴과 크기에 적합한 단위 정류안테나의 효율적인 배열방안 또는 FSS(Frequency Selective Surface)를 도입한 배열 안테나 설계 등 누설파를 다시 집진시킬 수 있는 FSS 정류안테나의 설계가 요구된다. 배열 정류안테나를 최적설계 함으로써 현재의 효율을 보다 높일 수 있으리라 사료되며, 앞으로 최적 부하의 조건, 전송거리 확대시의 효율 및 감쇄 관계, 혼 안테나의 빔 패턴 특성, 최적 부하의 구동, 다이오드의 고조파 특성에 따른 변환효율 변화관계, 정류 다이오드의 특성 등 계속적인 무선전력전송에 대한 전송실험을 통하여 대규모의 무선전력전송을 달성할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 2.45GHz 대역을 중심으로 무선전력 전송에 대한 실험을 수행하기 위하여 고효율 마이크로파 DC 변환특성을 나타내는 단위 정류안테나(Rectenna Cell)를 설계 제작하였다. 단위 정류안테나는 저역통과필터, 임피던스정합 및 마이크로파 정류소자로서 구성시켰으며 마이크로스트립형 패치 안테나와 다이폴 안테나를 중심으로 정류안테나를 구성하였다. 설계된 정류안테나를 가지고 마이크로파/DC 변환효율 관계를 부하 저항값에 따라 측정하였으며 부하저항이 400Ω에서 가장 큰 75.6%의 변환효율이 나타났으며, 단위 정류안테나에 입사되는 전력의 세기와 안테나의 방향에 따라 약 80% 정도까지 증가하는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서 설계되고 제작된 단위 정류안테나를 20×20으로 배열시켰으며 집진효율을 높이고자 배열 정류안테나를 4×4 소규모 모듈로 구분하고 직병렬 연결시켜 부하에 나타나는 DC 전력을 집전하도록 하였다. 배열 정류안테나와 송신 안테나 사이의 간격을 10m, 부하저항 400Ω, 출력 전력 100W로 마이크로파 무선전력전송시스템을 구축한 후 특성실험을 한 결과, 마이크로파 송신안테나 출력단에서부터 정류안테나의 부하단에서 나타난 DC전력까지 전체 무선전력 전송효율은 약 33%였고, 현재 효율을 증대시키기 위해 이중편파 방식의 송·수신단 구성 및 배열 정류안테나의 효율적인 배치에 관한 연구를 진행중에 있다.

현재 개발된 수십 Watt급의 소규모 무선전력전송 시스템의 설계 및 제작 기술을 기반으로 차후 수백

Watt급의 대규모 무선전력전송 시스템의 설계 및 제작에 관련된 기반 기술을 확보하였다. 앞으로 대규모 전력전송 실험을 위한 정류안테나(Rectenna)의 배열시스템 및 우수한 전송효율과 RF-DC 변환의 고효율을 얻기 위한 정류소자의 비선형 등가모델 분석등 변환효율 예측에 관한 연구가 요구되며, 향후 2000년대에 이 기술을 이용하여 위성을 이용한 우주 태양광 발전(Solar Power Satellite) 및 무선전력전송 기반 시스템의 기본 기술로서 응용될 수 있으리라 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] William C. Brown, "The History of Power Transmission by Radio Waves", IEEE Trans. on MTT., Vol. MTT-32, No. 9, Sept. 1984
- [2] William C. Brown, "Progress in the Efficiency of Free-Space Microwave Power Transmission", Journal of Microwave Power, 7(3), 1972
- [3] International Telecommunication Union, Radiocommunication Study Groups "Wireless Power Transmission", Document 1/11-E, 18 November 1996.
- [4] Ronald J. Gutmann and Jose M. Borrego, "Power Combining in Array of Microwave Power Rectifiers", IEEE Trans. on MTT, vol., MTT-27, NO. 12, December 1979
- [5] 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
- [6] 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
- [7] J. R. James and P. S. Hall, "Handbook of Microstrip Antennas", Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom, 1989
- [8] G.D. Arndt and E.M. Kerwin, "Applications of Low-Earth-Orbit Power Transmission", Space Power, Vol. 6, pp. 137-155, 1986
- [9] William C. Brown, "Rectenna Technology

Program : Ultra Light 2.45GHz Rectenna and 20 GHz Rectenna”, NASA Lewis Research Center, 1987

1980년~1983년 : 한국전력공사

1983년~현재 : 한국전기연구소 정보통신연구팀 책임연구원

- [10] Naoki Shinohara and Hiroshi Matsumoto, “Experimental Study of Large Rectenna Array for Microwave Energy Transmission”, IEEE Trans. on MTT, vol. 46, NO. 3, March 1998
- [11] PCAAD Ver. 3.0, Antenna Design Associates, Inc., 1997
- [12] Ensemble Ver 4.1 Boulder Microwave Technologies Inc., 1996
- [13] Super Compact Ver. 6.3, Compact Software Inc., 1994

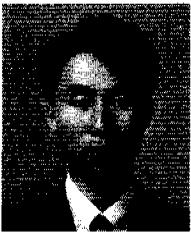
이 영 철(Young-Chul Rhee)

정회원

현재 : 경남대학교 정보통신공학부 교수

윤 동 기(Dong-Gi Youn)

정회원



1972년 11월 6일생

1995년 : 경남대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 : 경남대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

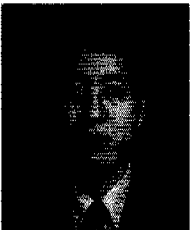
1997년~현재 : 경남대학교 대학원 전자공학과 박사과정

1997년~현재 : 한국전기연구소 정보통신연구팀 위촉연구원

<주관심 분야> RF & Microwave 회로 및 시스템 설계

박 양 하(Yang-Ha Park)

정회원



1962년 1월 8일생

1984년 : 동아대학교 전자공학과 (공학사)

1986년 : 동아대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1990년~현재 : 한국전기연구소 정보통신연구팀 선임연구원

<주관심분야> 무선통신 시스템 설계, M/W 회로설계

김 관 호(Kwan-Ho Kim)

정회원

1978년 : 송전대학교 전자공학과(공학사)

1980년 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)