

Microstrip Patch 형 Rectenna의 변환효율 분석에 관한 연구

박양하*, 윤동기*, 김관호*, 이영철**
 *한국전기연구소, **경남대학교

A study on the RF-DC Conversion Efficiency of Microstrip Patch Rectenna

Yang-Ha Park*, Dong-Gi Youn*, Kwan-Ho Kim*, Young-Chui Rhee**
 *KERI, **Kyungnam University

Abstract - We designed and manufactured microstrip patch antenna mainly used in the Rectenna and then analysed RF-DC conversion efficiency of wireless power transmission system. We analyse conversion efficiency of load, direction of linear and dual polization rectenna. We found that the maximum efficiency would be about 70% of load and direction in patch type. In conclusion, we found that total conversion efficiency is 64%~71% in patch Rectenna.

공진 길이는 다음의 수식에 의해 얻을 수 있다.

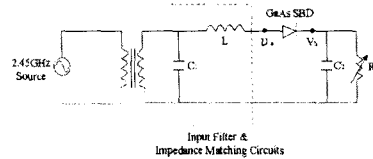


그림 1. 단위 렉테나의 기본구성

1. 서 론

무선전력전송은 19세기말 Nicola Tesla의 방전유도 실험에 의해 처음 시도된 후 1959년 William C. Brown의 무인헬기용 구동전원으로 마이크로파를 이용한 송전방식의 제안과 이에 대한 실험으로 기본개념이 정립되었다. 1968년 Peter Glaser에 의해 미래의 대체 에너지를 확보하기 위한 수단으로 우주태양광발전이 제안되면서 1973년 NASA JPL에서 30kW의 무선송전실험을 계기로 무선전력전송의 가능성을 보였다. 이와 같은 무선전력전송 시스템의 설계 구성요소는 크게 송신부와 수신부 그리고 전송부로 구분되며, 그 중에서 수신부 정류안테나(rectifying antenna : Rectenna)의 마이크로파-DC 변환효율이 그 중 가장 중요한 요소이다.

렉테나는 송신부에서 자유공간을 통해 전송된 마이크로파를 수신 받아 직류로 변환하는 장치이다. 여러 종류의 렉테나 설계중 본 논문에서는 마이크로스트립 패치형 정류 안테나를 설계·제작하여 마이크로파-DC 변환효율을 분석하였다

$$L = \frac{\lambda_0}{2} \times \frac{1}{\sqrt{(e_{eff})}} - 2\Delta l \dots\dots\dots(1)$$

$$\Delta l = 0.412h \frac{(e_{eff} + 0.3)(Wh + 0.264)}{(e_{eff} - 0.258)(Wh + 0.8)} \dots\dots\dots(2)$$

식 (3)은 정사각형 패치 안테나의 공진 주파수를 나타낸 것이다.

$$f = \frac{c}{2(L + 2\Delta l)\sqrt{(e_{eff})}} \dots\dots\dots(3)$$

마이크로스트립 패치 안테나의 제작에는 유전율이 4.4이고 두께가 1.6mm인 FR-4 기판을 사용하여 수직편파 특성과 4.3dBi의 이득을 가지도록 제작하였으며 그림 2.에는 제작된 렉테나를 나타내었다.

2. 본 론

2-1. 렉테나의 마이크로파-DC 변환효율 분석

마이크로스트립 안테나는 기존의 초고주파용 안테나에 비해 제작하기가 쉽고 경량이며 박막형태로 만들 수 있으며 단순한 급전위치의 변화로써 선형편파 및 원형편파 안테나를 만들 수 있으며 급전선과 정합 회로망을 동시에 제작 할 수 있는 장점이 있다.

가장 간단한 형태의 마이크로스트립 안테나는 유전율이 ϵ_r 인 일정한 두께의 유전체 기판들 사이에 두고 한쪽 면에는 안테나 역할을 하는 복사소자로 구성하는 것이다. 마이크로스트립 안테나 제작 이론을 바탕으로 2.45 GHz에서 동작하는 마이크로스트립 안테나를 설계하였으며



그림 2. 제작된 패치형 렉테나

2-2. 단위 렉테나의 변환효율 측정

제작된 단위 렉테나의 마이크로파-DC 변환효율을 측정하기 위해 2.45GHz, 5W 출력을 가지는 저출력 특성

분석장치를 사용하였고 송전용 안테나로는 20dBi의 이득을 가지는 혼 안테나를 사용하였다. 그림 3.은 부하 저항에 따른 마이크로스트립 패치와 다이폴 형태의 렉테나의 변환효율 관계를 보여주고 있다.

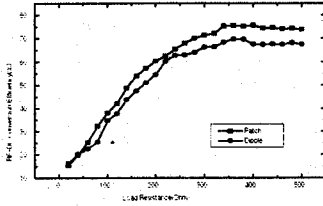


그림 3. 부하에 따른 단위 렉테나의 변환효율

패치 형태의 렉테나는 300Ω 이상의 부하저항일 때 마이크로파-DC 변환효율이 70%이상 되었으며 부하 저항이 400Ω일 때 75.6%로 최대 변환효율을 나타내었다. 그림 4.는 각각의 렉테나가 최적의 효율을 얻는 최적 부하저항(패치는 400Ω, 다이폴은 360Ω)으로 고정 한 후 단위 렉테나의 방향변화 따른 출력 변환효율을 나타낸 것이다.

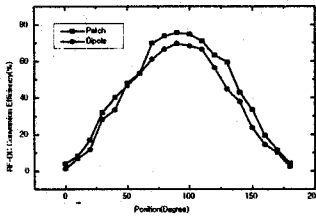


그림 4. 렉테나 방향변화에 따른 변환효율 비교

각각의 단위 렉테나는 입사되는 방향의 변화에 따라 변환효율도 계속해서 변화하였으나 70° ~110° 이내의 방향에서 변환효율 값이 ±10%의 변화를 가짐을 알 수 있었다.

그림 5.에는 패치 형태의 이중편파 렉테나의 부하에 따른 변환효율 측정 결과를 나타내었다. 측정 결과에서 이중편파 렉테나는 270Ω 이상의 부하 저항일 때 마이크로파-DC 변환효율이 70%이상 되었으며, 부하 저항이 340Ω일 때 75.4%의 최대 변환효율을 나타내었다. 그림 6.에는 각 형태의 렉테나에 최적부하 저항을 사용하여 이중편파 렉테나의 입사 전력의 방향 변화에 따른 변환효율 측정 결과를 나타내었다. 패치 형태의 렉테나는 송신 안테나로부터의 입사 전력 방향이 0°와 90° 부근에서 75.4%의 변환효율을 나타내었고, 45°와 135° 부근에서 대략 69.3%의 변환효율을 나타내어

변환효율 변동폭은 약 ±6%였다.

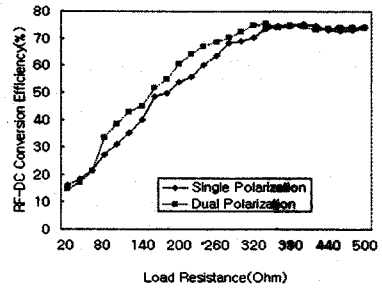


그림 5. 이중편파 렉테나의 부하에 따른 변환효율

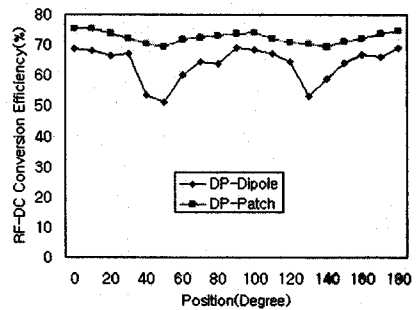


그림 6. 이중편파 렉테나의 방향에 따른 변환효율 비교

그림 7.은 각 렉테나가 최적의 효율을 얻는 최적 부하 저항(패치는 400Ω, 다이폴은 360Ω, 야기는 380Ω, 다이폴 형태의 이중편파 렉테나는 360Ω, 그리고 패치 형태의 이중편파 렉테나는 340Ω)으로 고정 한 후 렉테나의 방향에 따른 출력 변환효율을 나타낸 것이다.

각 렉테나가 입사전력을 받는 방향에 따라 변환효율도 계속해서 변화하였으나, 패치와 다이폴, 그리고 야기의 경우 70° ~110° 이내의 방향에서 변환효율 값이 ±10%의 변화를 가짐을 알 수 있었다. 그러나 그 이외의 방향에서는 급격히 변환효율이 감소되어 0°와 180° 일 때는 거의 0에 가까운 변환효율 특성을 나타내었다.

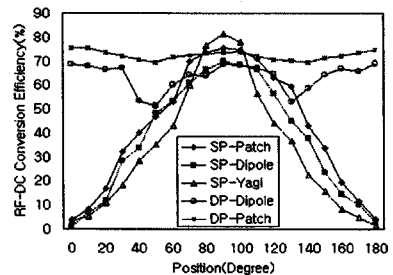


그림 7. 각 렉테나의 방향에 따른 변환효율 비교

그림 8.에는 부하에 따른 각 렉테나의 변환효율을 나타내었다. 기존에 실험된 마이크로스트립 패치 형태의 렉테나는 부하 저항이 400Ω일 때 75.6%의 최대 변환효율을 나타내었고 다이폴 형태의 경우 360Ω일 때 69.75%의 변환효율을 얻은 것에 반해 야기 형태의 렉테나는 부하 저항이 260Ω일 때 81.3%의 최대 변환효율을 나타내었다.

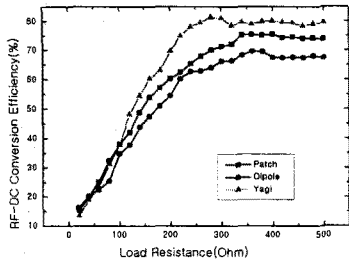


그림 8. 각 렉테나의 부하에 따른 변환효율

2-3. 렉테나 배열에 따른 출력전력과 효율 분석

200W급의 무선전력전송 실험을 하기 위해 무선전력전송 실험장치를 제작하였다. 200W급 무선전력전송 실험장치에서 송신단의 안테나 이득은 20dBi이며 2.45GHz의 주파수에서 SWR=1.173, 방사각은 17°였다. 구성된 무선전력전송시스템에서 송신단과 렉테나 사이 간격을 10m, 부하저항 400Ω, 송신단의 출력전력을 1kW로 고정하였다. 설계된 렉테나 배열 수에 따른 출력과 효율을 측정하였을 때 표 1.과 같은 결과를 얻었다. 측정 결과로부터 렉테나의 배열에 따라 배열수가 증가하면 마이크로파 수신단의 수신 면적이 넓어져 렉테나의 출력전력이 커진다는 것을 알 수 있다.

표 1. 렉테나 배열 개수에 따른 출력전력과 효율

Array 개수	수전전력 (W)	출력전력 (W)	변환효율 (%)
2×2	3.8	2.4	64
4×4	20.5	13.5	66
16×16	215.1	152.7	71
20×20	293.4	202.7	69.1

그러나 렉테나 배열수가 2×2, 4×4일 때는 송전안테나의 방사패턴의 중심과 거의 일치하여 단위 렉테나 당 나타나는 평균전력은 0.5W이상 되었으나 렉테나 배열수가 16×16, 20×20와 같이 배열수가 많은 경우에는 단위 렉테나에 나타나는 평균전력은 약 0.7W 이상 수전되어 송전안테나의 방사패턴에 따라 빔의 중앙에서는 비교적 큰 전력을 집전하게 되고 배열 렉테나의 가장자리로 갈수록 수전 전력값은 상대적으로

으로 작아짐을 알 수 있다. 이와 같이 송전 안테나의 방사패턴에 따라 배열 렉테나의 수전면적이 제한되므로 어느 정도 범위에서는 더 이상 수전 전력이 증가되지 않으며 배열 렉테나의 변환효율이 감소되었다.

20×20 배열 렉테나에 대한 송전측에서 수전측까지 무선전력전송 시스템 전체 효율은 거리에 따른 전파의 감쇠분이 일정한 경우를 고려하여 계산한 결과는 약 33.1%이다.

3. 결론

본 논문에서는 원형 및 이중편파 마이크로스트립 패치형 렉테나를 설계, 제작하였으며 그에 따른 부하에 따른 효율, 렉테나의 방향 변화에 따른 변환효율을 분석하였다. 그 결과 전체적으로 70%전후의 변환 효율을 얻을 수 있었으며 배열 안테나로 구성하여 전송 효율을 측정 한 결과 64%~71%의 변환효율을 얻을 수 있었다.

따라서 이 결과는 대규모 무선전력전송 시스템의 설계 및 제작에 적용되었으며 앞으로 지속적인 효율 향상에 대한 연구가 기대되어 진다.

[참 고 문 헌]

- [1] W. C. Brown, "Experiments involving a microwave beam to power and position a helicopter," IEEE Transactions on Aerospace Electronic Systems, vol. AES-5, no. 5, pp. 692-702, 1969.
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 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
- [5] Dong-Gi Youn, Yang-Ha Park, Kwan-Ho Kim, Young-Chul Rhee, "A Study on the Analysis of Rectenna Efficiency for Wireless Power Transmission", IEEE TENCON99, Vol. 2vol. 2, pp.1423-1426 17, Sept. 1999