

이중편파와 FSS를 적용한 정류안테나의 변환효율 분석에 관한 연구

A Study on the Conversion Efficiency of Rectenna using Dual-Polarization and FSS Method

윤동기* · 박양하** · 김관호** · 이영철*

Dong-Gi Youn* · Yang-Ha Park** · Kwan-Ho Kim** · Young-Chul Rhee*

요 약

본 논문에서는 2.45 GHz 이중편파 정류안테나를 설계·제작하고 제작된 정류안테나의 방향변화에 따른 마이크로파-DC 변환효율 특성과 FSS(Frequency Selective Surface)를 적용하여 정류안테나의 정류회로에서 발생하는 고조파 성분(Harmonics)의 감소 특성을 분석하였다.

본 논문에서 설계·제작된 각각의 이중편파 정류안테나의 마이크로파-DC 변환효율을 측정한 결과 다이폴 형태는 360 Ω의 부하일 때 69.1 %, 패치 형태는 340 Ω일 때 75.4 %의 최대 변환효율 특성을 나타내었다. 각각 최적의 부하 저항을 가질 때 0~180° 방향 변화에 따른 RF-DC 변환효율 변동특성은 다이폴 형태는 ±20 %, 패치 형태는 ±5 %를 나타내었다. FSS를 적용했을 때 통과대역에서의 손실은 1 dB이하, 차단대역에서의 감쇄는 20 dB 이상이 되었고, 정류안테나의 마이크로파-DC 변환효율은 ±2 %정도 변화되어 양호한 특성을 나타내었다.

Abstract

In this paper, we analyzed microwave-DC conversion efficiency for the dual-polarization rectenna and antenna position changing. And then we analyzed and applied Square-Loop FSS structure for reducing the diode harmonic components as a rectifying circuit.

The results of microwave-DC conversion efficiency for the each of designed dual-polarization rectenna has 69.1 % with 360 Ω(dipole type) and 75.4 % with 340 Ω(patch type) optimum load resistor. When the each of dual-polarization rectenna has a optimal load resistor, it's conversion efficiency shows of ±20 % in dipole type and ±5 % in patch type at 0~180° position. When applied Square-Loop FSS structure for Rectenna, Insertion loss was under 1 dB as the passband and over 20 dB as the stopband. The microwave -DC conversion efficiency was represented good properties of ±2 % variation.

* 경남대학교 정보통신공학부(Division of Information and Communication Engineering, Kyungnam University)

** 한국전기연구소(Korea Electrotechnology Research Institute(KERI))

· 논문 번호 : 990826-12S

· 수정완료일자 : 1999년 9월 2일

I. 서 론

산업혁명이래 전세계적으로 산업기술이 고도로 발달함과 동시에 에너지 소비량이 계속적으로 증가하여 최근에는 한정적인 에너지 자원에 대한 고갈 현상이 심화되고 있다. 따라서 대부분의 에너지 소비국가에서는 미래 대체에너지 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 미래 대체에너지원으로 크게 주목받는 것은 크게 핵융합발전(Fusion Reactor)과 태양광발전(Solar Power Satellite)이 있다. 핵융합 발전의 경우 기술적인 어려움으로 인해 아직 전세계적으로 초보적인 기술연구 단계에 있으며 향후 50년 이내에 실용화 가능성이 불투명하다. 또 핵융합 발전시에 발생하는 위험성 문제가 끊임없이 제기되고 있으며 기술적인 해결방법이 과제로 남아있다. 반면 태양광을 이용한 태양광발전은 이미 수십년 전부터 세계 각국에서 상용화되어 있으며 현재는 에너지 변환 효율을 높이기 위한 연구가 계속적으로 진행중에 있다. 태양광발전의 에너지 효율을 높이기 위한 방법중 하나인 우주태양광발전은 지구 상공에 커다란 태양전지판을 띄워 우주에서 태양광발전을 한 후 그 에너지를 무선전파(Radio Frequency)를 이용하여 지구로 보낸다는 것이며, 1968년 미국의 Peter Glaser 박사가 제안한 이래 세계 각국에서 기본적인 연구가 꾸준히 진행되고 있다^[1]. 우주태양광발전 기술의 특징은 지상의 태양광발전에 비해 효율이 높고 기후에 영향을 받지 않아 무한한 에너지를 획득할 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 현재 우주태양광발전을 실현하기 위해 우주공간에 태양광(太陽光)을 이용한 전력발생부분과 지상에서의 전력변환부분에 초점을 두고 개발하고 있다^[2].

무선전력전송(Wireless Power Transmission) 기술은 초기에 단순히 전깃줄 없는 전력유통 방법으로 실험되어 왔으나 대체 에너지 확보를 위한 우주태양광발전의 개념이 등장하면서 본격적인 응용분야 연

구개발이 추진되고 있다. 최근의 무선전력전송 기술의 연구개발 분야는 장기적으로 우주태양광 발전을 위한 대용량 무선전력전송 기술의 실현을 목표로 하고 있으며 단기적으로는 단거리 원격지 무선전력공급, 공중 정지 비행체의 전원공급, 산업플랜트의 비접촉식 구동전력 공급 등의 응용개발이 집중되고 있다. 국내에서는 국가적인 미래 우주 개발과 에너지 개발의 차원에서 무선전력전송에 대한 이론적·기술적 연구를 진행중에 있으며, 무선전력전송 시스템에서 마이크로파-DC 변환효율 개선에 관한 연구와 마이크로파 발전부에 대한 연구, 그리고 지상에서의 무선전력전송 시스템 설계에 관한 연구를 수행하고 있다^{[3],[4]}.

무선전력전송을 하기 위한 기본적인 소자로 사용되는 것이 정류안테나(Rectenna)이며, 송신단에서 자유공간을 통해 전송된 마이크로파를 수신 받아 직류로 변환하는 역할을 한다. 이때 마이크로파-DC 변환효율은 정류안테나 설계의 가장 중요한 설계 요소가 되며 최근에는 기존의 단일편파 방식을 사용한 정류안테나의 방향에 따른 변환효율 감소 효과를 개선한 이중편파 방식이 연구되어 실용화 단계에 있다. 또한 정류안테나의 마이크로파-DC 변환시에 정류회로에서 발생하는 고조파성분(Harmonics)에 의해 무선전력전송 시스템이 상용화 될 경우 다른 무선통신 주파수에 영향을 미치게 되며 이러한 점을 고려하여 FSS(Frequency Selective Surface) 구조를 이용한 불필요한 고조파성분을 공간 필터링 하는 기술이 병행하여 연구되고 있다^[5].

본 논문은 무선전력전송 시스템의 마이크로파-DC 변환효율을 개선하기 위한 이중편파 정류안테나를 설계·제작하여 마이크로파의 입사 방향에 따른 마이크로파-DC 변환효율 개선 특성을 분석하였고, FSS 구조를 적용하여 정류안테나의 정류회로에서 발생하는 고조파 성분이 공간필터링 되어 특정 고조파 성분이 감소하는 특성을 분석하였다.

II. 이중편파 정류안테나의 설계 및 제작

무선전력전송의 기본 개념은 전기에너지를 마이크로파로 변환하여 전송하고 전송된 마이크로파를 다시 전기에너지로 변환하여 원격지로부터 전력을 공급받는 기술이다. 무선전력전송 시스템을 구성하는 것은 크게 송전단과 수전단 및 송·수전단간의 전파경로로 구성된다. 송전단은 마이크로파를 발생시키는 마이크로파 발진장치, 전원장치 및 송전용 안테나로 구성이 이루어지며, 수전단은 마이크로파 전력에서 DC 전력으로 변환하는 부분으로 고효율 정류안테나(Rectifying Antenna: Rectenna), 집전장치 및 부하로 이루어진다.

무선전력전송 시스템에의 효율은 크게 전원부 효율 송신 안테나부 효율, 전파경로에 따른 전송효율, 그리고 수신부 효율로 구분된다. 전원부 효율은 전원공급장치에서 공급된 전원이 무선전파로 변환될 때 생기는 효율이며, 송신 안테나부 효율은 송신 안테나가 가지는 고유의 안테나 이득에 의해 결정된다. 송·수전 안테나 사이의 전송효율(Collection Efficiency)은 송전 마이크로파 전력에 대한 수전 마이크로파 전력의 비를 나타낸다. 송·수전 전력의 전송효율을 높이기 위해서는 송·수전단에는 지향성과 고(高) 이득의 안테나를 사용해야 한다. 마지막으로 수신부 효율은 마이크로파-DC 변환효율로(Conversion Efficiency)로서 입사된 마이크로파 전력과 DC 출력 전압의 비를 나타낸다. 마이크로파-DC 변환효율은 정류안테나의 효율에 의해 결정되며 안테나와 입력정합회로, 그리고 정류회로의 마이크로파-DC 변환효율로 구성된다. 변환효율을 높이기 위해서는 정류안테나에 포함된 정류회로의 정류 다이오드 선정이 매우 중요한 설계 요소가 된다. 일반적으로 정류안테나에 사용되는 정류 다이오드의 선택 기준은 큰 순방향 전류와 역내압을 가지는 다이오드를 선택해야 한다. 그림 1에는 정류안테나의 구성도를 나타내었다.

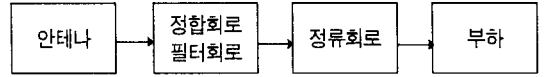


그림 1. 정류안테나의 구성도

Fig. 1. Block Diagram of Rectenna.

기본적인 정류안테나의 동작은 전송된 마이크로파 전력을 DC 전력으로 변환하는 것이다. 변환효율을 높이기 위한 정류안테나 소자의 개발은 무선전력 전송을 위한 가장 기본이며 핵심이 되는 기술중 하나이다. 무선전력전송을 위한 정류안테나에 사용되는 안테나로는 마이크로스트립 패치(Microstrip Patch)와 다이폴(Dipole) 안테나가 가장 많이 사용되고 있다. 각각의 안테나는 그 특성에 따라 적절히 응용되며 본 논문에서는 무인 비행체 급전용으로 적용하기 위하여 마이크로스트립 패치 안테나에 비해 80% 이상의 투명성(Transparence)이 보장되는 다이폴 안테나와 마이크로스트립 패치 안테나에 이중 급전(Dual Feeding)을 적용하여 설계·제작하였다. 입력필터에서는 다이오드에서 발생하는 고주파가 다시 안테나에서 재 방사되어 다른 통신 등에 영향을 미치게 되는 현상을 막기 위한 것으로 임피던스 정합회로와 함께 구성해 준다. 출력회로는 전원회로의 평활회로와 같은 역할을 하는데 커패시터와 전송선로를 이용하여 구성해 준다. 정류안테나에서의 손실은 다이오드에서 약 20% 정도이고 그 이외에서 약 4~5% 정도 발생한다^[6].

다이폴 안테나는 그림 2에 나타낸 것과 같이 이중편파 특성을 가지도록 두 개의 다이폴 안테나를 수직과 수평으로 90° 만큼 어긋나게 적용하여 수직(Vertical)과 수평(Horizontal Polarization)편파 특성을 동시에 만족하도록 설계되었다. 최종 설계된 이중편파 안테나의 수직과 수평부의 이득은 약 2.6dBi로 단편파 다이폴 안테나의 이득과 거의 일치하였다. 패치 형태의 정류안테나는 그림 4에 나타낸 것과 같이 패치 방사체에 수직과 수평방향으로 급전점(Feeding Point)을 위치하여 이중편파 특성을 만족하도록 하였고, 패치 방사체의 급전점과 연결된 뒷

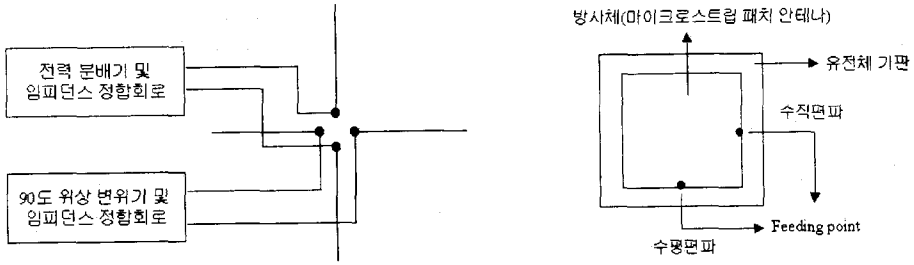


그림 2. 다이폴과 패치 형태의 이중편파 정류안테나의 구조
 Fig. 2. The structure of dipole and patch type dual-polarization rectenna.

면에 임피던스 정합회로와 정류회로를 구성하여 설계하였다.

정류회로는 안테나에서 받아들인 마이크로파 전력을 DC 전력으로 변환해주는 역할을 한다. 정류회로에 사용되는 정류 다이오드는 정류특성을 고려하여 선택하지만 그 보다는 고조파 발생특성을 고려하여 선택하게 된다. 특히 바이어스 전압을 인가하지 않기 때문에 동작 주파수에서 전력 변환 손실이 작아야만 하고 높은 입력 전력에서 사용하기 위해 높은 역방향 전압을 가지는 다이오드를 선택할 필요가 있다. 즉 정류 회로에서 직류 출력 전력을 높이기 위해서는 역방향 전압(Breakdown Voltage)이 높은 다이오드를 선택하고 전력 소비(Power consumption)가 적은 다이오드를 선택한다^[7]. 안테나와 정류 소자의 임피던스 정합에는 마이크로스트립 선로를 이용하여 L과 C 회로를 구성하였으며, 또한 이 임피던스 정합회로가 저역통과필터(LPF) 특성을 가지도록 설계하여 정류소자에서 발생되는 고조파(Harmonics) 성분이 안테나를 통해 재방사 되는 것을 최소화하도록 하였다. 다이폴 형태의 이중편파 안테나와 마이크로스트립 패치 형태의 이중편파 안테나의 입력 임피던스는 각각 134 Ω, 178 Ω이었으며, 정류회로의 임피던스 50 Ω에 집중소자와 분포소자를 이용하여 임피던스 정합 되도록 하였다. 이때 이중편파 안테나의 입력 임피던스를 최대한 정류회로의 임피던스 50 Ω에 근접시키면 임피던스 부정합에 따른 반사손실을 최소로 할 수 있다.

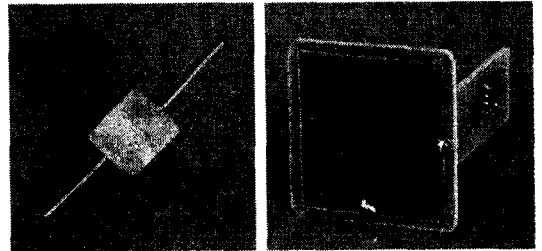


그림 3. 제작된 다이폴과 패치 형태의 이중편파 정류 안테나
 Fig. 3. Fabricated Dipole and Patch type dual-polarization Rectenna.

본 논문에서 설계·제작된 이중편파 안테나, 정류회로, 그리고 임피던스 정합회로는 안테나 및 마이크로파 회로 설계 프로그램을 사용하여 최적화하였고, 그림 3에 제작된 이중편파 정류안테나를 나타내었다.

다이폴 형태의 이중편파 정류안테나는 지름이 1 mm인 리드선을 사용하여 방사체를 구성하고, 유전율이 4.4이고 두께가 1.6 mm인 FR4 기판 위에 임피던스 정합회로와 정류회로 등을 패턴화 하였다. 패치 형태의 이중편파 정류안테나는 FR4 기판에 정사각형 마이크로스트립 패치 방사체를 구성하고, 임피던스 정합회로와 정류회로는 방사체와 마찬가지로 FR4 기판 위에 패턴화 하였다. 각각의 이중편파 정류안테나의 제작에는 HMIC(Hybrid Microwave Integrated circuits) 기법을 적용하였다.

III. FSS의 설계 및 제작

정류안테나의 정류회로에 포함된 다이오드에서는 마이크로파를 DC로 변환할 때 불필요한 고조파(Harmonics) 성분을 발생하는 비선형 동작특성을 나타내어 안테나를 통해 외부로 방사된다. 이렇게 방사된 고조파 성분은 비슷한 주파수대역을 사용하는 통신기 등에 영향을 미치게 되어 무선전력전송 시스템의 구성에 따른 문제점으로 부각되고 있다. 이러한 재방사 문제를 해결하기 위해 특정 주파수를 통과 또는 차단해 주는 FSS(Frequency Selective Surface) 기술의 적용을 필요로 하며, 이미 선진 기술 보유국에서는 FSS의 적용이 보편화되고 있다.

FSS 구조는 그 형태에 따라 Square Loop, Jerusalem cross, Ring 등의 다양한 형태를 가지며 도전성을 가지는 패치 또는 개구면 성분들의 주기적인 배열 구조를 가지고 있다. 기존의 RF 회로에서의 주파수 필터링 특성과 마찬가지로 FSS도 패치 또는 개구면 성분들의 배열 형태에 따라 저역통과 또는 고역통과 필터의 특성을 가진다. 최근에는 기존의 FSS 구조에 능동소자를 연결하여 FSS의 성능을 확장하고 있다. 이러한 형태를 능동 격자 배열(Active Grid Array)이라 하며, 빔 제어 및 발진회로의 주파

수 제어 등에 사용되고 있다. 또한 기존의 소자들을 결합함으로써 인해 증폭, 발진, 믹싱 등에 다양하게 적용이 가능하다. 주기적인 구조를 설계하기 위해서는 고려해야될 많은 파라미터들이 있다. 예를 들면, 소자의 크기, 모양, 격자 구조, 유전체 등이 실제로 설계시에 고려해야될 사항들이며, 이러한 고려없이 특성에 맞는 정확한 설계가 불가능하다^[8].

표 1에는 각종 FSS 구조의 상대적인 특성을 나타내었으며 그 특성을 비교해 보면, Square loop 구조의 FSS가 가장 우수한 특성을 가짐을 알 수 있다. 각 FSS 구조의 제작에는 대부분 반파장 다이폴 안테나가 적용되고 있으며, 이로 인해 다이폴 안테나가 가지는 특성을 동시에 지니고 있다. 반파장 다이폴의 특성은 안테나의 공진 주파수에 대해 공진하고 그 이외의 주파수에 대해서는 산란(scattering)하게 된다. 이때 반사(reflection) 또는 산란되는 신호는 입력 방향에 180°의 위상차를 가지고 있으며 이로 인한 에너지 손실이 불가피해진다. 또한 FSS의 특성을 우수하게 하기 위하여 배열 구조를 적용하면 이웃한 성분(element)과 지연특성을 가지게 되고 이 지연특성으로 인해 신호의 입사방향으로 모든 성분들이 산란하게 된다. 따라서 FSS 구조가 여러 가지 필터링 특성을 나타내기 위해서는 반파장의 배수에 해당되는 물리적인 길이를 가져야 한다. 이때 가

표 1. FSS 구조의 상대적인 특성 비교

Table 1. Comparison of FSS structure.

	입사각을 고려한 공진주파수의 안정성	Cross-Polarization Level	Larger Bandwidth	Small Band Separation
Loaded Dipole	1	2	1	1
Jerusalem cross	2	3	2	2
Rings	1	2	1	1
Tripole	3	3	3	2
Crossed dipole	3	3	3	3
Square loop	1	1	1	1
Dipole	4	1	4	1

급적이면 다이폴의 전체 길이가 한 파장에 접근시켜야 하는데 그 이유는 한 파장의 길이를 가질 때 하나의 null 신호를 가지기 때문이다^[9].

본 논문에서는 Square-Loop 구조의 FSS를 이용하여 2.45 GHz의 2차 고조파인 5.9 GHz 대역을 최소 20 dB이상 감소시키는 특성을 가지도록(대역차단필터) 설계하였다. 그림 4에 설계된 FSS의 구조를 나타내었고, 그림 5에는 특성 측정을 위한 블록도를 나타내었다.

설계된 Square-Loop FSS는 5.2~6.4 GHz의 대역에서 20 dB이상의 감쇄 특성을 나타내었고 DC~2.5 GHz 대역에서의 통과 손실은 1 dB이하였다. 설계된 FSS를 유전율 4.6, 두께 1.6 mm인 FR-4 기판에

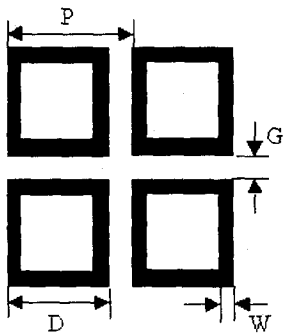


그림 4. Square-Loop FSS 구조
Fig. 4. The Structure of Square-Loop FSS.

패턴화 하여 그림 6과 같이 제작하였고, 설계된 특성값과 비교하기 위하여 그림 5에 나타낸 블록도와 같이 실험장치를 구성하여 측정하였다.

측정결과 제작된 FSS는 5.1~6.5 GHz에서 20 dB 이상의 감쇄를 나타내었고 DC~2.56 GHz에서 1 dB 이하의 통과 손실을 나타내어 설계치를 만족함을 알 수 있었다. 그림 7에는 설계치와 측정치를 비교한 결과를 나타내었다.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서 설계·제작된 이중편파 정류안테나를 이용하여 부하와 방향에 따른 마이크로파-DC 변

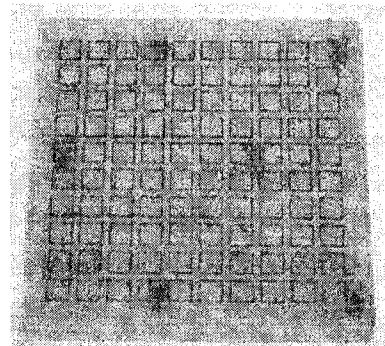


그림 6. 설계된 Square-Loop FSS
Fig. 6. Designed Square-Loop FSS.

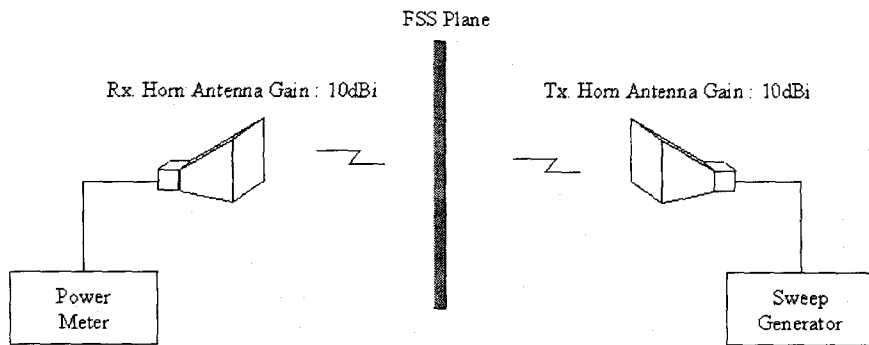


그림 5. FSS 구조의 대역필터링 특성 측정
Fig. 5. Test of FSS as a Band Filtering Properties.

환효율 특성을 측정하기 위해 그림 8과 같은 실험 장치를 구성하였다.

RF source는 2.45 GHz 1 W 출력을 가지는 발진 장치를 사용하여 단위 정류안테나에서의 수신 전력 이 8 mW가 되도록 하였고, 송신용 안테나로는 10 dB의 이득을 가지는 혼(Horn) 안테나를 사용하였다. RF source의 송신 전력은 HP사의 436 B 전력계 (Power Meter)를 연결하여 측정하였다. 단위 정류 안테나의 부하 특성 측정결과 다이폴 형의 경우 300 Ω 이상의 부하 저항일 때 RF-DC 변환효율이 65% 이상 되었으며, 부하 저항이 360 Ω일 때 69.1 %의 최대 변환효율을 나타내었다. 패치 형의 경우 270 Ω 이상의 부하 저항일 때 RF-DC 변환효율이 70 %이

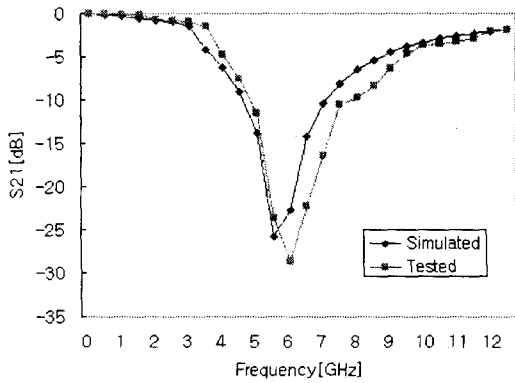


그림 7. Square-Loop FSS의 특성
Fig. 7. The Properties of Square-Loop FSS.

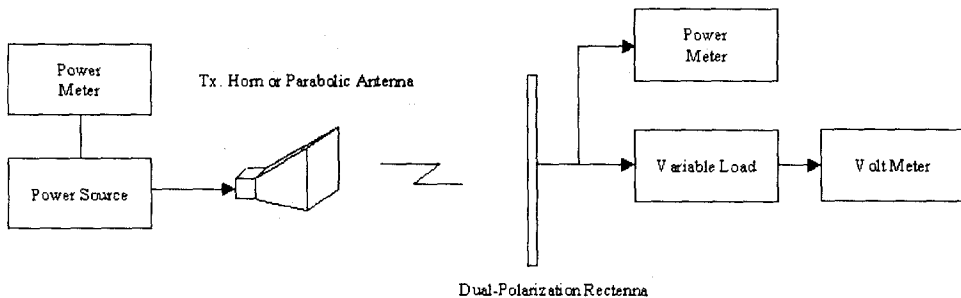


그림 8. 단위 정류안테나 실험 블럭도
Fig. 8. Block diagram of dual-polarization rectenna test set.

상 되었으며, 부하 저항이 340 Ω일 때 75.4 %의 최대 변환효율을 나타내었다. 정류안테나의 부하 저항 값이 증가함에 따라 변환효율도 증가하지만 부하 저항이 300 Ω과 270 Ω 이상일 때 거의 일정한 값을 유지하였다.

그림 9에는 각 형태의 정류안테나에 최적부하 저항을 사용하여 이중편파 정류안테나의 방향에 따른 변환효율 측정 결과를 나타내었다. 측정 결과에서 다이폴 형태의 정류안테나는 송신 안테나로부터의 방향이 0°와 90°부근에서 69.1 %의 변환효율을 나타내었고, 45°와 135°부근에서 대략 51.1 %의 변환효율을 나타내어 변환효율 변동폭은 약 ±18 %였다. 패치 형태의 정류안테나는 송신 안테나로부터의 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 10은 각 정류안테나가 최적의 효율을 얻는 최적 부하 저항(패치는 400 Ω, 다이폴은 360 Ω, 야기는 380 Ω, 다이폴 형태의 이중편파 정류안테나는 360 Ω, 그리고 패치 형태의 이중편파 정류안테나는 340 Ω)으로 고정된 후 정류안테나의 방향에 따른 출력 변환효율을 나타낸 것이다. 결과에서 이중편파 방식을 적용한 정류안테나가 방향변화에 보다 우수한 특성을 가짐을 알 수 있었다.

그림 11에는 본 논문에서 설계·제작된 Square-Loop FSS와 정류안테나를 결합한 형태를 나타내었

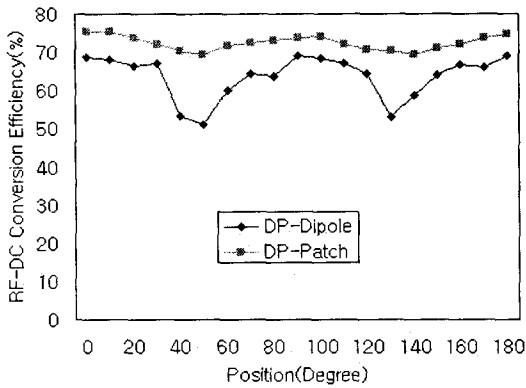


그림 9. 이중편파 안테나의 방향에 따른 변환효율
 Fig. 9. Dual polarization rectenna conversion efficiency with variable position.

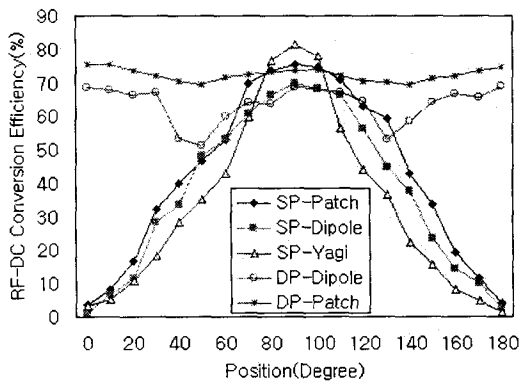


그림 10. 각 정류안테나들의 방향에 따른 변환효율
 Fig. 10. Each rectenna conversion efficiency with variable position.

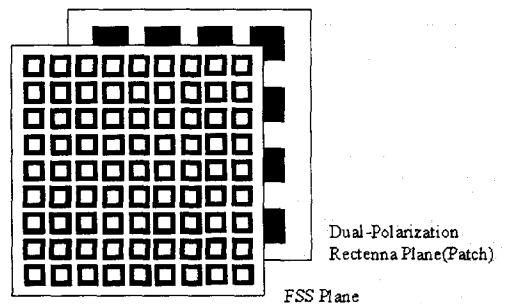
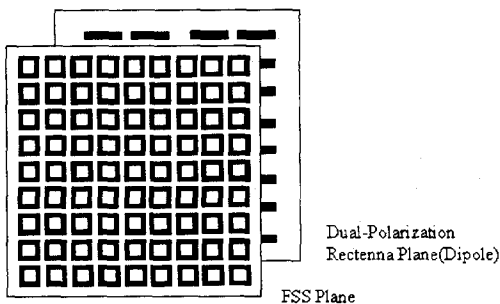


그림 11. 다이폴과 패치형 정류안테나와 FSS의 결합
 Fig. 11. Combination of FSS and Dipole and Patch Type Rectenna.

다. 정류안테나는 각각 2×8 , 4×4 구조로 전체 16개의 정류안테나를 배열하였으며 FSS 구조와의 간격은 0.6λ 이상을 두어 정류안테나와 FSS 구조 사이의 결합특성이 나타나지 않도록 하였다. 정류안테나와 FSS 구조의 결합특성 측정결과 FSS의 통과대역인 2.45GHz 대역에서 정류안테나의 정류효율은 그림 12와 같이 $\pm 2\%$ 이내에서 변화되어 마이크로파-DC 변환효율에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 기존의 단일편파 정류안테나의 방

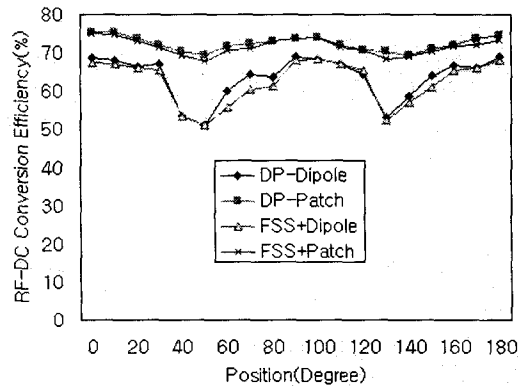


그림 12. FSS와 정류안테나의 결합특성
 Fig. 12. The Properties of FSS and Rectenna.

항성 문제와 안테나를 통한 고조파 재방사 문제를 해결하기 위하여 이중편파 방식의 정류안테나와 Frequency Selective Surface(FSS)를 설계·제작하여 그 특성을 측정하였고, 제작된 정류안테나의 마이크로파-DC 변환효율 특성을 기존의 단일편파 정류안테나와 비교·분석해 보았다.

본 논문에서 설계·제작된 다이폴 형태 이중편파 정류안테나의 부하에 따른 변환효율을 분석한 결과 부하 저항이 360 Ω일 때 69.1%의 최대 변환효율을 나타내었고, 패치 형태 이중편파 정류안테나의 부하에 따른 변환효율을 분석한 결과 부하 저항이 340 Ω일 때 75.4%의 최대 변환효율을 나타내었다. 이 결과는 기존의 단위 다이폴과 패치 안테나를 적용한 정류안테나와 거의 동일하며, 다만 최대 변환효율이 각각 0.6%, 0.2% 정도 낮아졌다. 이중편파 정류안테나의 방향에 따른 변환효율 측정결과 다이폴 형태는 송신 안테나로부터의 방향이 0°와 90°부근에서 69.1%, 45°와 135°부근에서 51.1%의 변환효율을 나타내어 변환효율 변동폭이 ±18%였고, 패치 형태는 송신 안테나로부터의 방향이 0°와 90°부근에서 75.4%, 45°와 135°부근에서 69.3%의 변환효율을 나타내어 변환효율 변동폭은 약 ±6%였다. 기존의 다이폴과 패치 형태의 단일편파 정류안테나가 70°~110°의 방향에서 최대 변환효율을 얻을 수 있었던 것에 반해 거의 180°전(좌) 방향에서 다이폴 형태는 18%, 패치 형태는 6%정도의 효율변화를 나타내었다. 제작된 FSS 구조는 통과대역인 2.45 GHz에서의 손실이 약 1dB 이하이고 차단대역인 5.9 GHz에서는 20 dB 이상의 차단특성을 나타내어 설계치를 만족함을 알 수 있었다. 그리고, 이중편파 정류안테나와 FSS 결합특성 실험에서 FSS 구조를 통과한 후 정류안테나의 마이크로파-DC 변환효율 값의 변화는 ±2% 이내여서 변환효율 값에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

앞으로 본 논문에서 제작된 이중편파와 FSS를 적용한 정류안테나를 이용하여 무선 급전이 필요한 각종 응용에 적용될 수 있으며 방향 변화에 따른 마

이크로파-DC 변환효율 개선방안과, 단위 정류안테나와 FSS를 배열하여 고조파에 대한 인접주파수 간섭현상 감소와 수전 효율 및 수전 전력을 높이는 방안이 계속적으로 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Peter E. Glaser, "Power from the Sun : Its Future", *SCIENCE*, vol. 162, no. 3856, 1968.
- [2] William C. Brown, "The History of Power Transmission by Radio Waves", *IEEE Trans. on MTT.*, vol. MTT-32, no. 9, Sept., 1984.
- [3] 윤동기, 박양하, 김관호, 이영철, "2.45 GHz 마이크로파-DC 변환 기초 무선전력전송 실험에 관한 연구", 한국통신학회 논문지, '99-3, vol. 24, no. 3 pp. 434-441.
- [4] 윤동기, 박양하, 김관호, 이영철, "이중편파방식을 적용한 정류안테나의 변환효율 분석에 관한 연구", 춘계 마이크로파 및 전파학술대회, '99.5.29, vol. 22, no. 1, pp. 288-291.
- [5] 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.
- [6] James O. Mcspadden, Taewhan Yoo, and Kai Chang, "Theoretical and Experimental Investigation of a Rectenna element for Microwave Power Transmission", *IEEE Trans. on MTT.*, vol. 40, no. 12, December, 1992.
- [7] Robert G. Harrison and Xavier Le Polozec, "Nonsquarelaw Behavior of Diode Detectors Analyzed by the Ritz-Galerkin Method", *IEEE Trans. on MTT.*, 1994.
- [8] T. K. Wu, *Frequency Selective Surface and Grid Array*, John Willy & Sons, Inc., 1995.
- [9] R. Mittra, C. H. Chan, and T. Cwik, "Techniques for analyzing frequency selective

surfaces-a review”, *proc. IEEE*, vol. 76, no. 12, pp. 1593-1615, Dec., 1988.

[10] 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.

윤 동 기



1972년 11월 6일 생
1995년: 경남대학교 전자공학과(공학사)
1997년: 경남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1997년~현재: 경남대학교 대학원 전자공학과 박사과정

1996년~현재: 한국전기연구소 전략기술연구단 위축연구원

[주 관심분야] RF & Microwave 회로 및 시스템 설계, 임펄스 통신

박 양 하



1962년 1월 8일 생
1984년: 동아대학교 전자공학과(공학사)
1986년: 동아대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1990년~현재: 한국전기연구소 전략기술연구단 선임연구원

[주 관심분야] 무선통신 시스템 설계, M/W 회로설계, 임펄스 통신

김 관 호



1978년: 송전대학교 전자공학과(공학사)
1980년: 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1980년~1983년: 한국전력공사
1983년~현재: 한국전기연구소 전략기술연구단 책임연구원

이 영 철

1976년 2월: 광운대학교 전자통신공학과(공학사)
1978년 2월: 연세대 전자공학과(공학석사)
1981년 7월: 해군사관학교 전자공학과(교관/전임강사)
1981년 9월: 경남대학교 전자공학과 전임강사
1990년 2월: 벨본대학교(호주) 전자공학과(객원연구)
1991년 7월: 아주대학교 전자공학과(공학박사)
1999년 2월: 경남대학교 전자공학과 교수
1999년~현재: 경남대학교 정보통신공학부 교수
[주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 능동소자 응용, 초광대역 및 초고속통신시스템 소자