

### 마이크로파를 이용한 무선전력전송 기술

양상렬, 김재환, 송교동  
 인하대학교 첨단정밀공학과  
 인하대학교 기계공학부  
 노퍽 주립대학교 공학부

### Technique of wireless power transmission using microwave

Sang-Yeol Yang<sup>1</sup>, Jaehwan Kim<sup>2</sup>, Kyo D. Song<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Advanced Precision Engineering, Inha University  
<sup>2</sup>Mechanical Engineering Dept., Inha University  
<sup>3</sup>Dept. of Engineering, Norfolk State University

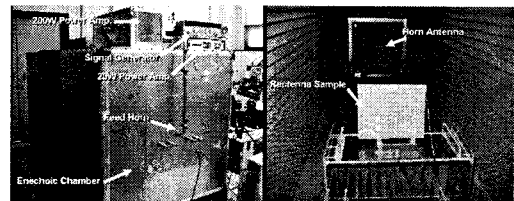
**Abstract** - 무선전력송신은 로봇, 우주·항공, 정보통신, MEMS 등 디바이스 경량화 및 운동성 향상 등의 요소가 중요하게 작용하는 분야에 도움을 줄 수 있다. 특히 정찰 및 탐사에 쓰일 초경량의 로봇을 위해서는 무선 전력송신 기술은 상당히 중요한 개념이 된다. 본 논문에서는 유연 막박 기판과 다이폴 안테나, 그리고 쇼트키다이오드를 이용하여 전송된 마이크로파를 직류전력으로 변환시키는 렉테나(rectenna)에 대해서 소개하고 제조방법과 성능평가를 통하여서 응용·개발의 가능성에 대해서 논한다.

버 내에서 측정을 실시하였다.

<그림 3>의 (a), (b)는 실제로 제작, 테스트 한 S2\_P50(직렬연결 2, 병렬 연결 50) 렉테나의 사진이고, 렉테나를 혼 안테나로부터 180cm 떨어진 곳에 위치시키고, 200W RF앰프로 마이크로파를 방사하면서 주파수를 8 GHz 에서 12.4 GHz 까지 변화시켜 주었다. <그림 4>는 그 출력 전압과 전류를 나타내는 그래프이다. 최대 전압과 최대 전류는 방향성 매치가 잘 되었을 경우 각각 7.3 V<sub>DC</sub>, 980 mA 가 10.8 GHz 일 때 측정되었다. 그리고 편파 방향성이 45°로 배치되는 경우에는 6.51 V<sub>DC</sub>, 668 mA 이었고, 90°로 배치되는 경우에는 2.59 V<sub>DC</sub>, 18.6 mA 로 측정되었다.

#### 1. 서 론

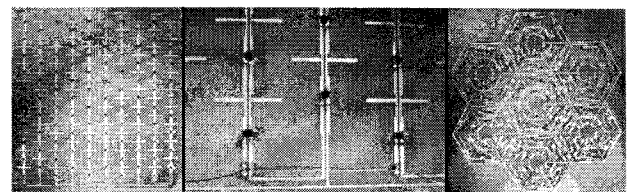
지난 수십 년의 시간동안 지능재료와 그를 이용한 작동기술에 대한 연구와 개발이 활발하게 발전되어 왔다 [1-5]. 그러나 실질적인 성과는 여러 물리적인 특성이나 기계적, 전기적 응용성의 어려움으로 인해 제한되어 왔다. 지능재료에 대한 연구가 활발하게 진행된 것에 비해 이를 이용한 응용분야에서 효과적인 제어시스템이나 에너지 전달에 대한 부분에 대한 연구는 미흡한 현실이다. 대개의 경우 지능재료 소자와 시스템은 주 전원 시스템과 제어회로를 잇는 도선 배선을 통해서 전력을 공급하게 된다. 그러나 생산비용의 절감, 기기의 소형화나 경량화, 원격구동 등의 조건을 갖춰야 할 상황이라면 도선 배선과 같은 방법은 효과적이지 못하다고 할 수 있다.



<그림 2> 마이크로파 측정 장비

마이크로파를 이용한 전력전송인 렉테나 시스템은 이러한 문제를 해결하기 위해 수십 년 전에 제안되어 연구되어 왔다 [6-8].

렉테나는 안테나와 정류장치가 결합되어 마이크로파 전력을 DC 전력으로 변환하는 것을 기본적인 원리로 한다. 안테나의 형태에 따라서 패치, 다이폴, bow-tie 형태 같이 여러 타입의 렉테나가 있다 [10].



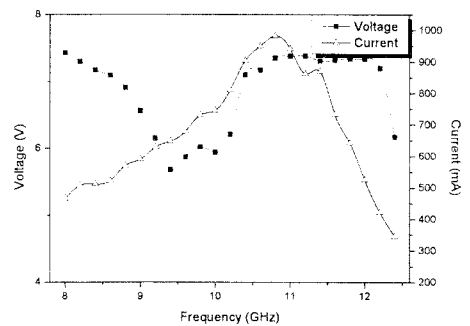
(a) (b) (c)

<그림 3> 유연 다이폴 렉테나

#### 2. 본 론

##### 2.1 다이폴 렉테나

<그림 1>은 다이폴 렉테나를 보여준다. 렉테나는 안테나와 정류장치가 결합되어 있는데, 송신되는 안테나와 수신되는 안테나의 편파 방향이 정확하게 매칭 되었을 때 안테나 이득이 상대적으로 뛰어나다는 것과 설계와 제작이 비교적 간단하다는 장점 때문에 다이폴 안테나를 사용하였고, 정류장치로는 쇼트키 다이오드를 사용했다. 그리고 기판은 다른 장치와의 응용 가능성을 확인하기 위해 유연 기판을 이용하였다.



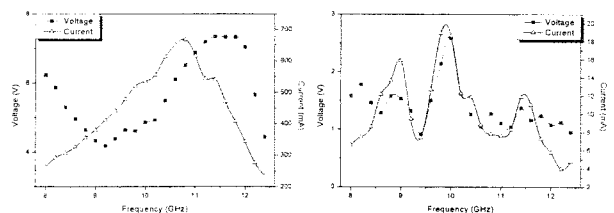
(a) 편파 방향이 잘 매치된 경우

렉테나 마스크 필름, 감광지, 동판-폴리머이드 기판을 이용한 에칭방법으로 마이크로 스트립 다이폴 안테나를 기판에 제작한 후에 쇼트키다이오드를 접합시켰다.



<그림 1> 다이폴 렉테나

다이폴 안테나는 마이크로파를 수신할 때 각 다이폴의 영역은 서로 상반하여 대전되기 때문에 전위차가 생성되며 교류전력이 발생한다. 여기에서 쇼트키다이오드, 인덕터와 캐패시터로 구성된 정류기를 다이폴 안테나에 결합시키면 수신된 교류전력을 정류하게 된다. 출력 전압과 전류는 쇼트키 다이오드 특성과 안테나의 최적화 및 빔 패턴 특성 등에 의해서 성능이 좌우된다. 응용 장치의 필요에 따라서 전류는 렉테나 소자들의 배열방식을 다르게 하여 전압, 전류를 조절하여 공급할 수 있다. 예를 들어 압전 작동기를 동작하기 위해 렉테나는 높은 전압/ 낮은 전류를 공급하는 것이 필요한 반면 electroactive polymer 는 낮은 전압/ 높은 전류를 필요로 한다.



(b) 편파 방향 45° (c) 편파 방향 90°

<그림 4> 유연 다이폴 렉테나 S2P50 의 측정결과

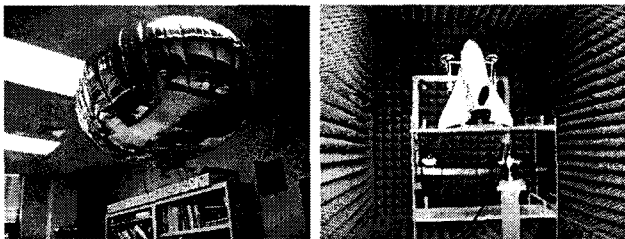
##### 2.2 다이폴 렉테나의 성능

렉테나의 성능 평가를 위한 테스트 장비는 <그림 2>에 나타났다. 이 실험에 사용된 장비는 X-band용 신호발생기와 RF 파워앰프가 있고, 마이크로파를 이용한 실험을 위해서 외부 환경의 간섭을 줄이기 위하여 무향 챔

다이폴 안테나는 편파의 방향성을 가지고 있는데 그렇기 때문에 송신 장치에서 방사되는 마이크로파의 편파 방향과 수신안테나의 편파 방향이 맞지 않으면 이와 같이 수신 효율이 감소하게 되고 극단적으로 방향이 90°로 틀어져 있다면 이론상으로 전혀 수신이 되지 않는다. 실제로 로봇이나 MAVs 등에 렉테나를 이용하려고 한다면 반드시 극복해야 할 문제 중 하나가 편파방향에 대한 영향을 줄이는 것이라 할 수 있다. 그렇기 때문에 다이폴 안테나를 이용한 렉테나를 실제로 사용하기 위해서는 수시로 편파 방향을 조절할 수 있도록 하거나 아니면 편파 방향의 영향을 줄이는 방법을 생각해야 할 것이다. <그림3>의 (c)가 이를 위해 고안된 형태이다. 세 가지의 편파 방향에 대한 측정 결과를 비교해 보면 최대 출력 전압, 전류는 각각 3.6~3.7 V<sub>DC</sub>, 184~208 mA로서 렉테나 S2\_P50의 결과에 비해 편파 방향에 대한 영향이 줄어들었음을 확인할 수 있었다.

## 2.2 원격구동 비행체 테스트

MPAV(Microwave Powered Aerial Vehicles)의 가능성의 설명을 위해서 DC모터에 의해 추진되는 MPAV에 다이폴 렉테나를 연결했다. 그림 7에서와 같이 풍선에 헬륨으로 채운 에어쉽에 모터를 이용한 추진기와 수직, 수평방향의 이동을 제어하는 제어장치 등을 부착시키고, 무항 챔버에서 다이폴 렉테나에 마이크로파를 방사함으로써 나오는 출력을 도선으로 연결시켰다. 세 개의 모터와 제어장치로 구성된 추진기를 동작시키기 위해서는 직류 전력 0.8 W 에 3 V 정도의 전력이 요구된다.



(a) 렉테나로 구동하는 에어쉽 (b) 무선동력전달 우주왕복선 토이  
 <그림 5> MPVA 실연

## 3. 결 론

렉테나는 안테나와 정류기를 결합하여 마이크로파를 DC전력으로 전환하는 장치인데 무선전력전송을 위해 개발되었다. 렉테나의 특성은 안테나의 특성 및 편파 방향성과 정류기의 핵심 소자인 쇼트키 다이오드의 성능에 의해서 주된 영향을 받는다. 본 연구에서는 설계와 제작이 비교적 간단한 다이폴 안테나를 이용한 렉테나로 테스트를 하였는데, 마이크로파의 편파 방향에 민감함을 알 수 있었다. 그러나 렉테나 패터닝 과정에서 적당하게 방향성을 고려하여 설계를 하였을 때 보완의 가능성을 확인할 수 있었다. 또한 유연성 있는 기판을 사용함으로써 실제 지능형 작동기나 MAVs 등과 접목시키는데 보다 효과적으로 활용이 될 것이라는 기대가 된다.

본 논문에서는 X-BAND (8~12 GHz)에서 렉테나 응용의 가능성에 대해 실험을 했지만, 향후 보다 다양한 응용을 위해서 쇼트키 다이오드, 안테나 등의 최적화에 대한 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

### 후기

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 창의적연구진흥사업 (EAPap Actuator) 지원으로 수행되었음.

### [참 고 문 헌]

[1] Y Bar-Cohen, "Electroactive Polymer (EAP) Actuators as Artificial Muscles" (Bellingham, WA: SPIE), 2001  
 [2] Q M Zhang, V Bharti and X Zhao, "Giant electrostriction and relaxer ferroelectric behavior in electron-irradiated poly(vinylidene fluoride - trifluoroethylene) copolymer", Science, 1998  
 [3] R E Perline, R D Kombluh, Q Pei and J P Joseph, "High-speed electrically actuated elastomers with over 100% strain", Science, 2000  
 [4] J Kim, C-S Song and S-R Yun, "Cellulose-based electro-active papers: performance and environmental effects", Smart Mater. Struct., 2006  
 [5] M Shahinpoor, Y Bar-Cohen, J O Simson and J Smith, "Ionic polymer-metal composites (IPMCs) as biomimetic sensors, actuators and artificial muscles—a review", Smart Mater. Struct., 1998  
 [6] W C Brown et al, US Patent Specification, 1969  
 [7] W C Brown, "Experiments involving a microwave beam to power and position a helicopter", IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., 1969  
 [8] Jaehwan Kim, Sang-Yeol Yang, Song, Kyo D, Jones, Sean, Choi, Sang H, "Performance characterization of flexible dipole rectennas for smart actuator use", Smart mater. struct., 2006  
 [9] Jaehwan Kim, Sang-Yeol Yang, Kyo D. Song, Sean Jones, James R Elliott, Sang H. Choi, "Microwave power transmission using a flexible rectenna for microwave-powered aerial vehicles", Smart mater. struct., 2006

[10] K D Song, W J Yi, S-H Chu and S H Choi, Micro-wave driven thunder materials Microw. Opt. Tech. Lett., 2003