



### 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

# 900MHz대 저전력용 렉테나 연구

Study on Low Power Rectenna at 900MHz



2011년 2월

한국해양대학교 대학원

전자통신공학과

김예지

# 목 차

Abstract

제 1장 서론	2
제 2장 이론적 배경	5
2.1 무선 전력 전송 방법	5
2.2 송·수신 시스템과 인체 보호기준	8
제 3장 렉테나 설계 및 제작	14
3.1 슬롯 안테나 설계 및 제작	14
3.2 정류회로 설계 및 제작	19
3.3 슈퍼 커패시터와 부스트 컨버터	27
제 4장 실험 및 결과	32
4.1 안테나 측정	32
4.2 정류회로 측정	35
4.3 렉테나 측정	40
제 5장 결론	44
참고문헌	46

## ABSTRACT

Wireless power transmission, which can convert RF energy to DC power, has been studied several decades and become an interesting topic for energy transmission. The rectenna is one of the most important components for a microwave power transmission. This paper focuses on developing new rectenna for 900MHz at low incident power.

The rectenna is designed by voltage doubler structure and slot antenna. The rectenna uses schottky diode HSMS-2852, super capacitor and boost converter TPS61200 to get regularly output voltage. The new rectenna has been developed to rectify RF energy to dc power with about 40% efficiency at 900MHz when the incident RF power density is 0dBm. The proposed slot antenna has 18dB return loss at 900MHz. The results of this paper show that the rectenna is possible to apply for wireless power transmission.

## 제 1 장 서 론

화석 연료의 개발에 따라 인류는 과거 보다 풍요한 물질 문명을 누릴 수 있게 되었다. 그러나 최근에는 유한한 화석 연료의 생산이 정점에 다다랐다는 ‘오일피크’ 라는 말이 나오고 있으며, 제 1차 석유 파동 이후 지속 가능한 사회를 위해 화석연료 의존도를 줄여야 한다는 주장이 제기 되고 있다[1],[2].

이러한 배경으로 이전에는 개발 비용문제로 상용화가 어려웠던 대체 에너지들이 기술 진보와 함께 상용화가 가까워졌다. 특히 풍력 발전 및 수력발전의 기술이 크게 발달 하였고, 태양열의 경우 아주 오래전부터 대규모 연구가 진행되어 왔다[3].

그러나 2009년 12월 현재 우리나라의 에너지원별 전기를 발전하는 설비용량은 대체에너지가 1.5%, 수력이 7.5%, 원자력이 24.1%, 화력이 66.4%로 아직까지 화석 연료에 의한 화력발전의 의존도가 매우 높다[4].

무선 전력 전송 이란 무선으로 전력을 전송하는 기술로 에너지 기술과 IT기술을 융합하는 에너지-IT 융합 기술 관심도가 높아짐에 따라 생겨난 에너지 수확 기술이다. 이러한 무선 전력 전송 개념은 100년 전 미국인 과학자 니콜라 테슬라(Nikola Tesla)로 거슬러 올라간다. 그는 1900년대 초 150kHz 라디오 주파수에 전기를 실어 전송하려고 시도했다. 비록 그의 시도는 실패 하였지만 무선통신 기술이 발전한 1963년에는 마이크로파를 이용한 무선 전력 전송

이 성공을 거두었다. 1964년 윌리엄 브라운 박사가 2.45GHz 마이크로 주파수로 전력을 공급해 무연료 헬리콥터를 날게 하는데 성공했다. 1968년 피터 클레이저 박사는 우주 공간에서 태양전지판을 설치해 직류전압을 RF전력으로 변환하여 지구로 송신하고, 지구에서는 다시 RF전력을 DC전압으로 변환하는 태양광발전용 무선 전력 전송 기술을 제안 하였다. 특히 미국 항공우주국(NASA)과 에너지부는 1973년 제트 추진 연구소(JPL ; Jet Propulsion Laboratory)에서 30kW의 무선 전력전송의 가능성을 보였다. 이후 무선 전력 전송 기술은 차세대 청정에너지 개발의 일환으로 꾸준한 연구가 진행되어 왔다[5]~[7].

또한 요즘 시대는 정보통신을 기반으로 하는 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경을 지향 하고 있다. 유비쿼터스란 언제 어디서나 무선으로 네트워크에 연결할 수 있는 환경을 말하며 이러한 환경에서는 휴대기기의 사용이 증대된다. 이때 가장 문제되는 것이 휴대기기의 배터리 문제라고 할 수 있겠다. 왜냐하면 휴대기기의 전원장치인 배터리를 충전하기 위해서 유선으로 연결해야 하는 것은 휴대기기 이용의 제한을 가져오기 때문이다. 이처럼 무선 전력 전송은 선(wire)으로 부터의 완전한 해방을 의미 한다.

무선 전력 전송 기술의 실현을 위해서는 정류형 안테나인 렉테나가 필수적이다. 렉테나(rectenna)란 정류회로(Rectifier)와 안테나(Antenna)의 합성어로서 안테나로 전력을 수신받아 정류회로를 통해 RF전력을 DC전력으로 변환하는 무선 전력 전송 시스템의 한 소자이다. 렉테나에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며 전력 송·수

신용 안테나 사이에서 발생할 수 있는 편파의 오조준을 방지할 수 있도록 원-편파를 사용한 경우가 있었다. 이를 위해서는 사각의 귀퉁이가 잘린 패치 안테나(Patch antenna) 및 링 슬롯 안테나(Ring slot antenna) 등을 사용한 논문 등이 발표되었다[8],[9]. 그리고 높은 전력밀도에서 RF 전력이 DC 전력으로 변환되는 비율이 80%이 상인 고효율 렉테나에 대한 논문도 발표되었다[10],[11]. 이와 같이 많은 연구를 통해 높은 전력 밀도 내에서 비교적 높은 변환효율을 가지는 렉테나가 연구되어 왔다. 그러나 높은 전력밀도를 가지는 환경을 위해서는 높은 전력의 방사가 필요하다. 높은 전력을 무분별하게 방사할 경우 다른 기기의 장애 및 인체에도 해로운 영향을 끼칠 수 있어 국가별로 기술기준을 정하여 제한하고 있다. 낮은 전력에서는 고효율을 얻기 힘들기 때문에 이전의 연구들이 주로 높은 전력밀도의 환경에서 이루어졌다. 따라서 낮은 전력밀도에서 높은 효율을 가지는 렉테나의 연구가 필요하다.

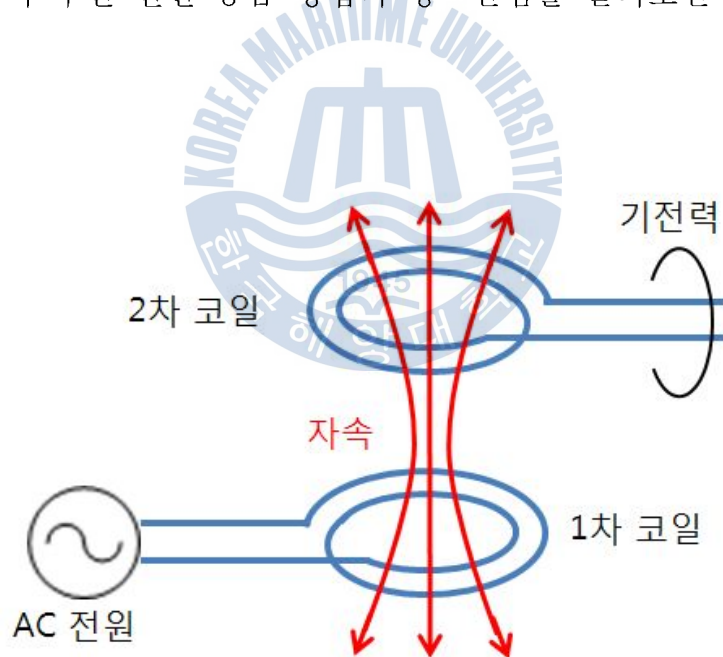
이러한 이유로 본 논문은 900MHz대의 낮은 전력밀도에서 사용 가능한 렉테나를 연구하였다. 전력 수신용 안테나로 슬롯 안테나를 사용하였고, 에너지를 효율적으로 저장할 수 있도록 슈퍼커패시터와 쇼트키 다이오드를 포함한 정류회로를 제안 하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 무선 전력 전송의 방법들과 송·수신하는 거리에 따른 공기중 손실 및 국내외의 인체 보호 기준에 대해서 구하였다. 제 3장에서는 렉테나를 설계하고 제작한 내용을 연구하였다. 그리고 제 4장에서는 설계된 렉테나의 실험 결과를 제시하였으며, 마지막 5장에서 결론을 기술하였다.

## 제 2장 이론적 배경

### 2.1 무선 전력 전송 방법

무선 전원 공급 기술은 동작 원리에 따라 전자기 유도, 전자기 공진, 라디오파 수신 세 가지로 나뉜다. 이 기술들은 저마다 동작 범위와 전력 레벨이 다르며 그에 따른 응용분야 또한 차이가 난다. 이 세 가지 무선 전원 공급 방법의 장·단점을 살펴보면 다음과 같다.



<그림 2-1> 유도방식의 무선 전력 전송



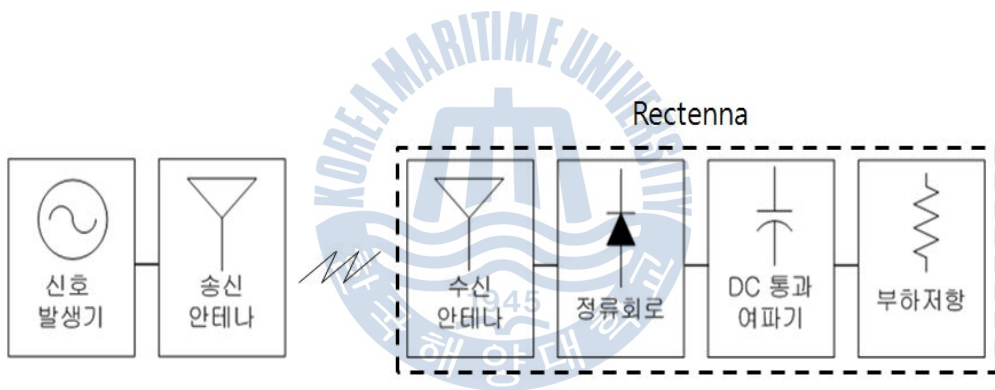
<그림 2-1>은 유도전류에 의한 전력전송을 나타낸 그림이다. 두 개의 코일을 서로 인접시킨 후 한 개의 코일에 전류를 흘려보낸다. 이 때 발생한 자속이 다른 코일에 기전력을 일으키는 방식으로, 전자기 유도는 최대 수백 kW의 전력을 전송 할 수 있고 효율도 높다. 그러나 최대 전송 거리가 1cm 이내로 매우 짧기 때문에 특정 위치에서 급속 충전이 가능한 분야에 응용될 수 있다. 그 예로 무선인식 (RFID; Radio Frequency Identification) 카드, 습식 면도기, 충전식 전동 칫솔 등 많은 분야에서 상용화되고 있다[12].



<그림 2-2> 공명방식의 무선 전력 전송

<그림 2-2>는 공명에 의한 전력전송을 나타낸 것이다. 여기서 A와 B는 코일을 의미한다. A와 B는 서로 연결되어있지 않으며 두 코일은 D만큼 거리를 두고 있다[13].

이 기술은 두 매체가 같은 주파수로 공진 하여 자기공명 원리를 이용한 것으로 미국 MIT 물리학과 교수인 마린 솔자식(Marin Soljasic) 교수가 지도하는 연구팀에 의해 2006년 11월에 전원 공급 기술로 사용할 수 있는 가능성이 확인 되었다. 무선 전기라는 이름을 붙인 이 기술은 2m 떨어져 있는 60W 전구에 불을 밝히는 데 성공하였다. 출력 전력이 수 KW정도이고 전송 범위는 수 m 의 고정 범위 내에서 이동하는 장치에 대한 직접 전원 공급으로 적합하다.



<그림 2-3> 라디오파 수신방식의 무선 전력 전송

<그림 2-3>은 라디오파를 이용하여 전력을 직접 송수신하는 모습을 나타낸 것이다. 이 기술은 라디오파를 DC로 변환하기 위해 다이오드를 이용하여 정류과정을 거친다. 최근 활발한 연구로 변환 효율이 향상되었다. 그리고 전송 범위는 수 cm에서 아주 먼 거리까지 가능하지만, 출력전력이 수 mW ~ 수백 mW 정도의 낮아 긴

대기시간 및 실내에서 지속적인 충전이 요구되는 단말기 등에 적합하다. 라디오파를 이용한 방식의 예로 인공위성에서 태양 에너지를 저장하여 지상으로 전력을 송신하는데 쓰이고 있다.

## 2.2 송·수신 시스템과 인체 보호기준

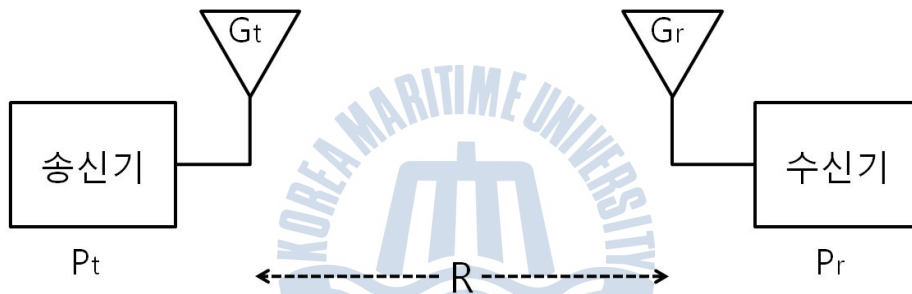
### 가. 송·수신 시스템

라디오파를 이용하여 전력을 송·수신하기 위해서는 안테나가 필수적이다. 안테나 설계에 있어서 통신 링크의 거리에 따른 대기 중 손실 및 수신단의 전력량을 아는 것이 중요하다. 통신링크에 대하여 <그림 2-4>에 간단히 나타내었다. 전력 밀도  $S$ 를 예측하는 방법에 대해 살펴보면  $P_t$ ,  $P_r$ 은 각각 송전전력과 수신전력을 의미하며,  $G_t$ ,  $G_r$ 은 각각 송신안테나의 이득과 수신 안테나의 이득을 의미한다. 여기에서  $P_t$ 가 거리에 따라서 보존된다고 생각하고 송신 안테나의 지향성이 1이라고 생각하면  $P_t$ 가 구(球) 표면적에 의해서 나누어지므로 수신 안테나 위치에서 전력밀도  $S_1$ 는 식(2-1)로 표현할 수 있다[14].

여기서 만약 송신안테나가 지향성을 가지는 안테나일 경우 송신되는 전력은 유효등방성복사전력(EIRP ; Effective Isotropic Radiation Power)이 달라지므로 전력밀도  $S_2$ 는 식(2-2)로 표현할 수 있다.

$$S_1 = \frac{P_t}{4\pi R^2} W/m^2 \quad (2-1)$$

$$S_2 = \frac{G_t P_t}{4\pi R^2} W/m^2 \quad (2-2)$$



<그림 2-4> 통신링크 블럭도

식(2-2)에 의해 수신 전력을 얻기 위해서는 전력밀도에 유효개구 면적을 곱하여 주어야 한다. 이러한 개구면적은 이득이 1인 등방성 수전 안테나가 있다고 생각하면 유효개구면적은 식(2-3)으로 표현할 수 있다.

여기서 만약 수신안테나가 지향성을 가지는 안테나일 경우 수신되는 전력은 안테나의 이득에 따라 증가하므로 유효개구면적은 식

(2-4)로 표현할 수 있다. 즉 주파수가 다른 경우 유효개구면적은 달라진다. 따라서 주파수가 높아지는 경우 주파수 제곱에 반비례하여 유효개구면적은 줄어든다는 것을 알 수 있다.

$$A_{er1} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (2-3)$$

$$A_{er} = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \quad (2-4)$$

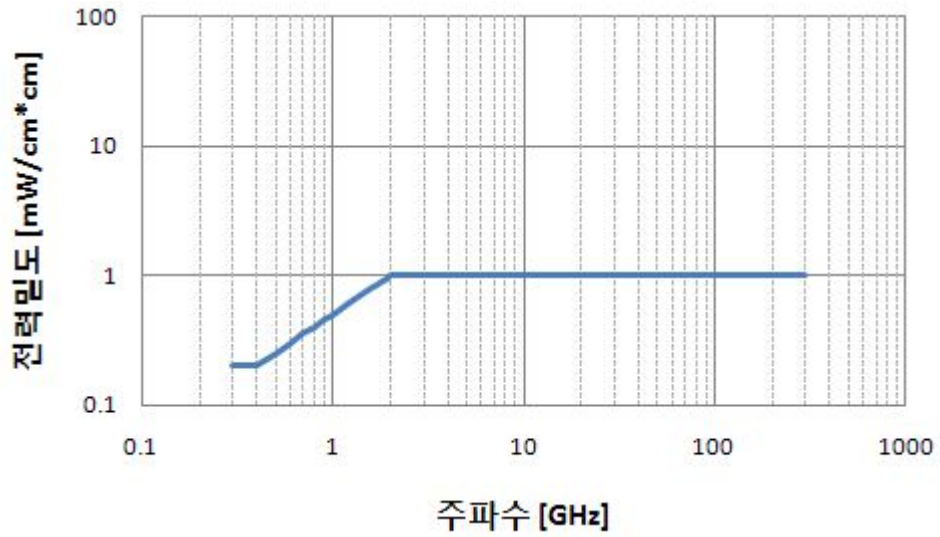
렉테나 안테나에서 수신되는 전력  $P_r$ 은 식(2-2)와 식(2-4)에 의해 식(2-5)로 표현이 가능하다. 즉 송·수신 안테나의 이득과 거리와 송신전력을 알고 있다면 수신되는 전력을 계산 할 수 있다.

$$P_r = A_{er} S = \left( \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \right) \times \left( \frac{G_t P_t}{4\pi R^2} \right) = \frac{G_r G_t P_t \lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad (2-5)$$

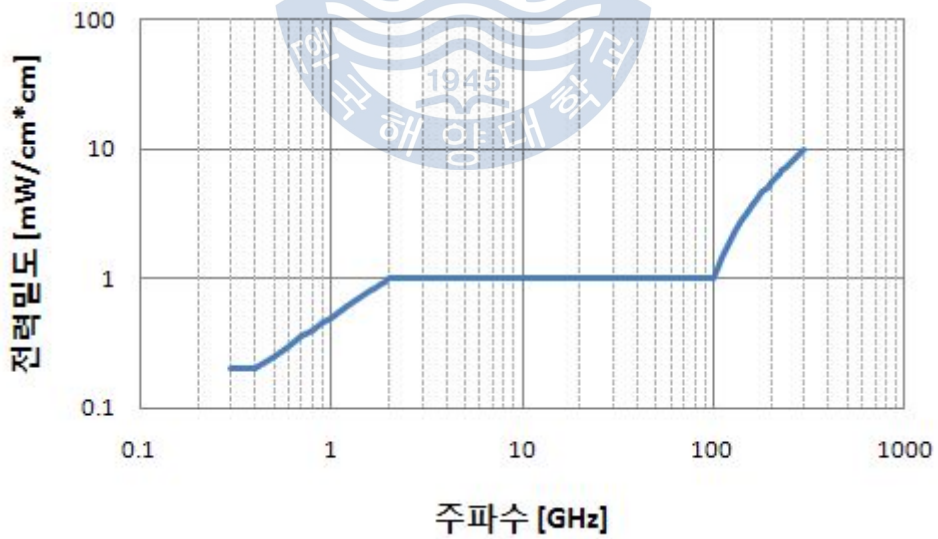
## 나. 인체 보호기준

RF를 이용한 무선 전력전송 방식은 큰 전력 밀도의 전자기파가 수신 안테나로 입사되어야 높은 DC전력을 얻을 수 있다. 이런 경우 가장 큰 문제는 무선으로 전송되는 큰 전력 밀도를 갖는 전자기파에 사람이 노출된다는 것이다.

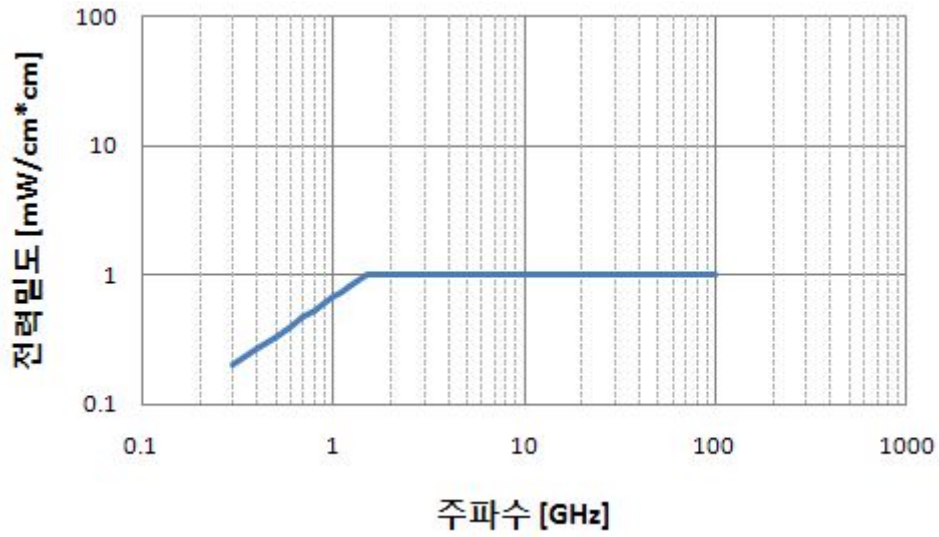
우리나라 방송통신위원회의 고시(제 2008-37호 ; 전자파 인체 보호기준)와 미국연방통신위원회(FCC ; Federal Communication Commission) 규정 및 미국표준협회/미국전기전자학회(ANSI/IEEE) 규정에 따른 주파수별 허용 전력 밀도를 <그림 2-5>, <그림 2-6>, <그림 2-7>에 각각 나타내었다[15]~[17]. 그림에서 보면 모든 규정에서 300MHz 주파수의 아래 쪽 범위에서 전력밀도는  $0.2\text{mw}/\text{cm}^2$ 이지만, 대체로 주파수가 올라감에 따라 증가한다. 그 이유는 주파수가 높아짐에 따라 전력 흡수를 대부분 피부 표면에서 하기 때문에 낮은 주파수에서보다 피해를 줄일 수 있기 때문이다. RF 및 마이크로파 노출 제한 기준은 각 나라마다 조금씩 다르지만, 대부분 비슷한 정도의 안전 기준에 대한 레벨을 가지고 있다. 그러므로 무선 전력 전송 시스템의 전력밀도는 인체에 영향을 미치지 않는 범위에서 동작하도록 구성되어야 한다.



<그림 2-5> 국내규정의 따른 주파수별 허용 전력밀도



<그림 2-6> IEEE/ANSI규정에 따른 주파수별 허용 전력밀도



<그림 2-7> FCC규정에 따른 주파수별 허용 전력밀도

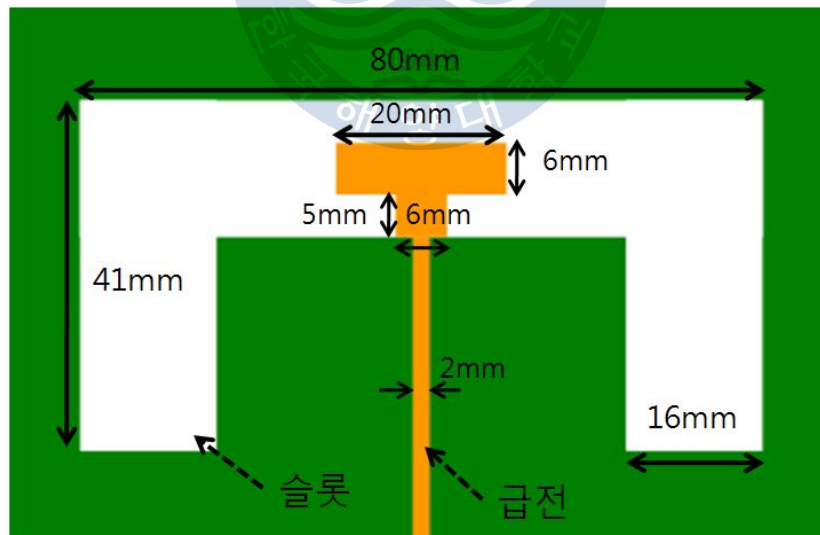




## 제 3장 렉테나 설계 및 제작

### 3.1 슬롯 안테나 설계 및 제작

렉테나의 RF 수신용 안테나는 슬롯 안테나를 이용하여 설계하였다. 슬롯 안테나의 개괄적인 모습을 <그림 3-1>에 나타내었다. 유전율이 4.4인 FR4 기판의 한쪽면을 그라운드로 하고 그라운드 면에 900MHz의 반파장 크기에 가깝게 슬롯을 만들었다. 그리고 슬롯이 있는 반대편 면에 급전부를 설계하였다.



<그림 3-1> 수신 안테나의 형태

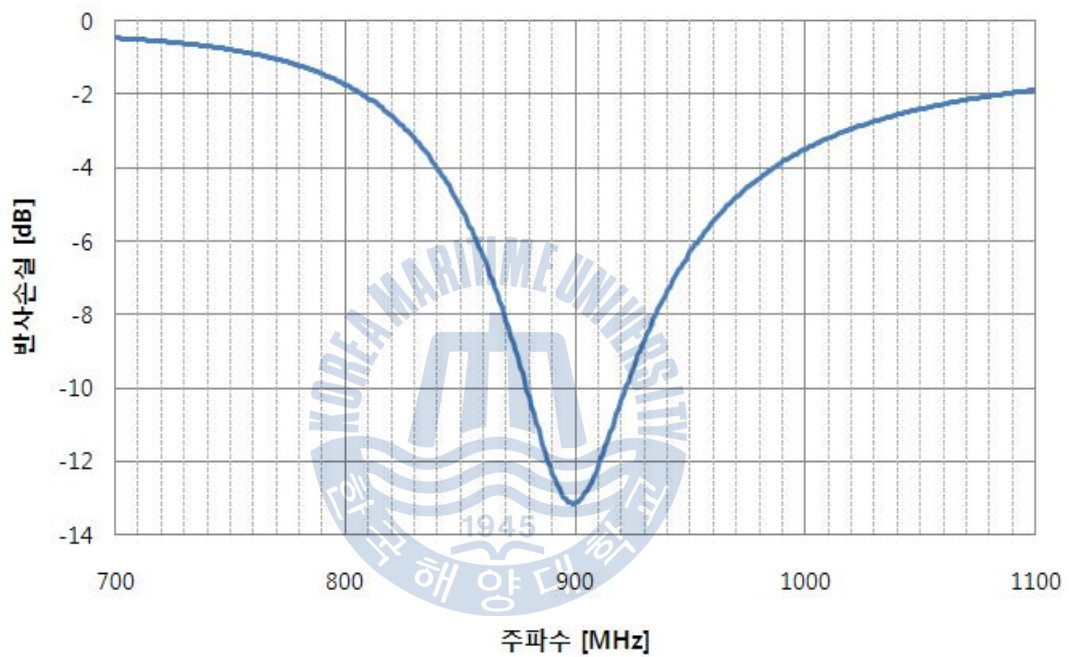
## 가. 슬롯 안테나 특징

슬롯 안테나란 도파관 벽면, 도체 표면 또는 평면의 도체 판상에 슬롯을 만든 다음 그 슬롯부에 급전함으로써 전파의 방사체로 작용시키는 안테나이다. 도체 평면에 반파장에 가까운 슬롯을 만들고 중앙에 급전하면 전류는 금속 도체판을 흘러 전파가 방사 한다. 슬롯 길이가 반파장에 가깝게 하면 반파장 다이폴 안테나와 동일하게 효율이 좋고 강한 전파가 방사 된다. 수평 슬롯에는 수직 편파가 수직 슬롯에는 수평 편파가 방사되므로 슬롯과 직각으로 배치한 반파장 안테나의 지향성과 같다. 또한 다이폴 안테나 도선의 직경을 굵게 하면 주파수 대역폭이 넓어지는 것과 같이 슬롯의 폭을 넓게 하면 안테나의 주파수 대역폭이 넓어진다[18].

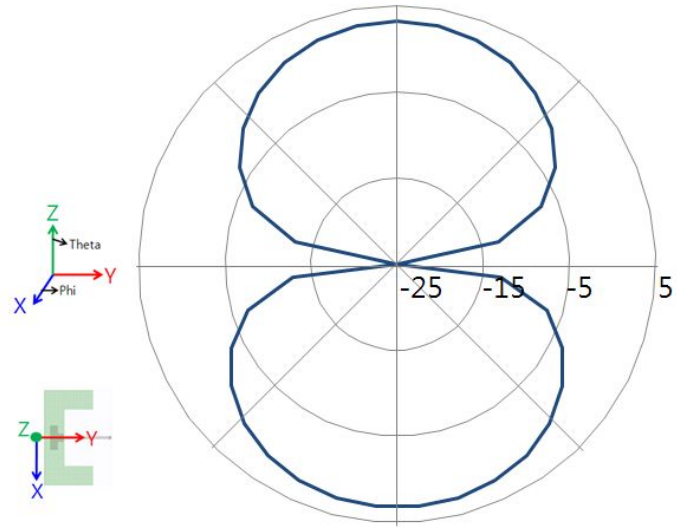
## 나. 슬롯 안테나 설계 및 제작

슬롯 안테나를 반파장 다이폴 안테나와 같이 효율을 좋게 하기 위해서는 슬롯의 길이가 반파장에 가까워야 한다. 그러나 전체적인 크기를 줄이기 위해 반파장 길이의 슬롯을 U자 모양으로 설계하였다. Ansoft 사의 Designer라는 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 그라운드 평면에 슬롯을 만들고 Signal 평면에 급전부를 만들었다. <그림 3-2>에 설계되어진 안테나의 반사손실을 나타내었다. 설계된 슬롯 안테나는 900MHz에서 13.14dB의 반사손실을 가진다. <그림 3-3>은 3차원 안테나 설계 프로그램인 Ansoft 사의 HFSS를 사

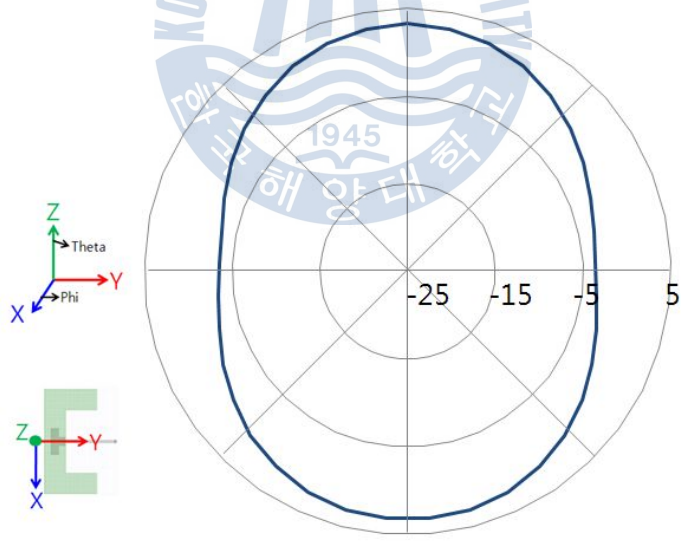
용하여 모의실험한 안테나의 방사 패턴 그림이다. E평면에서는 다이폴과 같은 8자형 패턴을 보이며 H평면에서는 타원모양의 패턴을 보이고 있다.



<그림 3-2> 안테나의 반사손실



(a) E평면 방사패턴



(b) H평면 방사패턴

<그림 3-3> 안테나의 E평면 방사 패턴

### 3.2 정류회로 설계 및 제작

#### 가. 다이오드 선택

정류회로 구성에서 쇼트키 다이오드를 선정하는 것은 중요한 단계라 할 수 있다. 여러 연구를 통해 사용된 다이오드 중 낮은 전력 환경에서 잘 작동 하는 다이오드를 선택하기 위해 Agilent사의 Appcad와 다이오드 Spice parameter를 이용하여 출력전력에 대해 출력 DC전압을 산출하였다.

HSMS계열 쇼트키 다이오드 Spice Parameter 값을 <표 3-1>에 나타내었다. 여기서  $R_S$ 는 쇼트키 다이오드의 직렬 저항을 나타내고  $E_g$ 는 접합양단의 에너지 차이를 나타내며  $I_{S0}$ 는 포화 전류를 나타낸다.  $n$ 은 이상계수로 이상적인 다이오드 공식과 측정되는 소자의 차이를 보정해주며  $B_V$ 는 파괴전압을 나타내고 있다.  $B_V$ 는 다이오드의 사용가능한 출력전압뿐만 아니라 최대 효율이 나타날 입력전력과 관련이 깊다. 그러므로 수신 전력이 높은 경우에는 파괴전압이 큰 것을 선택해야 한다.

모의실험에서는 임피던스 매칭에 관한 요소와 주파수의 영향은 배제하였다. 또 전원의 내부 임피던스를 50Ω으로 설정 하고 여러 종류의 다이오드를 모의실험 하였다[19]. HSMS-820X다이오드와 820Ω으로 이루어진 단일 정류기구조에서 Spice parameter에 따른 입력 전력에 대한 출력 전압 모의실험을 <그림 3-4>에 나타내었다. <그림 3-5>은 이러한 과정을 통해 <표 3-1>의 쇼트키 다이오

드에 대해 모의실험 결과이다. 이를 통해 입력 전력에 대하여 출력 전압이 높은 다이오드 HSMS-285X를 선택하게 되었다.

<표 3-1> 쇼트키 다이오드의 Spice Parameter[19]

	HSMS 280X	HSMS 281X	HSMS 282X	HSMS 285X	HSMS 820X
$R_s$	30Ω	10Ω	6Ω	25Ω	7Ω
$E_g$	0.69eV	0.69eV	0.69eV	0.69eV	0.69eV
$I_{so}$	30nA	4.8nA	22nA	3000nA	54nA
n	1.08	1.08	1.08	1.06	1.08
$B_v$	75V	25V	15V	3.8V	4V

Large Signal Detector

1. Enter diode parameters and circuit values :

Diode Parameters:

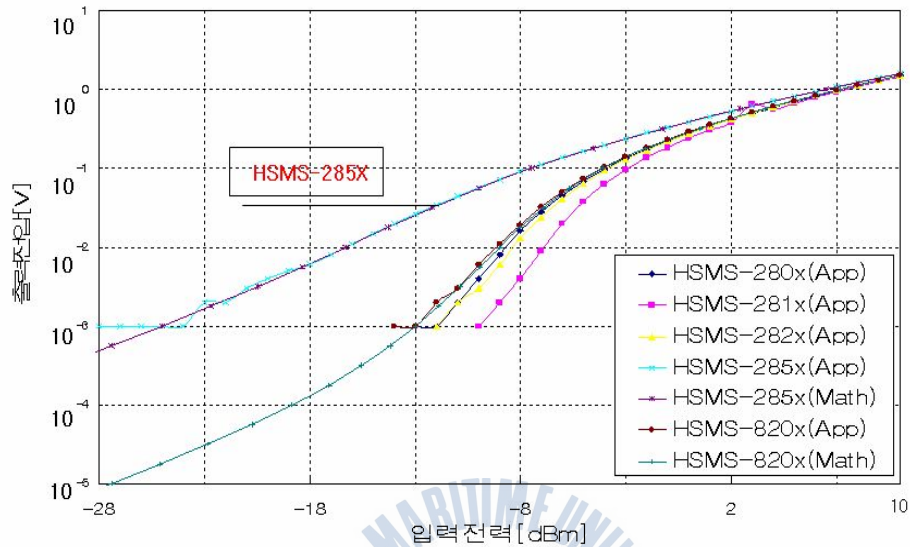
$T = 25$  °C     $R_s = 7$  Ω

$I_o = 0$  uA     $E_G = 0.69$  eV

$I_{so} = 0.054$  uA     $n = 1.12$

2. Enter Pin range:    Pin Start = -30    Pin Stop = 20    Pin Step = 1    dBm

<그림 3-4> Appcad를 이용한 모의실험[19]

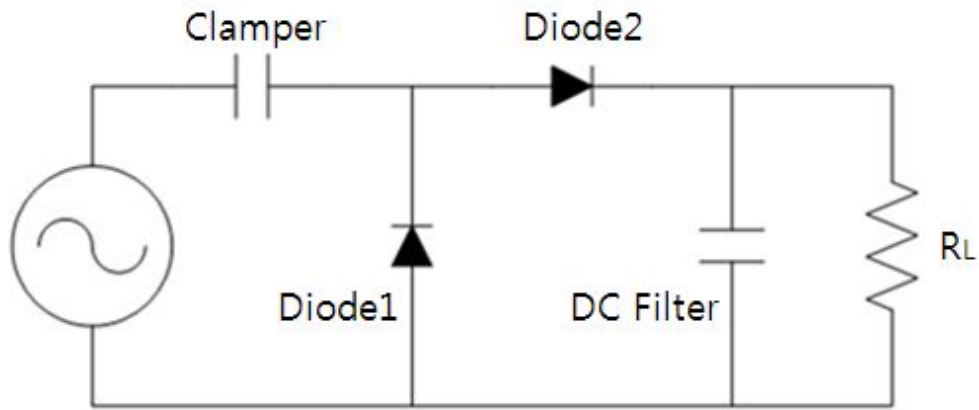


<그림 3-5> 다이오드 선택에 관한 모의실험[19]

#### 나. 정류회로 설계

선택된 다이오드 HSMS-285X를 바탕으로 낮은 입력전력 환경에 적합한 배압 구조의 정류기를 구성하였다.

<그림 3-6>에서는 배압 정류기의 모습을 나타내었다. 단일 전력 정류기는 입력된 RF전압의 첨두치를 DC전압으로 변환하여 부하에 전달할 수 있다. 반면 2배압 전력 정류기는 클램퍼(Clamper; 입력 신호 파형의 한 부위를 어느 일정한 레벨로 고정시키는 회로)역할을 하는 커패시터에 의하여 입력 RF전압의 2배까지 DC전압으로 변환하여 부하에 전달하는 장점을 가진다[20]. 그러므로 보다 높은 효율을 가질 수 있다.



<그림 3-6> 배압 정류회로구조

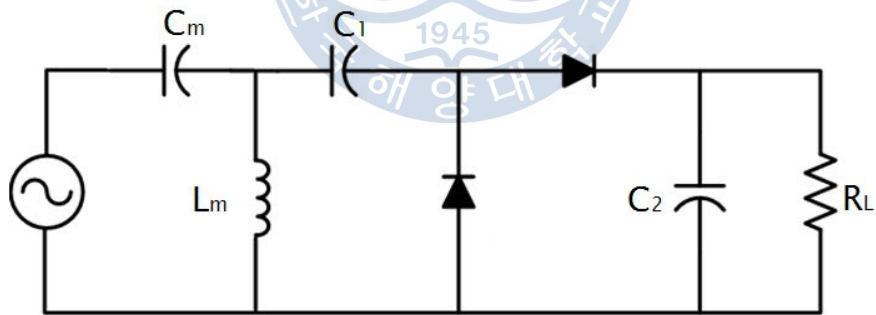
HSMS-2852 쇼트키 다이오드를 사용한 배전압 정류기 구조를 FR4 기판( $\epsilon_r=4.4$ ,  $h=1\text{mm}$ )을 사용하여 설계하였다. 보다 좋은 효율을 얻기 위해 고주파 회로 모의실험 프로그램인 Agilent사의 ADS(Advanced Design System)의 하모닉 발란스(Harmonic Balance)방식을 이용하여 입력전력에 대한 출력전압과 효율 등을 확인할 수 있었다. 하모닉 발란스 방식은 회로 시뮬레이션중 비선형 소자가 포함된 경우에 주로 사용하는 방식으로써 증폭기, 발진기, 혼합기 설계 등에서 사용하는 방식이다[19].

모의실험 프로그램 및 제작된 회로실험을 통해 동일한 저항에 대해서 최대 출력 전압이 나오도록 L, C 소자를 추가 하였다. 클램퍼 역할을 하는 커패시터 앞쪽으로 병렬 L과 직렬 C를 연결하고



그 값을 조절하며 설계하였다. 설계기준은 S11을 통한 임피던스 변화를 참고하여 50Ω에 가깝게 되도록 하였다. 설계된 정류회로의 회로도 및 사용된 소자 값은 <그림 3-7>에 나타내었다. 임피던스 정합을 위한 회로를 제외하고 모든 커패시터는 100pF를 사용하였고 부하저항은 1KΩ으로 설정하였다. <그림 3-7>에 나타낸 소자 값으로 모의 실험한 결과를 <그림 3-8>와 <그림 3-9>에 나타내었다.

<그림 3-9>는 정류회로의 입력전력에 대한 부하저항 양단의 DC 출력 전압을 나타내었다. 출력 전압은 부하 저항에 따라 달라질 수 있으나 제작된 정류회로의 측정치와 비교하기 위해 1KΩ의 부하를 연결하여 모의실험 하였다. 그 결과 0dBm에서 0.7V의 출력 전압을 나타내었고 입력 전력이 14dBm 이상으로 입력될 때는 3.6V정도 출력 전압으로 변화가 없음을 확인할 수 있다.



$C_m : 1.8\text{pF}$	$C_1 : 100\text{pF}$
$L_m : 12\text{nH}$	$C_2 : 100\text{pF}$
	$R_L : 1000\Omega$

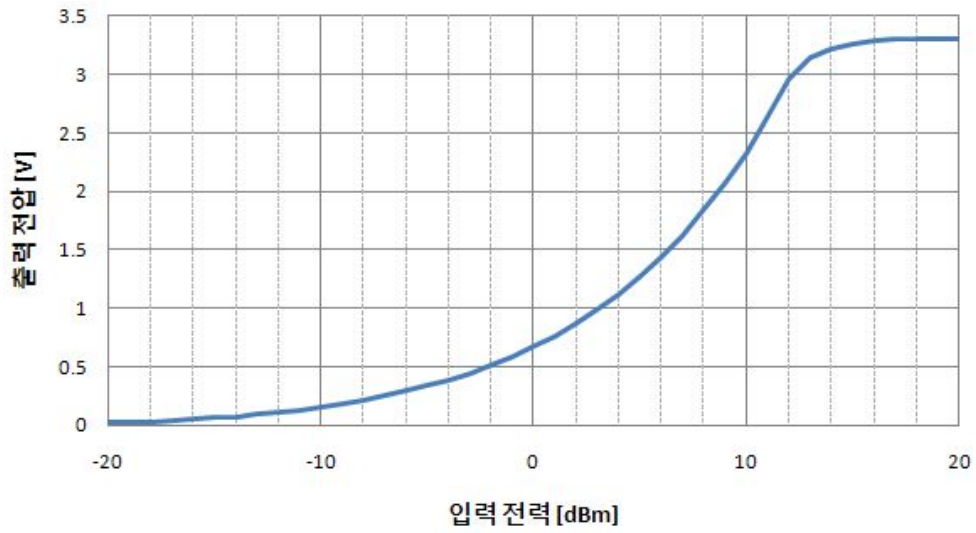
<그림 3-7> 정류회로의 회로도

<그림 3-9>에서는 모의실험을 통한 입력전력에 대한 효율  $\eta$ 를 나타내었다. 여기서의 효율을 구하는 방법은 출력전압과 이 때 부하저항의 값을 통해 식(3-1)과 같이 출력전력  $P_{out}$ 을 계산하였다. 그 다음 식(3-3)과 같이 입력전력  $P_{in}$ 과의 비율을 통해 계산 하였다. 모의실험 결과 0dBm에서 약 44%정도의 효율을 얻을 수 있고 최대 12dBm입력전력일 때 약 55%의 효율을 얻을 수 있었다.

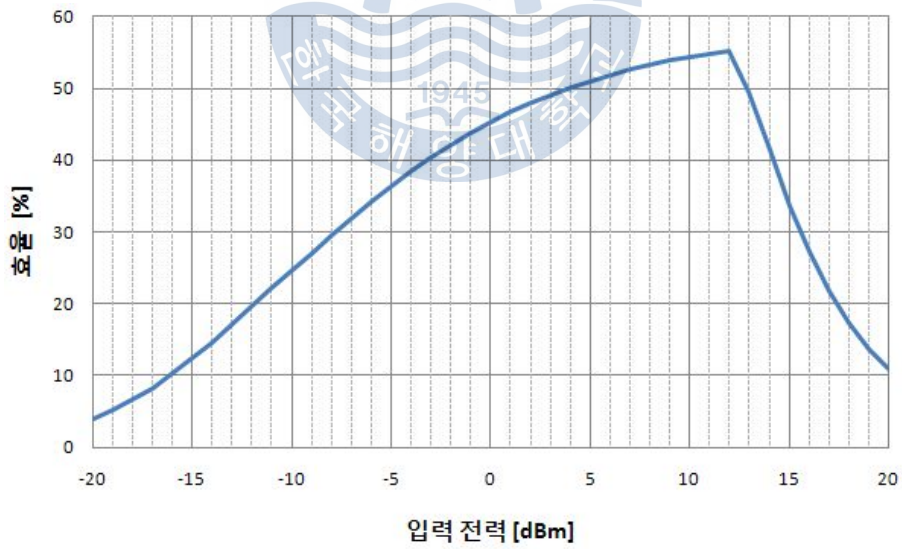
$$P_{out} = \frac{V_{out}^2}{R_L} \text{ [W]} \quad (3-1)$$

$$P_{in} = 10^{\frac{xdBm}{10}} \times 1000 \text{ [W]}, \quad (xdBm = \text{입력전력}) \quad (3-2)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \text{ [%]} \quad (3-3)$$



<그림 3-8> 정류회로의 입력전력에 대한 출력전압



<그림 3-9> 정류회로의 입력전력에 대한 효율

### 3.3 슈퍼커패시터와 부스트 컨버터

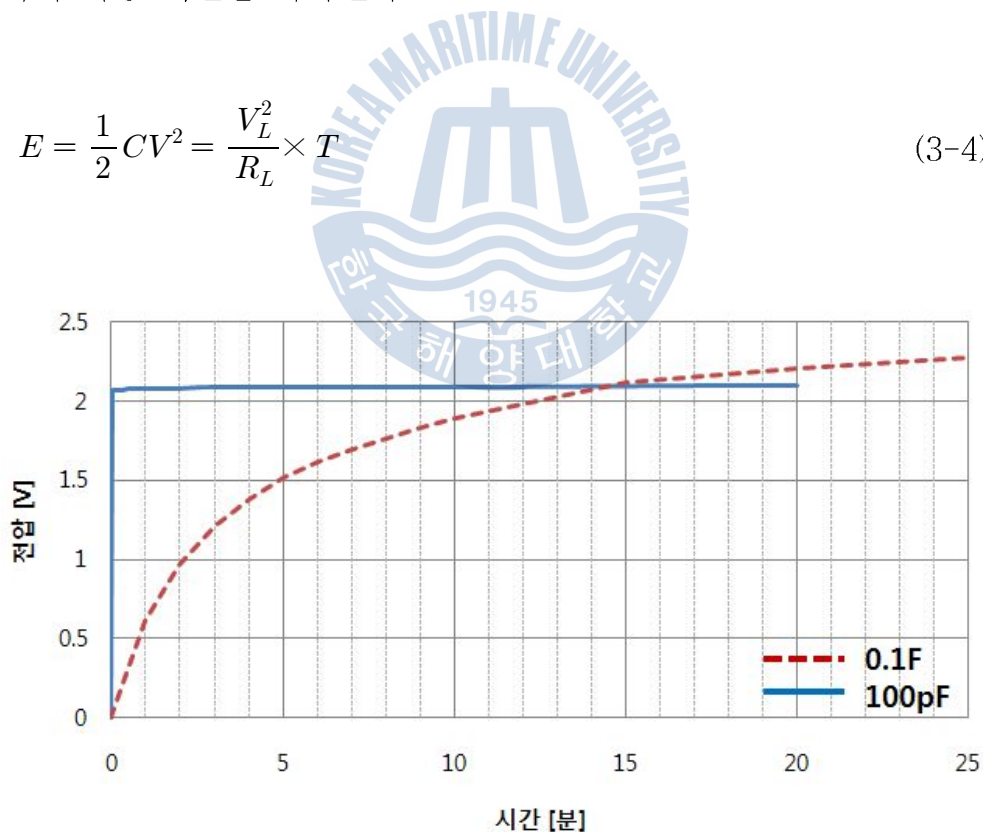
일반적인 커패시터는 마주보는 전극 사이에 유전체를 채움으로써 유전체가 지나는 유전율에 따라 커패시터에 축적되는 용량이 결정된다. 이와 달리 슈퍼 커패시터는 고체와 액체의 상이 다른 2층이 접한 계면에서 정(+)과 부(-)의 전하가 분포됨으로써 커패시터를 형성한다. 이 계면을 전기 이중층이라 부르며 이것을 이용한 커패시터인 슈퍼커패시터를 전기 이중층 커패시터로 분류한다. 사용된 고체에는 표면적이 보다 큰 소재를 사용하여 전기 이중층을 많이 형성하는 방법으로 보다 큰 용량을 저장할 수 있다[21]. 이러한 특징으로 슈퍼커패시터는 저전력 환경에서 정류회로를 통해 얻는 적은 양의 에너지를 모으는 소자에 적합하다. 또한 용량이 크기 때문에 충·방전 시간이 오래 걸리며 이는 규칙적이지 않는 RF 전력 수신 환경에서 에너지를 쉽게 방전하지 않고 오래 간직할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 슈퍼커패시터를 이용하여 정류회로를 통해 변환된 전력을 충전 하고자 한다.

<그림 3-10>는 정류회로를 신호 발생기에 직접 연결하여 일반적인 칩 커패시터 100pF과 슈퍼커패시터 0.1F의 커패시터양단에 충전되는 전압을 나타낸 것이다. 신호발생기를 통해 900MHz에서 0dBm의 전력을 정류회로에 입력하여 측정한 결과 <그림 3-10>에 보이는 것과 같이 100pF의 커패시터는 10초 이내에 2.07V전압으로 충전이 된다. 이것을 식(3-4)에 의해 계산하면 15분 충전 후 커패시터

양단 전압은 2.07V로 약  $2.14 \times 10^{-4} \mu\text{J}$ 의 에너지가 저장되어있음을 알 수 있다. 반면 0.1F의 슈퍼 커패시터는 충전되는 시간이 느리나 15분후 커패시터의 양단 전압은 2.11V로 저장되는 에너지량은 222mJ이다. 0.1F의 슈퍼커패시터가 100pF에 비하여 큰 에너지를 저장할 수 있음을 확인하였다.

<그림 3-11>은 사용된 슈퍼커패시터의 모습이다. 식(3-4)는 에너지 계산식으로 C는 커패시터 용량을, V는 커패시터 양단 전압을 나타낸다.  $V_L$ 과  $R_L$ 은 각각 부하의 전압과 저항을 나타내며 T는 부하의 작동 시간을 나타낸다.

$$E = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{V_L^2}{R_L} \times T \quad (3-4)$$

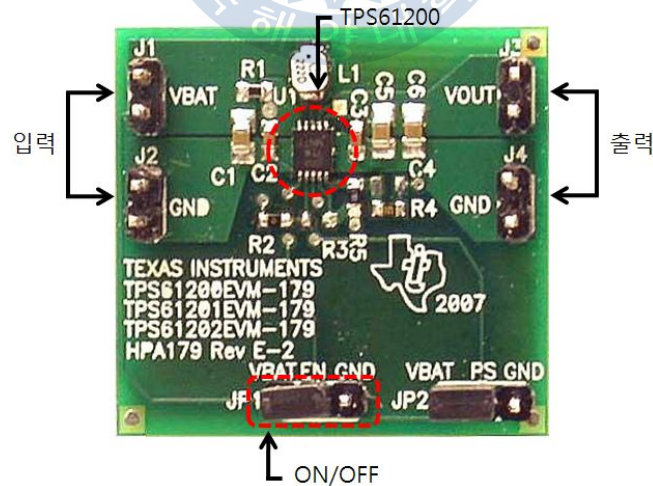


<그림 3-10> 신호발생기로부터 충전되는 커패시터 전압



<그림 3-11 > 슈퍼커패시터

슈퍼 커패시터에서 충전되고 방전되며 변화하는 전압을 사용가능한 전압으로 변압해주고 일정하게 해주기 위해 부스트 컨버터를 사용하였다. TI사의 TPS61200 부스트 컨버터는 입력 전압 0.3V 에서 5.5V 사이의 전압을 입력으로 받아 일정한 전압으로 출력하는 레귤레이터 역할을 한다. 회로 구성에 따라 출력 전압을 1.8V에서 5.5V 까지 조절이 가능하며 본 논문에서는 3.3V의 출력 전압이 나오도록 회로구성을 하였다. <그림 3-12>는 사용된 부스트컨버터 EVM의 모습이다.



<그림 3-12> 부스트 컨버터 EVM

## 제 4장 실험 및 측정결과

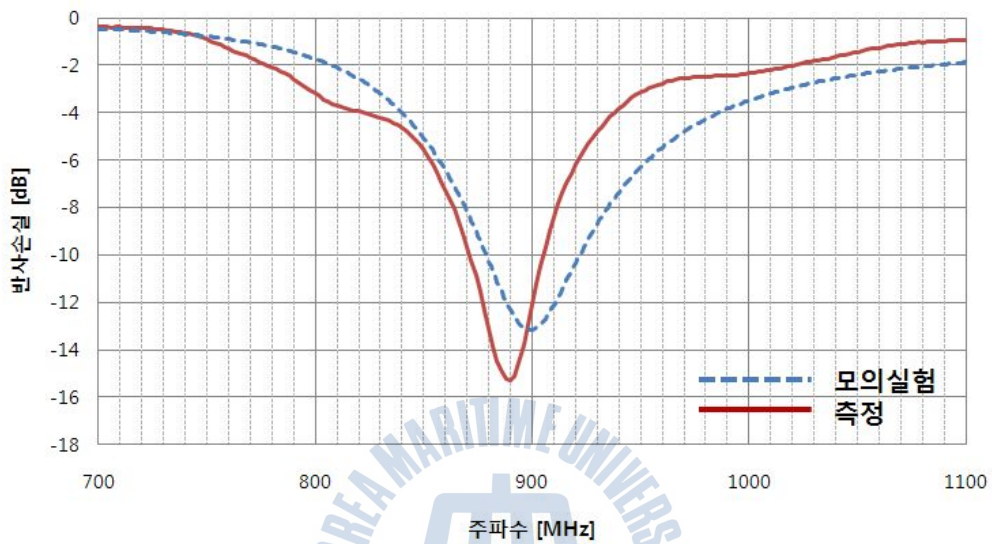
### 4.1 안테나 측정

모의실험을 바탕으로 설계된 슬롯 안테나는 비유전율이 4.4인 FR4 1mm 두께의 기판에 제작 되었다. 설계된 안테나의 모의실험 결과는 900MHz에서 반사손실이 13.14dB였다. 그러나 모의실험에서와 같은 수치로 제작된 슬롯 안테나를 회로망분석기로 측정한 결과 <그림 4-1>에 나타낸 것과 같이 890MHz에서 공진되었다. 목표 주파수인 900MHz에서 반사손실은 약 12.07dB정도 였으며 890MHz에서의 반사 손실이 약 15.31dB임을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과는 모의실험 환경과 측정 환경이 다르기 때문으로 분석 된다. 모의 실험 환경에서는 안테나의 슬롯이 있는 접지 면을 무한대의 크기로 가정한다. 반면 실제 제작된 안테나의 접지면은 슬롯으로 부터 1cm 정도로 유한한 크기이기 때문에 모의실험과 측정치의 차이가 발생 하였다. 이러한 차이를 줄이기 위해 U자 모양으로 설계된 슬롯의 양쪽 꺾인 부분의 길이를 41mm에서 40mm로 조절한 후 회로망 분석기로 측정한 결과를 <그림 4-2>에 나타내었다. 조절된 안테나는 900MHz에서 18.06dB의 반사손실을 갖으며 안테나로써 동작 여부의 기준이 되는 반사손실 10dB이상인 대역은 884~922MHz 으로 대역폭 38MHz로 측정되었다.

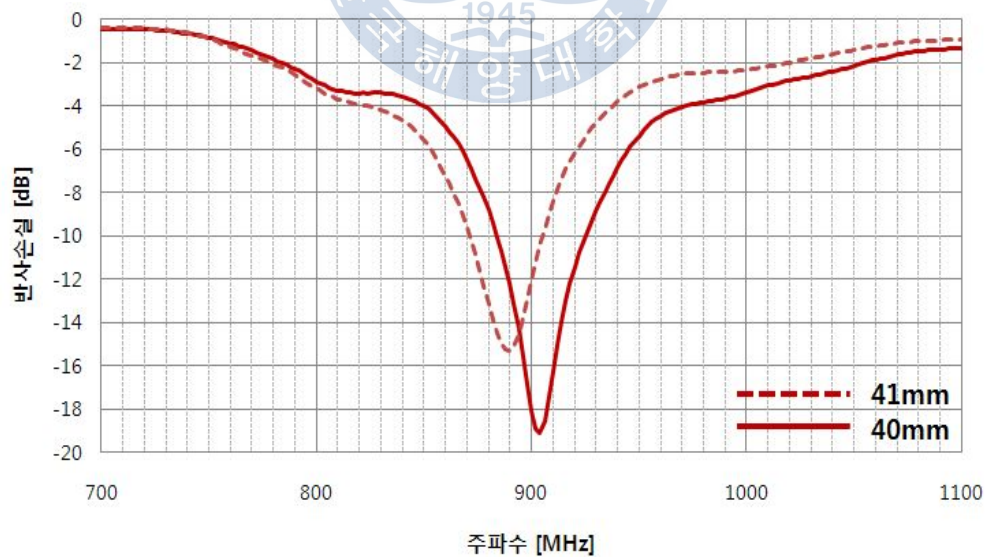
900MHz에서 공진되도록 제작된 슬롯 안테나를 <그림 4-3>에



나타내었다. <그림 4-4>는 전파 암실에서 측정 한 안테나의 E평면  
 과 H평면의 방사 패턴 모습이다.



<그림 4-1> 안테나의 반사손실

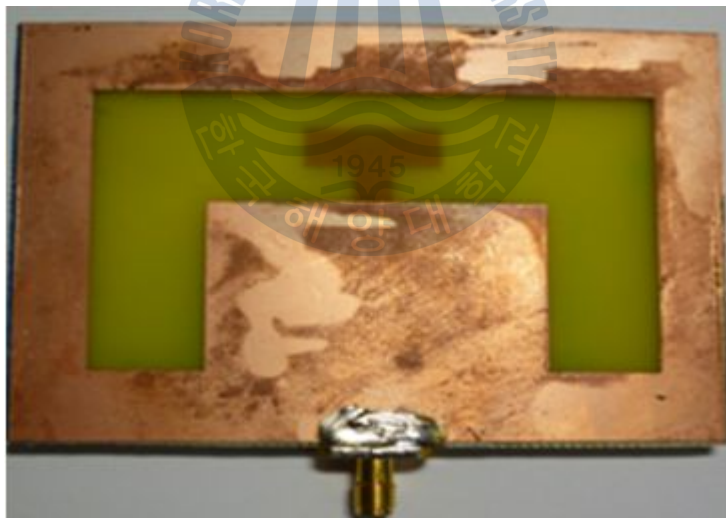


<그림 4-2> 슬롯 길이가 다른 제작된 안테나의 반사손실



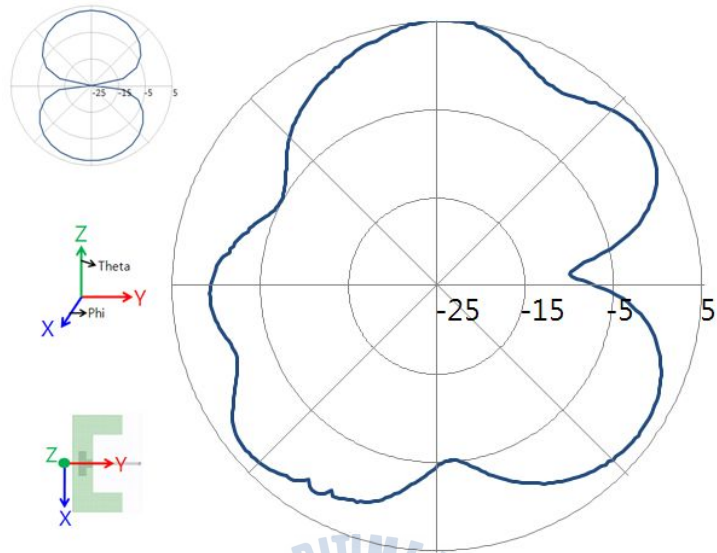


(a) 급전부

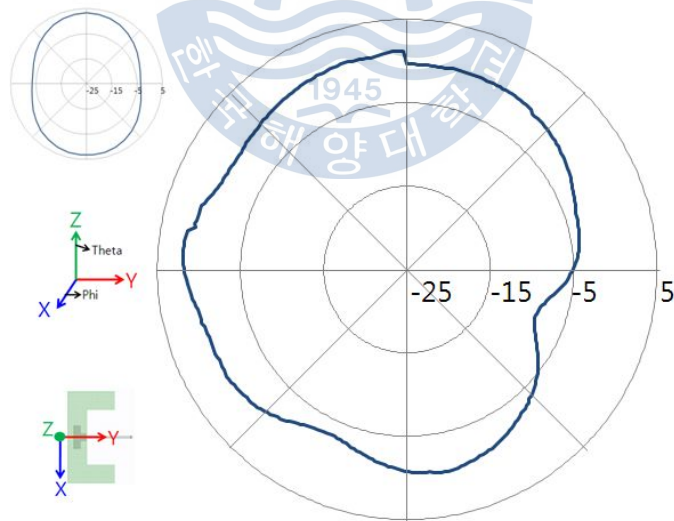


(b) 슬롯

<그림 4-3> 제작된 안테나의 모습



(a) E평면 방사패턴



(b) H평면 방사패턴

<그림 4-4> 측정된 안테나의 방사패턴

## 4.2 정류회로 측정

### 가. 정류회로 효율 측정

<그림 4-5>는 FR4 기판 위에 정류회로를 제작한 모습을 나타내었다. <그림 4-6>은 제작된 정류회로의 효율을 측정하기 위한 실험 환경을 도식화 한 것이다. 신호 발생기에서 900MHz 주파수를 발생시키고 정류회로에 입력되는 전력을 변화시키며 출력 전압을 측정하였다. 그 결과를 바탕으로 <그림 4-7>에 효율을 계산하여 나타내었다. 계산식은 3.2절의 식(3-1)과 식(3-2), 식(3-3)을 이용하였다. 모의실험과 같이 부하저항  $1K\Omega$ 에서의 출력 전압을 이용해 출력 전력을 계산 하였다.

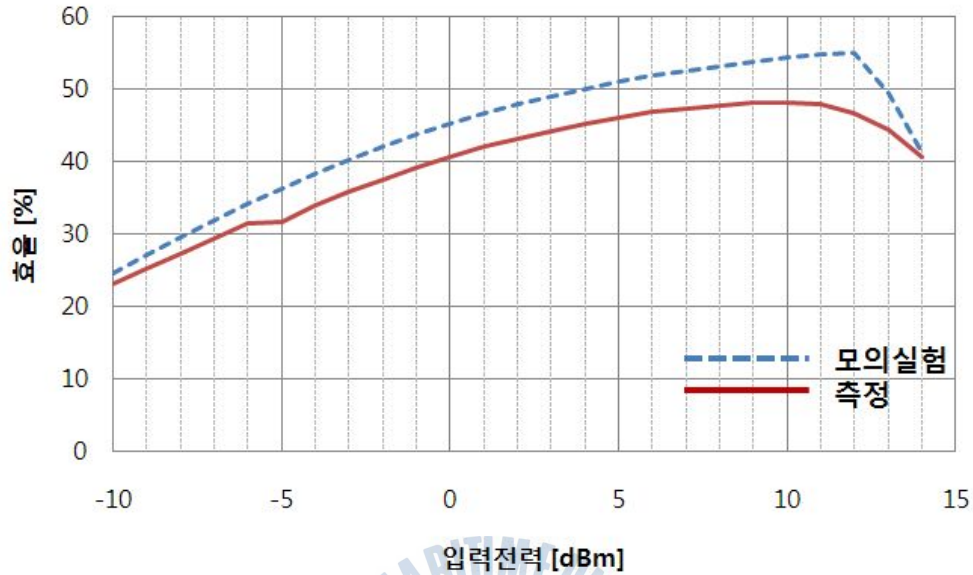
<그림 4-7>에서 모의실험값과 측정값을 비교하여 나타내었다. 측정결과는 0dBm입력에서 약 40%의 변환효율을 얻었고 11dBm 입력에서 최대 약 48%의 변환효율을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 측정된 효율 값은 모의실험값과는 약 4%의 차이를 갖는다. 이는 모의 실험에서 다이오드를 등가회로로 소신호 분석하였기 때문에 실제와 차이가 있었던 것으로 생각된다.



<그림 4-5> 제작된 정류회로의 모습



<그림 4-6> 정류회로의 측정방법

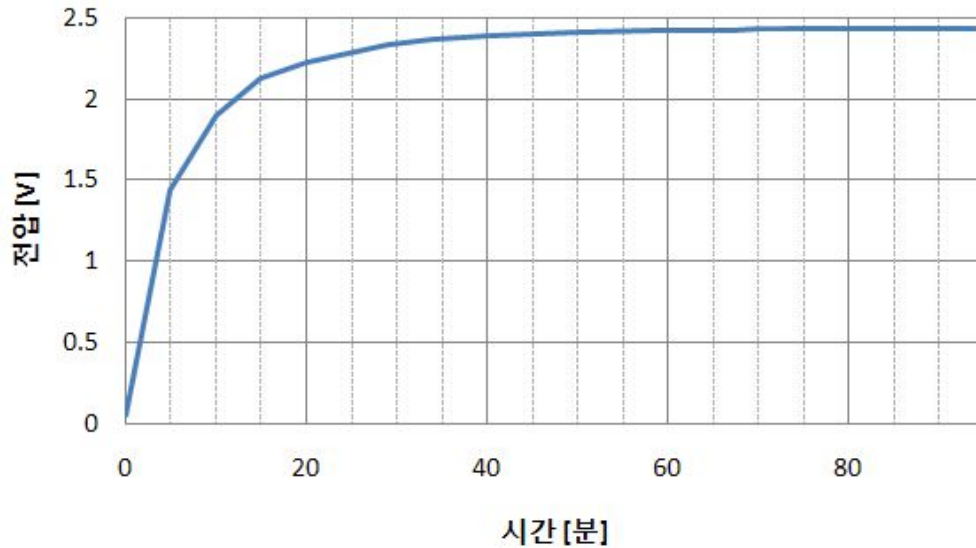


<그림 4-7> 제작된 정류회로의 변환효율

#### 나. 슈퍼커패시터의 사용

3절에 기술한 바와 같은 이유로 <그림 3-7>의 C2를 0.1F의 슈퍼커패시터로 교체하였다. 이때 임피던스 변화가 크지 않아 임피던스 정합 회로의 소자 값을 교체하지 않았다.

900MHz로 0dBm을 출력하는 신호발생기에 직접 연결한 정류회로를 통해 시간에 따라 슈퍼커패시터에 저장되는 전압을 <그림 4-8>에 나타내었다. 약 60분 이상 충전 하였을 때부터 슈퍼 커패시터 양단의 전압은 2.4V전압으로 변화가 없었다.



<그림 4-8> 신호발생기를 통해 저장되는 커패시터 전압

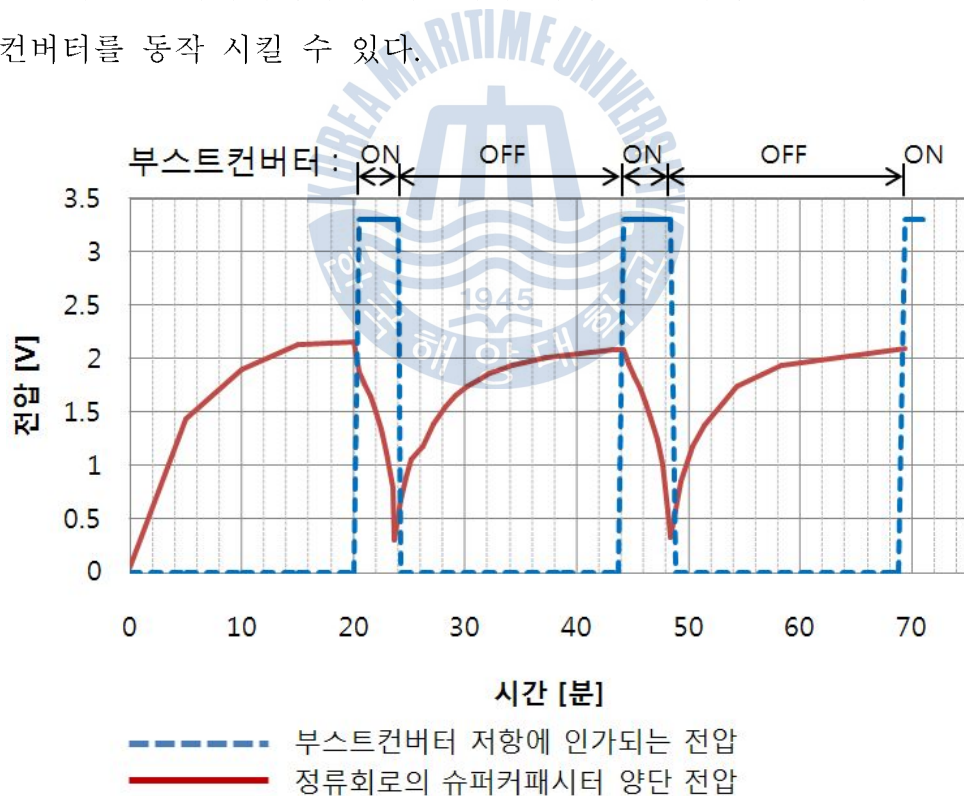


다. 부스트 컨버터 사용

TI사의 TPS61200 부스트 컨버터는 ON/OFF기능이 있어 커패시터가 어느 정도 에너지를 저장 할 때 까지 에너지 소비를 막을 수 있다. 슈퍼 커패시터를 사용한 정류회로에 50KΩ의 부하가 달린 부스트 컨버터를 연결하였다. 슈퍼커패시터와 부스트 컨버터의 저항에 걸리는 전압의 변화를 <그림 4-9>에 나타내었다.

부스트 컨버터의 OFF상태에서 신호 발생기를 통해 20분 충전한 결과 슈퍼 커패시터의 양단 전압은 약 2.03V로 식(3-4)에 의해 약 206mJ의 에너지가 저장 되어있음을 알 수 있다. 이때 부스트 컨버

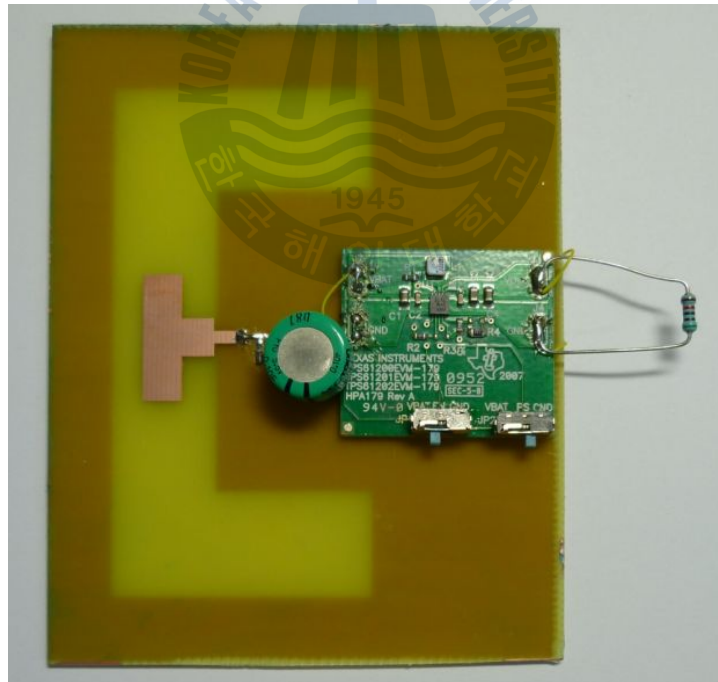
터를 ON상태로 변환 하여 부하에 걸리는 전압과 부스트 컨버터가 작동한 시간을 측정하여 부하에서 소비되는 전력을 계산 하였다. 슈퍼커패시터 양단의 전압이 2.03V에서 0.3V가 될 때 까지 280초 동안 부하에서 3.3V의 전압으로 작동하였다. 이는 식(3-4)에 의해 슈퍼커패시터에 저장되어 있던 약 202mJ의 에너지 중 약 61mJ이 부하 저항에서 소비되었음을 알 수 있다. 나머지 약 141mJ의 에너지는 선로에 의한 손실과 부스트 컨버터를 구동시키기 위해 사용된 에너지 이다. 또한 부스트컨버터의 동작이 멈춘 후 부스트컨버터를 OFF하면 슈퍼커패시터에 에너지가 다시 충전되어 20분 후 부스트 컨버터를 동작 시킬 수 있다.



<그림 4-9> 충전 시간에 따른 슈퍼커패시터와 부스트 컨버터 저항의 전압변화

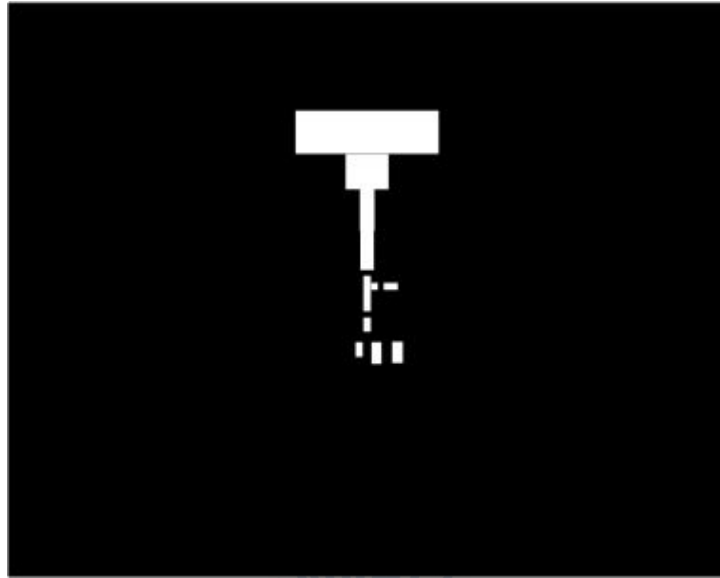
### 4.3 렉테나 측정

제작한 정류회로와 안테나를 바탕으로 <그림 4-11>에서는 렉테나의 앞면(a)과 뒷면(b)의 레이아웃(Layout)을 나타내었다. 레이아웃은 음각 습식 식각(Negative Wet Etching)방식을 이용하여 100mm×75mm의 크기로 제작되었다. 안테나와 정류회로 그리고 슈퍼 커패시터와 부스트 컨버터를 연결한 렉테나의 모습은 <그림 4-10>에 나타내었다.



<그림 4-10> 제작된 렉테나의 모습





(a) 앞면



(b) 뒷면

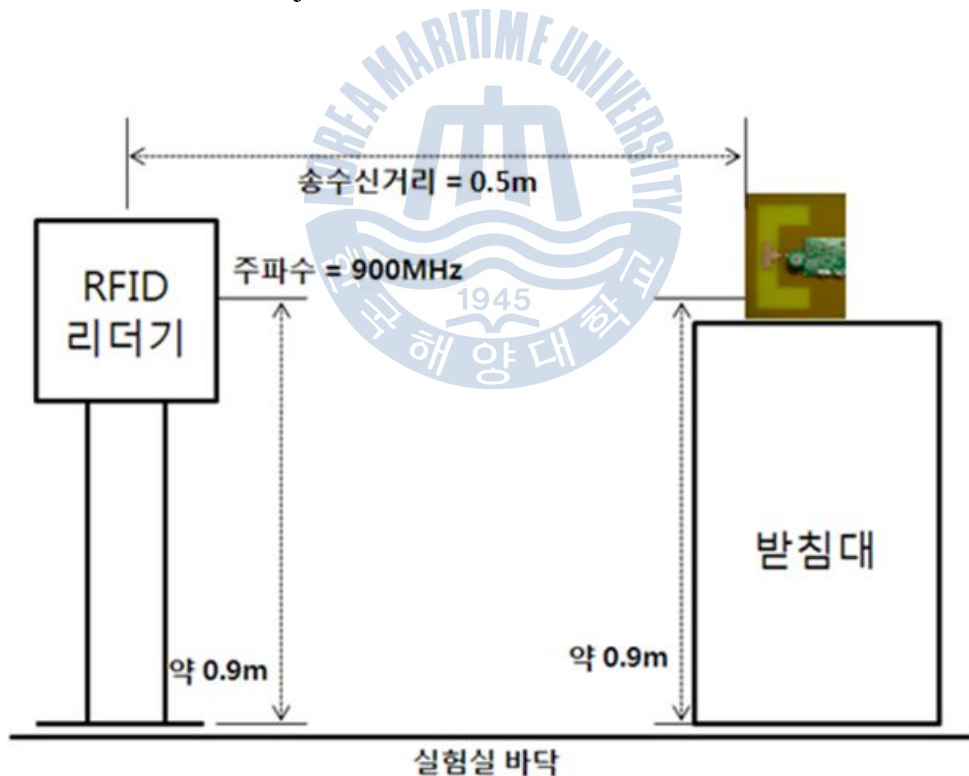
<그림 4-11> 렉테나의 레이아웃

## 가. RFID 리더기를 이용한 렉테나 측정

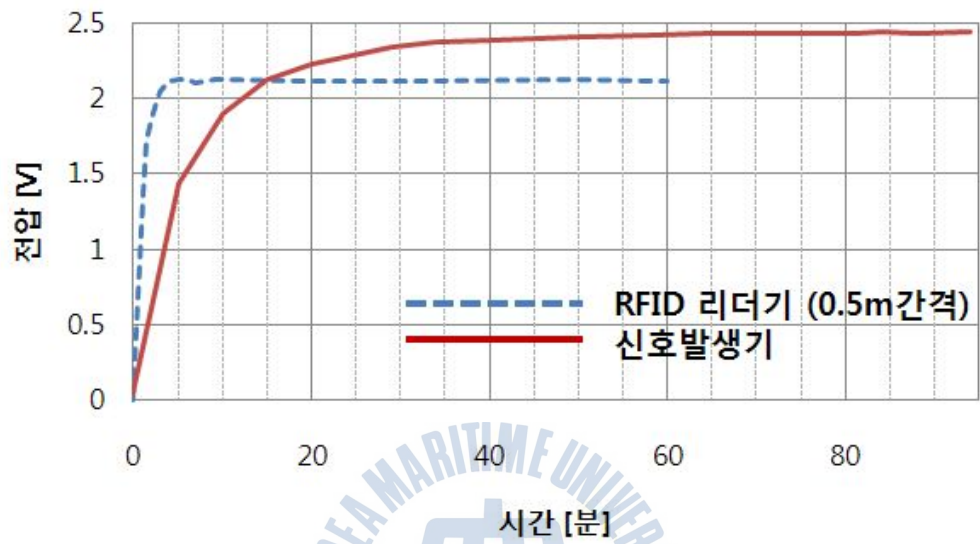
<그림 4-12>는 RFID 리더기를 송신기로 사용하여 실험한 모습을 도식화하여 나타낸 것이다. 사용된 RFID 리더기는 900MHz 단일 주파수로 1W의 전력을 10ms 간격으로 송신하고 있다. 전파 암실이 아닌 일반 실험실 환경에서 900MHz의 RFID 리더기의 송신 전력을 렉테나의 안테나로 수신하였을 때 리더기와 안테나 사이의 거리에 따른 수신 전력의 비례적인 규칙을 찾을 수 없었다. 그 원인은 전파 암실이 아닌 일반 실험실 환경에서 측정했기 때문에 송신기와 안테나 사이 및 주변 환경의 영향을 받아 고르지 않은 전력을 수신했다고 볼 수 있다. 또한 RFID 리더기에서 송신하는 파워가 지속적이지 않고 일정 시간 간격으로 송신하므로 지속적으로 0dBm의 입력 전력을 받아 실험한 앞 절의 정류회로 측정의 실험결과와 차이가 생긴다.

때문에 신호발생기에서 0dBm의 전력을 지속적으로 받는 것과 같은 환경을 위한 거리 측정이 필요하다. 이는 리더기에서 송신하는 전력을 렉테나를 통해 슈퍼커패시터에 저장되는 전압을 신호 발생기를 통해 저장되는 전압과 비교하여 결정하였다. <그림 4-13>는 RFID 리더기와 렉테나의 전력 수신용 슬롯 안테나의 거리가 0.5m일 때 슈퍼커패시터에 저장되는 전압을 나타낸 것이다. 0dBm 출력의 신호발생기로 최대 저장되는 전압은 2.4V 정도이다. 송신기와 수신용 안테나 사이 간격이 0.5m 일 때 수신되는 전력은 최대 2.1V 정도이다.

이러한 결과로 지속적이지 않은 전력 수신 환경에서 슈퍼커패시터의 방전되는 양을 고려하고도 2.1V를 유지할 수 있는 거리가 0.5m임을 알 수 있다. 이와 같은 환경에서 렉테나를 통해 약 5분간 전력을 수신한 후 슈퍼커패시터 양단 전압이 2.1V로 충전되었다. 식(3-4)로부터 슈퍼커패시터가 가지고있는 에너지가 약 220mJ임을 알 수 있다. 50K $\Omega$ 의 저항이 달린 부스트 컨버터를 동작 시켜 180초간 작동함을 확인하였다. 부하저항에서 측정된 3.3V전압과 부하저항의 크기 및 부스트 컨버터 작동 시간과 식(3-4)로 계산한 결과 부하에서 약 39mJ의 에너지가 소비된 것을 알 수 있었다.



<그림 4-12> 렉테나 실험 모습



<그림 4-13> 0.5m 거리에서 커패시터 양단의 충전된 전압

## 제 5장 결론

무선 전력 전송 기술은 IT기술의 발달과 유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크 환경에 따라 점점 그 필요성이 중요해지고 있다. 특히 무선 단말기의 전원을 공급하면서 충전을 위해 유선에 연결하지 않는 완전한 무선을 실현할 수 있는 꼭 필요한 기술이다.

본 논문에서는 무선 전력 전송 방식 중 RF 방식을 이용한 방식의 중요한 요소인 렉테나에 대하여 연구 하였다. 논문에 사용된 수신용 안테나는 인쇄형 슬롯 안테나로 목표 주파수인 900MHz에서 18dB이상의 반사손실을 가진다. 안테나의 동작 대역은 884~922MHz 으로 대역폭 38MHz 이다. 렉테나의 정류회로는 0dBm에서 40.5%의 효율이 측정되었다. 렉테나는 100mm×75mm 크기의 FR4 기판( $\epsilon_r=4.4$ ,  $h=1\text{mm}$ )으로 제작되었다. 수신되는 에너지의 양이 매우 미약 하므로 에너지를 모으기 위해 슈퍼 커패시터를 사용하였다. 또 충·방전을 통해 변화하는 전압을 일정한 DC전압으로 얻기 위해 부스트 컨버터를 사용하였다. RFID 리더기를 전력 송신기로 사용하여 렉테나의 전력 수신 안테나 사이 0.5m 떨어 뜨려 RF에너지를 수신하였다. 그 결과 슈퍼 커패시터에 약 220mJ의 에너지를 저장할 수 있었고, 부스트 컨버터를 통해 50K $\Omega$ 의 부하 저항에 180초 동안 3.3V의 일정한 전압을 공급 할 수 있었다.

이러한 결과를 바탕으로 제안된 렉테나는 일정시간 간격으로 정보를 전달하는 센서와 같은 응용에 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- [1] 전자통신동향분석, 제 23권, 제 6호, pp. 22-31, 2008. 12.
- [2] “화석연료 고갈시대의 전망과 과제-‘탈(脫)석유의존증’의 필요성과 제창,” 월간 전기, 6호, p. 8, 2008.
- [3] “상용화를 앞둔 대체에너지원 기술·경제성 ‘up’ 화석연료는 가라”, 환경비즈니스, 3-588호, p. 19, 2007년.
- [4] 한국전력공사, 통계 속보(2009/12), <http://www.kepco.co.kr/>
- [5] William C. Brown, “The History of Power Transmission by Radio Waves,” *IEEE Trans. Micro. Theory Tech.*, vol. MTT-32, no. 9, pp. 1230-1242, Sept. 1984
- [6] William C. Brown, “Experiments involving a microwave beam to power and position a helicopter,” *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.* vol. AES-5, no. 5, pp. 692-702, Sept. 1969.
- [7] P. E. Glaser, “Power from the sun: Its future”, *Science*, no. 162, pp. 857-886, Nov. 1968.
- [8] Y. Ren and K. Chang, “5.8-GHz circularly polarized dual-diode rectenna and rectenna arrays for microwave power transmission,” *IEEE Trans. Micro. Theory Tech.*, vol. MTT-54, no. 4, pp. 1495-1502, Apr. 2006.
- [9] J. Heikkinen and M. Kivikoski, “A novel dual-frequency circularly polarized rectenna,” *IEEE Antennas Wireless*

- Propag. Lett.*, vol. 2, pp. 330-333, 2003.
- [10] Y. Suh and K. Chang. "A high-efficiency dual-frequency rectenna for 2.45- and 5.8-GHz wireless power transmission," *IEEE Trans. Micro. Theory Tech.*, vol. MTT-50, no. 7, pp. 1784-1789, July. 2002.
- [11] J. McSpadden, L. Fan, and K. Chang, "Design and experiments of a high-conversion-efficiency 5.8-GHz rectenna," *IEEE Trans. Micro. Theory Tech.*, vol. MTT-46, no. 12, pp. 2053-2060, Dec. 1998.
- [12] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljacic, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances," *Science*, vol. 317, no. 6, pp. 83-86, July 2007.
- [13] Margery Conner, "Wireless power transmission: No strings attached," *EDN Asia*, pp. 40-48, Oct. 2007.
- [14] 윤영중, 홍의석, 전계석, 김민준, 임영석, 정백호, 안테나 이론과 설계, 교보문고, 2000. 03.
- [15] 정신교외 6명, "소출력주파수 무선국 이용제도 개선연구," 전파진흥협회, 2004. 12.
- [16] 전파진흥협회, 대한민국 주파수 분배표, 2005. 6
- [17] 이영봉, 박덕규, 고진현외 8명, "개방용주파수의 이용실태 및 기술기준 개선방안에 관한 연구," 전파진흥협회, 1999.12
- [18] 김동룡, "안테나공학", MJ미디어 2005.03.02

- [19] 서홍은, 박동국 “A study in rectenna for low power density at 2.45GHz”, 한국해양대학교 석사 논문, 2009.
- [20] 김능연, 안점영, 오상광, 최성운, 전자회로, 교보문고, 6th edition.
- [21] “저항 코일 커패시터의 모든 것”, 월간 전자기술, pp. 60-73, 2002. 02.

