

캡스톤디자인 산학연계팀 과제 최종보고서

과 제 명	메타재질 기반 광대역 안테나와 정류회로를 활용한 Energy Harvesting				
과제기간	2017년 11월 1일 ~ 2017년 11월 30일	과 제 비	99,176원		
팀 명	WARE	과 제 유 형	☒ 일반 ☐ 현장 실습 연계		
지도 교수	소 속	정보통신공학과		성 명	강승택
참여 학생	구분	성명	학년	학번	소속학과
	팀장	이창형	4차	201621093	정보통신공학과
	팀원	남궁광균	4	201101270	전자공학과
		노경훈	3	201301574	정보통신공학과
참여 기업	기업명	(주) 심플렉스	담당자	성명	박서준
				연락처	010-3908-7083

본 보고서를 공학교육혁신센터 캡스톤디자인 산학연계팀 과제 최종보고서로 제출합니다.

【붙임 : 최종 결과보고서 1부】

2017년 11월 14일

대표학생 : 이 창 형  (인)

인천대학교 공학교육혁신센터장 귀하

캡스톤디자인 산학연계팀 과제 최종 결과보고서

I. 과제 개발의 목적 및 필요성

1. 목적 및 필요성

근래에 들어 무선통신 시스템의 비약적인 발전으로 언제 어디서나 무선통신이 가능하게 되었다. 하지만 전자기기를 동작하게 하는 전원은 유선으로 공급하거나 전지를 충전하여 사용해야만 했다. 이로 인하여 무선기기 사용량의 증가로 인해 무선전력전송에 대한 필요성이 대두 되고 있고, 무선으로 전원 공급을 위한 다양한 무선전력전송 및 에너지 전달 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1-2]. 또한, 최근에 대두 되어 지고 있는 무인항공기 (Unmanned Aerial Vehicle : UAV)에서도 무선전력전송 및 임무수행시간을 연장하기 위한 에너지 하베스팅 기술이 요구 되어 지는 상황이다 [3]. 가장 먼저 1890년대 N. Tesla에 의해 무선 전력전송의 개념이 처음 소개된 이후로, 무선으로 전원을 공급하기 위한 다양한 연구가 진행 되어왔다 [4-5]. 이러한 무선 전력 기술 중에서 자기유도를 이용한 방식으로 많이 사용 된다. 또 하나의 방법으로는 마이크로파 방사를 이용한 렉테나 방식 있다. 본 과제에서는 렉테나를 이용한 무선전력전송 및 저전력 신호의 에너지 하베스팅을 중점으로 다룬다. 마이크로파 방사 방식을 활용한 단일 주파수 대역을 활용하여 렉테나를 설계한 연구 사례들이 존재 한다 [6-7]. 그러나, 위와 같이 단일 주파수 및 협대역 안테나를 사용하게 되면, 공간상에 분포하는 모든 대역[8]의 마이크로파 에너지를 하베스팅을 하지 못한다는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 광대역 안테나를 제안함과 동시에 정류회로가 광대역으로 동작하기 어려움에 따라 주파수 분배기를 설계하여 각 주파수에 해당되는 정류회로를 설계한다. 광대역 안테나를 0.8 GHz-5 GHz의 광대역 동작특성으로 설계 되었으며, 듀플렉서 설계를 위한 채널 필터는 메타재질 기반으로 하여 소형 마이크로스트립 타입이며 중심주파수는 0.9 GHz, 2.4 GHz에서 동작한다. 최종적으로 설계된 광대역 안테나와 결합하여 두 대역에서 동작하는 렉테나 시스템을 전자기 모의시험을 통해 설계 되어진 렉테나를 실측을 통해 증명 한다.

2. 활용성 및 기대효과

제안된 렉테나는 다양한 무선통신 시스템에 접목 시킬 수 있다. 그 중 본 연구는 무인항공기(UAV)의 임무수행 시간 연장에 대해 초점을 맞췄다. 최근 미국, 이스라엘, 일본, 우리나라 등을 비롯해 32개국 이상에서 각종 군용/산업용 무인항공기(UAV)를 개발하고 있다. 1990년대 이후부터 이스라엘 공군과 미 공군의 UAV가 군용으로 널리 사용되어 대테러 전쟁의 주역으로 활약하면서 UAV는 향후 미래전에 필수불가결한 주요 무기체계가 되었다. 이에 대한민국 국방부는 무인기를 정보수집, 감시 및 정찰, 무기 활용, 작전임무, 훈련임무, 지원임무 등의 용도로 확대 활용할 예정이다. 무인기를 군사작전에 투입하여 활용하기 위해서는 무인기의 최대비행시간, 즉 최대작전임무수행시간을 고려하는 것이 필수적이다. 본 연구는 무인항공기의 작전임무수행시간 확장을 위한 방법으로 에너지 하베스팅 (Energy Harvesting) 기술을 이용한 무인항공기의 전력 수급을 제안하고 에너지 하베스팅을 위한 렉테나 설계를 시도한다. 에너지 하베스팅이란, 진동/운동에너지, 열에너지 및 RF에너지와 같은 자연계로부터 버려지는 에너지를 수확하거나 활용하여 에너지를 재생하는 기술이며 RF 신호를 이용한 에너지 하베스팅은 정보와 전력을 동시에 전송 할 수 있다는 이점이 있다. 또한 RF 에너지 하베스팅을 사용하게 되면 광범위하게 흩어져 있는 많은 센서 및 전자 부품을 동시에 충전할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 도심지역에서 흔히 볼 수 있는 소형 쿼드콥터의 전기 배터리를 충전하는 가상의 환경을 구성하

여 에너지 하베스팅을 통해 수집된 저전력이 부착된 정류회로를 거쳐 사용 가능한 전력으로 변환되었는지 확인한다. 따라서 도심지역에서 가장 많이 사용되는 주파수 대역인 800 MHz - 2.4 GHz의 이동통신 주파수 대역을 이용하는 초광대역 안테나를 설계하고, 그에 상응하는 정류회로를 위해 듀플렉서와 정류회로를 만들어 수집된 주파수 자원을 무인항공기에서 사용 가능한 전력으로 변환하는 정류회로를 설계하여 그 효율을 알아본다.

II. 과제내용 및 제작과정

1. 과제내용

A. 광대역 안테나 설계

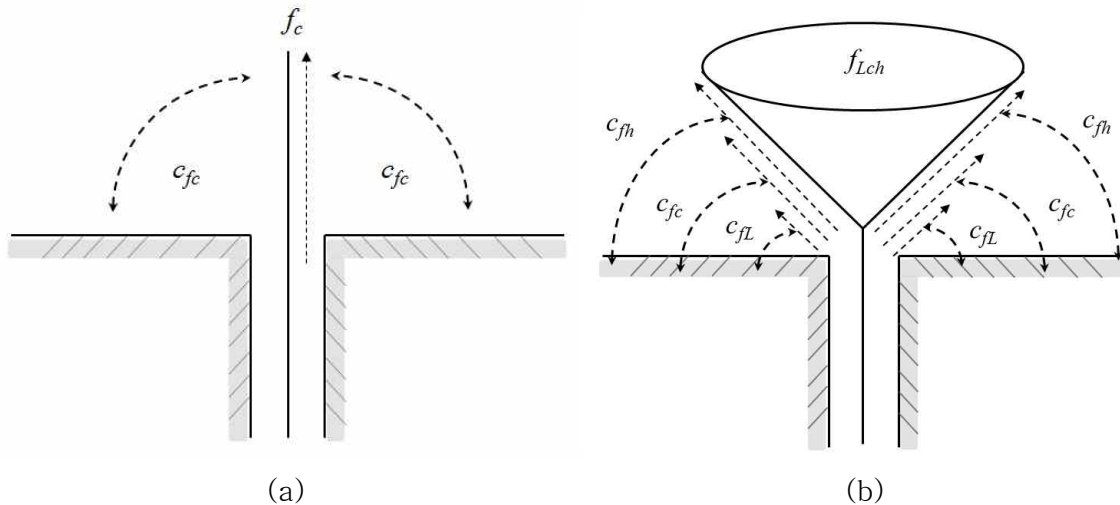


그림 1. 안테나 정합 개념도 (a) 협대역 (b) 광대역

그림 1 (a) 는 일반적인 모노폴 안테나의 개념도 이다. 모노폴 안테나의 경우 $\lambda_g/4$ 의 전기적 길이를 가지며 협대역 으로 동작하게 된다. 그 이유는 그림 1(a)에서 확인 할 수 있듯이 하나의 주파수에서만 공진하는 전류 경로를 만들어 낸다. 이는 하나의 주파수에서만 임피던스 정합에 필요한 커패시턴스 값을 얻어 낼 수 있기 때문에 협대역 특성을 가지게 된다. 그와 반대로 광대역 특성으로 동작하기 위해서는 다중의 전류경로가 요구되며, 각각의 경로에 해당되는 커패시턴스 값과 인덕턴스 값이 요구되어진다. 이러한 특성을 고려하여 제안되는 광대역 안테나의 개념도는 그림 1(b) 와 같다. 그림 1(b)에서 보이는 것과 같이 제안된 광대역 안테나는 다중의 전류경로를 가지게 된다. 이는 각 주파수 대역마다 그라운드면과 다른 커패시턴스 값으로 임피던스가 정합되므로 광대역 특성을 얻어 낼 수 있다. 아래의 그림 2는 본 연구에서 제안된 안테나의 구조 모습이다. 제안된 안테나는 FR-4 기판 두께 1 mm을 사용했다. FR-4 기판은 비유전율이 4.3 이며 Tan D의 값은 0.02 이며, 상대적으로 유전손실이 높은 편이다. 그러나 제작이 용이하며 값이 저렴하다는 이유로 PCB 공정에 많이 사용 된다.

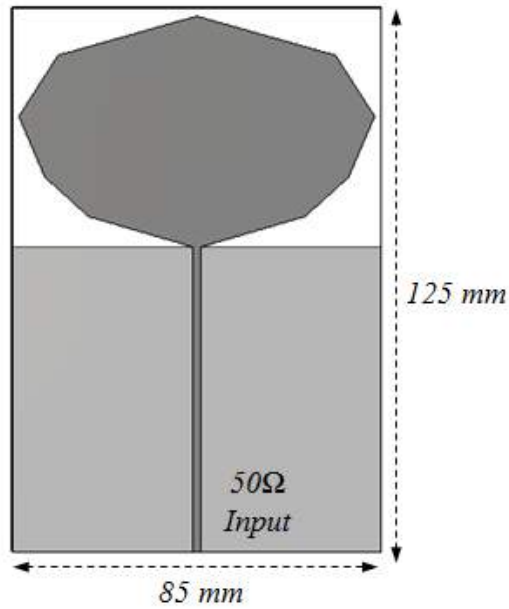


그림 2. 제안된 광대역 안테나

제안된 안테나의 전체 크기는 $125 \times 85 \times 1 \text{ mm}^3$ 으로 설계했다. 위의 개념도 그림 1(b)와 같이 방사체 금속 부분이 Taper 형식으로 만들어 내었으며, 전자기 모의시험 최적화 작업을 통해 원하는 주파수 대역 880 MHz - 2.6 GHz에서 -10 dB 이하의 양호한 반사손실 특성을 얻어 냈다. 그림 2에서 확인 할 수 있듯이 색이 짙은 부분은 정면이며 옅은 부분이 후면이다. 그라운드는 급전라인까지만 형성 되어 있다.

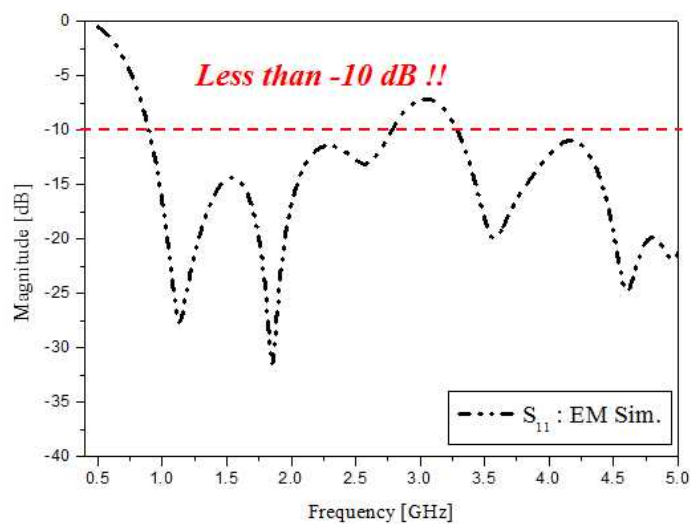


그림 3. 제안된 광대역 안테나 반사손실

위 그림 3은 제안된 광대역 안테나의 반사손실 모의시험 결과이다. 그림에서 확인 할 수 있듯이 원하는 목표주파수 대역에서 양호한 반사손실을 얻어 냈다. 그림 4는 제안된 광대역 안테나의 방사패턴 결과이다. 0.9 GHz에서 약 2.5 dBi 2.4 GHz에서 약 3 dBi의 결과를 얻었으며, 효율의 경우 두 경우 모두 90% 이상을 얻었다.

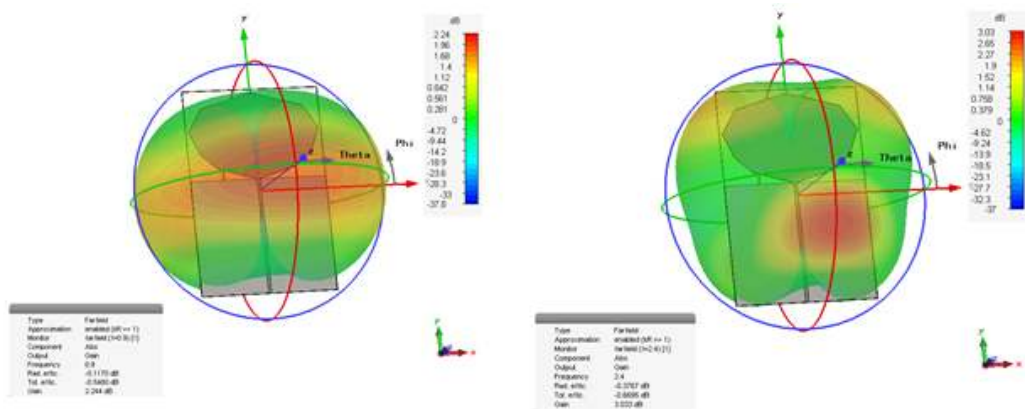


그림 4. 제안된 광대역 안테나의 방사패턴

B. 채널 필터 설계

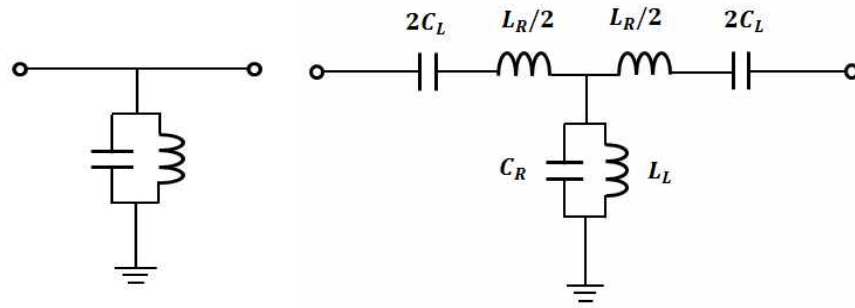
이동 통신에서 RF 시스템은 중요한 역할을 하고 있다. 이동하면서 서비스를 이용하는 유저들은 높은 이동성을 갖는 시스템뿐만 아니라 다중 기능을 겸비한 편리한 시스템을 이용하고자 한다. 그에 따라 다중대역의 서비스를 제공하는 장비들이 개발되고 있고, 지금까지 많은 기술들이 제안 되어오고 있다. 이를 위해 능동소자의 경우 RFIC 기술을 이용하는 노력이 계속되고, 안테나의 설계에서는 급전회로를 더 작게 하는 기술을 적용 시키고 있다. 수동소자로서 Filter의 경우에는, 특정 부하를 두거나 meander line을 이용하여 부품 설계를 개선 시켜 나가고 있다. 본 연구에서는 대역 통과 여파기를 제안하고 집중정수소자를 사용하지 않고 0차 공진을 발생시키는 전송선로 이론을 기반으로 한 대역 통과 여파기를 설계한다. 제안된 여파기는 (UHF 대역과 ISM, Wi-Fi, Blue Tooth 대역) 특성을 보인다.

아래의 표 1은 제안된 채널필터의 요구사항이다. 아래의 요구사항에 따라 두 개의 채널 필터를 등가회로 결과와 전자기 모의시험을 통해 설계하고 제작된 두 가지 필터를 실측하여 이를 증명 한다.

표 1. 제안된 채널필터 요구사항

Spec. Items	Figure		Note
Band	Ch. 1	0.85GHz~1GHz	
	Ch. 2	2.2GHz~2.6GHz	
Insertion Loss	<1.5dB / <1dB		Consideration : ϵ_r of substrate
Return Loss	< -15dB		
Isolation (Skirt)	> 14dB @cutoff +/- $\approx$ 30MHz		

1) CH.1 여파기 설계

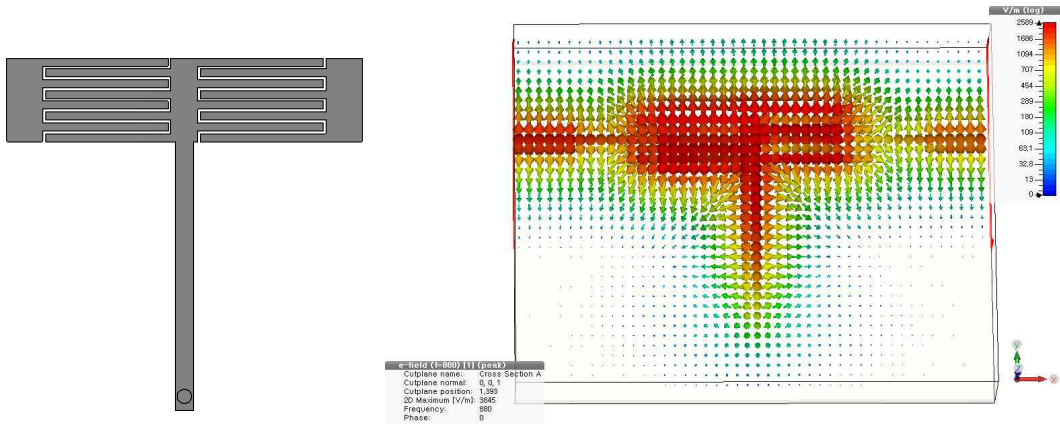


(a) 일반공진기

(b) CRLH 0차 공진기

그림 5. 공진기 회로 모델

일반적인 공진기는 $\beta \times l$ 이 $+n\pi (n=1,2,3\cdots)$ 에서 일어난다. 이러한 현상은 주파수에 지배적인 크기 축소 문제로 CRLH ZOR 특성이 나타나는 공진기를 제안한다. 0차 공진을 갖는 공진기는 $\lambda/4$ 보다 크기를 축소시킬 수 있으며, 인덕터와 캐패시터를 통해 등가 모델링 할 수 있다.



(a) 대칭형 공진기

(b) 전계분포

그림 6. 공진기의 물리적 구조

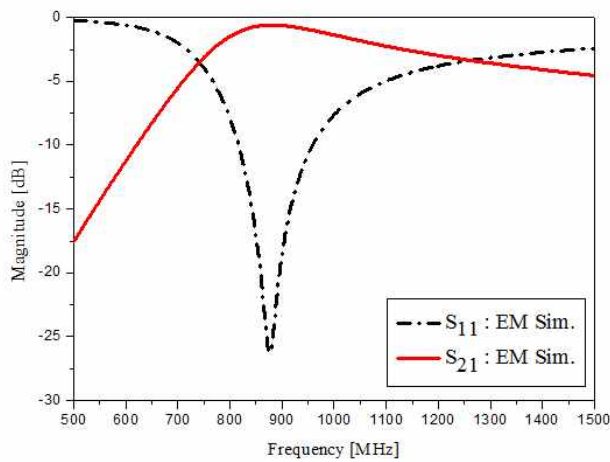


그림 7. 제안된 공진기 주파수 응답특성

그림 6은 제안된 공진기의 물리적 모습이다. 그림 5(b)의 등가 모델의 값은 수식(1-7)을 통해 얻어 낼 수 있다. $L_R=0.3nH, C_L=2pF, C_R=1.3pF, L_L=7.5nH$ 값을 얻어 냈다. 위 값들을 얻기 내기 위하여 그림 6에서 보이는 인터디지털갭을 통해 직렬 커패시턴스 값과 Short Stub을 통해 병렬 인덕턴스 값을 얻어 냈다.

$$\omega_L = \frac{1}{\sqrt{L_L C_L}} \quad (1) \qquad \omega_R = \frac{1}{\sqrt{L_R C_R}} \quad (2)$$

$$\omega_{se} = \frac{1}{\sqrt{L_R C_L}} \quad (3) \qquad \omega_{sh} = \frac{1}{\sqrt{L_L C_R}} \quad (4)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_R \omega_L} \quad (5)$$

$$Z_s = \frac{1 - \omega^2 L_R C_L}{2j\omega C_L} \quad (6) \qquad Y_p = \frac{1 - \omega^2 L_L C_R}{j\omega L_L} \quad (7)$$

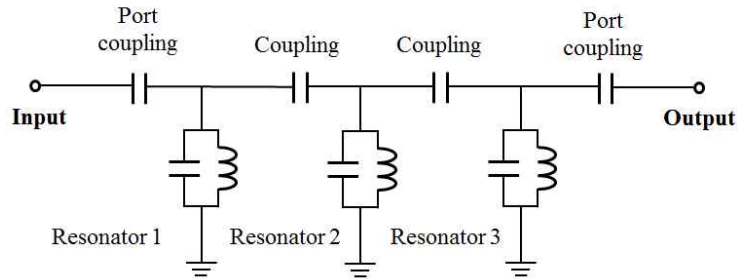


그림 8. 제안된 대역통과여파기의 등가회로

제안된 대역통과여파기의 개념도는 그림 8을 통해 확인 할 수 있다. 그림에서 보이는 것과 같이 제안된 필터는 3차 필터이며 공진기 3개 사이의 커플링과 입출력 포트 사이의 커플링 계수를 조절 하여 튜닝이 가능하다.

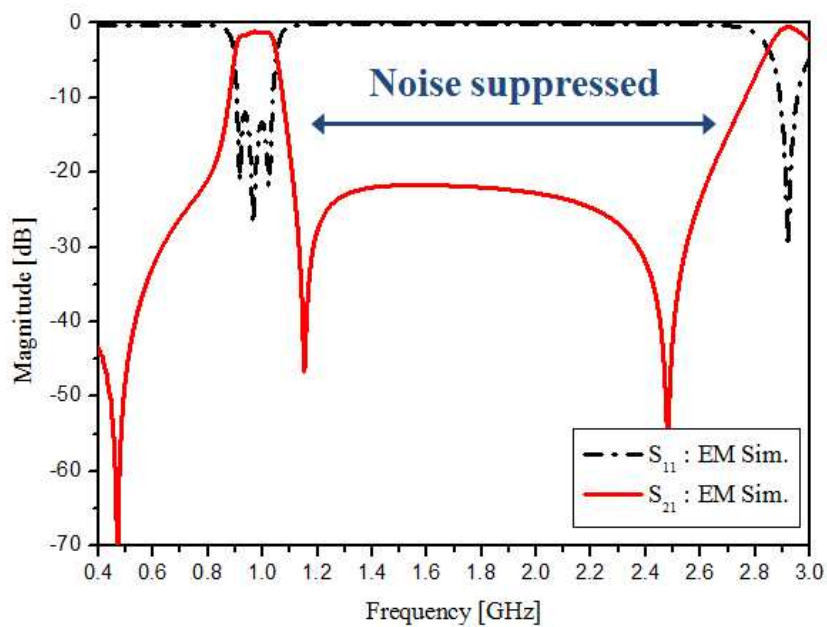


그림 9. 제안된 대역통과여파기 주파수 응답 특성

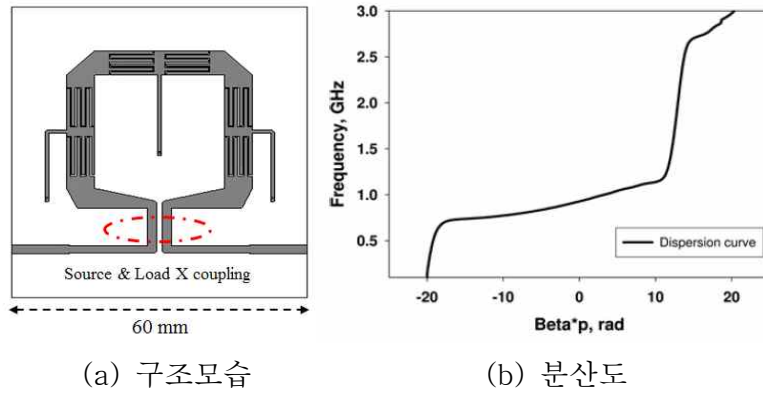


그림 10. 제안된 대역통과여파기

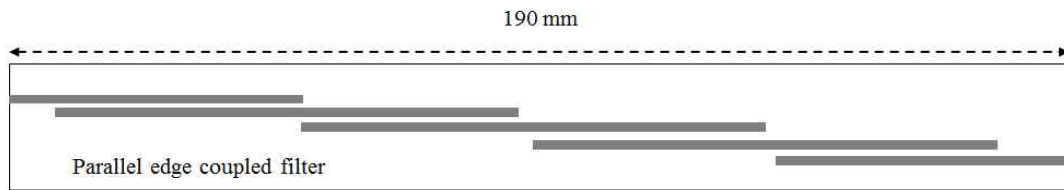
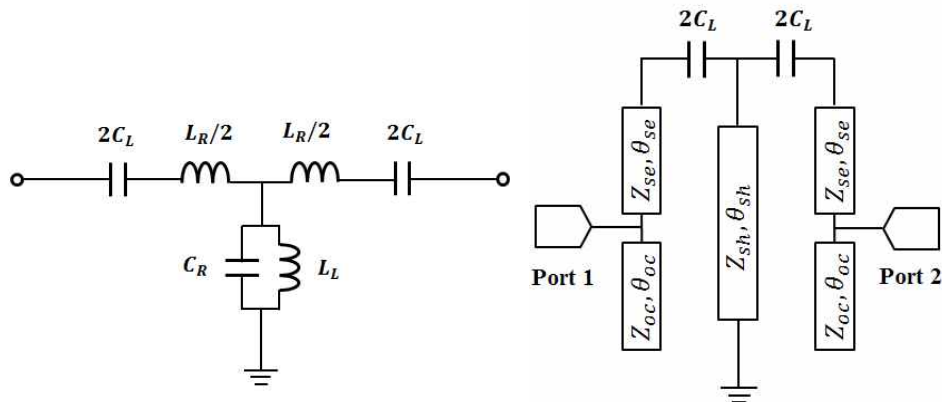


그림 11. 일반적인 3차 필터의 크기

그림 9는 제안된 대역통과여파기의 주파수 응답 특성을 나타낸다. 그림에서와 같이 900 MHz 대역을 중심으로 하여 약 300 MHz 대역폭을 가지며 높은 주파수 대역에 전송영점을 두 개 만들어 내 잡음을 매우 줄인 모습이다. 반사손실을 대역 내에서 15 dB 이하 삽입손실 1 dB 이하로 요구사항에 만족하는 특성을 얻어 냈다. 그림 10은 최종적으로 제안하는 대역통과 여파기의 물리적 구조 모습이다. 최종 구조에서는 Source 와 Load를 Cross coupling 하여 전송영점을 만들어 내어 차단대역 특성을 향상 시켰다. 또한, 분산도를 확인하면 LH 특성과 RH 특성이 나타남을 확인 할 수 있는데, 목표주파수인 900 MHz 대역에서 0차 공진특성 ($\text{Beta} = 0$) 이 되는 현상을 확인 할 수 있다. 마지막으로, 제안된 여파기의 크기축소를 강조하기 위하여 기존의 방식으로 제작된 Parallel edge coupled filter 와 크기를 비교 한 모습이다. 제안된 CRLH 대역통과여파기는 약 3배 이하의 크기 축소 효과를 얻었다.

2) CH.2 여파기 설계



(a) T-type LC 등가회로 (b) TL model with open stubs

그림 12. 제안된 CH.2 여파기 등가 모델

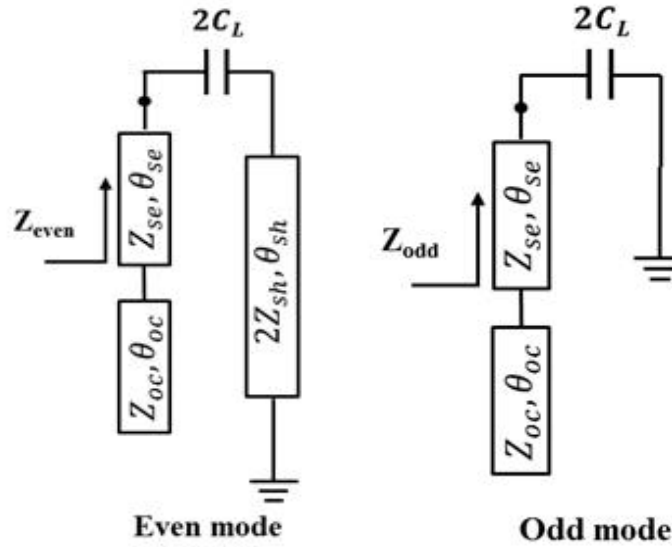
채널 2의 대역통과 여파기의 동작 주파수는 2.2 GHz-2.6 GHz 에서 동작하도록 설계 되었다. 그림 12는 제안된 대역통과 여파기의 등가회로 모습이다. 사용된 L, C 값은 아래의 수식(8-11)을 통해 계산 되었다. 계산된 결과는 $(f_{cL}=2.2GHz, f_{cR}=2.9GHz), Z_R=Z_L=Z_0=50\Omega$ 으로 설정하여 아래의 결과 값을 얻어 냈다. $C_R=7.82pF, L_R=19.89nH, C_L=0.209pF, L_L=0.523pF$ 이다. 수식을 통해 얻어낸 등가회로와 Even, Odd mode 분석결과와 전자기 모의시험을 통해 제안하는 대역통과 여파기의 특성을 분석 해봤다.

$$C_R = \frac{2}{Z_R(\omega_{cR} - \omega_{cL})} \quad (8)$$

$$L_R = Z_R^2 C_R \quad (9)$$

$$C_L = \frac{C_R}{\left(\frac{(\omega_{cR} + \omega_{cL}) Z_R C_R}{2} \right)^2 - 1} \quad (10)$$

$$L_L = Z_L^2 C_L \quad (11)$$



$$S_{21} = \frac{Z_0(Z_{even} - Z_{odd})}{(Z_{even} - Z_0)(Z_{odd} - Z_0)} \quad (12)$$

$$Z_{even, odd} = (Z_{in_{even, odd}}^{BPF} \times Z_{in_{even, odd}}^{OC}) / (Z_{in_{even, odd}}^{BPF} + Z_{in_{even, odd}}^{OC})$$

$$Z_{in_{even}}^{BPF} = Z_{se} \frac{((1/j2\omega C_L) + j2Z_{sh}\tan\theta_{sh}) + jZ_{se}\tan\theta_{se}}{Z_{se} + j((1/j2\omega C_L) + j2Z_{sh}\tan\theta_{sh})\tan\theta_{se}} \quad (13)$$

$$Z_{in_{odd}}^{BPF} = Z_{se} \frac{(1/j2\omega C_L) + jZ_{se}\tan\theta_{se}}{Z_{se} + j(1/j2\omega C_L)\tan\theta_{se}}$$

$$Z_{in_{even}}^{OC} = Z_{in_{odd}}^{OC} = -jZ_{oc}\cot\theta_{oc}$$

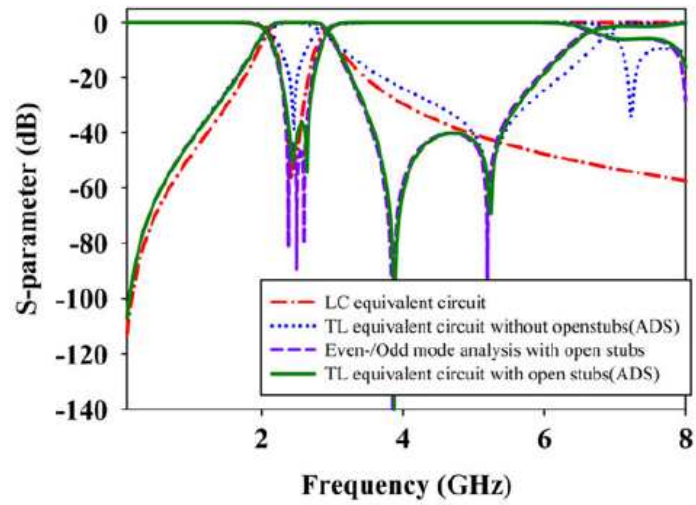


그림 13. 제안된 대역통과 여파기 등가회로 및 Even/Odd mode analysis 결과

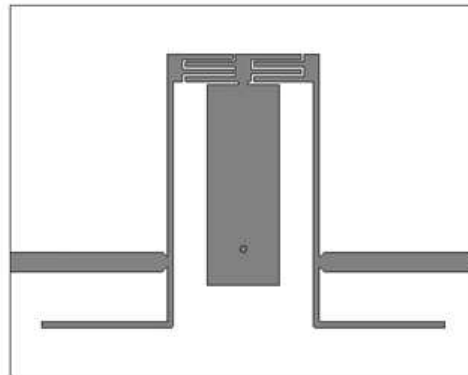


그림 14. 제안된 대역통과여파기 물리적 구조

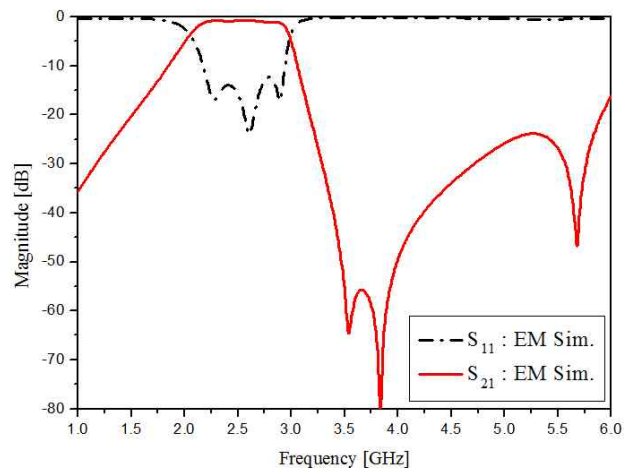


그림 15. 제안된 대역통과여파기 주파수 응답 특성

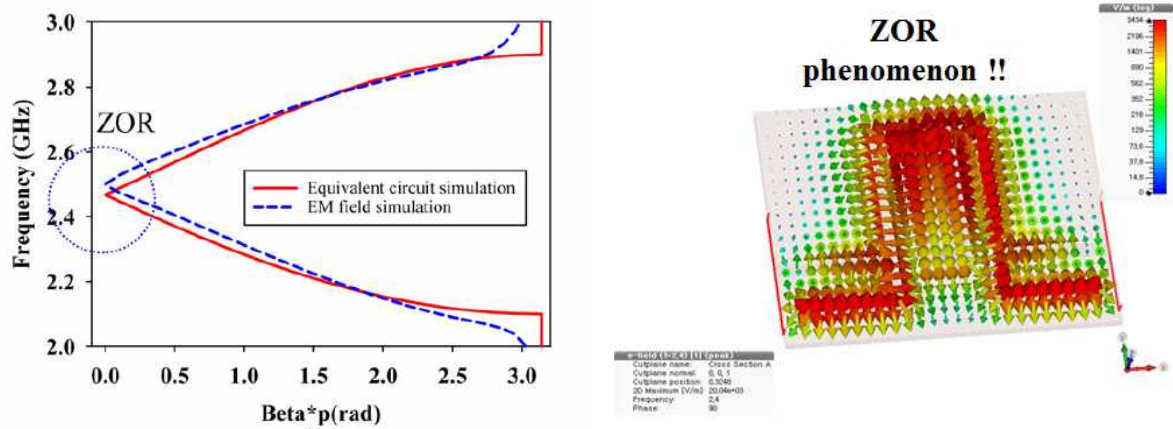


그림 16. 제안된 대역통과여파기 분산도 및 전계 분포

C. 듀플렉서 설계

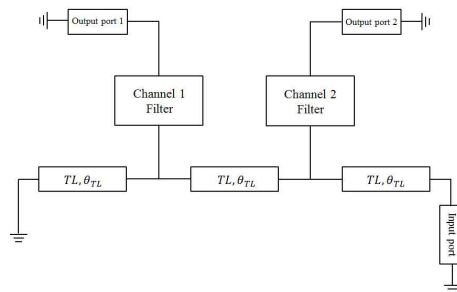


그림 17. 듀플렉서 개념도

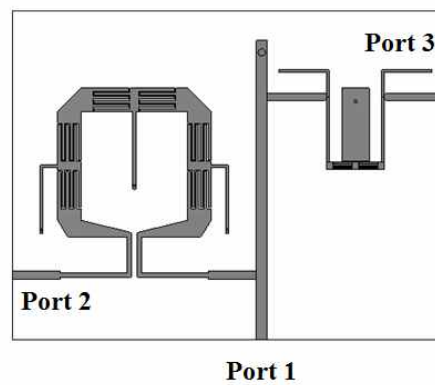


그림 18. 제안된 듀플렉서 물리적 모습

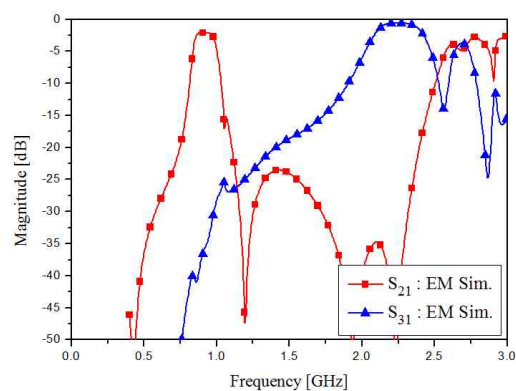


그림 19. 제안된 듀플렉서 주파수 응답

제안된 듀플렉서의 개념도는 그림 17과 같다. 그림 17에서 보이는 것과 같이 하나의 입력포트와 두 개의 출력 포트가 있다. 입력포트는 단락형태로 종단되어 있고 각각 위상을 조정할 수 있는 부분이 있다. 미리 설계된 채널 필터 두 개를 연결하여 그림 18의 최종적인 듀플렉서의 구조를 얻어 냈다. 그림 19는 최종적으로 제안된 구조를 최적화 작업을 통해 그림 19의 주파수 응답을 얻어 냈다. 그림과 같이 S_{21} , S_{31} 의 값을 얻었다. 앞서 세웠던 목표와 같이 900 MHz 대역과 2.4 GHz 대역에서 통과대역을 형성 했다. 그림 20은 제안된 듀플렉서의 각 주파수별 전계 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 확인 할 수 있듯이 각각의 주파수 별로 전계 분포가 다르게 형성됨을 확인 할 수 있다.

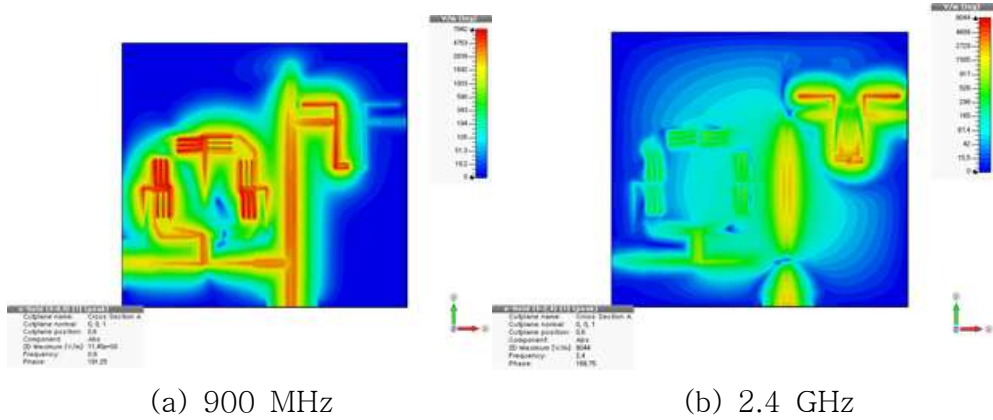


그림 20. 제안된 듀플렉서의 전계분포

D. 듀플렉서와 안테나 결합 설계

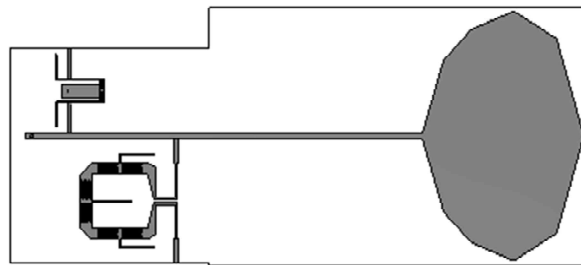


그림 21. 안테나와 결합된 듀플렉서 모습

그림 21은 최종적으로 제안하는 안테나와 결합된 듀플렉서의 모습이다. 광대역 안테나와 결합되어 듀플렉서를 통해 원하는 대역별로 출력을 얻어 낼 수 있다.

E. 정류회로 설계

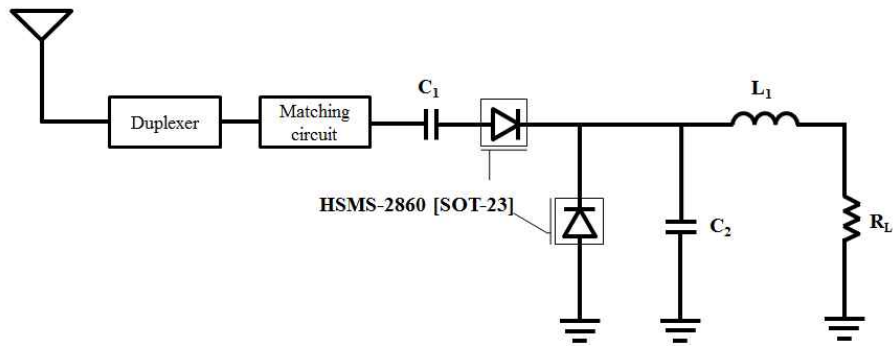


그림 22. 제안된 정류기 회로도

그림 22는 제안된 정류기의 회로도 모습이다. 사용된 방식은 정류기의 효율을 높이기 위한 배전압 정류 회로이며, 이는 두 개의 다이오드 (HSMS-2820) 직렬L와 두 개의 병렬 C 그리고 Load 저항으로 구성 되어 있다. 이는 앞서 설계된 듀플렉서 출력 부분에 연결되어 광대역 안테나를 통해 얻어진 전자기파 에너지를 정류하여 DC Voltage를 얻어 낼 수 있다. 최종적으로는 900 MHz 과 2.4 GHz 대역에서 동작하는 각각의 정류기를 설계하여 설계된 듀플렉서와 결합한다.

III. 측정결과

A. 안테나 측정결과

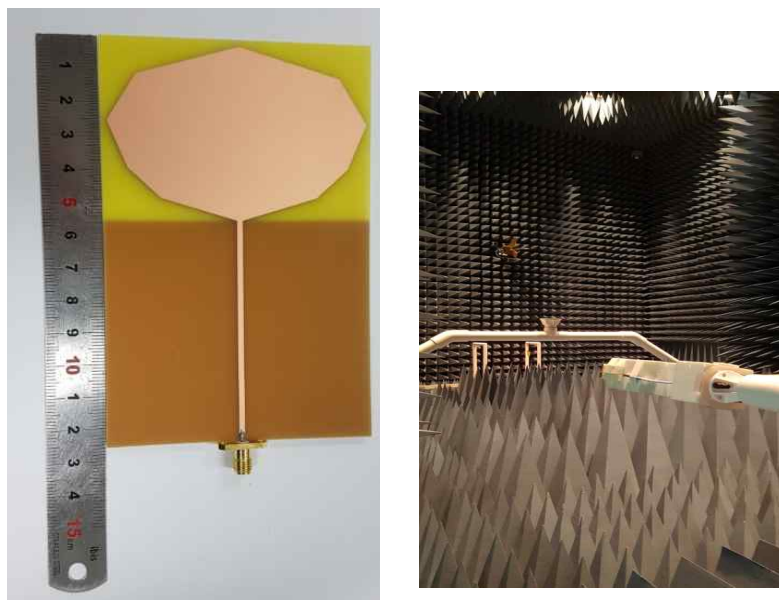


그림 23. 제작된 광대역 안테나 모습과 방사패턴 측정 모습

그림 23은 제작된 광대역 안테나의 모습이다. 제작된 안테나는 모의시험과 같이 FR-4 기판을 사용 했으며, 제작된 안테나의 방사패턴을 측정하기 위하여 RFID/USN Center 에 방문하여 방사패턴을 측정 했다.

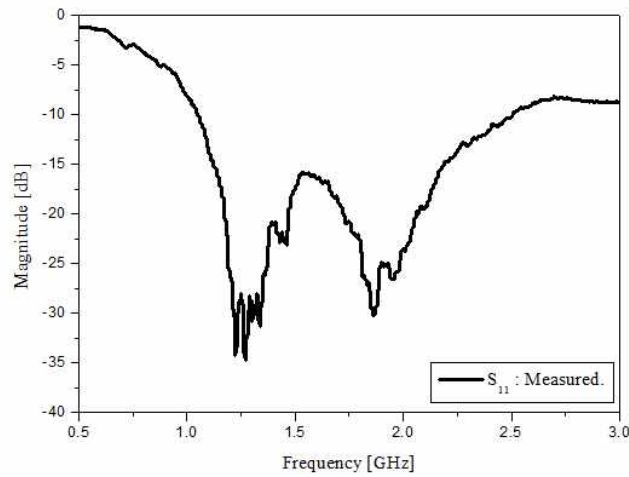


그림 24. 광대역 안테나 반사손실 실측 결과

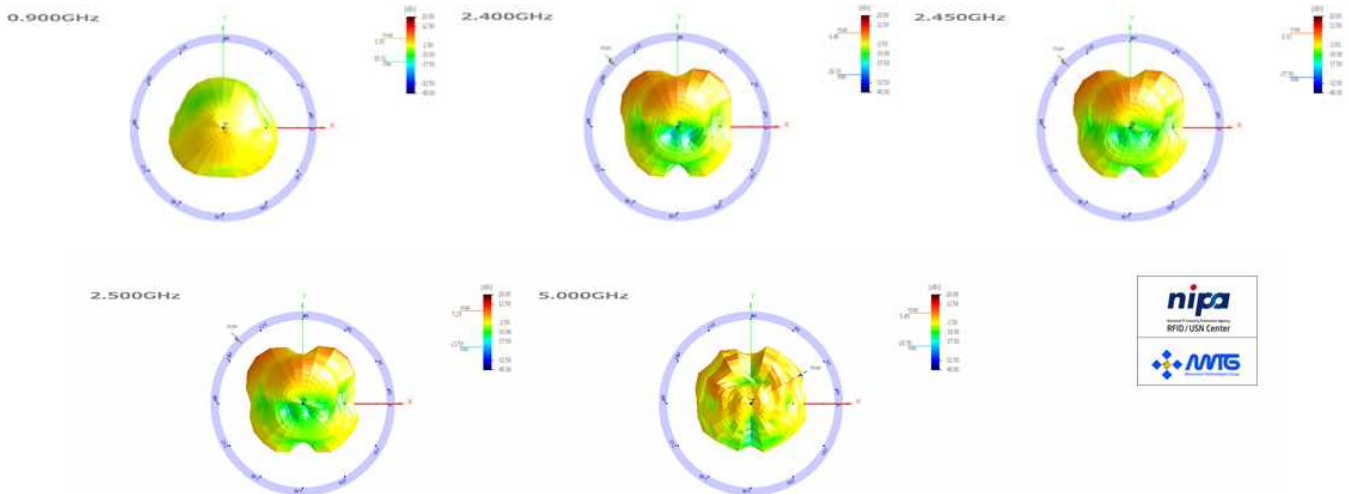


그림 25. 광대역 안테나 방사패턴 실측 결과 (3차원 방사패턴)

표 2. 광대역 안테나 측정결과

No.	Freq.[GHz]	Eff.[%]	Avg.[dBi]	Peak[dBi]	Θ [deg]	ϕ [deg]
1	0.900	71.67	-1.45	3.35	-165	15
2	2.400	95.88	-0.19	6.46	85	135
3	2.450	97.35	-0.13	6.93	90	135
4	2.500	99.51	-0.03	7.29	90	135
5	5.000	72.42	-1.40	5.49	40	30

그림 24는 연구실의 Anritsu사의 Vector Network Analyzer (VNA)를 통해 측정한 결과이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 원하는 주파수 대역에서 양호한 반사손실 특성을 나타냈다. 그림 25는 무반사실에서 측정한 광대역 안테나의 방사패턴 결과이며, 좀 더 상세한 결과 값은 표 2를 통해 확인할 수 있다. 900 MHz 대역에서 약 70%의 효율과 안테나 이득을 3.35 dBi를 얻었으며, 2.45 GHz에서는 효율이 약 97%와 안테나 이득 6 dBi 정도를 얻었다. 이를 통해 설계된 안테나가 광대역으로 동작함과 동시에 에너지 하베스팅을 위한 주파수 응답 특성 및 안테나로서의 역할을 충분히 할 수 있음을 나타낸다.

B. 채널필터 측정

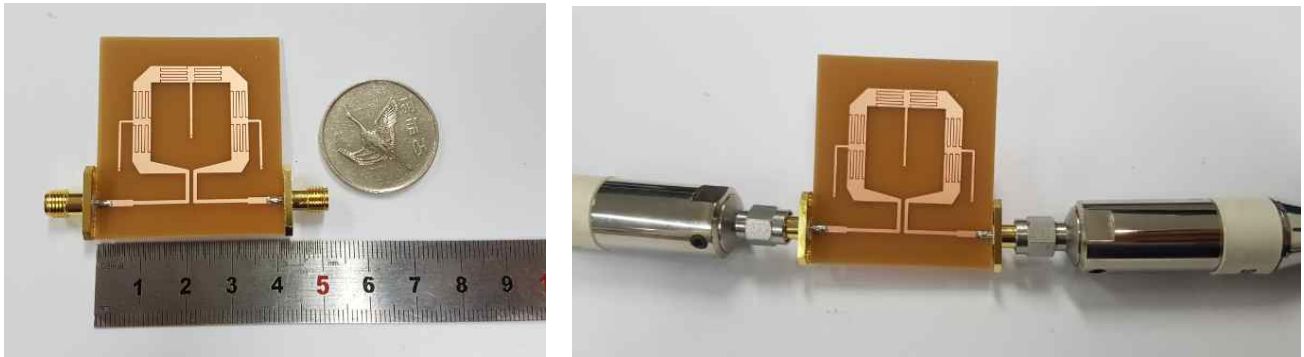


그림 26. 제작된 900 MHz 대역 채널 필터 모습

그림 26은 제작된 900 MHz 대역에서 동작하는 Metamaterial 필터의 모습이다. 그림과 같이 크기는 500원 동전 정도 보다 조금 크다. 오른쪽의 그림은 실제 VNA를 통해 측정하는 모습을 나타냈다.

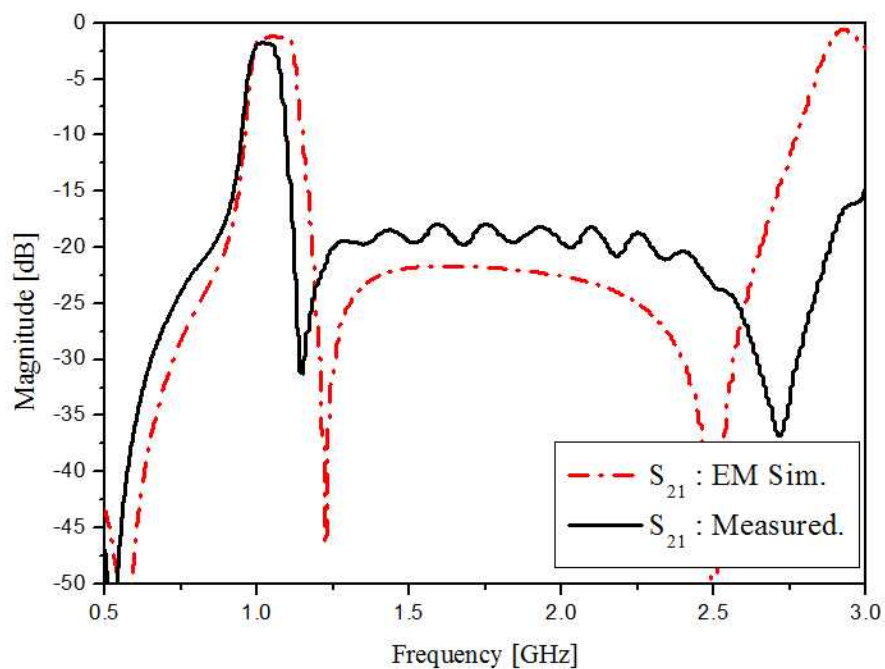


그림 27. 제안된 900 MHz 대역 채널 필터 측정 결과

그림 27은 제안된 채널 필터의 측정 결과이다. 그림에서 확인 할 수 있듯이 전자기 모의시험 결과와 측정 결과가 매우 흡사하게 나타난다. 그러나 대역폭 측면에서 대역폭이 조금 줄어들었으며, 삽입손실 부분에서도 약간의 손실이 더 발생 했다. 이는 납땜 문제 및 커넥터 부분의 손실 등 실제 환경의 영향으로 인해 생긴 문제라고 생각된다. 그렇지만, 삽입손실을 약 -2 dB 이하 이므로 계획 했던 에너지 하베스팅에 사용될 수 있다고 사료된다.

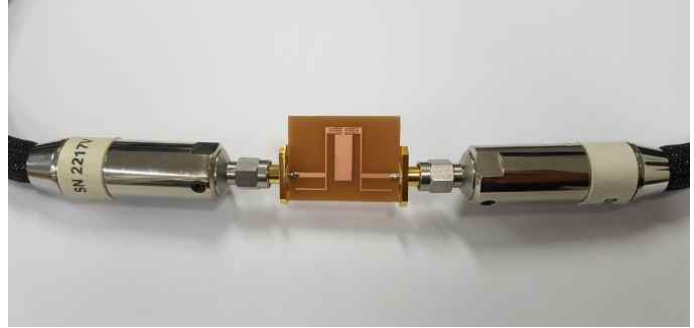
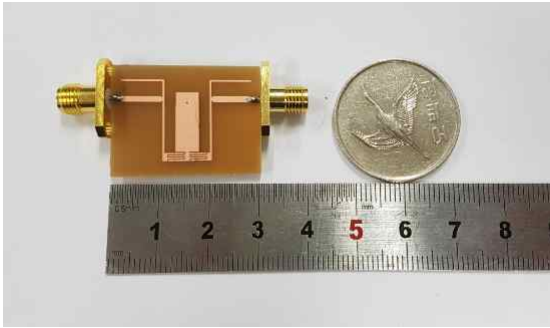


그림 28. 제작된 2.4 GHz 대역 채널 필터 모습

그림 28은 제작된 2.4 GHz 대역에서 동작하는 Metamaterial 필터의 모습이다. 그림과 같이 크기는 500원 동전 정도 보다 조금 작다. 오른쪽의 그림은 실제 VNA를 통해 측정하는 모습을 나타냈다.

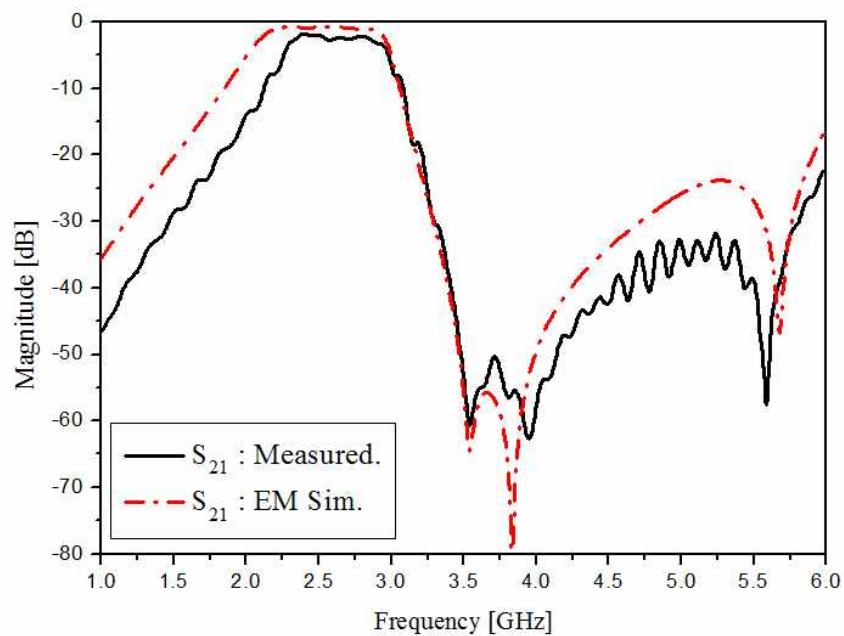


그림 29. 제안된 2.4 GHz 대역 채널 필터 측정 결과

그림 29은 제안된 채널 필터의 측정 결과이다. 그림에서 확인 할 수 있듯이 전자기 모의시험 결과와 측정 결과가 매우 흡사하게 나타난다. 그러나 대역폭 측면에서 대역폭이 조금 줄어들었으며, 삽입손실 부분에서도 약간의 손실이 더 발생 했다. 이는 납땜 문제 및 커넥터 부분의 손실 등 실제 환경의 영향으로 인해 생긴 문제라고 생각된다. 그렇지만, 삽입손실을 약 -1.5 dB 이하 이므로 계획 했던 에너지 하베스팅에 사용될 수 있다고 사료된다.

C. 듀플렉서 측정

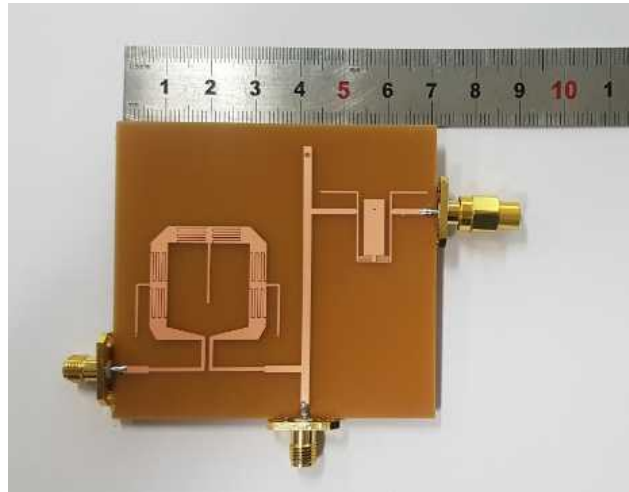


그림 30. 제작된 듀플렉서 모습

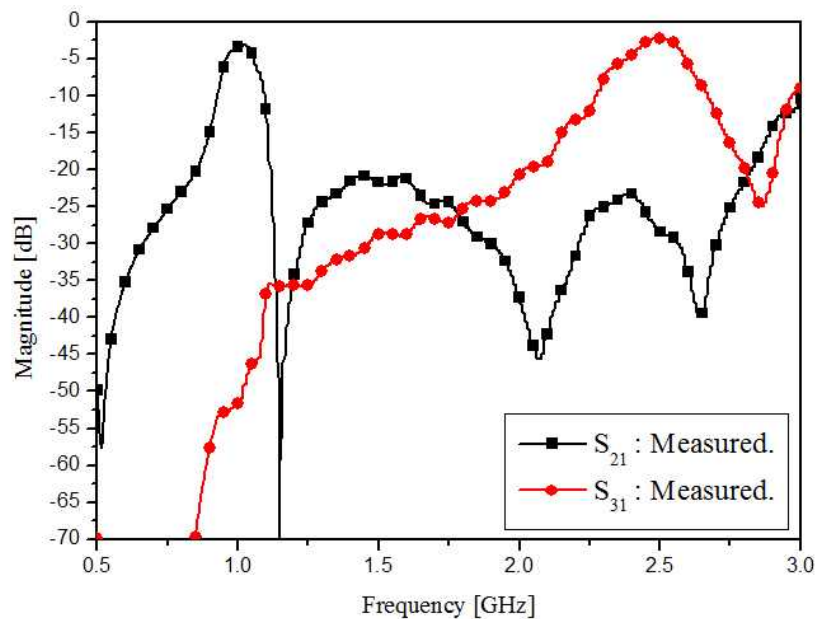


그림 31. 제안된 듀플렉서 측정 결과

그림 30는 제작된 듀플렉서의 모습이다. 앞서 제작된 제품과 마찬가지로 FR-4 기판에 제작 되었으며, 입력 포트 1개와 출력 포트 2개를 가지는 구조이다. 그림 31은 제작된 듀플렉서의 실측 결과이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 Channel 1에서는 모의시험과 유사한 결과를 얻어 냈지만, Channel 2에서는 조금 더 최적화 작업이 필요한 결과를 나타냈다. 하지만, 삽입손실을 각 중심대역에서 -2.5 dB 이하의 결과를 얻어 어느 정도 만족 할 수 있는 결과를 얻어 냈다.

D. 정류기 반사손실 측정

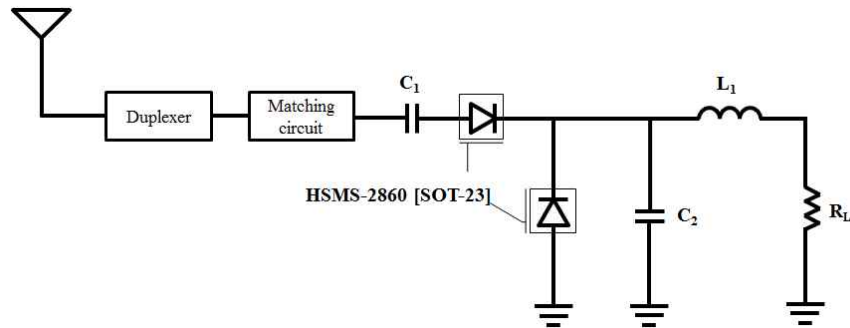


그림 35. 2.4 GHz에서 동작하는 정류기

그림 35은 제안하는 정류기의 등가회로 모습이다. 사용된 에너지 하베스팅용 다이오드는 HSMS-2820을 사용했으며, 인덕터와 커패시터 값은 그림과 같이 사용했다.



그림 36. 실제 구현된 2.4 GHz에서 동작하는 정류회로

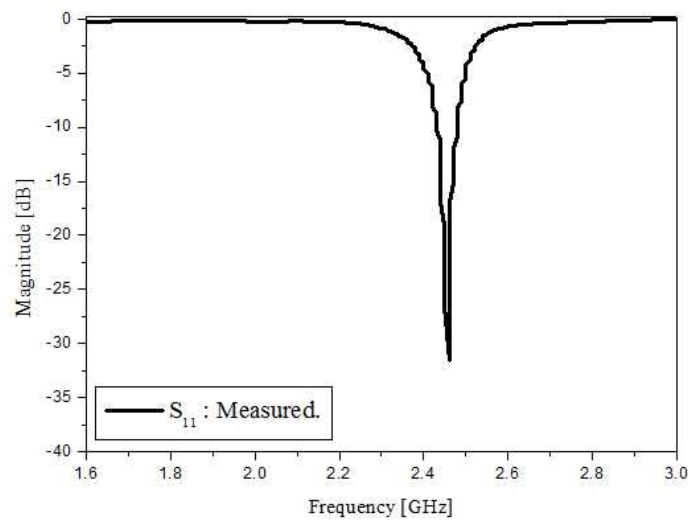


그림 37. 제안된 정류기의 반사손실 (@2.4 GHz)

그림 36는 1608 사이즈의 Lumped 소자를 납땜하여 입출력 포트를 통해 측정하는 모습이다. 좌측이 Port 1 이고 좌측이 Port 2 이다. 그림 31과 같이 Port 1을 통해 신호가 전달되므로 Port 1의 반사손실 즉 S_{11} 을 측정 하였다. 측정 결과는 그림 37에 있으며 그림에서 확인 할 수 있듯이 약 2.45 GHz에서 매우 좋은 반사손실 결과를 얻어 냈다. 900 MHz 경우에도 마찬가지로 특성을 얻어 내었다.

E. 렉테나 성능 측정

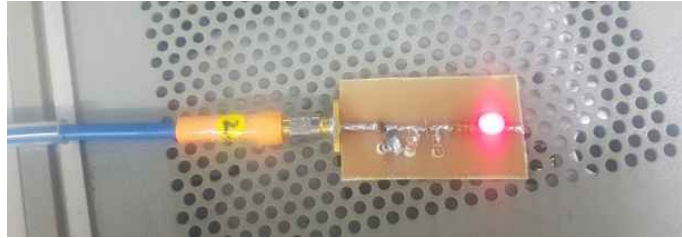
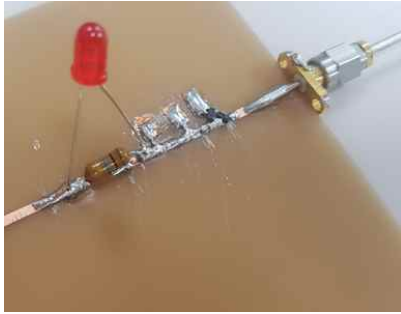


그림 38. 정류기 테스트 모습

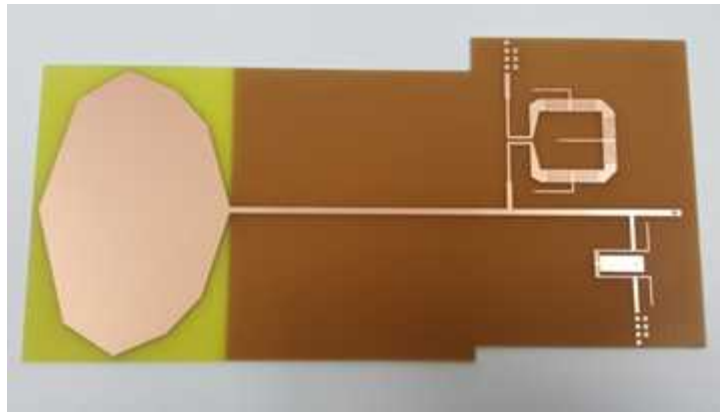


그림 39. 최종적으로 제안된 렉테나 구조 모습

그림 38은 정류회로 테스트 모습이며, 그림 39는 최종적으로 제안하는 렉테나의 모습이다.

표 3. 렉테나 측정 결과

Input Pwr.	Output Vol. (0.9 GHz)	Input Pwr.	Output Vol. (2.45GHz)
0	1.79	0	1.59
1	2.06	1	1.73
2	2.11	2	1.85
3	2.17	3	2.02
4	2.34	4	2.19
5	2.54	5	2.39
6	2.73	6	2.58
7	2.94	7	2.79
8	3.17	8	3.02
9	3.39	9	3.24
10	3.59	10	3.44
11	3.75	11	3.60
12	3.9	12	3.75
13	4.02	13	3.87
14	4.17	14	4.02
15	4.34	15	4.19

표 3을 통해 최종적으로 제안하는 렉테나의 성능을 확인 할 수 있다. 먼저 보이는 것과 같이 0 dBm - 15 dBm 의 파워를 입력하였을 때 출력의 Voltage 값을 측정한 결과이다. 출력 Voltage 값은 900 MHz 에서 1.8 V에서 4.35 V와 2.4 GHz 에서는 1.59V에서 약 4.2V를 얻었다. 회로의 효율을 따지고 보면 약 60% 이상의 효율을 가지므로 만약 에너지 하베스팅으로 충분히 사용 될 수 있다고 사료된다. 그 이유는, 일반적으로 이동통신용 증계기에 방출 되는 전자기파 에너지는 30 dBm - 40 dBm 이상의 에너지를 가지기 때문에 공기 중의 전자기파 에너지를 모을 수 있다고 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 에너지 하베스팅을 위한 렉테나 설계를 목표로 하였다. 렉테나를 좀 더 효율적이고 사용 주파수 대역을 넓히기 위하여 기존의 단일 주파수만을 사용하는 렉테나와는 달리 광대역에서 동작하는 안테나를 제안하였다. 그러나 이 또한 안테나만 광대역으로 동작한다고 하여 광대역 렉테나 기능을 바로 얻어 내기는 어렵다. 그 이유는 정류기 회로가 동작하는 주파수 대역은 협대역 특성을 가지기 때문이다. 이를 해결하기 위하여 메타재질기반의 채널 필터를 설계한 뒤 듀플렉서를 설계 했다. 설계된 안테나는 880 MHz-3 GHz에서 동작하도록 설계하였고 대역폭 내에서 -10 dB 이하의 반사손실을 얻어 냈다. 안테나 방사패턴 측정결과 3 dBi - 6 dBi의 안테나 이득을 얻어냈으며, 효율 또한 동작대역에서 70% 이상을 얻었다. 제안된 필터는 900 MHz 와 2.4 GHz를 중심주파수로 동작하고 두 개의 채널 필터의 삽입손실은 -2 dB 이하의 값을 얻었으며, 듀플렉서의 결합설계를 하여 삽입손실 -2.5 dB 이하의 결과를 얻었으며, 두 대역의 간섭은 최소화 하였다. 설계된 정류회로는 900 MHz 대역과 2.4 GHz 대역에서 -10 dB 이하의 양호한 반사손실을 얻었으며, 이를 통해 최종적인 렉테나 구조로 결합 했으며, 최종적으로 제안된 렉테나는 약 60% 이상의 효율을 가짐을 실험적으로 확인 했다.

부록

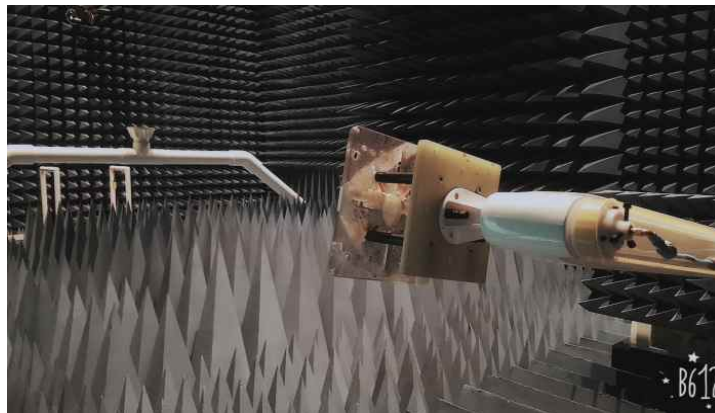


그림 1. 안테나 측정 모습



(a)



(b)

그림 2. 제작된 필터 및 듀플렉서 측정 모습 (a) 뒷 모습 (b) 앞 모습

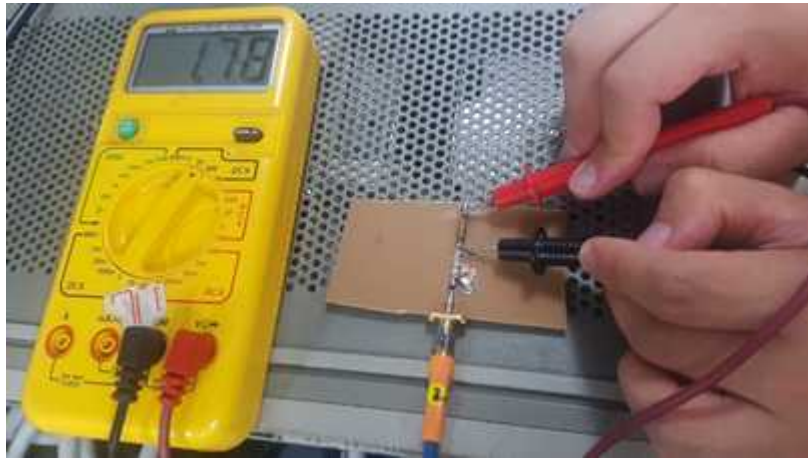


그림 3. 정류회로 측정 모습

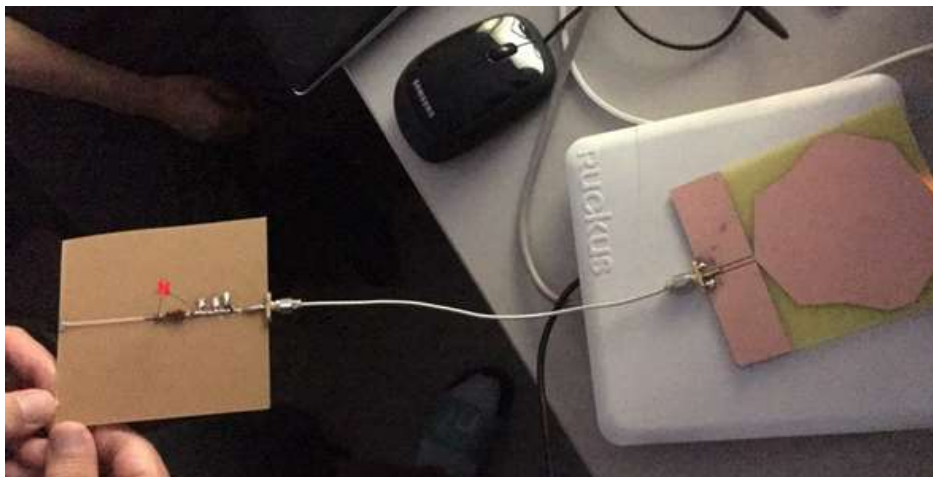


그림 4. AP를 사용한 렉테나 실험

IDEA BOOM UP-LOAD

메타물질 기반 광대역 안테나와 정류회로를 활용한 Energy Harvesting

이창형 [안원대학교]

1 0 0

공개여부 : 공개
카테고리 : 전자
등록일 : 2017-11-28
팀원 (공동개발자) : 남궁광준, 노경준
출처 : 2017-2학기 아이디어 '특별' 랑스톤디자인 산학연계팀 경진대회

좋아요 연락하기

f t e p

수행 목적

군에 들어 무선통신 시스템의 비약적인 발전으로 언제 어디서나 무선통신이 가능하게 되었다. 하지만 전자기기를 동작하게 하는 전원은 무선으로 공급하거나 전지를 충전하여 사용해야만 한다. 이로 인하여 무선기기 사용상의 용이로 인해 무선전력전송에 대한 필요성이 대두 되고 있고, 무선으로 전을 공급을 위한 다양한 무선전력전송 및 에너지 전할 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한, 최근에 대두 되어지고 있는 무인항공기 (Unmanned Aerial Vehicle : UAV)에서도 무선전력전송 및 임무수행시간을 연장하기 위한 에너지 하베스팅 기술이 요구 되어 지는 상황이다.

Contact Log

연락 이력이 없습니다.

REFERENCES

- [1] T. Sekitani, et. al., "A large-area wireless power transmission sheet using printed organic transistors and plastic MEMS switches," Nat. Mater., Vol.6. pp.413-417, Jun., 2007.
- [2] W. Stewart, "The Power to Set You Free," Science, Vol.317, pp.55-56, Jul., 2007.
- [3] 노경훈, 이창형, 강승택 “Energy Harvesting을 이용한 무인항공기(UAV)의 작전 임무 시간 확장”, 한국항행학회 학술대회 논문집, 2017
- [4] A. Karalis. J. D. Joannopoulos, and M. Soljacic, "Efficient Wireless Non-radiative Mid-range Energy Transfer," Ann. Phys., Vol.323, pp.34-48, Apr., 2007.
- [5] MIT, Technology Review, Mar./Apr., 2008
- [6] 박동국, 서홍은, 조익현, 김예지. (2009). 2.45 GHz대 저전력용 렉테나에 관한 연구. 한국전자과학회논문지, 20(9), 862-867.
- [7] 임세미, 박희정, 정원재, 김상규, 이지훈, 박준석. (2011). 915MHz 무선전력획득용 렉테나 설계 및 구현. 대한전자공학회 학술대회, , 310-313.
- [8] Sangkil Kim et al, "Ambient RF Energy-Harvesting Technologies for Self-Sustainable Standalone Wireless Sensor Platforms", Proceedings of the IEEE, Volume: 102, Issue: 11, Nov. 2014
- [9]G. Jang, S. Kahng, "Compact metamaterial zeroth-order resonator bandpass filter for a UHF band and its stopband improvement by transmission zeros," IET Microwaves, Antennas & Propagation, vol.5, no.10, pp.1175-1181, July 14 2011
- [10]Geonho Jang and Sungtek Kahng, "Design of a Metamaterial Bandpass Filter Using the ZOR of a Modified Circular Mushroom Structure", Microwave Journal, Vol. 54, No. 5, pp. 158, May. 2011

[11]G. Jang and S. Kahng, "Design of a dual-band metamaterial bandpass filter using zeroth order resonance," Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 12, 149-162, 2010.

[12]Geonho Jang, Sungtek Kahng, "Compact Composite Right-AND Left-Handed Bandpass Filter With Interlocked Gap coupling," Microwave And Optical Technology Letters, vol.55, no.2, February 2013

[13]Boram Lee, Sungtek Kahng "Compact UWB Bandpass Filter as Cascaded Center-Tapped CRLH Transmission-Line ZORs for Improved Stopband," Journal of Electrical Engineering & Technology, vol.8, no.2, pp. 371-375, August 2013