

## Design of a Rectenna Using Dual Band/Dual Polarization Microstrip Patch Antenna

서기원\* · 김정한\* · 노형환\*\* · 성영락\*\*\* · 오하령\*\*\* · 박준석†  
 (Ki-Won Seo · Jung-Han Kim · Hyoung-Hwan Roh · Yeong-Rak Seong ·  
 Ha-Ryoung Oh · Jun-Seok Park)

**Abstract** - This letter presents that a rectenna can utilize more stable wireless power by using a new design dual band/dual polarization microstrip patch antenna and 2 stage voltage multiplier at 2.4 GHz band and 3.1 GHz band. The proposed antenna is a new microstrip patch antenna design to make impedance matching possible by using slotted capacitive coupling between the patch and 50 Ω feed line on a ground plane. Its advantage is that the size of the rectenna can be reduced by using 50 Ω feed line on the ground plane, which can be used efficiently. The dual band/dual polarization microstrip patch antenna shows circular polarization at 2.4 GHz band and linear polarization at 3.1 GHz band. Under -10 dB return loss, The dual band/dual polarization microstrip patch antenna obtains 340 MHz bandwidth as 2.23 ~ 2.57 GHz and 375 MHz bandwidth as 2.95~3.325 GHz. Also, 2 Stage Voltage multiplier is possible to operate at 2.4 GHz band and 3.1 GHz band. The designed rectenna can usually obtain wireless power at both 3.1 GHz band, and 2.4 GHz band applications such as Wi-Fi, Bluetooth, Wireless LAN, etc. So more stable wireless power can be utilized at the same time.

**Key Words** : Dual Band/Dual Polarization, Microstrip Patch Antenna, Voltage Multiplier, Rectenna

### 1. 서론

무선전력전송(Wireless Power Transmission)기술은 우주 공간에서 설치된 태양전지판에 의해 생성된 직류전압을 지구로 송전하기 위한 RF전력으로 변환하여 전송하고 지구에서는 다시 RF 전력을 DC 전력으로 변환하는 것으로 1968년 Peter Glaser 박사가 최초 제안한 이후, 차세대 청정에너지 개발의 일환으로 꾸준한 연구가 진행되어 왔다[1]. 또한 유비쿼터스 센서 네트워크가 큰 시장으로 성장함에 따라 소형 이동체나 전원공급이 어려운 환경에서 동작하는 시스템의 전원을 공급하는 무선전력전송기술은 그 응용의 폭이 넓어지고 있다[2].

본 논문에서는 무선전력전송의 전력변환에서 중요한 렉테나를 설계하였다. 렉테나는 안테나와 렉티파이어의 합성어로 무선전력전송에서 안테나로 AC 전력 받아 렉티파이어를 통해 DC로 변환시켜주는 역할을 한다.

본 논문에서 제안한 렉테나는 2.4 GHz 대역과 3.1 GHz 대역에서 동작하는 새로운 구조의 이중대역/이중편파 패치안테나와 2단 전압채배기를 이용하여 구현하였다. 그림 1

은 이중대역/이중편파 패치안테나를 이용한 무선전력전송의 개념을 보여주고 있다. 렉테나는 주로 3.1 GHz에서 무선전력획득이 가능하고 동시에 Wi-Fi, Bluetooth, wireless LAN 등 2.4 GHz 대역의 많은 어플리케이션에서의 불요전력을 수신 받아 보다 안정적으로 전력획득이 가능하다.

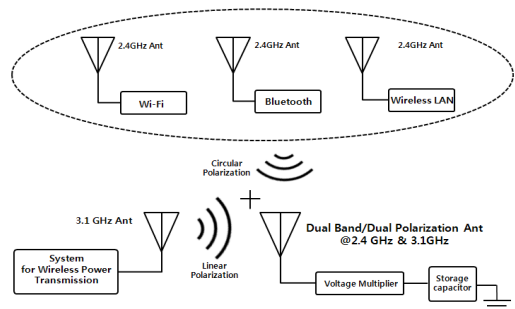


그림 1 이중대역/이중편파 패치 안테나를 이용한 렉테나의 무선전력전송 개념도

Fig. 1 The concept of a rectenna using dual band/dual polarization patch antenna for wireless power transmission

2장에서는 이중대역/이중편파 패치안테나와 2단 전압채배기의 설계에 관하여 기술하고, 또한 렉테나를 실제 제작하고 특성을 측정하였다. 마지막으로 3장에 결론을 기술하였다.

\* 준 회원 : 국민대학교 전자공학부 석사과정  
 \*\* 비 회원 : 국민대학교 전자공학부 박사과정  
 \*\*\* 비 회원 : 국민대학교 전자공학부 교수  
 † 교신저자, 정회원 : 국민대학교 전자공학부 부교수  
 E-mail : jspark@kookmin.ac.kr  
 접수일자 : 2010년 1월 21일  
 최종완료 : 2010년 8월 20일

## 2. 렉테나 설계

### 2.1 이중대역/이중편파 패치 안테나 설계

이중대역/이중편파 패치 안테나는 CPW(Coplanar Waveguide) 구조로서 50 Ω 피드라인이 접지 면에 위치한다. 패치와 피드라인 사이의 T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용하여 2.4 GHz 대역과 3.1 GHz 대역의 이중대역에서 동작하는 새로운 구조의 패치안테나를 설계하였다.

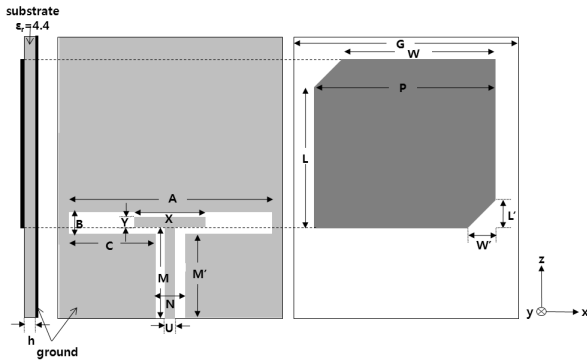


그림 2 T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 이중대역/이중편파 패치 안테나 구조

Fig. 2 The proposed dual band/dual polarization patch antenna using T-slotted capacitive coupling

표 1 이중대역/이중편파 패치 안테나의 설계변수 값

Table 1 The geometric parameters of dual band/dual polarization patch antenna

설계변수	값(mm)	설계변수	값(mm)	설계변수	값(mm)
W	23.5	A	33	Y	1.5
L	23.5	B	4	U	1.865
W'	3.5	C	14	M	15.4
L'	3.5	X	8	M'	14.5

그림 2는 T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 이중대역/이중편파 패치 안테나이다. 또한 표 1은 T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 이중대역/이중편파 패치 안테나의 설계 변수 값을 나타내었다.

본 안테나는 2.4 GHz 대역에서 원형편파특성을, 3.1 GHz 대역에서는 선형편파특성을 보이고 있다. 렉테나의 주 동작 주파수인 3.1 GHz 대역에서는 선형편파특성으로 무선전력전송이 이루어지며, 2.4 GHz대역의 원형편파 특성은 많은 어플리케이션으로부터 불요전력과의 편파 부정합을 최소화한다.

2.4 GHz에서 원형편파를 발생시키기 위해 본 논문에서는 perturbation segment를 이용하여 사각형 패치의 마주보는 두 귀퉁이를 잘라서 원형편파를 생성하였다[3]. 안테나의 유전체는 비유전율 4.4인 FR-4 Epoxy를 이용하였으며 유전체의 두께는 1 mm이다. 안테나의 전체 크기는 36×47 mm<sup>2</sup>이다.

설계한 안테나는 두 가지의 큰 특징을 가지고 있다. 첫째, 기존의 마이크로 스트립안테나는 인셋구조를 이용하여 50 Ω

매칭을 하지만 본 안테나는 피드라인을 접지 면에 설계함으로써 패치와 피드사이 에 일정한 간격으로 생긴 슬롯 커패시티브 커플링을 이용하여 50 Ω 매칭을 한다. 그 결과 CPW 구조의 안테나로 렉테나를 설계할 경우 접지 면에 전압체배기를 설계하여 렉테나의 전체적인 크기를 줄일 수 있어 면적 활용 면에서 매우 효율적이다. 둘째, T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 이중대역/이중편파 패치 안테나는 2.4 GHz 대역과 3.1 GHz 대역에서 무선전력전송이 가능한 렉테나의 설계를 가능하게 하였다.

### 2.2 전압체배기 설계

이중대역 안테나를 이용하여 렉테나를 설계하기 위하여 전압체배기 또한 2.4 GHz 대역과 3.1 GHz 대역에서 동시에 동작해야 한다[4]. 그림 3은 2단 전압체배기의 회로도이다. 다이오드는 Avago사의 HSMS 8202 Microwave Schottky 다이오드를 사용하였다. ADS 시뮬레이션을 이용하여 전압체배기의 단수를 1단과 2단으로 설계하여 비교 하였으며, 부하저항에 따른 체배되는 전압 값을 비교하였다.

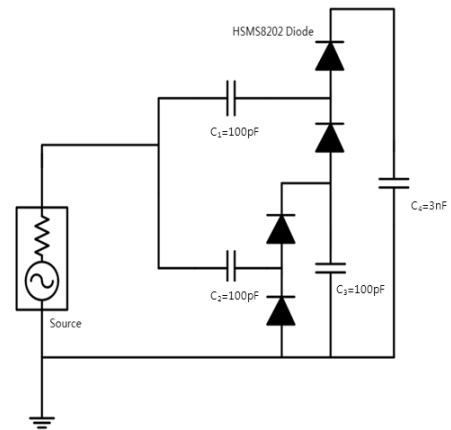


그림 3 2단 전압체배기의 구조

Fig. 3 The structure of two stage voltage multiplier

또한 전압체배기의 저장 커패시터 C4 값의 변화에 따른 전압을 비교하였으며 임피던스 정합을 위해 다이오드의 선형적인 등가 회로를 이용하여 안테나와 2단 전압체배기 간의 정합을 시도하여 보았다.

그림 4는 단일대역 안테나를 이용하였을 때와 이중대역 안테나를 이용하였을 때 체배되는 전압값을 시뮬레이션을 통하여 확인해보았다.

2.4 GHz와 3.1 GHz의 단일대역에서는 전압체배기의 입력 전력을 각각 3 dBm으로 2.4 GHz와 3.1 GHz의 이중대역에서는 각각 0 dBm으로 전압체배기의 입력전력을 동일하게 설정하였다. 동일한 거리에서 2단 전압체배기에 체배되는 전압레벨을 보여주고 있다. 2.4 GHz 대역과 3.1 GHz 대역의 단일대역 안테나를 이용한 전압체배기에 체배되는 전압은 약 5 V까지인 반면 2.4 GHz 대역과 3.1 GHz 대역의 이중대역 안테나에서 체배되는 전압은 약 6.6 V인 것을 확인할 수 있다.

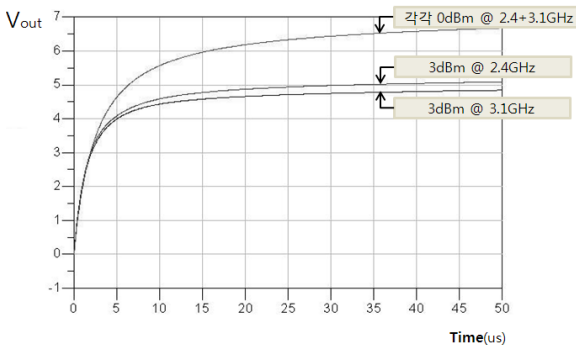


그림 4 단일대역과 이중대역 안테나에 따라 체배되는 시뮬레이션 전압그래프

Fig. 4 The simulation voltage graph obtained by single band and dual band antenna.

그림 4의 시뮬레이션 결과를 보면 렉테나에서 2.4 GHz 대역과 3.1 GHz대역의 이중대역 안테나를 사용하여 동시에 전력을 수신할 경우 2.4 GHz 대역이나 3.1 GHz 대역의 단일대역 안테나로 전력을 획득할 경우보다 동일한 거리에서 더 큰 전압으로 체배되는 것을 확인 할 수 있다.

### 2.3 렉테나의 제작 및 특성 측정

본 렉테나는 FR-4 Epoxy 기판을 사용하여 에칭 방법으로 제작하였다. 안테나의 RF 접지 면과 DC 접지 면을 BEAD를 통하여 분리하여 서로의 간섭을 최소화 하였다. 렉테나의 성능을 검증하기 위하여 렉테나의 부하저항에 LED를 사용하여 실험하였다[5].

안테나의 실제 제작에 앞서 3차원 전자파 해석과 S-파라미터를 구하기 위해서 HFSS(High Frequency Structure Simulator)V.11을 사용하였다. 또한 ADS시뮬레이션을 이용하여 전압체배기의 구조와 특성을 확인하였다.

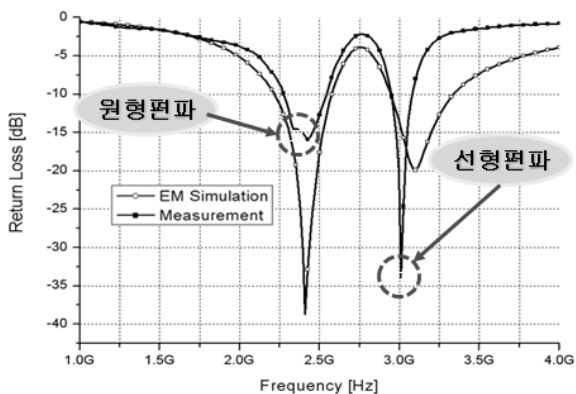


그림 5 이중대역/ 이중편파 패치 안테나의 S<sub>11</sub> 측정값 및 시뮬레이션값

Fig. 5 Measurement and simulation results of dual band/dual polarization patch antenna return loss

그림 5는 안테나의 반사손실(S<sub>11</sub>)에 대하여 EM 시뮬레이션 값과 실제 제작한 측정값을 보여주고 있다. 2.4 GHz에서는 -15 dB, 3.1 GHz에서는 -20 dB이하의 반사손실 값을 보이고 있다. 또한 제작된 이중대역/이중편파 패치안테나는 2.23 GHz~2.57 GHz로서 340 MHz 대역폭과 2.95 GHz~3.325 GHz의 375 MHz의 대역폭을 얻었다. 2.4 GHz 대역에서는 원형편파특성을 3.1 GHz 대역에서는 선형편파 특성을 확인 할 수 있다.

그림 6은 2.4 GHz 대역과 3.1 GHz 대역에서 이중대역/이중편파 패치 안테나의 방사패턴을 보여주고 있다.

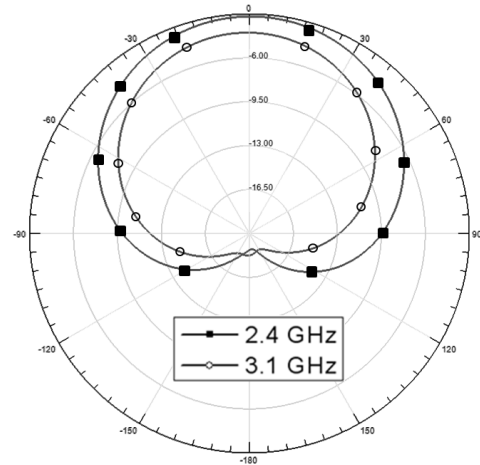


그림 6 이중대역/이중편파 패치 안테나의 방사패턴

Fig. 6 Radiation pattern of dual band/dual polarization patch antenna

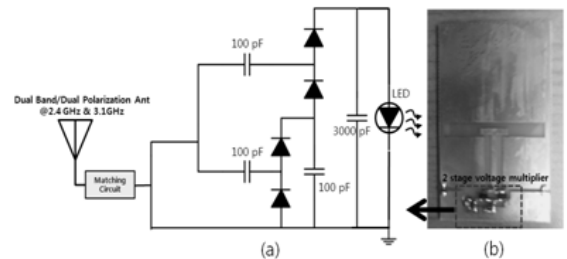


그림 7 (a) 2단 전압체배기의 구조 (b) 이중대역/이중편파 패치안테나를 사용한 렉테나

Fig. 7 (a) The structure of two stage voltage multiplier (b) The photo of the rectenna using dual band/dual polarization patch antenna(37 x 57 mm<sup>2</sup>)

그림 7은 이중대역/이중편파 패치 안테나와 2단 전압체배기의 구조를 보여주고 있다. 안테나와 체배기의 임피던스 정합을 위하여 정합회로가 필요하며, 렉테나의 부하저항에 LED로 성능을 확인하였다. 즉, 이중대역/이중편파 패치안테나로부터 2.4 GHz 대역과 3.1 GHz 대역의 RF 전력을 동시에 수신하고 정합회로를 거쳐 2단 전압체배기를 이용하여 DC 전력으로 변환된다. 이를 이용하여 부하저항의 LED가 동작하게 된다.

그림 8은 실제 제작된 이중대역/이중편파 패치 안테나와 2단 전압체배기를 이용한 렉테나이다. 렉테나의 크기는 36×57 mm<sup>2</sup>이다. 안테나의 접지면을 이용하여 전압체배기를 설계함으로써 렉테나의 총 면적을 줄일 수 있다.

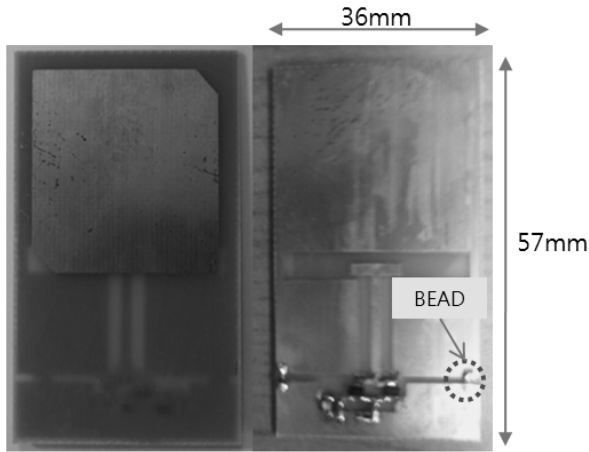


그림 8 제작된 렉테나  
Fig. 8 Photograph of the fabricated rectenna

그림 9는 거리와 부하저항에 따라 체배되는 전압과 전류를 측정하는 환경을 보여주고 있다. 거리는 6 cm 까지 1 cm 간격으로 측정하였으며 부하저항은 10 kΩ, 100 kΩ으로 하였다. LED의 동작 전압은 1.7 V로 거리 5 cm 까지 동작하는 것을 확인 할 수 있었다.

본 렉테나는 2단 전압체배기를 이용하여 입력전압보다 더 높은 전압을 얻을 수 있다. 결과적으로 전압체배기의 단수를 늘리면 체배되는 전압은 커지게 되고, 흐르는 전류는 감소하게 된다. 즉, 전압체배기의 뒷단의 어플리케이션에 따라 전압체배기의 단수를 조절하고, 흐르는 전류를 조절함으로써 다양한 어플리케이션을 동작시킬 수 있다.

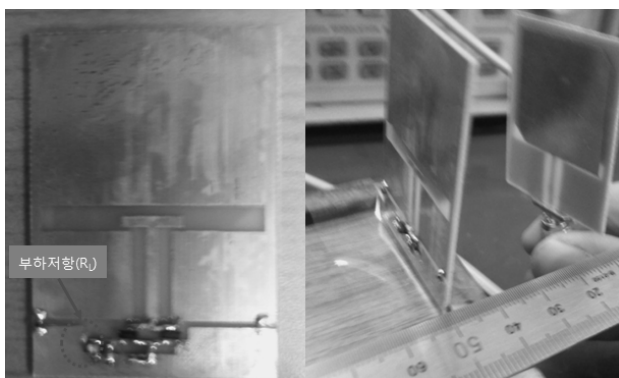


그림 9 거리와 부하저항에 따라 체배되는 전압과 전류의 측정환경  
Fig. 9 The measurement environment of the obtained voltage and current by the distance and load resistor

표 2 거리와 부하저항에 따라 체배되는 전압과 전류  
Table 2 The obtained voltage and current by distance and load resistor

	부하저항(100k)		부하저항(10k)	
	전압(V)	전류(μA)	전압(V)	전류(μA)
0cm	9.4	94	7.17	717
1cm	5.5	55	4	400
2cm	3.3	33	2.08	208
3cm	2.2	22	1.48	148
4cm	1.92	19.2	1.15	115
5cm	1.8	18	1.02	102
6cm	1.69	16.9	0.911	91.1

표 3 렉테나의 체배되는 전압과 획득전력  
Table 3 The obtained voltage and power of a rectenna

주파수(GHz)	입력전력(dBm)	전압(V)	전력(μW)
2.4	-5	0.405	1.64
3.1	5	2.02	40.8
2.4 & 3.1	-5 & 5	2.42	58.56

표 3은 이중대역/이중편파 안테나를 이용한 렉테나를 이용하여 체배되는 전압과 획득되는 전력을 나타내고 있다. 무선전력전송이 주로 이루어지는 3.1 GHz 대역의 입력전력은 5 dBm으로 Wi-Fi, Bluetooth, wireless LAN 등 2.4 GHz 대역의 많은 어플리케이션의 불요전력의 입력전력은 -5 dBm으로 설정하였다. 그 결과 각각 단일 대역으로 2.4 GHz에서 체배되는 전압은 0.405 V이고 3.1 GHz에서 체배되는 전압은 2.02 V인 반면 이중대역으로 2.4 GHz와 3.1 GHz에서 동시에 체배되는 전압은 2.42 V이다. 또한 단일대역에서 획득되는 전력은 2.4 GHz에서 1,364 μW, 3.1 GHz에서 40.8 μW이고 이중대역에서는 58.56 μW로 측정되었다. 결과적으로 3.1 GHz에서 주된 무선전력전송이 이루어지고, 2.4 GHz 대역의 낮은 불요전력에서도 전력전송이 이루어져 시스템에 필요한 전력을 보다 안정적으로 획득하는 것이 가능하다는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결 론

차세대 청정에너지 개발의 일환으로 사용될 수 있는 무선 전력전송시스템에서 중요한 역할을 하는 렉테나를 설계하고 제작하여 특성을 측정하였다. 이중대역/이중편파 패치 안테나는 coplanar waveguide 구조의 50Ω 급전선이 접지면에 위치하고 패치와 급전선 사이의 T-slot capacitive coupling을 이용하여 2.4 GHz 대역과 3.1 GHz 대역의 두 대역에서 동작하는 새로운 구조의 안테나이다. 2단으로 설계한 전압체배기도 두 대역에서 동작하도록 광대역으로 설계하였다. 주 대역인 3.1 GHz 대역에서는 직선편파특성을 가지며, Wi-Fi, Bluetooth, WLAN 등 여러 가지 application들이 공존하는 2.4 GHz 대역에서는 원형편파 특성을 가지도록 하여 편파 부정합에 따른 손실을 줄일 수 있다. 따라서 단일 대역을 사용하는 렉테나에 비하여 보다 안정적으로 무선전력을 활용할 수 있는 장점이 있다.

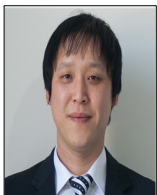
**감사의 글**

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 일환으로 수행 되었습니다 (과제번호. 10033845). 연구비 지원에 감사드립니다.

**참 고 문 헌**

- [1] A. Ghosh, S. Devadas, K. Keutzer and J. White, "Estimation of Average Switching Activity in Combinational and Sequential Circuits," ACM/IEEE Design Automation Conf., pp. 253-259, 1992.
- [2] F.N. Najm, "A Survey of Power Estimation Techniques in VLSI Circuits," IEEE Trans. on VLSI Systems, pp. 446-455, Dec. 1994.
- [3] J. Monteiro, S. Devadas, and B. Lin, "A Methodology for Efficient Estimation of Switching Activity in Sequential Logic Circuits," ACM/IEEE Design Automation Conf., pp. 12-17, 1994.
- [4] R. Burch, F. N. Najm, P. Yang, and T. N. Trick, "A Monte Carlo Approach for Power Estimation," IEEE Trans. on VLSI systems, vol. 1, No. 1, pp.63-71, March 1993.
- [5] A. Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, 3rd Edition, New York: McGraw-Hill, 1991.

**저 자 소 개**



**서 기 원**

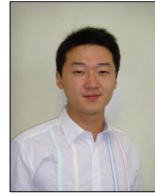
2008년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
2010년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학석사)  
2010년~3월 현재 : EMW 연구원  
관심분야 : RFIC, EMC, USN, Wireless Power Transmission  
E-Mail : kiwon0607@naver.com



**김 정 한**

2009년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
2009년 3월~현재 : 국민대학교 전자공학과 석사과정  
관심분야 : RFID/USN, Antenna, Wireless Power Transmission

E-Mail : junghank@kookmin.ac.kr



**노 형 환**

2005년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
2007년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학석사)  
2007년~3월 현재 : 국민대학교 전자공학과 박사과정  
관심분야 : IEEE 802.11n 기술, RFIC, UHF RFID, 자기유지 시스템, Wireless Power Transmission  
E-Mail : hhroh@kookmin.ac.kr



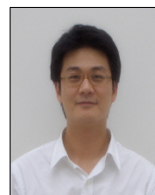
**성 영 락**

1989년 한양대 전자공학과 졸업(공학사)  
1991년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)  
1995년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)  
1998년~현재 : 국민대 전자공학부 교수  
관심분야 : RFID/USN, 모바일 RFID 산업화 및 표준화, 자기유지 시스템  
E-Mail : yeong@kookmin.ac.kr



**오 하 령**

1983년 서울대 전기공학과 졸업(공학사)  
1988년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)  
1992년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)  
1996년~현재 : 국민대 전자공학부 교수  
관심분야 : RFID/USN, 모바일 RFID 산업화 및 표준화, 자기유지 시스템  
E-Mail : hroh@kookmin.ac.kr



**박 준 석**

1987년 국민대 전자공학과 졸업(공학사)  
1993년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학석사)  
1996년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학박사)  
1998년~현재 : 국민대학교 전자공학부 부교수  
관심분야 : RFID/USN, 모바일 RFID 산업화 및 표준화, 자기유지 시스템, Wireless Power Transmission  
E-Mail : jspark@kookmin.ac.kr