

수동형 RFID 시스템을 이용한 무선 전력 전송을 위한 정류회로 특성 연구[†]

(A Study on the Characteristics of a Rectifying Circuit for Wireless Power Transmission using a Passive RFID System)

박철영*, 여준호**

(Cheol-Young Park and Junho Yeo)

요약 본 논문에서는 수동형 RFID 시스템을 이용한 무선 전력 전송을 위해 910MHz 대역에서 동작하는 정류회로를 두 종류의 쇼트키 다이오드 HSMS_2822와 HSMS_2852를 사용하여 설계한 후 입력 전력, 부하 저항에 따른 출력 전압을 측정하여 RF-DC 변환 효율을 비교 분석하였다. 입력 전력이 -20~17dBm에서 HSMS_2822를 사용했을 때보다 HSMS_2852를 사용한 경우 변환 효율이 더 높게 나타났다. 제작된 정류회로와 다이폴 안테나를 이용하여 RFID 리더기가 동작할 때 거리에 따른 수신되는 전압과 전류를 측정하였으며, 50cm 떨어진 거리에서 2.5V의 전압과 5.75mA의 전류가 측정되었다.

핵심주제어 : 렉테나, 정류회로, RFID, 무선전력전송

Abstract In this paper, we design rectifying circuits at 910MHz, which is used for passive RFID system, for wireless power transmission system by using two types of schottkey diodes HSMS_2822 and HSMS 2852, and the RF-DC conversion efficiencies for the curcuits are compared and analyzed in terms of input power and load resistance. When the input power is -20 to 17dBm, the conversion efficiency for HSMS_2852 is larger than in case of HSMS_2822. The output voltage and current at the load of the fabricated rectifying circuit are measured through a dipole antenna when input power is transmitted by a RFID reader and the diatance varies. The measured ouput volatge and current for the distance of 50cm are 2.5V and 5.75mA.

Key Words : Rectifying circuit, Rectenna, Passive RFID system, Wireless power transmission

1. 서론

무선으로 전기에너지를 공간을 통해 보내는 무선

전력 전송(Wireless Power Transmission) 기술은 우리 주위에서 흔히 볼 수 있는 라디오나 무선 전화 등과 같이 무선 통신방식에서 이용하는 전파 전송의 원리로서 하인리히 헤르쯔(Heinrich Hertz)에 의해 규명되었다. 무선 전력 전송은 전자기파·전자기 유도 또는 전자기 공진 형태의 '무선으로 전달하는 기술'로 송신

[†] 본 논문은 2010학년도 대구대학교 학술연구지원에 의한 논문임.

* 대구대학교 전자공학부, 제1지자

** 대구대학교 정보통신공학부, 교신저자

단에서 마이크로파를 송신하고 수신 단에서 마이크로파를 직류전기로 변환시킴으로써 기존의 전원 공급이나 충전 방식을 대체하여 전선 없이 언제 어디서나 전력을 공급할 수 있어 각광받고 있다 [1-2]. RFID (Radio Frequency Identification) 기술은 무선 주파수를 이용해 태그를 상품과 사물에 부착하여 근거리에서 사물에 내장된 정보를 읽어내는 기술로서 수동형 시스템의 경우 태그에서 데이터 전송 시에 필요한 전원은 리더로부터 전달된다. RFID는 135kHz의 장파에서 2.45GHz에 이르는 마이크로파 범위까지 광범위한 주파수에서 사용이 되며, 물류·유통·조달·군사·식품·안전 등 다양한 분야에 적용되고 있다[3-5].

본 논문에서는 무선 전력 전송을 위해 수동형 RFID의 국내 중심 주파수인 910MHz에서 동작하는 다이폴 안테나와 쇼트키 다이오드를 이용한 반파 배전압 정류회로를 조합하여 렉테나(Rectenna)를 설계하였다. 두 종류의 쇼트키 다이오드 HSMS_2822와 HSMS_2852를 사용하여 입력 전력, 부하 저항에 따른 RF-DC 변환 효율을 분석하였다. 또한, 제작된 정류회로와 다이폴 안테나를 이용하여 실제 RFID 리더기가 동작할 때 거리에 따른 수신되는 전압과 전류를 측정하여 무선 센서노드의 에너지 하베스팅 용도로 적용가능성을 살펴 보았다.

2. 렉테나 설계

2.1 렉테나 정의 및 구조

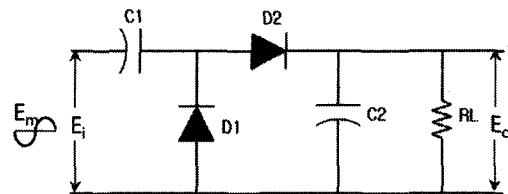
렉테나는 Rectifier(정류기)와 Antenna(안테나)를 합성한 말로서 무선 전력 전송과 RFID 등에 널리 활용되고 있다. 렉테나의 구조는 안테나, 매칭회로, 정류회로로 구성되며, 렉테나에 사용되는 정류회로는 안테나로부터 나오는 RF 전력을 DC 전력으로 바꿔주는 중요한 부분이다. 공중에서 전파되어온 마이크로파 전력을 안테나를 통해 수신하여 정류 회로를 통해 직류 전력으로 변환한다 [4].

매칭 회로는 안테나와 정류회로 간의 임피던스 정합 기능을 수행한다. 어떤 하나의 출력단과 입력단을 연결할 때, 서로 다른 두 임피던스 차에 의한 반사를

줄이려는 모든 방법을 임피던스 매칭이라 하며, 안테나와 정류회로간의 임피던스 매칭은 렉테나 효율에 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 910MHz에서 동작하는 다이폴 안테나와 반파 배전압 정류회로를 사용하였다.



<그림 1> 렉테나 구조

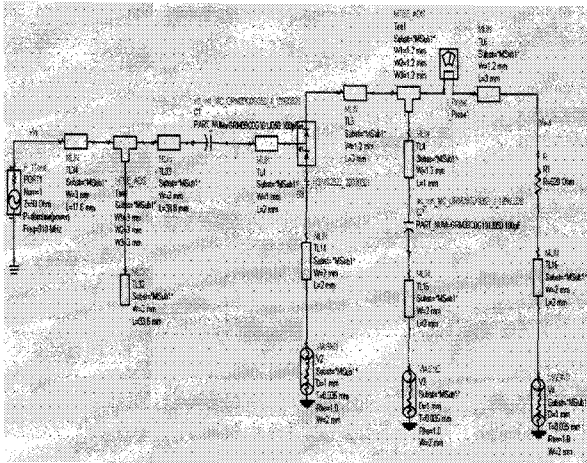


<그림 2> 반파 배전압 정류회로

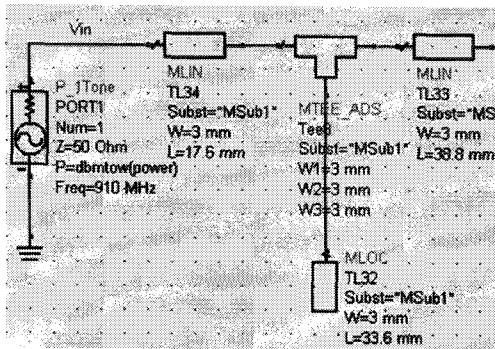
정류회로는 크게 RF 정류용으로 많이 사용되는 쇼트키 다이오드, 콘덴서, 부하저항으로 구성된다. 쇼트키 다이오드는 정류 특성을 결정하며, RF 정류용 다이오드로 많이 사용된다. 쇼트키 다이오드는 순방향 전압 손실이 적고 매우 빠른 스위칭 전환이 특징인 반도체 다이오드로, 집적회로 등의 스위치 특성 향상에 이용되며 초고주파 수신기 등에도 사용된다. 본 논문에서는 910MHz 대역에서 사용할 수 있는 두 종류의 쇼트키 다이오드 HSMS_2822와 HSMS_2852를 선택하여 렉테나를 설계하였다[7-10].

2.2 ADS 시뮬레이션

통합 시스템 설계 툴인 Agilent사의 Advanced Design System(ADS)를 이용하여 정류회로를 설계하였으며, 낮은 전력에서 임피던스 효율이 최대가 되도록 하기 위해 0dBm에서 임피던스를 매칭하였다. 스미스 차트 툴을 이용하여 임피던스 매칭을 하였으며 그림 3은 전체 회로와 매칭회로를 나타낸다.



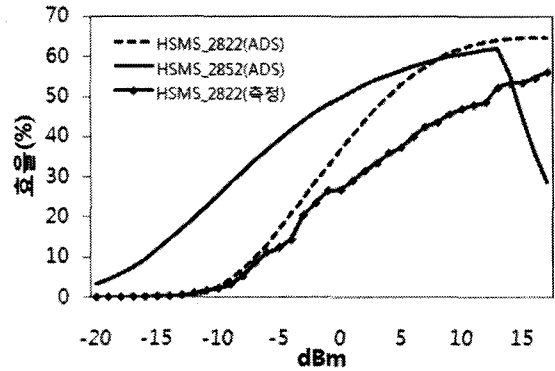
(a)



(b)

<그림 3> (a) 전체 회로, (b) 매칭회로

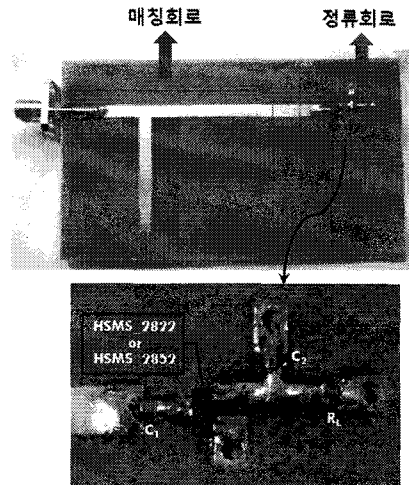
ADS를 이용하여 시뮬레이션 한 결과, 입력 전력이 클수록 출력 전압이 높아지는 것을 알 수 있었다. 그림 4는 ADS를 이용하여 부하 저항이 820Ω일 경우, -20~17dBm에서의 입력 전력 변화에 따른 효율을 나타낸 그래프로 8dBm까지는 HSMS_2852를 사용한 렉테나의 효율이 더 높은 것을 알 수 있다. ADS와 유사한 환경을 위해 안테나를 사용하지 않고 신호 발생기와 렉테나를 바로 연결하여 실험하였다. HSMS_2822를 사용한 경우, 입력 전력이 10dBm에서 시뮬레이션과 실제 측정된 변환 효율은 각각 60.6%, 46.9%로 약 13%의 차이가 나타났으며 이는 커넥터와 케이블에 의한 손실, 소자의 오차에 의한 것으로 판단된다.



<그림 4> 입력 전력 변화에 따른 효율(ADS vs. 측정)

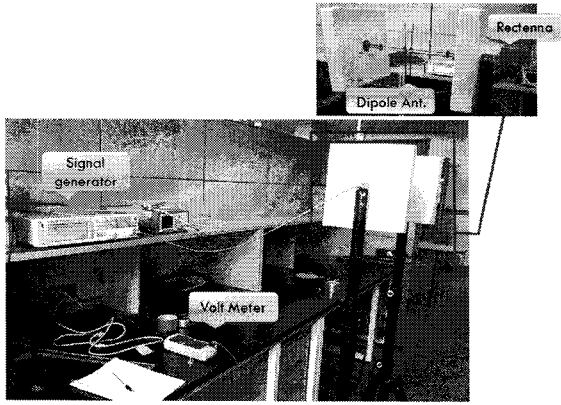
3. 렉테나 제작 및 측정 결과

렉테나는 유전율이 4.6이고 두께가 1.6mm인 FR-4 기판에 제작하였다. 그림 5은 제작된 렉테나의 사진이다.



<그림 5> 제작된 렉테나

실험을 위하여 신호발생기(Signal generator)에서 -20~17dBm까지의 입력 전력을 송신하고 다이폴 안테나를 통해 방사된다. 일정거리 떨어진 렉테나의 다이폴 안테나에서 RF전력을 수신하고 부하저항에 걸리는 전압을 측정하였다.

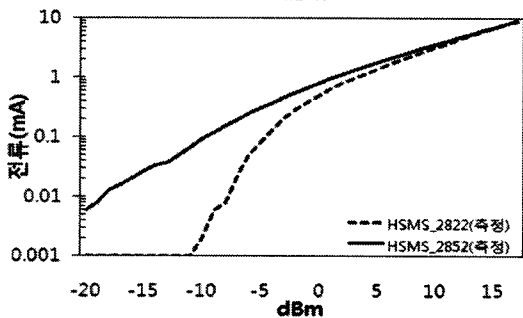
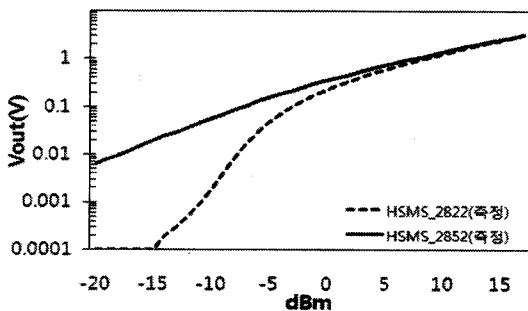


<그림 6> 실험 환경

렉테나의 RF-DC 변환 효율은 식(1)과 같다.

$$\text{변환효율} = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} \times 100 = \frac{V_{\text{out}}^2 / R_L}{P_{\text{input}}} \times 100 \quad (1)$$

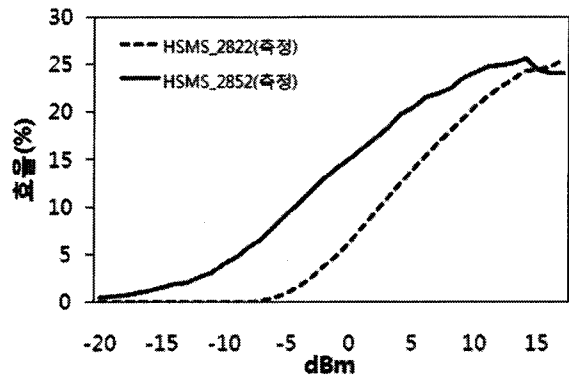
여기서 P_{input} 은 입력 전력을, P_{output} 은 부하 저항에 걸리는 출력 전력을 나타낸다. R_L 은 부하저항, V_{out} 은 부하저항에 걸리는 출력 전압을 나타낸다.



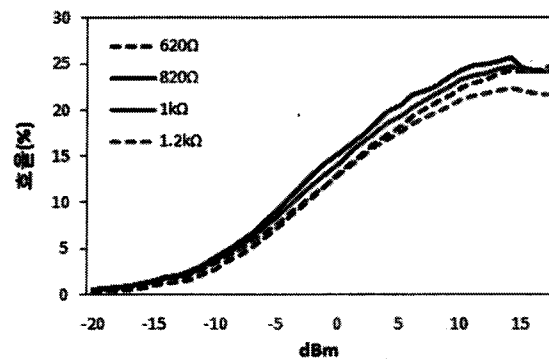
<그림 7> 입력 전력 변화에 따른 출력 전압 및 전류

그림 7은 부하 저항이 820Ω일 경우, -20~17dBm에

서의 입력 전력 변화에 따른 출력 전압 및 전류를 로그 스케일로 나타낸 그래프이다. HSMS_2852를 사용하였을 때 저전력에서 더 높은 출력 전압이 나타난다는 것을 알 수 있다. 그러나 입력 전력이 커질수록 출력 전압의 차이가 줄어들어 16dBm에서는 HSMS_2822를 사용한 경우의 출력 전압이 더 높아지는 경향을 보인다. 그리고 입력 전력이 커질수록 HSMS_2822와 HSMS_2852의 전류 차이는 작아지는 것을 알 수 있다. 그림 8은 측정된 출력 전압을 식(1)에 대입하여 계산된 변환 효율을 나타낸 그래프이다. 입력 전력이 0dBm에서 출력 전압은 HSMS_2822와 HSMS_2852를 사용하였을 경우 각각 0.23V, 0.36V이고 변환 효율은 각각 6.4%, 15.3%이다. 17dBm에서 출력 전압은 각각 3.3V, 3.15V이고 변환 효율은 각각 25.6%, 24.2%이다. HSMS_2852를 사용했을 경우, 최대 변환 효율은 25.7%으로 이 때의 입력 전력은 14dBm이다.



<그림 8> 입력 전력 변화에 따른 변환 효율

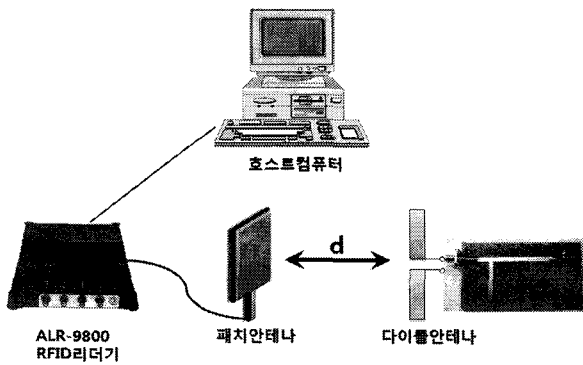


<그림 9>부하 저항 변화에 따른 변환 효율(HSMS_2852)

그림 9는 HSMS_2852를 사용한 렉테나의 부하 저항 변화에 따른 변환 효율을 나타낸다. 효율이 모든 범위에서 820Ω에서 가장 높다. 입력 전력이 14dBm에서 변환 효율은 부하 저항이 620Ω, 820Ω, 1kΩ, 1.2kΩ일 때, 각각 24.3%, 25.7%, 24.6%, 22.4%이다.

4. RFID 리더기를 이용한 측정 결과

제작된 정류회로와 다이폴 안테나를 이용하여 실제 RFID 리더기가 동작할 때 거리에 따른 수신되는 전압과 전류를 측정하여 적용가능성을 살펴보았다. RFID 리더기의 주파수대역은 910~914MHz이고 입력 전력은 리더기의 전력 0dB와 패치 안테나의 이득 6dBi를 합해 총 36dBm이다[11]. 그리고 송신 안테나는 패치 안테나, 수신 안테나는 다이폴 안테나를 사용하였으며 1단 반파 배전압 정류회로를 이용하여 송수신 안테나간의 거리에 따른 출력 전압을 측정하였다. 이때 HSMS-2822 쇼트키 다이오드가 정류회로에 사용되었다.



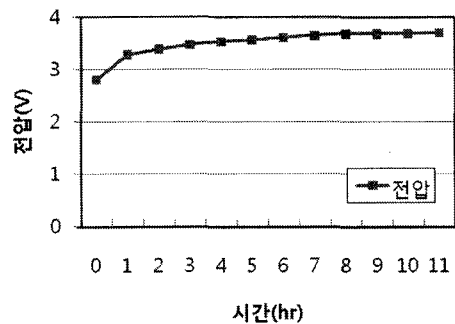
<그림 10> RFID 리더기를 이용한 실험 구성도

<표 1> 거리에 따른 측정 전압과 전류

거리(cm)	전압(V)	전류(mA)
1	7.7~8.2	23~27
10	6.2~7.8	16~18
20	5.2~5.4	11~14
30	4.1~4.3	9.2~10.2
40	2.6~2.9	5.3~5.9
50	2.3~2.8	5.5~6

RFID 리더기와 다이폴 안테나를 사용한 렉테나의 거리가 1cm일 때 전압이 약 8V, 전류가 약 25mA가 측정되었고, 50cm 떨어진 거리에서 2.5V의 전압과 mA의 전류가 측정되었다.

제작된 렉테나와 RFID 리더기를 이용한 에너지 하베스팅을 무선 센서노드에 적용하기 위해 리튬폴리머 배터리의 충전실험을 하였으며, 리더기와 렉테나의 거리를 1cm로 하였다[12-13]. 실험에 사용된 리튬폴리머 전지는 대만 엑사(Exa)사의 AL622570A-NP모델이고 규격은 출력전압 3.7V, 용량 1250mAh이다.



<그림 11> 거리 1cm일 때 배터리 충전시간

실험 결과, 렉테나에서 출력되는 전압과 전류는 배터리를 충분히 충전시킬 수 있는 전력이지만 안정적이지 못하였다. 그림 11은 렉테나를 이용한 배터리 충전시간이다. 리튬폴리머 배터리를 2.8V에서 3.7V까지 0.9V정도 충전하는데 11시간이 소요되었다. 이는 일반적으로 사용되는 태양전지를 이용하여 배터리를 충전하였을 때 보다 충전전류가 현저히 낮아 배터리를 충전시키는데 태양전지를 이용했을 때 보다 더 많은 시간이 소요된다. 태양전지를 이용하였을 경우 배터리를 4.2V로 완충 시키는데 3.5시간이 소요되었으나, 렉테나를 사용하여 배터리를 3.7V까지 충전 시켰을 경우 11시간이 소요되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 수동형 RFID 시스템을 이용한 무선 전력 전송을 위해 910MHz 대역에서 동작하는 정류회

로를 두 종류의 쇼트키 다이오드 HSMS_2822와 HSMS_2852를 사용하여 설계한 후 입력 전력, 부하 저항에 따른 출력 전압을 측정하여 RF-DC 변환 효율을 비교 분석하였다.

입력 전력이 -20~17dBm에서 HSMS_2822를 사용했을 때보다 HSMS_2852를 사용한 경우 변환 효율이 더 높게 나타났다. 제작된 정류회로와 다이폴 안테나를 이용하여 RFID 리더기가 동작할 때 거리에 따른 수신되는 전압과 전류를 측정하였으며, 거리가 1cm일 때 전압이 약 8V, 전류가 약 25mA가 측정되었고 50cm 떨어진 거리에서는 2.5V의 전압과 5.75mA의 전류가 측정되었다.

제작된 렉테나와 RFID 리더기를 이용한 에너지 하베스팅을 무선 센서노드에 적용하기 위해 리튬폴리머 배터리의 충전실험을 리더기와 렉테나의 거리가 1cm일 경우에 대해 실시하였다. 태양전지를 이용하였을 경우 배터리를 4.2V로 완충 시키는데 3.5시간이 소요되었으나, 렉테나를 사용하여 배터리를 3.7V까지 충전시켰을 경우 11시간이 소요되었다. 무선 센서노드에 적용되기 위해서는 렉테나의 효율과 충전 회로의 개선이 필요한 것으로 사료된다.

제안된 정류회로의 최대 변환효율은 25.7%이며 매칭회로를 개선하고 다이폴안테나 대신 정류회로와 함께 제작할 수 있는 안테나를 설계함으로써 향상시킬 수 있다. 또한, 전송선로를 이용하여 구현한 매칭회로는 칩 형태의 L, C 집중소자(Lumped element)로 구성함으로써 소형화할 수 있다. 제안된 정류회로는 900MHz 수동형 RFID 시스템을 이용한 무선전력전송이나 이를 이용한 무선 센서노드 에너지하베스팅에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] W. C. Brown, "The history of power transmission by radio waves", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol.MTT-32, no.9, pp.1230-1242, Sep. 1984.
- [2] 서홍은, "2.45GHz대 저전력 렉테나 설계 및 제작에 관한 연구", 한국해양대학교 대학원 석사학위 청구논문, 2009.
- [3] 손병희, 장종찬, 유비쿼터스 개론 개념과 기술, ITC, 2009.
- [4] 강민성, 김도현, 이광만, "u-Conference를 위한 RFID 기반의 실시간 상황 서비스 모델", 대한임베디드공학회논문지, 제 2권, 제 2호, 95-100쪽, 2007년 6월.
- [5] 문병현, 이태훈, 서용석, 황지영, 류정탁, "RFID를 이용한 출입관리 로봇", 한국산업정보학회논문지, v.13, no.4, pp.139-144, 2008년 12월.
- [6] Arseny Dolgov, Regan Zane, & Zoya Popovic, "Power management system for online low power RF energy harvesting optimization", IEEE Trans. Circuits and Systems, vol. 57, no. 7, pp.1802-1811, 2009.
- [7] Ren-Hao Chen, Yi-Chieh Lee and Jwo-Shium Sun, "Design and Experiment of a Rectifying Antenna for 900MHz Wireless Power Transmission," Asia-Pacific Microwave Conference 2008, pp.1-4, 2008.
- [8] 박동국, 서홍은, 조익현, 김예지 "2.45GHz대 저전력 렉테나에 관한 연구", 한국전자파 학회 논문지, 제 20권, 제 9호, 862-867쪽, 2009.
- [9] "Surface Mount Zero Bias Schottky Detector Diodes", Agilent Technologies, HSMS_282x Series, 1999.
- [10] "Surface Mount Zero Bias Schottky Detector Diodes", Agilent Technologies, HSMS_285x Series, 1999.
- [11] 김재준, 이일근, 이영훈, "900MHz 대역 RFID Reader 구현," 한국정보기술학회논문지, vol.4, no.2, pp.63-69, 2006.
- [12] 강문호, 김태화, 최병재, 김희철, "수경재배 적용을 위한 저전력 프로세서 기반의 센서노드 하드웨어 설계", 대한임베디드공학회논문지, 제 3권, 제 1호, 34-41쪽, 2008년 3월.
- [13] 최영숙, 류정탁, 김경기, 김희철, "센서 노드 배터리 충전을 위한 Solar Cell의 완충시간에 대한 연구", 한국산업정보학회논문지, v.16, no.1, pp.31-36, 2011년 3월.



박철영 (Cheol-Young Park)

- 정회원
- 1984년 2월: 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1986년 2월: 경북대학교 전자공학과 공학석사
- 1997년 4월 : 일본 도호쿠대학 공학박사
- 1997년 9월 ~ 현재 : 대구대학교 전자공학부 교수
- 관심분야 : RFID/USN, VLSI 설계 및 신개념 지능형 소자 개발



여준호 (Junho Yeo)

- 정회원
- 1992년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1994년 2월 경북대학교 전자공학과 공학석사
- 2003년 8월 미국 Pennsylvania State University 전기공학과 공학박사
- 1994년 3월~1999년 6월 국방과학연구소 연구원
- 2003년 9월~2004년 6월 미국 Pennsylvania State University 박사후 과정
- 2004년 8월~2007년 2월 한국전자통신연구원 RFID 시스템연구팀 선임연구원
- 2007년 3월~현재 대구대학교 정보통신공학부 조교수
- 관심분야 : AMC, EBG, FSS 설계 및 안테나 응용, RFID 및 광대역 안테나, 무선전력전송, 전자파 산란

논문접수일 : 2011년 05월 21일

1차수정완료일 : 2011년 09월 29일

게재확정일 : 2011년 11월 30일