

원거리 무선 전력 하베스팅 테스트 시스템 개발

김민재*, 임원섭*, 배종석*, 박주현*, 박영준*,
이종민*, 트린반손*, 김동인*, 이강윤*, 황금철*, 양영구*

Development of Far Field RF Power Harvesting Testbed

Min Jae Kim*, Wonseob Lim*, Jongseok Bae*, Ju Hyun Park*, Young Jun Park*,
Jong Min Lee*, Son Trinh-Van*, Dong In Kim*, Kang Yoon Lee*,
Keum Cheol Hwang*, Youngoo Yang*

요약

본고에서는 초고주파 대역에서의 무선 전력 포집 성능을 검증할 수 있는 테스트 시스템의 구성과 특성을 나타내었다. 개발된 무선 전력 포집 테스트 시스템은 900 MHz와 2.4 GHz 대역을 이용한 전력 전송과 데이터 통신 시스템뿐만 아니라 2.4 GHz 대역에서의 전력 전송 및 데이터 통신 성능 평가가 가능하며, 효율적인 전력 포집 알고리즘 개발에 적합하도록 개발 되었다.

Key Words : RF Energy harvesting system, Bio Sensors, Harvesting Algorithm, 2.4 GHz Power Amplifier

ABSTRACT

This paper presents the system design, implement, and measurement results of the testbed for the wireless RF energy harvesting system. The developed testbed can be used for RF power transfer and data communication using the 2.4 GHz and 900 MHz frequency bands. It allows to evaluate the system performances for the RF power and data transmission. The testbed can also be used to develop algorithms for efficient energy harvesting.

I. 서론

최근 다양한 형태의 사물 인터넷과 무선 단말기의 개발 및 사용이 급증함에 따라서 해당 기기의 사용 시간을 확장시킬 수 있는 기술이 각광을 받고 있다. 이러한 모바일 기기의 사용 시간을 확장시킬 수 있는 가장 용이한 방법은 해당 기기에 사용하는 배터리의 용량을 키우거나 시스템 알고리즘을 변경하여 해당 기기의 평균 전력 소모를 최소화하고자 하는 것이다¹⁾. 그러나 아무리 적은 에너지를 소모하는 시스템이라

하더라도 한정된 배터리에 따른 제한과 모바일 기기의 특성상 사용 시간을 증가시키는 데에는 한계가 있다. 이에 무선 주파수를 이용하여 에너지를 전송 받고 이와 동시에 통신이 가능하게 하는 고주파 무선 전력 포집 (Harvesting) 기술이 조명을 받고 있다. 고주파 무선 전력 포집 기술은 통신에 이용되는 고주파 통신용 무선 신호로부터 필요한 전력을 수집하고 이를 이용하여 다시 통신에 이용하는 통칭의 기술을 의미한다²⁾. 특히, 고주파 무선 통신을 이용한 전력 포집은 태양광과 같은 여타의 신재생 전력 포집 시스템에 비

* 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2014R1A5A1011478)

• First Author : Sungkyunkwan University School of Information and Communication Engineering, bskim7289@gmail.com, 정회원

◦ Corresponding Author : Sungkyunkwan University School of Information and Communication Engineering, yang09@skku.edu, 정회원

* Sungkyunkwan University School of Information and Communication Engineering

논문번호 : KICS2015-09-287, Received September 1, 2015; Revised October 28, 2015; Accepted October 28, 2015

하여 전력을 수집할 수 있는 환경이 기후 등에 의존하지 않기 때문에 상대적으로 안정적이면서도 부수적인 전력 포집을 위한 모듈이 필요하지 않다는 장점을 갖고 있다³⁾.

본 논문에서는 최근 각광받고 있는 900 MHz 및 2.4 GHz 대역을 이용한 고주파 무선 전력 포집 시스템의 하드웨어와 최적화된 알고리즘을 개발하고 이를 평가할 수 있는 테스트 시스템의 개발을 소개하고자 한다. 개발된 테스트 시스템을 이용하여 동일 주파수 대역을 이용한 무선 전력 포집과 통신에 최적화된 새로운 시스템 알고리즘의 개발이 가능하리라 판단한다.

II. 무선 전력 포집 시스템의 구성 및 설계

2.1 무선 전력 포집 시스템의 특징

2.1.1 주요 변수

무선 전력 포집 시스템에서 고려해야 하는 항목은 다양하지만 일반적인 무선 통신의 환경을 감안하였을 때, 가장 중요한 항목은 대기 중에서의 거리에 따른 신호 감쇄 정도이다. 이에 통신 및 전력 포집이 가능한 한지의 여부를 판가름할 수 있는 요인은 거리에 따른 무선 신호의 손실, 전력 포집 시스템이 인지할 수 있는 최소 신호의 크기 및 신호원에서의 송출 전력이 시스템의 가장 중요한 항목이 된다. 일반적으로 송출 신호의 크기는 임의대로 조절할 수 있는 항목이 아니므로, 시스템 설계에서 변수로 사용할 수 있는 항목은 거리에 따른 무선 신호 손실과 최소 신호의 크기가 가장 중요하다⁴⁾.

상기의 그림 1에서는 Friis 수식에 따른 대기 중에

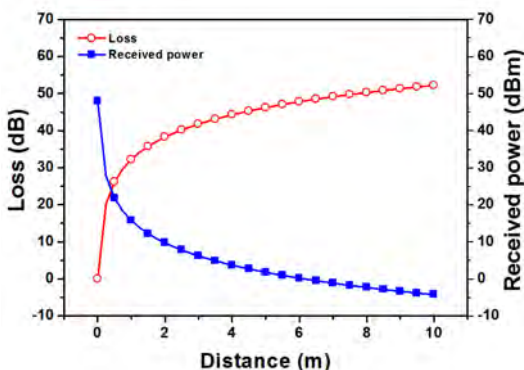


그림 1. Friis 수식에 의한 대기 중에서의 거리에 따른 무선 신호 손실 계산의 결과
Fig. 1. Calculated signal loss and received power according to the distance based on the Friis equation.

서의 무선 신호 감쇄 그래프를 나타내었다. 2.4 GHz 고주파 대역의 경우, 출력 전력이 48 dBm일 때 5m 이격 거리에서 대기 중 무선 전파 신호 손실은 46.2 dB로 해당거리에서 수신 가능한 신호의 크기는 약 1.8 dBm 정도임을 알 수 있다. 이와 같이 대기 중에서의 신호 손실이 거리에 따라서 급격하게 발생하므로 전력 포집 시스템 구현에 있어서 무선 신호원으로부터 시스템까지의 거리는 상당히 중요한 인자이다.

2.1.2 무선 전력 포집 회로

무선 전력 포집 시스템은 간단한 구조의 고효율 회로를 기반으로 구현한다⁵⁾. 시스템의 목적상, 전력 포집을 위한 수신 신호의 크기가 대체로 작으며, 통신을 동시에 수행하기 위해서는 통신 모듈에서 필요로 하는 전력을 지속적으로 공급하기 위해서는 전력 포집 회로에서 부수적으로 발생하는 손실이 크면 곤란하다. 이에 따라서 무선 전력 포집 시스템에 적용되는 대부분의 구성 회로는 전력 변환 효율이 높고 손실이 작으며 구조가 간단한 회로를 적용한다. 무선 전력 포집 시스템은 일반적으로 그림 2에 나타낸 바와 같이 주로 안테나 / 정합 회로 / RF-DC 변환 회로 / 전력 저장장치 / 직류 전압 변환 회로 등으로 구성된다. 경우에 따라서는 입력 신호의 크기를 변수로 사용하기 위하여 RF-DC 변환 회로 이후에 수신 신호의 크기를 검출하는 회로를 추가하기도 한다.

입력 신호의 크기가 -10 dBm 정도의 작은 고주파 신호로부터 전력을 포집해야 하는 시스템의 경우, 정합 회로의 구현에 따른 성능의 차이가 발생할 여지가 많기 때문에 고주파 대역에서는 별도의 정합회로를 반드시 구현해야 한다⁶⁾. 또한, DC/DC 변환 회로는 대기 및 동작 전력 소모가 매우 낮고 전력 변환 효율이 우수한 시스템을 사용해야만 무선 전력 포집의 기본 목적에 부합하는 시스템 구현이 가능하다⁷⁾.

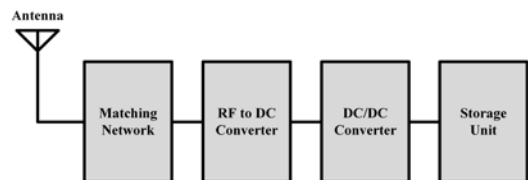


그림 2. 무선 전력 포집 시스템의 일반적인 구성
Fig. 2. Block diagram of the general energy harvesting system.

2.2 무선 전력 포집 시스템의 구성

본고에서 소개하고자 하는 무선 전력 포집 테스트

시스템은 다양한 통신 환경과 조건에 따른 최적화된 하드웨어 및 소프트웨어 알고리즘 개발을 지원할 수 있는 시스템이며, 여러 가지 환경에 대하여 시험을 진행할 수 있도록 구현하였다⁸⁾. 전체 시스템은 그림 3에서 나타낸 바와 같이 3개의 모듈로 구성되어 있다.

전체 시스템은 2개의 개별 모듈로 구성되며, 무선 전력 포집 검증 회로와 데이터 취득용 바이오센서 회로로 구성된 첫 번째 모듈과 2.4 GHz 무선 전력 전송 회로 및 무선 전력 포집 검증 회로로 구성된 두 번째 모듈로 나뉜다. 무선 전력 포집 검증 회로의 경우, 각 모듈의 개별 검증이 가능하도록 분리가 가능하게 구현되어 있으며, 최종적으로는 데이터 취득용 바이오센서 회로의 전력 포집 회로만 변경할 경우, 전체 시스템의 통합 운영이 가능하도록 설계가 되어 있다.

첫 번째 모듈의 경우에는 근거리 무선 전력 포집 주파수와 통신 시스템의 주파수가 다른 경우를 위한 시스템으로써 무선 전력 포집은 915 MHz 주파수 대역을 이용하는 반면 데이터 전송을 위한 통신은 2.4 GHz 대역을 이용할 수 있는 시스템으로 구현하였다. 해당 모듈은 바이오센서를 포함하여 인체 신호를 주기적으로 무선 통신을 통한 모니터링이 가능한 시스템으로 구현하여 IoT 및 의료 시스템에 적용 가능 여부를 검토하였다.

두 번째 개발된 모듈의 경우에는 2.4 GHz 대역의 동일 주파수에서 무선 전력 포집 및 통신을 할 수 있도록 구현 하였다. 특히, 고주파 대역에서의 정합 회로를 이용하여 전력 포집 회로의 최저 동작 가능 신호의 수준을 -20 dBm 정도까지 개발함으로써 2.4 GHz

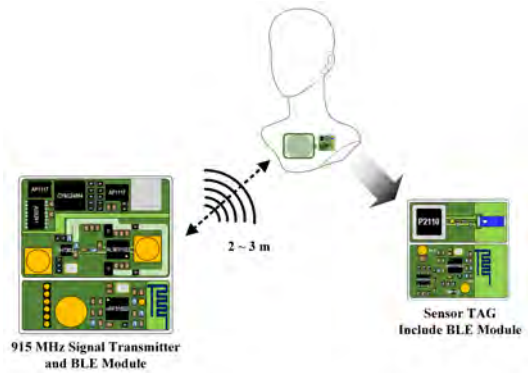


그림 4. 첫 번째 모듈의 동작 개념도 - 저출력 / 근거리용
Fig. 4. Low power/short range RF energy harvesting testbed.

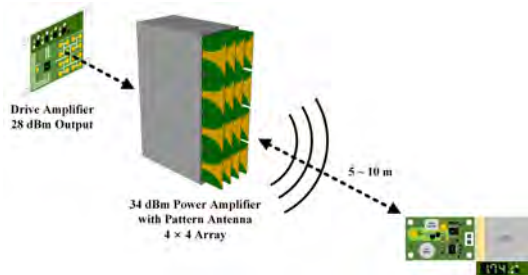


그림 5. 두 번째 모듈 동작 개념도 - 고풍력 / 원거리용
Fig. 5. High power/long range RF energy harvesting testbed.

대역에서 요구되는 최소 전력의 수준을 개선하였다⁹⁾. 상기 그림 5에 나타낸 모듈의 경우는 개별 전력 증

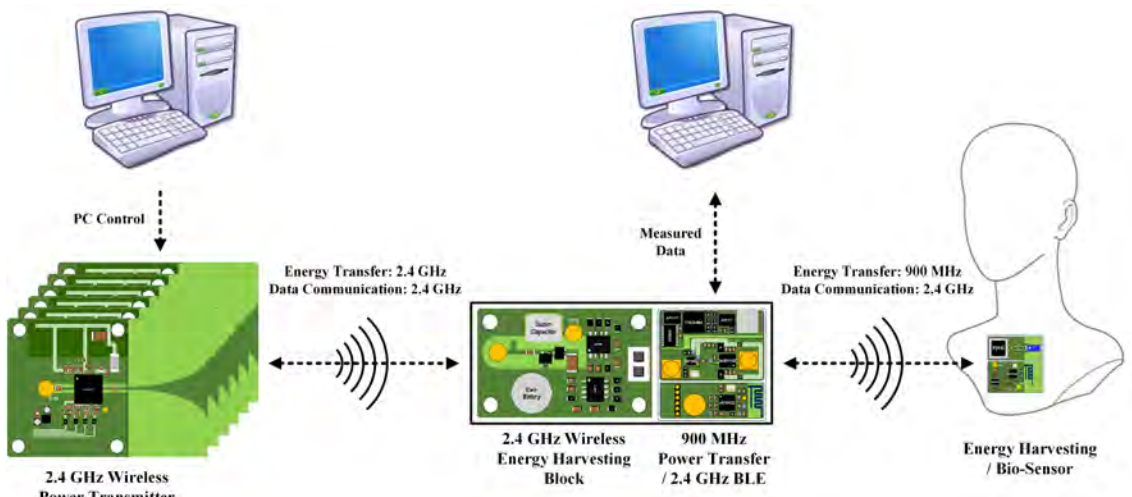


그림 3. 무선 전력 포집 시스템의 전체 구성도
Fig. 3. Testbed configuration for RF energy harvesting systems.

폭기 모듈을 4 × 4 형태의 어레이로 배열하여 송출되는 무선 신호의 전파 파형을 지향성 구조가 되도록 함으로써 대기 중에서의 신호 손실에 따른 효율을 보상할 수 있도록 구현하여 넓은 이격 범위에서의 실험이 가능하도록 구성하였다. 상기의 두 모듈은 개별 실험 및 성능 검증이 가능할 뿐만 아니라 각 모듈에 적용된 별도의 회로에 대한 개선 및 검증이 가능하며, 두 모듈의 연동을 이용한 시스템 최적화 또한 가능한 것으로 판단한다.

2.3 시스템의 설계 결과

2.3.1 센서 및 근거리 무선 전력 포집 테스트 모듈

바이오센서를 부착한 테스트 모듈은 915 MHz 대역의 고주파 전력 포집 회로와 2.4 GHz 대역에서의

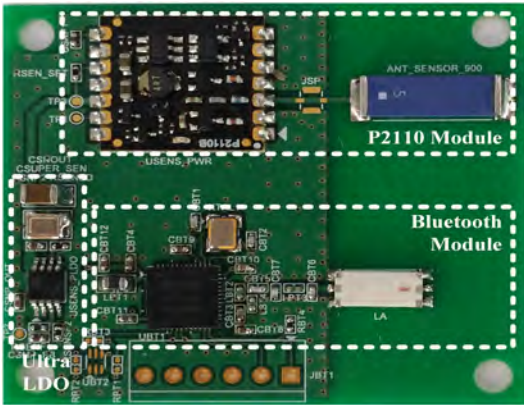


그림 6. 제작된 915 MHz 바이오센서 보드
Fig. 6. Implemented bio sensor board for the 915 MHz band.

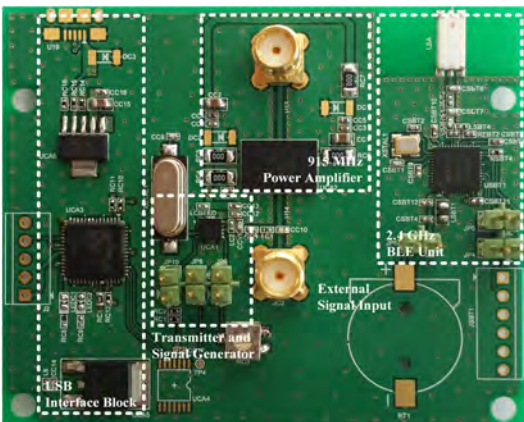


그림 7. 915 MHz 무선 전력 송신용 시험 모듈
Fig. 7. RF energy transmitter test module for the 915 MHz band.

통신을 위한 무선 통신부로 구성되어 있으며, 전력 포집은 PowerCast의 P2110 소자를 사용하여 면적과 성능을 최적화하였다.

송신용 시험 모듈의 경우에는 통신용 모듈은 바이오 센서 모듈과 동일하게 BLE용 IC를 사용하였으며 915 MHz 대역의 무선 전력 송신부 개발에는 OOK를 지원하는 TH72035 Melexis IC를 사용하였다. 그림 6과 그림 7에 제작된 센서 보드와 송신용 시험 모듈의 사진을 첨부하였다.

2.3.2 원거리 전력 포집 테스트 모듈

원거리 전력 포집 테스트를 위한 모듈은 고효율 전력 전송부와 2.4 GHz 고주파 수신부로 구성하였다. 2.4 GHz 주파수만을 사용하여 전력 송수신과 데이터 통신을 수행한다. 고효율 전력 송신부는 최종 출력 기준, 48 W급으로 설계하였다. 송신부는 크게 구동 회로, 전력 증폭기 회로 및 패턴 안테나로 구성된다.

구동 증폭기 회로의 경우에는 필요에 따라서 전력 이득을 임의대로 조절할 수 있도록 구현하여 출력 전력 변화에 따른 측정이 가능하도록 설계하였다. 전력 증폭기의 경우, 3 W 급의 전력 증폭기 회로를 구현하였으며 해당 개별 전력 증폭기 16개를 4 × 4의 형태로 구현하여 최종 48 W 급의 전력 송신부를 설계하였다.

각각의 전력 송신부 모듈에는 개발한 패턴 형태의 안테나를 구현하여 송신측에서의 안테나 이득이 발생할 수 있도록 제작하였다. 그림 8에는 본 시스템에서 사용하기 위하여 설계 및 제작된 구동 증폭기와 3 W 전력 증폭기를 첨부하였다. 전력 증폭기 회로의 경우, 안테나는 2.4 GHz 주파수에서 약 100 MHz의 대역폭을 갖도록 패턴 형태의 안테나가 구현되어 있다.

그림 9에는 2.4 GHz 대역에서 최적화된 RF-DC 변환 회로와 DC/DC 변환 회로를 구현한 모듈을 나타

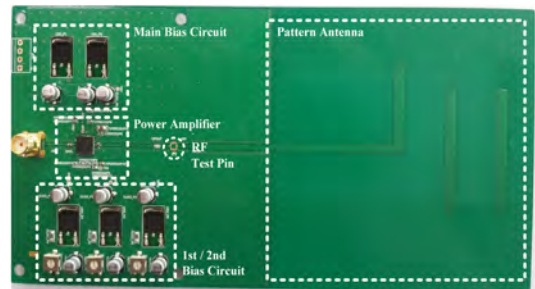


그림 8. 제작된 2.4 GHz 전력 증폭기 및 안테나 보드
Fig. 8. Implemented power amplifier and antenna board for the 2.4 GHz band.

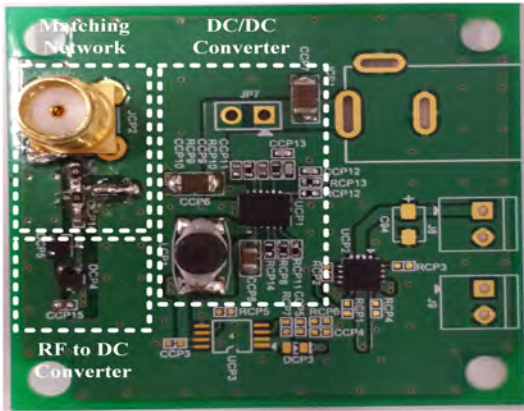


그림 9. 2.4 GHz 원거리 전력 포집 모듈
Fig. 9. Long range RF wireless harvesting module for the 2.4 GHz band.

내었다.

III. 무선 전력 포집 회로의 실험 결과

3.1 센서 및 근거리 무선 전력 포집 모듈 테스트 결과

P2110 전력 포집 회로에 기반을 둔 통신 테스트 모듈의 경우, 전력 포집 특성은 2 dBm RF 입력부터 정상 동작을 하는 것으로 확인되었다.

그림 10에서 보는 바와 같이 P2110을 이용한 수신 포집 회로의 특성은 정상 동작 범위가 입력 전력 기준으로 약 3 dBm 정도가 되어야 원하는 특성을 얻을 수 있다.

상기의 그림 11에는 센서 모듈 측정 결과를 바탕으로 센서 모듈과 송신 테스트 모듈과의 실제 이격 거리에 따른 테스트 나타내었다. 상기 그림 12에 해당 센

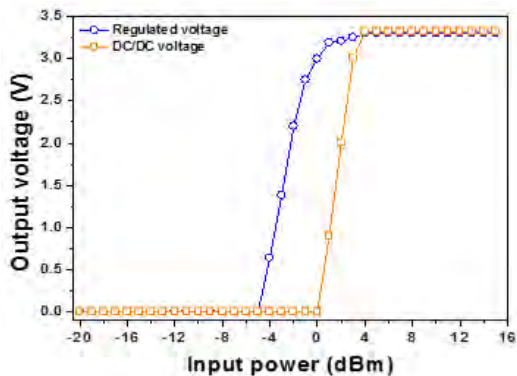


그림 10. 915 MHz 센서 모듈 측정 결과
Fig. 10. Measurement results of the 915 MHz sensor module.

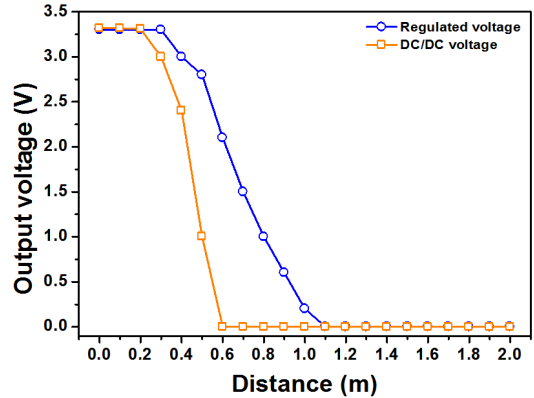


그림 11. 915 MHz 센서 모듈과 송신 모듈과의 거리에 따른 연동 테스트 결과
Fig. 11. Measurement results according to the distance between the 915 MHz sensor module and the transmitter module.

서 모듈의 효율을 나타내었다.

사용한 P2110 모듈의 효율이 최대 55%이고, 사용된 전압 변환 회로의 효율이 저전력 모드에서 약 80% 정도임을 감안하면 이론적으로 측정될 수 있는 최대 효율은 약 40% 정도이나, 실제 측정 결과는 대부분의 측정 영역에서 30% ~ 33% 정도를 나타냈으며, 입력 전력이 낮은 영역에서는 포집 효율이 약 25% 내외임을 알 수 있다.

전체적으로 측정된 효율이 낮은 이유는 사용된 P2110 전력 포집 모듈 내에 이미 부스트 전압 변환 회로가 포함되어 있으며, 외부 공급 전원을 다시 맞추기 위하여 전압 변환 회로를 추가로 사용함에 따라서 발생한 원인으로, 전압 변환 회로를 이중으로 사용하게 되면서 전체 포집 회로의 효율이 낮아진 것으로 판

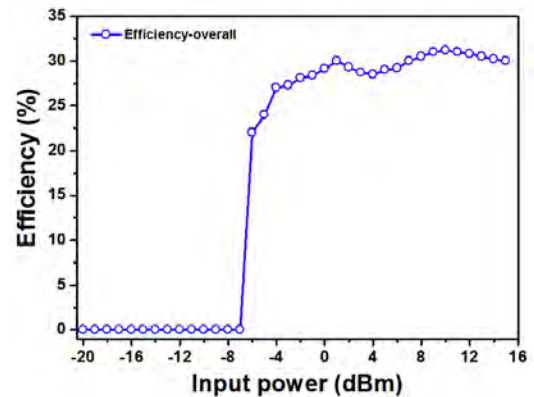


그림 12. 915 MHz 센서 모듈의 효율 측정 결과
Fig. 12. Measured efficiency of the 915 MHz sensor module.

단된다.

3.2 원거리 전력 포집 테스트 모듈 측정 결과

2.4 GHz 원거리 전력 수신 모듈은 HSMS-286C Schottky 다이오드를 이용하여 S11을 -10 dB 이하로 정합 회로를 구성한 후, 해당 모듈의 전력 포집 성능을 측정하였다.

그림 14에서 보는 바와 같이 2.4 GHz 대역의 전력 포집 회로의 경우 실제 전압 변환 회로가 사용하는 전류 등을 포함한 정상 동작이 가능한 최소 입력 RF 전력은 약 0 dBm 인 것으로 확인되었다. 0 dBm 이상의 RF 전력이 입력에 인가되는 상황에서는 전압 변환 회로 등이 모두 정상 동작함을 확인할 수 있다.

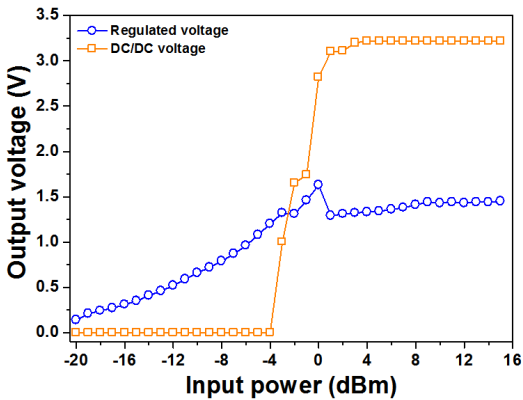


그림 13. 2.4 GHz 전력 포집 회로의 특성 평가 결과
Fig. 13. Output voltage of the 2.4 GHz long range RF energy harvesting module according to the input power level.

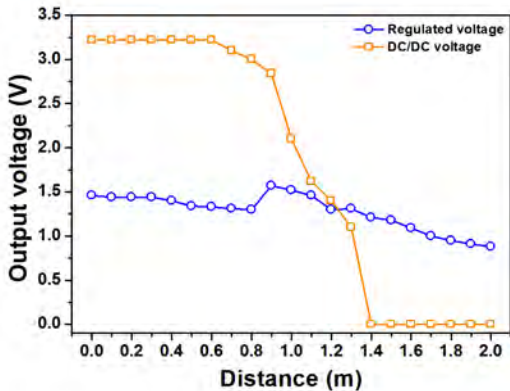


그림 14. 2.4 GHz 전력 증폭기와 전력 포집 회로의 거리에 따른 출력 전압의 특성
Fig. 14. Measured output voltage according to the distance between the power transmitter and the energy harvesting module.

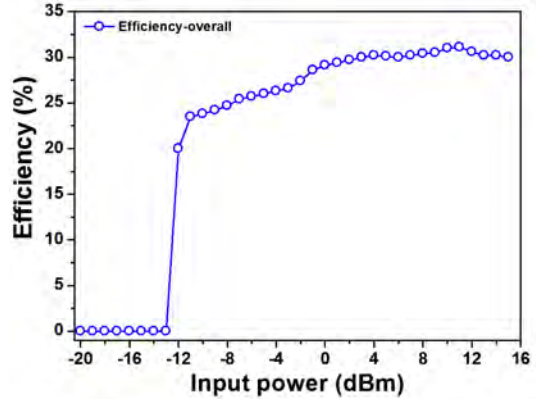


그림 15. 2.4 GHz 전력 포집 회로의 효율 측정 결과
Fig. 15. Measured efficiency of the 2.4 GHz long range RF energy harvesting module according to the input power level.

상기의 그림 15에서 보는 결과는 전력 증폭기 1개를 이용한 측정 결과이다. 최종 목표치는 16개의 전력 증폭기를 이용하여 출력 48 dBm인 경우이나, 현재 측정 결과는 공간의 제약 등에 따라서 1개의 전력 증폭기만을 이용하여 측정한 결과이다. 수신 포집 회로만의 특성을 가정하면 약 1 m 정도까지 전압 변환 회로의 출력이 정상치를 나타낼 것으로 판단하였으나 실제 측정 결과에서는 0.8 m 정도로 이는 포집 회로 자체의 출력과 비교하면 동일 조건에서 약 1 dBm 정도 낮은 포집 성능인 것으로 판단된다.

또한, 1.4 m 정도의 거리 이격이 발생하면 실제 전압 변환 회로의 출력 전압이 0 V가 발생하므로 1개의 전력 증폭기로 동작 가능한 거리는 약 1 m 내외인 것으로 판단된다.

상기의 그림 14에 나타난 2.4 GHz 대역에서의 특성 측정 결과를 살펴보면 전체적인 효율은 915 MHz 대역에서 사용되는 센서모듈보다 약 2 ~ 3% 정도 효율이 더 낮은 것을 알 수 있다. 이는 해당 주파수 대역에서의 손실이 915 MHz 대역에서보다 더 높고, 다이오드에 의한 전압 강하가 더 많은 것으로 판단된다.

IV. 결론

상기에 나타난 바와 같이 무선 전력 포집 테스트 시스템을 구현하였다. 915 MHz를 이용한 근거리 전력 포집 및 데이터 통신 시스템의 경우, 송신 시스템에서의 출력 전력에 대한 제한과 기타 회로에서 사용하는 전류에 따른 통신 가능 거리는 현재 약 30 ~ 50 cm 이나, 출력 전력을 개선하고, 안테나와의 정합 등

을 개선하면 통신 거리 및 전력 포집 거리는 약 2 m 정도까지 개선 가능하리라 판단한다.

상기에 나타낸 바와 같이 무선 전력 포집 테스트 시스템을 구현하였다. 915 MHz를 이용한 근거리 전력 포집 및 데이터 통신 시스템의 경우, 송신 시스템에서의 출력 전력에 대한 제한과 기타 회로에서 사용하는 전류에 따른 통신 가능 거리는 현재 약 30 ~ 50 cm 이나, 출력 전력을 개선하고, 안테나와의 정합 등을 개선하면 통신 거리 및 전력 포집 거리는 약 2 m 정도까지 개선 가능하리라 판단한다.

References

[1] M. S. Seo, Y. D. Kim, H. Jeon, and H. J. Park, "Survey on type of energy harvesting low power wireless communication system," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 570-571, Feb. 2012.

[2] S. Sudevalayam and P. Kulkarni, "Energy harvesting sensor nodes: Survey and implications," *IEEE Commun. Surveys & Tuts.*, vol. 13, no. 3, pp. 443-461, 2011.

[3] S. Lee, H. Yoo, and D. Kim, "Residual energy-aware duty-cycle scheduling scheme in energy harvesting wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 39, no. 10, pp. 691-699, Oct. 2014.

[4] X. Lu, P. Wang, D. Niyato, D. Kim, and Z. Han, "Wireless networks with RF energy harvesting : A contemporary survey," *IEEE Commun. Survey & Tuts.*, vol. 17, no. 2, pp. 757-789, 2015.

[5] C. Merz, G. Kupris, and M. Niedernhuber, "A low power design for radio frequency energy harvesting applications," in *Int. Symp. Wirel. Syst.*, pp. 74-78, Offenburg, Germany, Sept. 2014.

[6] K. Gudan, S. Chemishkian, J. Hull, S. Thomas, J. Ensworth, and M. Reynolds, "A 2.4 GHz ambient RF energy harvesting system with -20dBm minimum input power and NiMH battery storage," in *Proc. IEEE Int. Conf. RFID-Technol. Appl. (RFID-TA)*, pp. 7-12, 2014.

[7] J.-S. Kim, M.-G. Lee, D.-S. Kang, and N.-Y.

Kim, "A development of wireless monitoring system for defense ICT by using energy harvesting," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 557-558, Jan. 2015.

[8] M. Pinuela, P. Mitcheson, and S. Lucyszyn, "Ambient RF energy harvesting in urban and semi-urban environments," *IEEE Trans. Microw. Theory and Tech.*, vol. 61, no. 7, pp. 2715-2726, 2013.

[9] K. Gudan, S. Shao, J. Hull, J. Ensworth, and M. Reynolds, "Ultra-low power 2.4 GHz RF energy harvesting and storage system with -25 dBm sensitivity," in *Proc. IEEE Int. RFID Conf.*, vol. 13, no. 3, pp. 40-46, San Diego, CA, Apr. 2015.

김민재 (Min Jae Kim)



1997년 2월 : 서강대학교 전자공학부 (공학사)
 1999년 2월 : 포항공과대학교 전자공학과 (공학석사)
 2000년~2004년 : FCI 선임연구원
 2009년~2013년 : I&C 수석연구원
 2015년~현재 : 성균관대학교 ERC 센터 연구원

<관심분야> 무선통신용 반도체 부품

임원섭 (Wonseob Lim)



2012년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
 2013년 2월~현재 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정

<관심분야> Analog / Mixed Signal IC Design, RF Power Amplifier IC Design

배 종 석 (Jongseok Bae)



2014년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학사)
2014년 3월~현재 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> RF Power Amplifier IC Design, 무선 전력 전송

트린반 손 (Son Trinh-Van)



2010년 2월 : 베트남 하노이공과대학교 전자통신공학부 (공학사)
2015년 8월 : 동국대학교 전기공학부 (공학박사)
2015년 9월~현재 : 성균관대학교 박사후 연구원
<관심분야> 도파관 슬롯 배열 안테나, 마이크로스트립 안테나, 위상배열 최적화 등

박 주 현 (Ju Hyun Park)



2013년 : 한국외국어대학교 전자공학과 학사
2014년~현재 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터 공학 석사과정
<관심분야> Power Management IC, Wireless Power Transfer, LED Driver, Energy Harvesting

김 동 인 (Dong In Kim)



1980년 : 서울대학교 전자공학과
1984년~1985년 : KT Research Labs 연구원
1987년 : University of Southern California 전기공학 (공학석사)
1990년 : University of Southern California 전기공학 (공학박사)
2002년~2007년 : School of Engineering Science, Simon Fraser University (SFU) 종신 정교수
2008년~2011년 : IEEE Transactions on Wireless Communications 초대지역편집위원
2008년~2013년 : 지식경제부 대학IT연구센터(ITRC) 협력무선통신 연구센터 센터장
2007년~현재 : 성균관대학교 정보통신대학 정교수
2012년~현재 : IEEE Wireless Communications Letters 초대편집장
2014년~현재 : 미래창조과학부 선도연구센터(ERC) 무선에너지 하베스팅 통신융합 연구센터 센터장
<관심분야> Future cellular systems, energy harvesting for IoT

박 영 준 (Young Jun Park)



2013년 : 금오공과대학교 전자공학부 학사
2013년~현재 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터 공학 석박통합과정
<관심분야> Power Management IC, Wireless Power Transfer, LED Driver, Energy Harvesting

이 종 민 (Jong Min Lee)



2014년 2월 : 동국대학교 전기공학부 (공학사)
2014년 3월~현재 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석박사통합과정
<관심분야> 유전체 공진기 안테나

이 강 윤 (Kang Yoon Lee)



2003년 : 서울대학교 전기공학
부 박사 졸업.
2000년~2005년 : (주) 지씨티리
써치 책임 연구원.
2005년~2012년 : 건국대학교
전자공학부 부교수
2012년~현재 : 성균관대학교 정
보통신 대학 부교수

<관심분야> RF & 아날로그 집적회로 설계, 아날로
그/디지털 Mixed Mode 설계

양 영 구 (Youngoo Yang)



1997년 2월 : 한양대학교 전자
공학과 (공학사)
2002년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과 (공학박사)
2002년 3월~2002년 7월 : 포항
공과대학교 전자전기공학과
박사후 연구원

2002년 8월~2005년 2월 : Skyworks Solutions Inc.
(Senior Electronic Engineer)

2005년 3월~현재 : 성균관대학교 전자전기공학부 교수
<관심분야> 초고주파 회로설계, 무선통신 송/수신기
시스템 설계, 비선형 회로 분석 및 시뮬레이션
기법 연구

황 금 철 (Keum Cheol Hwang)



2001년 2월 : 부산대학교 전자
공학과 (공학사)
2003년 2월 : 한국과학기술원 전
기 및 전자전공 (공학석사)
2006년 2월 : 한국과학기술원 전
기 및 전자전공 (공학박사)
2006년 1월~2008년 7월 : 삼성

탈레스 기술연구소 책임연구원
2015년 3월~현재 : 성균관대학교 전자전기공학부 부
교수

<관심분야> 전자파 복사 및 산란 해석, 안테나, 최
적화 알고리즘 등