

# 저전력 IoT 센서 노드를 위한 RF 에너지 하베스팅 시스템 설계

이충진, 김수민, 김준수  
한국산업기술대학교

dlcndwlstmk@kpu.ac.kr, suminkim@kpu.ac.kr, junsukim@kpu.ac.kr

## RF Energy Harvesting System Design for Low Power IoT Sensor Node

Chungjin Lee, Su Min Kim, and Junsu Kim

Korea Polytechnic University

### 요 약

본 논문은 ISM 주파수 대역의 신호를 활용하여 DC 전력으로 변환하는 RF 에너지 하베스팅 기술을 기반으로, RF 에너지 하베스팅 시스템 모듈을 설계 및 제작하여 에너지 하베스팅 효율 검증과 더불어 배터리의 생존 시간 향상 정도를 분석 하였다.

### I. 서 론

최근 사물인터넷(IoT) 기술은 무선 센서 네트워크 기술을 중심으로 연구되고 있다. 무선 센서 네트워크에서 센서들은 운용시간이 제한되어있고, 재충전이 어려워 센서 네트워크의 에너지 부족 문제가 대두되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 빛, 진동, 열, RF 신호와 같은 에너지원으로부터 센서가 동작하는데 필요한 전기 에너지를 얻을 수 있는 에너지 하베스팅 기술이 적용되고 있다[1]. 특히, RF 에너지 하베스팅 기술은 송신기에서 방사되는 RF 대역의 신호들을 수집하여 전력으로 변환해 주는 기술이며, ISM 대역을 사용하는 통신 방식으로 주변 환경에 많이 분포 되어있기 때문에 손쉽게 RF 신호를 수확하여 전력으로 변환 할 수 있는 기술이다.

본 논문에서는 WiFi, BLE, Zigbee에서 사용되는 2.45 GHz 주파수 대역을 입력으로 하는 RF 에너지 하베스팅 시스템이 적용된 센서 모듈을 설계하여, RF 에너지 하베스팅 효율과 더불어 배터리 방전 시간을 측정하여 생존 시간 향상 정도를 분석하였다.

### II. 시스템 모델 및 설계

본 논문에서 설계하고자 하는 시스템 모델은 그림 1과 같이 구성된다. WiFi, BLE 장치와 목적에 적합한 센서 모듈, 마이크로프로세서, RF 신호를 수신하기 위한 안테나 및 임피던스 매칭 회로, 정류회로로 구성되는 RF to DC Converter[2], 전력 관리를 위한 PMIC (Power Management IC)로 구성된다. RF 에너지 하베스팅 효율의 성능은 수신 신호의 크기를 결정하는 임피던스 매칭과 RF to DC Converter의 특성에 달려있다. 본 연구에서는 Powercast사의 PCC110 RF to DC Converter를 사용했다[3]. PCC110은 -17 dBm ~ 20 dBm 의 입력 신호로부터 최대 75% 효율을 달성할 수 있다. 전력 관리를 위한 PMIC는 Texas Instruments사의 BQ25570 칩셋을 사용하여 낮은 입력 전압에서는 Boost Charger 기능이 되는 기능과 안정적인 배터리 충전이 가능하다. 마이크로프로세서와 WiFi, BLE는 ESPRESSIF사의 ESP32 모듈을 사용했다.

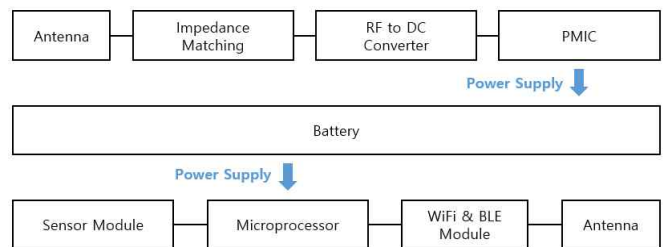


그림 1. RF 에너지 하베스팅 시스템 모델

그림 2는 설계한 RF 에너지 하베스팅 시스템 모듈의 블록 다이어그램을 나타낸다. ISM 주파수 대역 중 902 ~ 928 MHz, 2.4 ~ 2.5 GHz 대역에서의 효율을 측정하기 위해 각 RF 입력으로부터 변환되어 생성된 DC 전력을 스위치를 통해 제어하며, 입력 전압 크기에 따라 Buck-Boost Converter를 통해 안정적으로 배터리에 공급해주며, 전체 모듈이 동작할 경우 보조 전원으로 동작한다. 또한, BLE & WiFi 모듈로 센서 모듈을 제어하고 센싱 데이터를 외부 서버나 컴퓨터로 전송할 수 있도록 설계 했다.

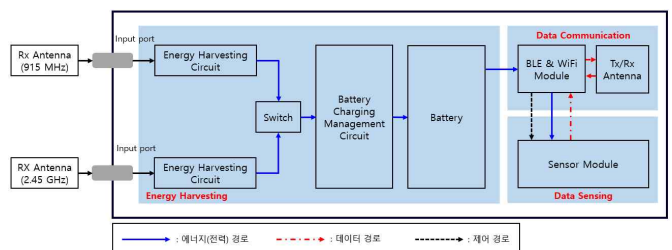


그림 2. RF 에너지 하베스팅 시스템 모듈 블록도

그림 3은 제작한 RF 에너지 하베스팅 시스템 모듈이다. RF 에너지 하베스팅 동작이 수행되면 LED의 ON/OFF를 통해 확인 가능하다.

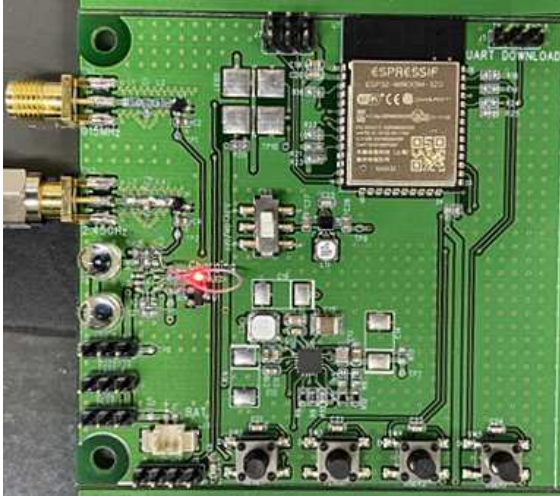


그림 3. RF 에너지 하베스팅 모듈

### III. 성능 평가

National Instruments사의 SDR (Software Defined Radio) 플랫폼인 USRP 2942R 모델과 Labview 소프트웨어를 사용하여 2.45 GHz 대역의 연속 신호를 송출하였으며, RF 케이블을 직접 연결하여 테스트를 진행했다. 그림 4는 제작한 RF 에너지 하베스팅 시스템 모듈에서 2.45 GHz 신호를 수신했을 때 변환되는 DC를 측정하여 변환효율을 나타낸 결과이다. 0 dBm ~ 18 dBm 크기의 신호에서 최대 52% 변환효율을 얻을 수 있다.

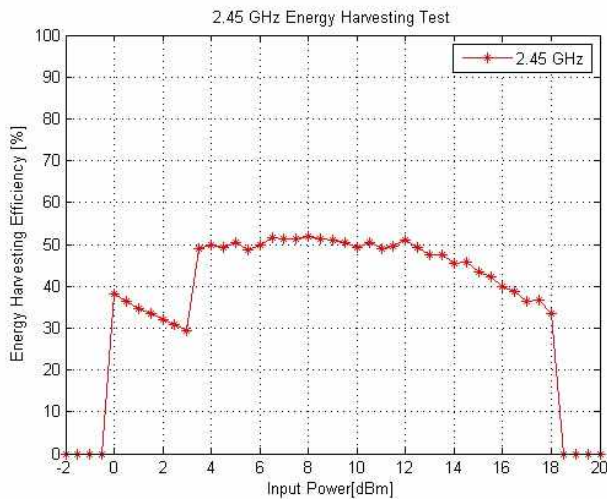


그림 4. RF 에너지 하베스팅 효율

배터리 방전 시간을 측정하기 위해 충전이 가능한 500 mAh 리튬폴리머 배터리를 연결하여 RF 에너지 하베스팅 시스템 모듈이 방전되는 시간을 측정했다. 그림 5는 ESP32 모듈을 동작시킨 상태에서 2.45 GHz 대역 18 dBm의 연속 신호를 입력으로 RF 에너지 하베스팅이 수행 되었을 때 배터리가 방전되는 시간과 하베스팅 하지 않았을 경우 배터리가 방전되는 시간을 측정한 결과이다. 측정 결과로 배터리 방전 시간은 288분으로 측정 되었으며, RF 에너지 하베스팅을 수행한 경우 313분으로 측정 되었다. 배터리의 생존 시간이 약 8.68% 향상됨을 확인했다.

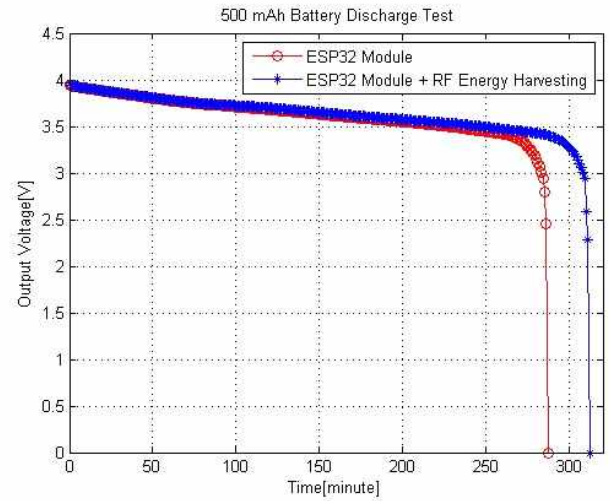


그림 5. 배터리 방전 시간 측정 결과

### IV. 결론

본 논문에서는 저전력 IoT 센서 노드에서 배터리의 생존 시간을 향상시키기 위한 방법으로 RF 에너지 하베스팅 시스템을 적용하여 분석하였으며, 실제 RF 에너지 하베스팅 시스템 모듈을 설계 제작하여 측정을 통해 생존 시간이 향상되었음을 확인했다.

향후 연구로, 배터리 생존 시간을 더욱 향상시키기 위해 멀티 소스 에너지 하베스팅을 적용하여 더욱 높은 에너지를 생성하여 배터리 생존 시간을 높이기 위한 연구가 필요하다[4].

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1A2C1013150)

### 참 고 문 헌

- [1] T. D. Ponnimbaduge Perera, D. N. K. Jayakody, S. K. Sharma, S. Chatzinotas and J. Li, "Simultaneous Wireless Information and Power Transfer (SWIPT): Recent Advances and Future Challenges," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 1, pp. 264-302.
- [2] X. Lu, P. Wang, D. Niyato, D. I. Kim and Z. Han, "Wireless Networks With RF Energy Harvesting: A Contemporary Survey," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 2, pp. 757-789, Secondquarter 2015.
- [3] Powercast Corporation, "PCC110 / PCC210 Power-harvester Chipset," datasheet, Aug. 2015.
- [4] S. Siskos et al., "Design of a flexible multi-source energy harvesting system for autonomously powered IoT : The PERPS project," 2019 29th International Symposium on Power and Timing Modeling, Optimization and Simulation (PATMOS), 2019, pp. 133-134.