



# Power CT를 이용한 USN 센서노드용 자율독립전원 시스템 설계

손원국\*, 정재기\*\*

## Design of Autonomous Independent Power System for USN Sensor Node Using Power CT

Won-Kuk Son\*, Jae-Kee Jeong\*\*

---

본 연구는 중소벤처기업부의 지역특화산업육성(R&D) 기술개발 사업의 지원(R0006071)으로 수행되었습니다.

---

### 요 약

다양한 분야에 적용이 확대되고 있는 무선 센서 네트워크 기술은 센서들의 전력공급 및 전원관리 문제가 가장 큰 핵심이 되고 있다. 이러한 이유에서 새로운 개념의 전력공급장치와 전원관리장치가 요구된다. 이에 본 논문에서는 송전선에 흐르는 전류를 이용하여 전자기유도 원리에 의한 에너지 하베스팅 기술을 적용하여 별도의 외부 입력 없이 센서노드에 안정적인 전력을 공급하는 자율독립전원 시스템을 개발하였다. 제안한 자율독립전원 시스템은 Power CT를 활용한 전력공급장치와 충전회로를 포함한 전원관리장치로 구성되었다. 전원관리장치는 배터리의 충전의 안전성을 확보하기 위하여 전압제한회로, 충전전압/전류 모니터링 회로를 적용하였다. 제안된 시스템의 성능검증을 위하여 SVL진단장치에 적용하여 실험한 결과 안정적으로 운용됨을 확인할 수 있었다.

### Abstract

In wireless sensor network technology, which has been applied to various fields, the power supply and the power management of sensors are the most important issues. For this reason, a new concept of power supply and power management device is required. In this paper, we developed an autonomous independent power supply system that supplies the stable power to a sensor node without an additional external input by applying the energy harvesting technology using the electromagnetic induction principle by utilizing the current flowing in the transmission line. The proposed autonomous independent power supply system consists of a power supply using Power CT and a power management system including a charging circuit. The power management device uses a voltage limiter circuit and a monitoring circuit of charging voltage and current to ensure the safety of charging of the battery. In order to verify the performance of the proposed system, we applied it to the SVL diagnostic system and confirmed that it operates stably.

### Keywords

wireless sensor network, energy harvesting, power supply, power management, transmission line

---

\* 한빛이디에스(주)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0173-3957>

\*\* 한빛이디에스(주) 대표이사(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7595-7710>

· Received: Nov. 16, 2018, Revised: Dec. 11, 2018, Accepted: Dec. 14, 2018

· Corresponding Author: Jae-Kee Jeong

Hanbiteds, 44-10, Techno10-ro, Daejeon, Korea,

Tel.: +82-42-607-8001, Email: [jacky1961@hanmail.net](mailto:jacky1961@hanmail.net)

## 1. 서 론

오늘날 무선 센서 네트워크 기술은 사물의 네트워크를 통해 통신하며 지능화, 자율화 되어 인간 생활에 폭 넓게 활용되며 대량의 센서 데이터를 수집, 필터링하는 미들웨어 기술과 다양한 산업 분야에 응용 서비스 제공을 위한 응용 플랫폼 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 또한, USN 기술에 대한 적용 분야가 확대되어 홈 네트워크를 이용한 방법 서비스, 원격 진료 서비스, 대형 건물에서 이용 가능한 에너지 절약 서비스, 지능형 빌딩 서비스, 일상생활에서 이용 가능한 응급 구난 서비스, 어린이 및 노인 위치 추적 서비스 등 다양한 분야에서 응용 기술이 개발되고 있다. 이렇게 다양한 환경에서 응용되고 있는 무선 센서 네트워크 시스템에서 사용되는 센서 들의 전력공급원인 배터리의 잔량 유무를 정기적으로 확인하고 교체하는 것은 대단히 힘든 일이기 때문에 센서들의 전력공급 및 전원관리 문제가 가장 큰 핵심이 되고 있다. 이러한 이유에서 새로운 개념의 전력공급장치와 전원관리 장치가 요구되어 지고 있다[2]-[4].

우리 주변은 열, 진동, 빛, 전파 등 다양한 형태의 에너지로 차 있고, 이를 이용해 전력으로 변환해 활용하는 기술을 에너지 하베스팅(Energy Harvesting)이라고 한다. 에너지 하베스팅은 태양광발전이나 풍력발전과 같은 신재생 에너지기술보다 훨씬 더 작은 규모의 에너지 변환기술을 가리키며, 대체로 소비전력이 적은 소형전자기기를 동작시킬 수 있을 정도의 에너지 변환 기술이다[5]-[7]. 일반적으로 solar cell을 이용한 에너지 변환 기술이 많이 사용되나, solar cell의 특성상 위치 및 기상조건에 제약이 있고, 사용 수명에 한계가 있는 단점이 있다.

이에 본 논문에서는 지상 또는 지중의 송전선에 흐르는 전류를 Power CT를 이용하여 전자기유도 원리에 의한 에너지 하베스팅 기술을 적용하여 별도의 외부 입력 없이 영구적으로 센서노드에 안정적인 전력을 공급하는 자율독립전원 시스템을 개발하였다.

본 논문의 2. 본론 2.1에서는 자율독립전원 시스템의 개요 및 구성에 관해 설명하고, 2.2에서는

Power CT기반 전력공급장치에 관해서, 2.3에서는 전원관리장치에 관해서 설명한다. 마지막 3. 결론 부분에서는 향후 개발 시스템의 응용 가능분야에 대하여 논하고 논문의 결론을 맺는다.

## II. 본 론

### 2.1 Power CT를 이용한 USN 센서노드용 자율독립전원 시스템

그림 1은 Power CT를 이용한 자율독립전원 시스템 블록도이다. 시스템은 Power CT를 이용한 전력공급 장치와 정류기, 전압제한회로, 전원회로, 충전회로를 포함한 전원관리장치로 구성되었다. 전체 시스템 동작은 다음과 같다. 송전선에 흐르는 수십 암페어의 교류 전류가 Power CT에 의해 2차 측으로 전달되고, 전달된 2차 측 교류 전류는 Bridge rectifier와 DC/DC Converter를 거쳐 배터리의 충전 전압으로 사용 된다. 이 때 전원 관리 장치의 전압/전류 감시 장치에서 상태 모니터링을 통해 배터리의 충전 전압/전류를 감시하게 된다.

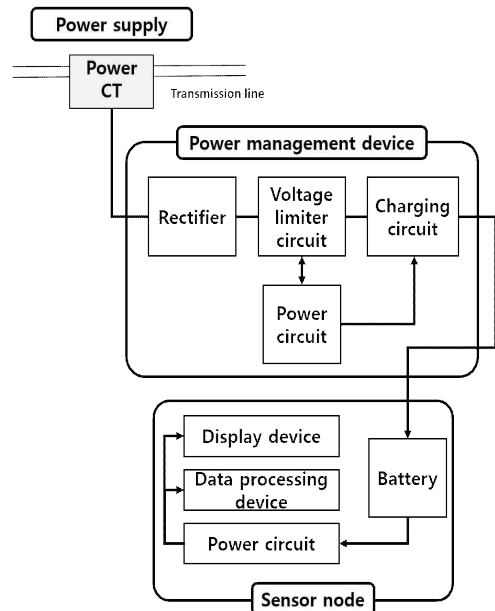


그림 1. 자율독립전원 시스템 블록도  
Fig. 1. Autonomous independent power system block diagram

## 2.2 Power CT 기반 전력공급장치

CT(변류기)란 1차측의 교류 전류를 2차측 교류 전류로 전달하는 장치이다. 그림 2는 변류기의 기본 회로이다. 1차측에 교류전류( $i_1$ )을 흘려보내면 암페어의 오른손 법칙에 의해 자계가 발생한다. 이때 발생한 자속은 철심(Core)를 통해 이동한다. 철심을 통해 이동하는 자속이 2차측 권선에 쇄교하면서 기전력이 유기 된다. 이 때 유기되는 기전력(E)의 크기는 패러데이 전자기유도 법칙에 따라 식 (1)과 같다.

$$E = -n \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

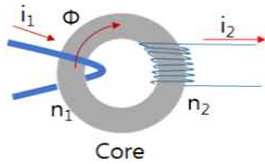


그림 2. 변류기  
Fig. 2. Current transformer



그림 3. 전력공급장치에 사용된 Power CT  
Fig. 3. Power CT products used in power supplies

2차 전류는 권선비에 반비례하며 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$i_2 = i_1 \times \frac{n_1}{n_2} \quad (2)$$

Power CT 송전선로에 흐르는 전류를 고려하여 선정 하였다. 그림 3은 전력공급장치에 사용된 Power CT 이다.

### 2.2.1 Power CT 성능 테스트

전력공급장치에 사용된 Power CT성능 검증을 위해 최대 출력 전력 시험을 진행하였다. 시험 방법은 대전류 발생장치로 CT의 1차측 전류를 공급하고, 2차측의 정류다이오드의 출력을 커패시터와 저항을 병렬로 연결하여 구성하였다. 그림 4는 Power CT 성능 시험 구성도이다.

성능 측정은 1차 측 공급 전류를 5A, 10A, 50A, 100A로 변경하고, 1차 측 각각의 전류에 따라 2차 측 저항을 33.7Ω, 50Ω, 100Ω, 200Ω, 1KΩ, 10kΩ로 변경하며 측정되는 전압을 측정하여 출력 전력을 계산하였다. 표 1은 측정된 전압으로부터 계산된 출력 전력이다.

표 1. 측정된 전압으로부터 계산된 출력 전

Table 1. Output power calculated from the measured voltage

2차 저항 \ 1차 전류	10kΩ	1kΩ	200Ω	100Ω	50Ω	33.7Ω
5A	0.0088	0.0637	0.0779	0.0512	0.0291	0.0204
10A	0.0462	0.2993	0.3292	0.2136	0.1172	0.0806
50A	0.3025	2.7428	8.0878	5.3824	2.9760	2.0393
100A	0.4900	4.3405	15.292	19.550	12.110	8.2786

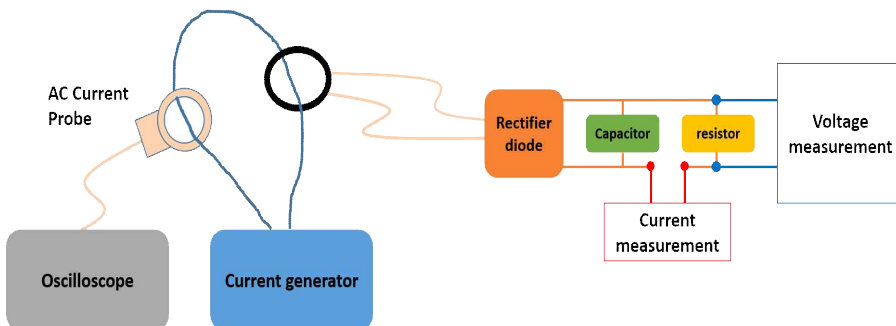


그림 4. Power CT 성능시험 구성도  
Fig. 4. Power CT test configuration diagram

그림 5는 1차 측 전류에 따른 2차 측 전류와 전력의 관계 그래프이다. 시험 결과 선정된 Power CT는 1차 측에 100A 전류를 인가하고, 2차 측 저항을 100Ω으로 구성하면 19.6W의 최대 전력을 얻을 수 있음을 확인하였다.

### 2.3 전원관리장치

전원관리장치는 전력공급장치로부터 인가된 AC 전원을 Bridge rectifier와 DC/DC Converter를 거쳐 배터리의 충전 전압으로 사용 될 수 있게 설계 하였다. 충전회로 보호를 위한 전압제한회로와 배터리

상태 모니터링을 위해 전압/전류 감시 장치를 적용 하였다. 설계된 전원관리장치는 전력공급장치인 Power CT의 출력을 최대 3개까지 수용할 수 있도록 설계하였다. 그림 6은 전원관리장치의 세부 구성도이다.

전압제한회로는 Comparator, Gate Driver, MOSFET을 사용하여 설계하였다. 제한전압은 식 (3)을 통해 30.0V로 설정하였다.

$$V_{in} = V_{ref} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \tag{3}$$

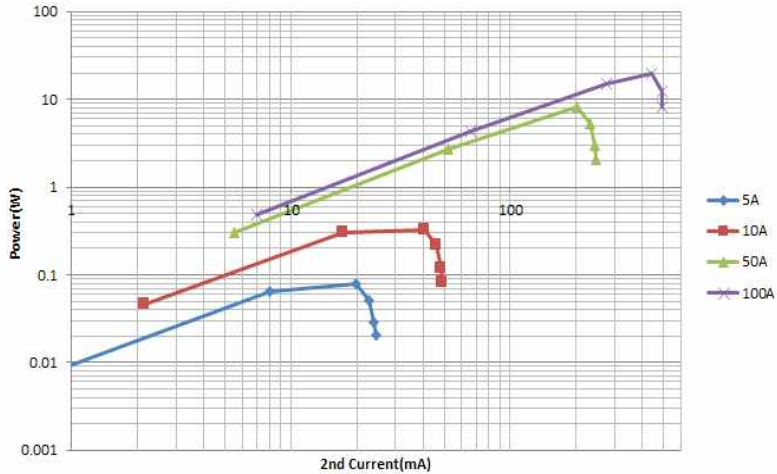


그림 5. 1차 측 전류에 따른 2차 측 전류와 전력의 관계 그래프  
Fig. 5. Graph of correlation between secondary current and power according to primary current

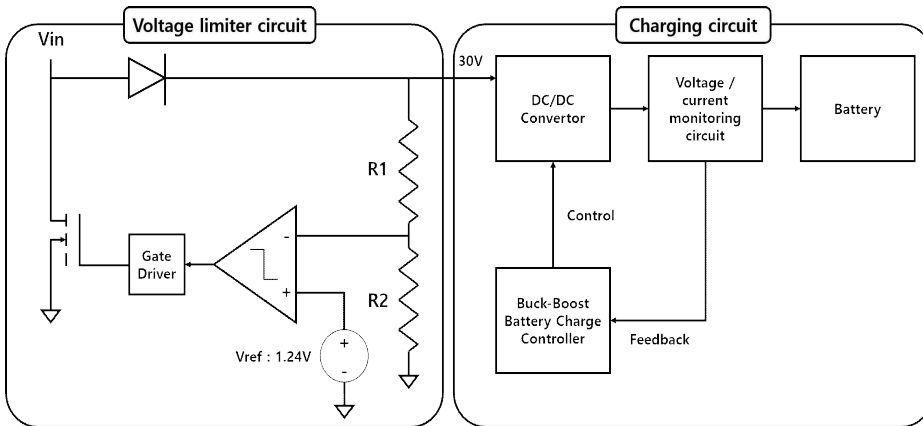


그림 6. 전원관리장치의 세부 구성도  
Fig. 6. Detailed configuration of power management device

식 (3)에서  $V_{in}$ 은 정류된 전압이고,  $V_{ref}$ 는 comparator의 기준 전압이다.  $V_{in}$ 이 30.0V가 되면 R2에 인가되는 전압에 의해 comparator가 동작하고, Gate Driver 출력( $V_{gate}$ )을 통해 MOSFET은 단락되어 제한전압을 유지하도록 동작한다.

그림 7은 전압제한회로의 입력전압과 comparator의 출력전압을 측정된 결과이다. 측정 결과 입력전압이 31.0V에서 comparator가 동작함을 확인하였다. 측정 결과와 식 (3)을 통해 설정한 값의 오차는 입력과 출력 사이의 다이오드와 저항의 오차율에 의한 것으로 정상동작으로 판단할 수 있다. 그림 8은 전압제한 회로의 출력전압과 Comparator의 출력전압을 측정된 결과이다.

배터리 상태 모니터링을 위한 전압/전류 감시 장치는 상용 Buck-Boost Battery Charge Controller (LT8490)를 사용하여 구현하였다.

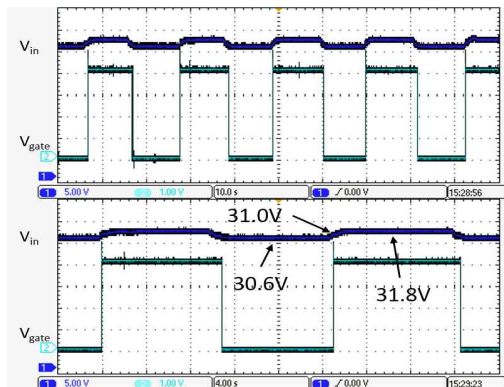


그림 7. 전압제한회로 측정 결과 (입력전압, Comparator 출력전압)

Fig. 7. Test result of voltage limit circuit (input voltage, comparator output voltage)

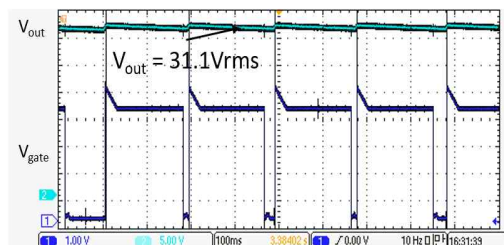


그림 8. 전압제한회로 측정 결과 (출력전압, Comparator 출력전압)

Fig. 8. Test result of voltage limit circuit (output voltage, comparator output voltage)

LT8490는 대부분의 배터리 충전에 사용되는 정 전류-정전압(CC-CV)충전방식을 적용한 Battery Charge Controller로 배터리 충전전압과 충전전류를 모니터링하여 배터리 충전을 위한 DC/DC Converter를 제어하고, 배터리의 상태와 충전모드에 대해 LED로 표시해주는 기능을 포함하고 있다[8]. 그림 9는 제작된 전원관리장치이다.

제작된 전원관리장치를 적용하여 배터리 충전실험을 진행하였다. 그림 10은 배터리 충전실험 구성도이다. 배터리 충전을 위한 전류원은 저항부하와 단상 220V 전원을 사용하여 22A의 전류를 발생시켜 실험하였다. 실험은 Power CT의 수를 증가시키며 충전전력과 충전전류를 확인하였다.

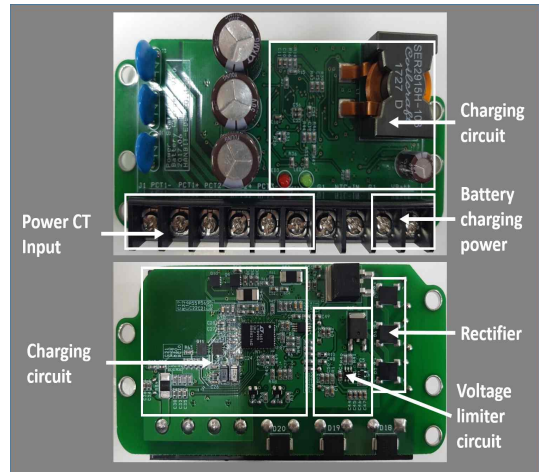


그림 9. 제작된 전원관리장치

Fig. 9. Fabricated power management device

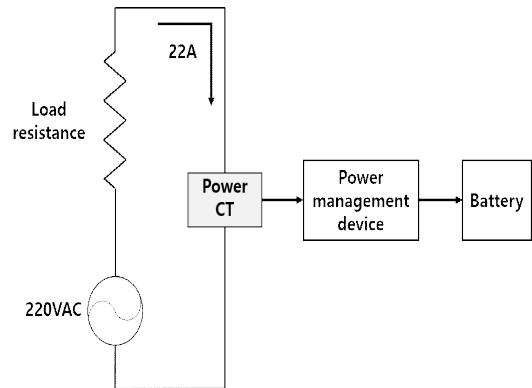


그림 10. 배터리 충전실험 구성도

Fig. 10. Battery charging experiment configuration diagram

표 2는 22A기준 CT 수에 따른 충전전력과 충전 전류 실험결과이다. 실험결과 Power CT 1개를 적용 시 총 소비전력이 1W정도의 센서노드를 안정적으로 운영이 가능할 것이다.

표 2. CT 수에 따른 충전전력과 충전전류  
Table 2. Charging power and charging current according to the number of CT

Metrics \ Power CT	1	2	3
Charging Power [W]	1.4	4.5	7.5
Charging Current [A]	0.18	0.6	1

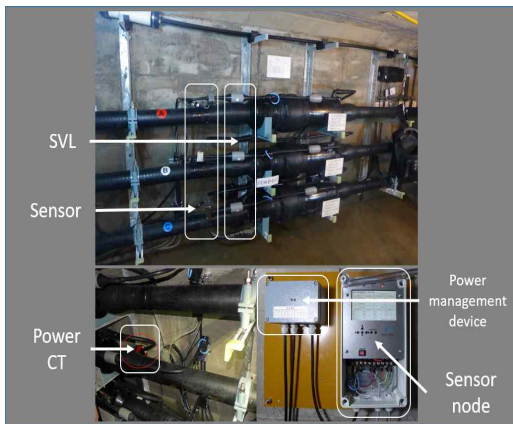


그림 12. 자율독립전원 시스템 실험 사진  
Fig. 12 Experimental configuration diagram of autonomous independent power system

## 2.4 자율독립전원 시스템 실험

본 논문에서 제안한 자율독립전원 시스템 성능 검증을 위한 실험을 진행하였다. 실험은 SLV(Sheath Voltage Limiter)진단장치를 센서노드로 그림 11과 같이 구성하여 진행하였다. SVL진단장치는 지중 송전선의 낙뢰 및 서지전압의 대책으로 설치되는 SVL의 누설전류를 진단하여 열화 상태를 점검하는 장치이다. 실험에 사용된 SVL진단장치는 상위외부 장치와의 이더넷통신모듈을 포함한 총 소비전력이 1.8W로 Power CT 2개를 사용하여 안정적으로 운용됨을 확인하였다.

## III. 결 론

본 논문에서는 Power CT를 이용하여 USN 센서노드용 자율독립전원 시스템을 제안하였다. 제안하는 시스템은 별도의 외부 입력 없이 송전선에 흐르는 전류를 활용하여 센서노드에 안정적인 전력을 제공한다. 자율독립전원 시스템은 전원공급장치, 전원관리장치로 구성하였다. 전원공급장치는 Power CT를 적용하여 전원관리장치에 전력을 공급한다. 송전선에 흐르는 전류를 고려하여 선정된 Power CT는 성능시험을 통해 100A 전류를 1차 측에 인가하고, 2차 측 저항을 100Ω으로 구성하면 최대 19.6W의 전력을 얻을 수 있음을 확인하였다.

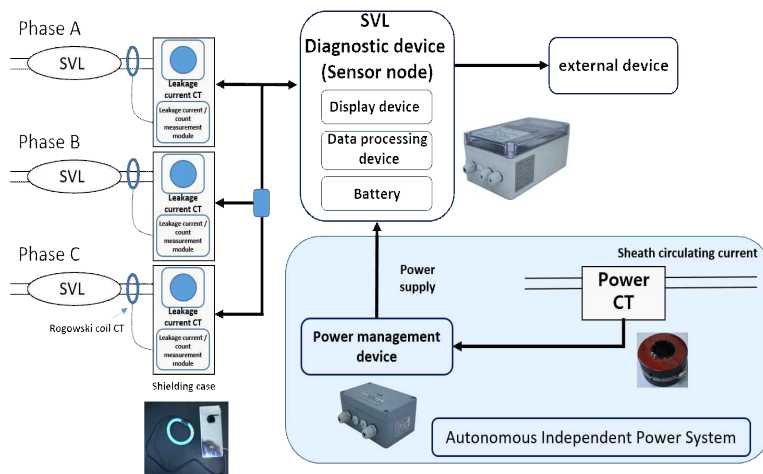


그림 11. 자율독립전원 시스템 실험 구성도  
Fig. 11. Experimental configuration diagram of autonomous independent power system



제작된 전원관리장치는 실험을 통해 Power CT 1 개를 적용 할 경우 소비전력이 1W인 센서노드의 전원으로 운용이 가능함을 확인하였고, 시스템이 최대수용 가능한 Power CT를 사용할 경우 7.5W까지 운용이 가능함을 확인하였다. 또한 제안된 시스템을 SVL진단장치에 적용 실험한 결과 안정적으로 운용됨을 확인하였다.

이에 제안한 시스템은 전원공급 및 배터리 관리가 어려운 다양한 환경의 센서노드에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

energy transfer testbed based on off-the-shelf components for IoT application", Journal of KICS, Vol. 40, No. 10, pp. 1912-1921, Oct. 2015.

[7] S. J. Lee, D. D. Choe, and N. Y. Kim, "A feasibility study on the energy harvesting technology for batteryless beacon system", Proc. KICS Winter Conf., Jeongseon, Korea, pp. 1150-1151, Jan. 2016.

[8] Analog Device, <https://www.analog.com>. [accessed: Jul. 09. 2018]

## References

- [1] H. W. Kim, H. J. Park, S. M. Lim, J. H. Oh, H. H. Roh, and J. S. Park, "Design and Implementation on High Efficient EPMS (Energy-Power Management System) for USN Sensor Node Using Self-Charging Module", Journal of KIEE, Vol. 60, No. 1, pp. 124-130, Jan. 2011.
- [2] K. S. Jeong, S. C. Choi, W. J. Jeong, T. H. Kim, J. H. Kim, D. M. Seo, Y. H. Park, and J. S. Yoo, "Design and Implementation of a Power-Saving Management System using Intelligent Scheduler based on RFID/USN Technology", Journal of KCA, Vol. 9, No. 12, pp. 76-80, Dec. 2009.
- [3] Brett Warneke, "Smart Dust : Communicating with a Cubic-Millimeter Computer", Computer Magazine, Vol. 34, No. 1, pp. 44-51, Jan. 2001.
- [4] E. M. Yeatman, "Advances in Power Sources For Wireless Sensor Nodes", Proc. 1st International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, London, The United Kingdom, pp. 1-2, Apr. 2004.
- [5] H. D. Jang, "Study on Design Method of Energy Harvesting System for BLE Beacon", Journal of KICS, Journal of KICS, Vol. 42, No. 01, pp. 149-152, Jan. 2017.
- [6] A. A. Aziz, D. Tribudi, L. Ginting, P. A. Rosyady, D. Setiawan, and K. W. Choi, "RF

## 저자소개

손 원 국 (Won-Kuk Son)



2006년 2월 : 충북대학교  
전기전자컴퓨터공학부(공학사)  
2008년 8월 : 충북대학교  
전파통신공학과(공학석사)  
2011년 2월 : 충북대학교  
전파통신공학과(박사수료)  
2018년 7월 ~ 현재 : 한빛EDS(주)

과장

관심분야 : IoT, RF회로, Antenna, 에너지하베스트

정 재 기 (Jae-Kee Jeong)



1985년 2월 : 충남대학교  
전기공학과(공학사)  
1987년 2월 : 한양대학교  
전기공학과(공학석사)  
1997년 2월 : 한양대학교  
전기공학과(공학박사)  
1999년 6월 ~ 현재 : 한빛EDS(주)

대표이사

관심분야 : 전력전자, 송수전, 전력 IoT