

# 자기유지 시스템용 효율적인 에너지 사용을 위한 에너지 전력 관리 시스템 연구

## A Study on the Energy-Power Management System for Self-Sustaining Sensor Node System

황지훈\*, 김종홍\*, 김현웅\*, 노형환\*, 오하령\*, 성영락\*, 박준석\*  
 Ji-Hun Hwang, Jong-Hong kim, Hyun-woong Kim, Hyoung-Hwan Roh,  
 Ha Ryoung Oh, Yeong Rak Seong, and Jun-Seok Park

### Abstract

WBAN/USN systems are applied from the various environment. Therefore, it is coming to be important efficient use power and communication method. The present paper materialize Slave node system which get power from light energy. Also, it materialize Wake-up module and self-power-off circuit which use S-R Flip Flop for efficient using power. This system can be efficient using power at Slave node system. Also, it can be possible application of Self sustaining system by performance verification Wake-up module which determine system "on" without power and Self-power-off circuit.

**Keywords :** WBAN/USN, Master Node, Slave Node, Wake-up, S-R Flip Flop

### I. 서 론

하나의 빌딩에서도 수 백, 수천 개의 센서가 운용되는 유비쿼터스 사회에서 사용되는 센서 각각들은 각각의 배터리 문제가 발생한다[1]. 배터리 문제를 해결하기 위한 방법 중에 하나로 센서의 수명만큼 긴 수명을 갖는 배터리를 사용하는 것은 그 크기나 가격 문제 때문에 적절하지 않다.

통신방식이 요구되고 있다 [2].

본 논문에서는 새로운 개념의 전력 공급 장치로 빛 에너지를 기반으로 한 자기유지 시스템을 개발하고, 해당 시스템 내의 효율적인 에너지-전력 관리를 위한 방법을 제안하고 검증하였다.

### II. 본 론

#### 1. WBAN/USN 슬레이브 노드

그림 2는 슬레이브 노드의 구조를 나타내고 있다. 자기유지 시스템의 동작은 먼저 슬레이브 노드의 대기 상태에서 시작된다. 대기 상태의 슬레이브 노드는 태양 전지 (Solar Cell)를 이용하여 주변의 빛으로부터 전력을 추출하여 고용량 저장 커패시터에 충전하게 된다.

효율적인 에너지 사용을 위해 본 논문에서는 웨이크업 모듈과 S-R Flip Flop을 사용한 자가 전원 차단 (Self-Power Off) 방식을 제안 및 구현하였다.

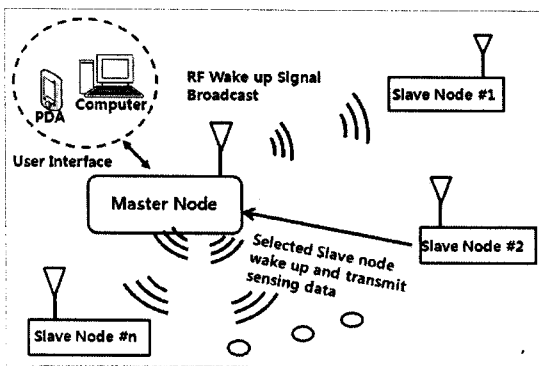


그림 1. WBAN/USN 자기유지 시스템 개념도  
 Fig1. WBAN/USN Self-Sustaining System Concept

이러한 이유에서 새로운 개념의 전력 공급 장치와 이것으로 구동되는 센서 그리고 이 센서간의 효율적인 운용 및

접수일자 : 2009년 8월 11일  
 최종완료 : 2009년 8월 18일  
 \*국민대학교 전자공학부  
 교신저자, E-mail : jspark@kookmin.ac.kr

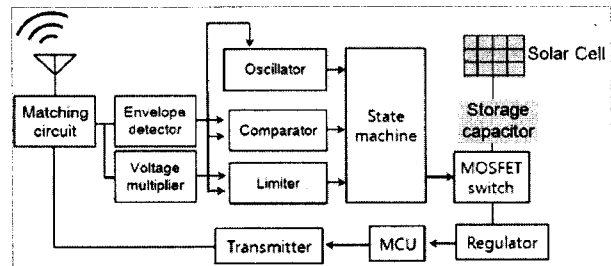


그림 2. WBAN/USN 슬레이브 노드 구조도  
 Fig 2. WBAN/USN Slave Node System

1.1 Wake-up 모듈

웨이크업 모듈은 크게 전압 체배기, 복조기, 상태 기계로 구성되어 있다. 마스터 노드로부터 입력되는 RF 신호로부터 전압 체배기에서는 상태 기계를 동작시킬 수 있는 전압을 체배하고, 복조기에서는 입력된 RF 신호에서 ID 신호를 복조하여 상태 기계로 보내주는 역할을 한다. ID 신호를 받은 상태기계는 복조된 ID 신호와 해당 시스템의 ID를 비교하여 전체 시스템의 활성화 여부를 판단하여 시스템을 On-Off 할 수 있도록 한다[3]. 또한 자가 전원 차단 회로는 시스템의 대기 전력 소모를 없애 적은 양의 획득 에너지로도 시스템이 동작 가능하도록 하였다.

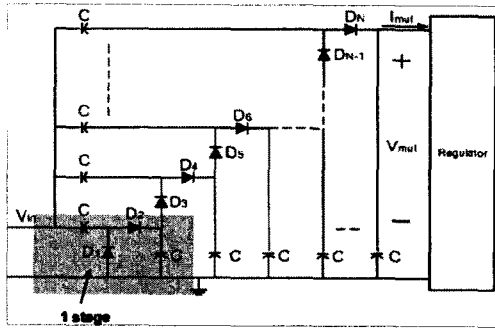


그림 3. 전압 체배기 회로도  
Fig 3. Voltage Multiplier Schematic

그림 3의 전압체배기는 마스터 노드에서 슬레이브 노드로 웨이크업(wake-up)신호를 보내면 슬레이브 노드의 안테나에서 그 신호를 받아서 전압을 생성한다. 전압체배기의 회로는 쇼트키 다이오드를 이용한 Dickson 구조[4]로 구현하여 전압을 2.3V 까지 승압시켰다. 외부의 에너지 공급 없이 입력되는 RF 신호만으로 복조기와 상태기계를 동작시키는 전력을 전압 체배기에서 직접 공급할 수 있도록 하였다. 또한 전압 체배기 회로에서 제한(Limiter)회로를 넣음으로써 큰 전압이 인가되었을 때 전압체배기 내부의 능동소자가 포화되어 제대로 동작하지 못하는 현상을 방지하고 안정적으로 동작하도록 하였다.

그림3의 복조기는 마스터 노드의 진폭변조(ASK Modulation)된 신호를 복조하고 추출한 데이터를 상태기계로 넘겨주는 역할을 한다. 복조기 회로는 포락선 검파기(Envelope Detector)와 슈미트트리거(Schmitt triggers)를 사용하여 보다 정확한 데이터를 추출 할 수 있도록 하였다.

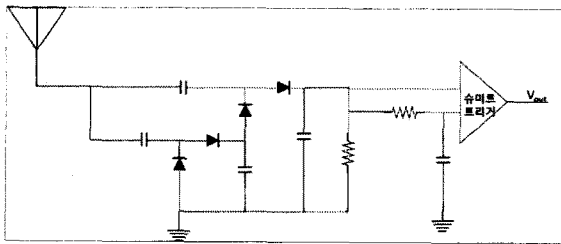


그림 4. 복조기 회로도  
Fig 4. Envelop Detector Schematic

복조기로부터 데이터를 받은 상태기계는 복조된 신호를 체크하여 자신이 가지고 있는 아이디 데이터와 비교하게 된다. 복조된 신호가 웨이크업 신호일 경우 스위치를 트리

거 하여 전력 공급부에 신호를 보내 전체 시스템에 전원을 공급하게 된다. 만약 웨이크업 신호가 아닐 경우 시스템 전원을 차단하는 상태를 계속 유지하도록 하였다.

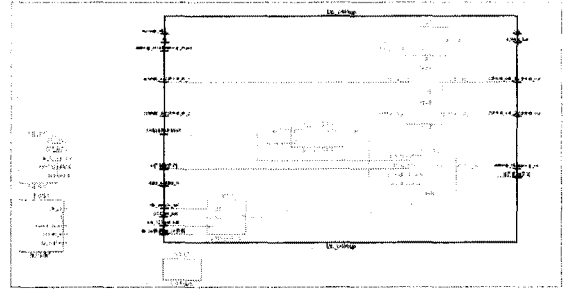


그림 5. 상태기계 회로도  
Fig 5. State-Machine Schematic

1.2 S-R Flip Flop을 이용한 Self Power-Off 회로

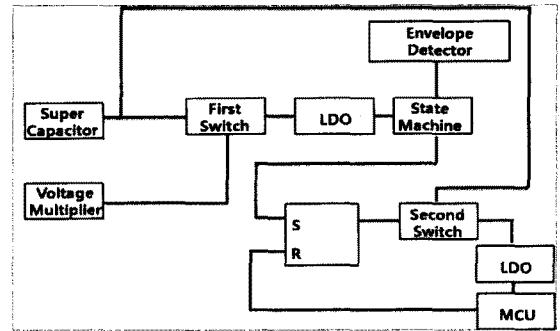


그림 6. S-R Flip Flop을 이용한 웨이크업 모듈 구조도  
Fig 6. Wake-up Module for using S-R Flip Flop

본 논문에서는 그림 6에서와 같이 기존에 구현한 웨이크업 모듈 방식에 S-R Flip Flop과 BJT로 구성된 스위치를 웨이크업 모듈 내에 추가로 구성하여 전압 체배기 성능에 따른 영향을 거의 받지 않는 안정적인 웨이크업 모듈을 제안하였다.

동작 원리를 살펴보면 전압 체배기에서 일정 전압 레벨 이상(BJT 동작 전압 레벨)이 체배가 되면 BJT로 구성된 첫 번째 스위치를 동작 시키게 된다. 스위치가 동작하면 슈퍼 커패시터에 충전된 전압이 LDO(Low Drop Output Regulator)로 인가되고, LDO는 인가된 전압으로 상태 기계를 동작하는데 필요한 전원을 안정적으로 공급하게 된다. 전압 체배기에서 체배된 전압을 그대로 상태 기계로 공급 할 경우 거리에 따른 체배 전압의 크기가 달라서 일정 거리 이상일 경우에는 안정적인 전력 공급이 어려웠지만 제안된 회로를 적용하여 거리에 상관없이 안정적으로 상태 기계에 전원을 공급이 가능 하도록 하였다.

웨이크업 모듈의 성능 향상과 더불어 슬레이브 내의 전체 시스템 활성화 후 동작이 완료되면 마이크로 컨트롤러에서 조절기를 끄면서 스위치가 단락되고, 스위치 단락 후 전원부와 송신부가 단락되어 다시 대기 상태로 돌아가게 되는 자가 전원 차단 회로를 구현함으로써 대기 상태의 전력 소모가 없다는 장점이 있다.

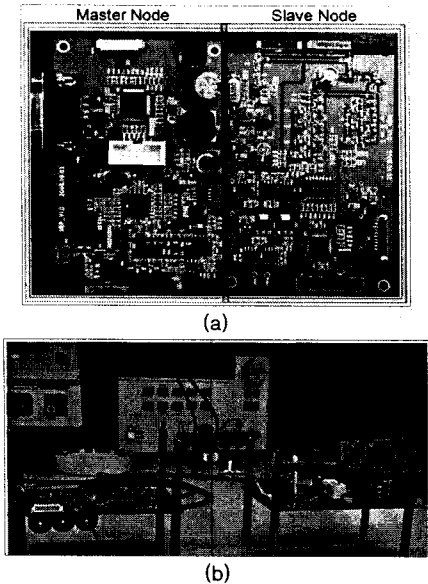
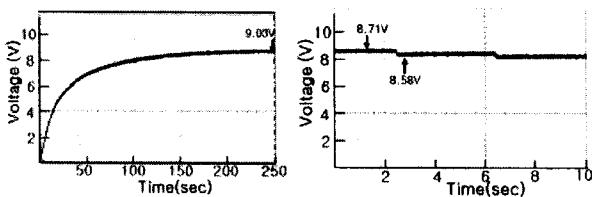


그림 7. 마스터노드, 슬레이브노드 보드 사진(a)과 측정 환경(b)  
 Fig 7. Master/ Slave Node Board (a) Test Environment(b)

III. 구현 및 측정 결과

그림 7은 구현한 마스터 노드와 슬레이브 노드이다. 그림 8(a)은 슬레이브 노드의 저장 커패시터로 충전되는 전압을 측정한 값이다. 1000uF의 저장 커패시터를 사용하였고, 약 4분 충전 시 9V의 전압을 획득함을 확인하였다. 그림 8(b)는 슬레이브 노드 동작 시 전압강하를 나타낸 그림이다. 슬레이브 노드 한번 동작 시 충전된 전압을 약 0.13V 사용함을 확인하였다.

마스터노드에서 Wake-up 신호를 보내줄 때 슬레이브 노드에서 측정된 전압 체배기 출력 전압은 그림 9에 나타내었다. 5V이상의 전압도 측정되었지만 뒷단에 Voltage



(a) 태양전지로부터 획득되는 전압 (b) 슬레이브 동작시 전압  
 그림 8. 저장 커패시터의 전압 파형

그림 8. Voltage Output of Storage Capacitor

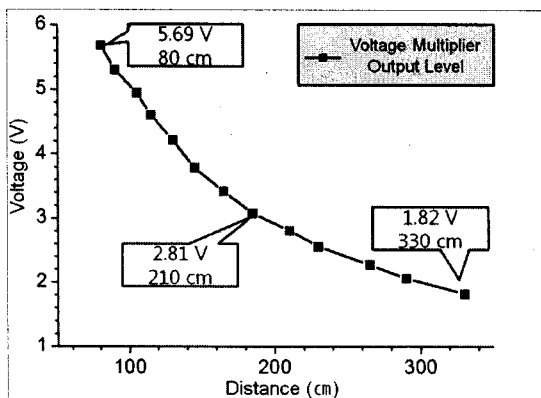


그림 9 4단 VOLTAGE MULTIPLIER의 거리에 따른 출력전압  
 Fig 9 Output Voltage at Distance of Voltage Multiplier

limiter를 설계하여 2.5V이내로 제한시켰다. 거리 3.3m에서 1.82V로 상태 기계를 동작시키기 위한 전압인 1.8V이상 나옴을 알 수 있다.

아래 표1에서는 거리별 입력 파워에 따른 복조기의 성능을 나타내었다. 측정 결과 최대 10M까지 원활한 데이터 복조가 이루어짐을 확인할 수 있었다.

표 1. 거리별 입력 파워에 따른 복조회로 출력  
 Table 1. Input Power at Distance of Envelop Detector

거리	입력파워 (dBm)	복조기(V)	Duty(%)
0.8m	7	3.15-0.62	68
0.9m	6	2.68-0.46	65
1.6m	2	1.39-0.2	56
2m	-3	0.54-0.04	49
3.5m	-8	0.16-0.01	46
5m	-13	0.048-0.009	46
8.5m	-18	0.010-0.001	41
10m	-20	0.004-0.001	40

그림 10은 시스템의 동작 파형을 측정한 값이다. ㉑는 마스터 노드에서 송신되는 ID를 나타낸 것이고 ㉒는 슬레이브 노드의 정전압기의 출력파형을 측정한 것이다. ㉓는 슬레이브 노드에서 측정된 데이터의 파형이고 ㉔는 마스터 노드에서 수신된 데이터의 파형이다.

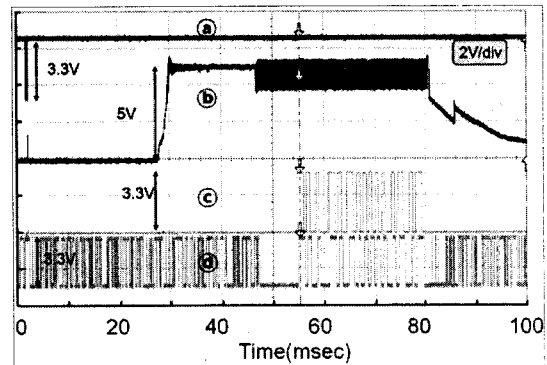


그림 10. 시스템 동작 파형  
 Fig. 10. System Operating Output

IV. 결론

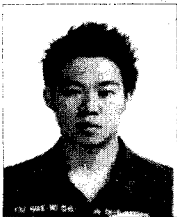
본 논문에서 제안한 자기유지 시스템용 에너지 전력 관리 시스템은 태양전지를 이용하여 필요한 전력을 충전하고, 충전된 전력을 효율적으로 사용한다. 휴면상태에서의 불필요한 전력 소모 문제를 해결하기 위해 슬레이브 노드의 아이디가 일치할 때에만 동작하고, 아이디 체크는 RF신호를 수신하여 전력으로 사용하도록 설계하여 획득된 전력의 소모 없이 웨이크업이 가능하도록 구현했다. 또한 웨이크업 모듈에 자가 전원 차단 방식을 적용하여 시스템의 에너지 사용 효율을 높였다. 이러한 시스템 에너지 관리 방식은 에너지 획득기술이 적용 가능한 환경에서 불요 전력을 최대한 활용하고, 이를 고효율 변환과정을 거쳐 필요한 데이터를 모니터링 하는 WBAN/USN 응용분야에 활용 할 수 있을 것으로 기대된다.

**감사의 글**

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음.  
 [2008-F-050-02, 자기유지 WBAN/USN용 u-Scavenging 기술개발]

**[ 참고 문헌 ]**

- [1] B.A. Warneke, et al., Smart Dust, "Communicating with a Cubic-Millimeter Computer," *Computer Magazine*, Jan 2001
- [2] E.M. Yeatman "Advances in Power Sources For Wireless Sensor Nodes," *Proc. International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor*, 2004. [Online] Available at. <http://www.doc.ic.ac.uk/vip/bnsn/textunderscore2004/program/papers/Eric%20Yeatan.pdf>
- [3] Stefan von der Mark, Georg Boeck, "Ultra low power wakeup detector for sensor networks," *Digital Object Identifier 10.1109/IMOC.2007.4404394*, Oct.29 2007-Nov. 1 2007 Page(s):865 - 868
- [4] J. F. Dickson, "On-chip high-voltage generation in MNOS integrated circuits using an improved voltage multiplier technique," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. SC-11, pp.374 - 378, June 1976.



**황지훈**

2008년 국민대학교 전자과 졸업  
 2008년 3월~현재 국민대학교 전자공학과(석사과정)  
 <관심분야> RF회로, MMIC, RFIC, 자기유지 시스템, 무선 전력 전송 시스템  
 <e-mail> jihunhwang@gmail.com



**김종홍**

2008년 국민대학교 전자과 졸업  
 2008년 3월~현재 국민대학교 전자공학과(석사과정)  
 <관심분야> RF회로, 자기유지 시스템, USN  
 <e-mail> kjhkjh58@naver.com



**김현웅**

2009년 국민대학교 전자공학과 졸업  
 2009년 3월~현재 국민대학교 전자공학과(석사과정)  
 <관심분야> 자기유지 시스템, USN  
 <e-mail> shinekim09@gmail.com



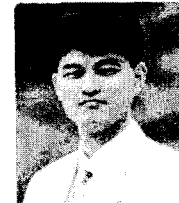
**노형환**

2005년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 2007년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학석사)  
 2007년 3월~현재 국민대학교 대학원 박사과정  
 <관심분야> IEEE 802.11n 기술, RFIC, UHF RFID, 자기유지 시스템, 무선 전력 전송 시스템  
 <e-mail> hhroh@kookmin.ac.kr



**오하령**

1983년 서울대 전기공학과 졸업(공학사)  
 1988년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1992년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)  
 1996년~현재 국민대학교 전자정보통신공학부 부교수  
 <관심분야> RFID USN 통합 네트워크를 위한 센서노드, 모바일 RFID 산업화 및 표준화, 자기유지 시스템  
 <e-mail> hroh@kookmin.ac.kr



**성영락**

1989년 한양대 전자공학과 졸업(공학사)  
 1991년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1995년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)  
 1998년~현재 국민대학교 전자정보통신공학부 부교수  
 <관심분야> RFID USN 통합 네트워크를 위한 센서노드, 모바일 RFID 산업화 및 표준화, 자기유지 시스템  
 <e-mail> yeong@kookmin.ac.kr



**박준석**

1987년 국민대 전자공학과 졸업(공학사)  
 1993년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1996년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학박사)  
 1998년~현재 국민대학교 전자정보통신공학부 부교수  
 <관심분야> RFID USN 통합 네트워크를 위한 센서노드 개발, 모바일 RFID 산업화 표준화, 자기유지 시스템, 무선 전력 전송 시스템, u-City  
 <e-mail> jspark@kookmin.ac.kr