

---

# 에너지 수확 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율 및 우선순위 기반의 MAC 프로토콜

김성철\* · 전준헌\*\*

EEPB-MAC: Energy Efficient & Priority-Based MAC Protocol  
for Energy Harvesting Wireless Sensor Networks

Seong-Cheol Kim\* · Jun-Heon Jeon\*\*

---

이 논문은 2011년도 상명대학교 연구비를 지원받았음

---

## 요 약

무선 센서 네트워크에서 다중접근제어(Medium Access Control: MAC) 프로토콜은 센서 노드들이 필요할 때만 on 상태에 머물게 함으로 에너지를 효율적으로 사용하도록 하게한다. 본 논문에서는 에너지 수확 무선 센서 네트워크에서 우선순위에 기반을 둔 에너지 효율적인 MAC 프로토콜(EEPB-MAC)을 제안한다. 제안된 EEPB-MAC은 기존의 IEEE 802.15.4의 비콘 프레임에 우선순위 비트, 전송 노드 주소, NAV 값을 가지는 필드를 추가하여 이를 통하여 우선순위 데이터 전송을 지원한다. 데이터 전송을 원하는 전송자로부터 비콘 프레임을 수신한 수신 노드는 수신된 비콘 프레임의 우선순위 비트에 기반으로 데이터를 전송할 전송자를 선택한다. 데이터의 특성에 따라 우선순위 전송을 지원할 뿐 만 아니라, 수신 노드의 잔여 에너지 레벨에 따라 전송 주기를 조절하는 등 데이터 전송에 참여하는 노드에서의 에너지 소모를 줄인다. EEPB-MAC 프로토콜은 기존에 제안된 다른 프로토콜에 비해 우선순위가 높은 데이터에 대한 전송지연을 줄이며, 각 노드에서의 에너지 소모를 개선시켰다.

## ABSTRACT

Medium access control (MAC) protocols for wireless sensor networks make sensor nodes on state for energy-efficiency only when necessary. In this paper we present an energy efficient priority-based MAC protocol for energy-harvesting Wireless Sensor Networks (WSNs). For support priority-based packet transmission the proposed EEPB-MAC protocol uses the modified IEEE 802.15.4 beacon frames including priority bit, sender node address, and NAV value fields. A receiver node periodically wakes up, receives sender beacon frames, selects data sending sender, and broadcasts a beacon frame containing the selected sender's address. A receiver node selects sender node according to sender's data priority. A receiver nodes also adjust wake up period based on their energy states. Hence, the energy consumption of receiver node can be minimized. Through simulations and analytical analysis, we evaluate the performance of our proposed the EEPB-MAC protocol and compare it against the previous MACs. Results have shown that our protocol outperforms other MAC in terms of energy consumption, higher priority packet delivery delay.

## 키워드

무선 센서 네트워크, 에너지 수확, 매체접근제어, 우선순위 데이터

## Key word

WSN, Energy Harvest, Medium Access Control(MAC), Priority data

---

\* 중신회원 : 상명대학교 컴퓨터과학부(교신저자, skcim@smu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 10. 19

\*\* 정회원 : 상명대학교 컴퓨터과학

심사완료일자 : 2012. 10. 31

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.3.755>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

무선 센서 네트워크 (Wireless Sensor Networks)는 환경 모니터링, 빌딩 관리, 물체 추적, 군사용 등 다양한 분야에 많이 적용되어지고 있다. 이러한 응용분야에서 WSNs의 중요한 역할로는 특정영역에 대한 모니터링과 각 센서 노드로부터 수집된 데이터를 전달하는 것이다. 일반적으로 WSNs는 배터리에 의해 동작되는 많은 수의 센서노드들로 구성되기 때문에 다른 무선 네트워크와는 달리 전체 네트워크 수명 연장을 위하여 각 센서 노드들의 효율적인 에너지 사용이 필요하다. WSNs에서 센서 노드들의 *idle listening*은 에너지 낭비하는 요소 중의 하나이다. 따라서 *idle listening*을 줄임으로써 에너지 소모를 막으려는 여러 가지 연구 결과들이 제안되었다. 그 중에서 가능하면 센서 노드로 하여금 주기적으로 자신을 *off*하여 *sleep* 상태로 머물게 함으로써 에너지를 절약하려는 방법이 좋은 방법으로 인식되어 이에 대한 많은 연구가 진행되었다[1][2][3][4][5]. 이들 연구 결과들의 대부분은 가능한 한 *listen* 구간을 줄이고 *sleep* 구간을 늘임으로써 에너지를 절약하는 효과를 얻을 수 있으나, 전송되어지는 데이터의 전송 지연(*delay*)이 크게 되는 문제점을 가진다. 이것은 노드가 *sleep*인 상태에서는 노드의 소모 에너지를 막을 수는 있지만, 이 상태에서 노드는 데이터의 송수신 기능을 하지 않기 때문이다. 따라서 *sleep* 상태에서 일어난 모든 *action*은 다음의 *active* 상태에서 이루어져야 하므로 데이터 전송에 지연이 발생하게 된다.

무선 센서 네트워크에서 에너지 절약 문제의 해결 방안의 하나로 에너지 수확이 가능한 무선 센서 네트워크에 대한 관심도 매우 높아져 가고 있다. 에너지 수확이 가능한 무선 센서 네트워크에서는 노드들의 에너지 소모를 줄이는 방식 외에도 네트워크 주변의 에너지 수확을 통하여 에너지가 많고 적은 노드들을 얼마만큼 효과적으로 사용할 수 있는가에 초점을 맞추어 연구되어지고 있다 [6][7][8]. 본 논문에서는 이러한 연구에 초점을 맞추어 전송 및 수신 노드에서의 에너지 절약 뿐만 아니라 수신 노드에서 자신이 보유하고 있는 에너지 상태를 확인하여 에너지가 기준치(최소 하나의 데이터를 전송할 수 있는 에너지) 이하일 경우 데이터 전송에 참여하지 않고, *sleep* 주기를 증가시킴으로 충분한 에너지 수확 기간을 확보한다. 뿐만 아니라 자신의 에너지 상태를 주위

의 전송 노드들에게 알림으로써 전송 노드 역시 데이터 전송을 미루면서 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 방식을 제안한다.

에너지 효율적인 사용과 전체 네트워크 수명의 연장 이외에도 WSNs에서 다루어져야 할 문제는 서비스의 질 (QoS: Quality of service)의 지원이다. 특히 물체추적 혹은 데이터 수집과 같이 실시간 데이터들은 효율적인 에너지 사용과 더불어 QoS 지원을 필요로 한다[9]. 예를 들어 산불 감시용 무선 센서 네트워크 환경에서 평상시 측정 데이터 보다 임계치를 초과하는 측정값은 산발 발생 정보를 가질 수 있다 또한 방법 무선 센서 네트워크에서 특정 침입에 대한 이벤트 발생 데이터는 다른 일반 데이터에 비해 우선적으로 전송될 필요가 있다. 본 논문에서 제안된 EEPB-MAC 프로토콜은 이처럼 다양한 데이터의 속성에 맞추어 차별적인 데이터 전송을 지원하는 기능을 가진다.

본 논문에서 제안된 MAC 프로토콜의 주요 특징은 다음과 같다. 첫째, 전송자와 수신자 사이에 비콘 프레임 주고받는 방식을 사용하여 B-MAC[3]과 X-MAC [4]의 긴 프리앰블(long preamble)의 오버헤드를 현저히 줄였다. 둘째, 수신 노드가 비콘 신호에 전송할 노드를 선택하여 전송 노드의 주소들을 포함하여 전송하여 숨은 터미널(hidden terminal) 문제를 해결하였다. 셋째, 수신 노드는 이웃하는 전송 노드들로부터 전송하려는 비콘 프레임을 받고 데이터의 우선순위 여부에 따라 전송 노드를 지정할 수 있으므로 우선순위 데이터 발생 시 우선적으로 데이터 전송을 지원한다. 넷째, 수신 노드는 TL(Time Limit) 라는 일정한 시간 동안 전송 노드의 비콘 전송이 없으면 *sleep* 상태로 들어감으로서 불필요한 에너지 소모를 줄일 수 있으며, 수신 노드 자신의 에너지 상태를 수신자 비콘 프레임에 포함함으로써 수신 노드 및 전송 노드의 불필요한 *idle listening*을 줄일 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구에 대한 설명이 이루어지고, 3장에서는 본 논문에서 제안된 EEPB-MAC 프로토콜에 대한 자세한 설명이 이루어진다. 4장에서 성능비교를 통한 EEPB-MAC 프로토콜의 우수성을 살펴 본 후에, 5장에서 결론이 이루어진다.

## II. 관련 연구

WSNs의 MAC 계층에서의 에너지 소모를 줄이기 위한 기존의 연구는 크게 동기식과 비동기식 방식으로 구분될 수 있다. 동기식 방식에서는 각 센서 노드 간 동기를 맞추어 전송하는 방식으로써 대표적으로 S-MAC[1]을 들 수 있다. S-MAC은 고정적인 듀티 사이클(duty cycle)을 가짐으로써 sleep 구간에서 에너지 소모를 줄이는 방식이다. 이 방식은 넓은 무선 센서 네트워크 환경에서는 동기를 맞추기 힘들다는 것과 고정적인 듀티 사이클로 불필요한 idle listening을 가진다는 단점을 가진다. 또한 대표적인 비동기 방식으로는 B-MAC[3]을 들 수 있다. B-MAC에서 전송 노드는 데이터를 전송하기 전에 긴 프리앰블 신호를 보내는데, 이 프리앰블은 수신자 노드의 sleep 구간 보다 더 오래 지속된다. B-MAC은 부하가 적은 네트워크에서는 에너지 효율적이나, 긴 프리앰블로 인해 전송 노드에서의 에너지 소모라는 단점을 가진다.

이러한 단점을 보완한 X-MAC[4]에서는 짧은 프리앰블을 나누어 전송함으로써 B-MAC에서 가지는 불필요한 에너지 소모를 줄여주었다. 그러나 비동기 방식은 여전히 프리앰블이라는 긴 오버헤드를 가진다. 이러한 긴 프리앰블을 비콘(beacon)으로 바꿔 전송자가 아닌 수신자 기반 방식인 RI-MAC[5]이 제안되었다. RI-MAC은 기존의 비동기 방식의 단점을 극복한 방식이라 할 수 있다. 그러나 RI-MAC 프로토콜은 에너지 수확 이전의 무선 센서 네트워크 환경만을 고려했기 때문에 에너지 수확 무선 센서 네트워크에는 적합하지 않다. 에너지 수확 무선 센서 네트워크에서는 에너지 소모 감소보다는 센서 노드의 에너지를 효율적으로 활용할 수 있는 방안이 연구되고 있다. 그 중에 ODMAC[8]은 에너지 수확 환경에서의 네트워크 수명이 물리적인 결합만 없으면 무한 수명이 가능하다는 전제로 센서 노드의 에너지 상태를 고려하여 비콘 주기를 높게 혹은 낮게 가짐으로써 에너지를 효율적으로 사용하는 방식을 제안하고 있다. 그러나 ODMAC에서는 적은 트래픽 환경에서만을 고려하였으며, 데이터 전송의 신뢰성 확보가 어렵고 숨은 터미널과 같은 단점을 가진다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하여 데이터 전송에 대한 신뢰성을 높였으며, 숨은 터미널 문제도 개선하였

다. 뿐만 아니라, 버스트(bursty) 데이터 전송도 함께 고려함으로 보다 다양한 네트워크 환경에서도 효율적인 사용을 이룰 수 있다.

## III. EEPB-MAC 프로토콜

본 논문에서 제안된 EEPB-MAC 프로토콜에서는 다양한 데이터 트래픽 부하 환경에서 특정 이벤트 발생에 대한 정보 혹은 비정상 측정값 등 긴급성이 요구되는 데이터를 우선적으로 전송할 수 있다. 또한 수신 노드의 에너지 상태를 고려하여 sleep 주기를 능동적으로 조절하고, 이를 주위의 전송 노드들에게 알림으로써 에너지를 절약할 수 있다. EEPB-MAC의 동작방식은 다음과 같다.

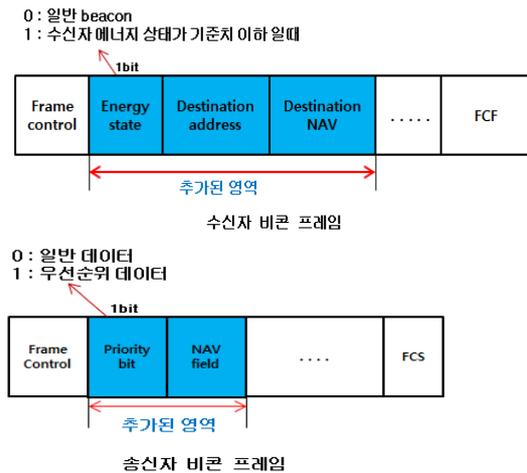


그림 1. 전송 노드 및 수신 모드 비콘 프레임  
Fig. 1 Beacon frames of sender and receiver

### 3.1. 비콘 프레임 구성

그림 1은 EEPB-MAC 프로토콜에서 사용되는 전송자 비콘 프레임과 수신자 비콘 프레임의 구성을 보여준다. EEPB-MAC의 비콘 프레임은 IEEE 802.15.4[10] 프레임을 수정하여 사용한다. Tx-beacon 프레임에는 우선순위(priority) 비트 필드를 사용하여 전송 노드가 데이터의 우선순위 여부를 표시하여 전송하며, Rx-beacon 프레임에는 에너지 상태(energy state) 비트 필드가 포함되어 있

어서 이웃하는 모든 전송자들에게 수신자의 에너지 상태 정보를 알릴 수 있다. 이들 비콘 프레임들을 사용하여 EEPB-MAC 프로토콜은 다음과 같이 동작한다. 먼저 전송할 데이터가 있는 노드는 Tx-beacon 프레임을 통해 수신 노드에게 전송할 데이터가 있음을 알린다.

이 Tx-beacon 프레임에는 전송될 데이터의 우선순위 정보와 전송 노드의 주소, 그리고 전송될 데이터의 NAV(Network allocation vector) 값을 포함한다. 이웃의 전송 노드들로부터 Tx-beacon 프레임을 받은 수신 노드는 수신된 데이터의 우선순위에 기반으로 데이터를 전송할 노드를 선택한 후에 Rx-beacon 프레임을 전송한다. 이 프레임에는 선택된 전송 노드 주소정보와 전송 노드가 보내려고 하는 데이터의 NAV, 그리고 수신 노드의 에너지 상태 비트를 포함한다.

### 3.2. EEPB-MAC 프로토콜의 동작

전송할 데이터를 가지는 노드는 먼저 수신 노드에게 Tx-beacon 프레임을 전송한다. 수신 노드는 일정 기간 전송 노드들로부터 Tx-beacon 프레임을 수신 한 이후에 데이터를 전송할 노드를 선택하여 이웃 노드들에게 Rx-beacon 신호를 전송한다. 수신 노드로부터 데이터 전송을 위해 선택된 전송 노드는 즉각 데이터를 전송하고, 나머지 다른 모든 노드들은 즉시 sleep 모드로 들어간다. 무선 센서 네트워크에서 에너지 소모의 주원인은 idle listening과 데이터 패킷 전송이다. 본 논문에서는 이 idle listening을 줄이면서 전송 및 수신 노드의 에너지 소모를 최소화하는 것을 목적으로 한다. EEPB-MAC에서 발생할 수 있는 가장 큰 문제점은 수신 노드가 전송 노드들이 보내는 TX-beacon 프레임을 수신하기 위하여 오래 동안 idle 상태에 머물 수 있다는 것이다. 이로 인해 수신 노드는 다른 전송 노드들에 비해 더 많은 에너지를 소모하게 된다. 이를 해결하기 위하여 EEPB-MAC에서는 다음과 같은 두 가지 방식을 사용하여 수신 노드의 에너지 소모를 줄인다.

- 수신 노드는 우선순위 비트가 1인 TX-beacon 프레임을 수신하면 즉시 다른 전송 노드들로부터의 Tx-beacon 프레임 수신을 중단하고, 그 비콘 프레임을 보낸 노드를 데이터 전송하는 노드로 선택하여 Rx-beacon 신호를 보내면 선택된 전송 노드는 데이터 전송을 시작한다. 수신 노드가 전송한 Rx-beacon 프레임은 선택된 노드뿐 만 아니라 인접한 모든 노드들도 수신하게 되어

선택된 노드를 제외한 다른 노드들은 자신이 선택되지 않았음을 알고 즉시 sleep 모드로 들어간다.

- 수신 노드는 일정한 시간(TL) 내에 추가로 Tx-beacon 프레임 수신을 하지 못하는 경우, 매체 listening을 중지하고 그 동안 이웃 전송 노드들로부터 수신한 Tx-beacon 프레임 중 최초로 받은 노드를 선택한다. 이 경우에도 수신 노드가 전송한 Rx-beacon 프레임은 선택된 노드와 인접한 모든 노드들도 수신하게 되어 선택된 전송 노드를 제외한 다른 노드들은 자신이 선택되지 않았음을 알고 즉시 sleep 모드로 들어간다.

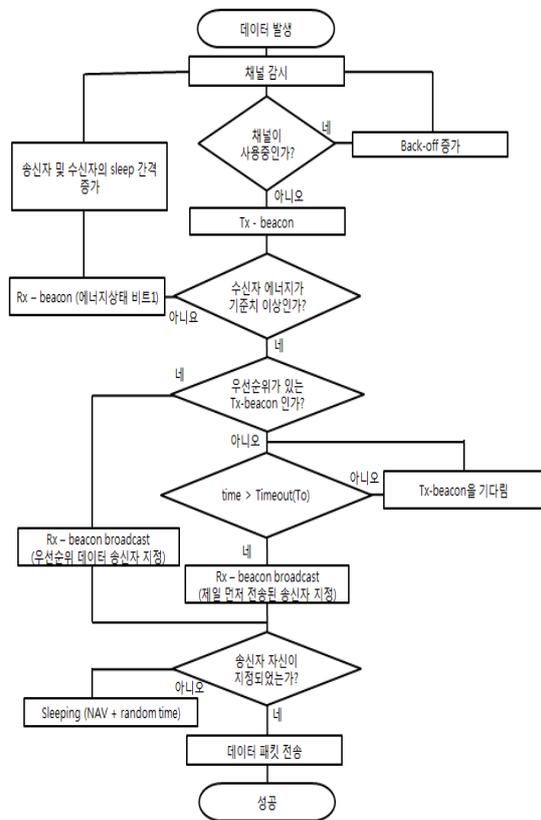


그림 2. EEPB-MAC 프로토콜 흐름도  
Fig. 2 EEPB-MAC Protocol Flowchart

그러나 위의 두 경우의 조건을 만족한다 할지라도 수신 노드 자신이 데이터를 수신할 충분한 에너지를 가지지 못할 경우 데이터 전송할 전송자 정보 대신에 에너지 상태 필드 비트가 1인 Rx-beacon 프레임을 브로드캐스트

트함으로 주변의 모든 전송 노드들에게 알린다. 이 Rx-beacon 프레임을 수신한 전송 노드들은 임의의 시간 이후까지 Tx-beacon 프레임 전송을 하지 않음으로 에너지를 절약할 수 있다.

### 3.3. 충돌 회피 방식

만약 동일한 전송 영역 내에 하나 이상의 수신자가 존재할 경우에는 여러 수신 노드들이 각각 데이터를 전송할 노드를 선택하여 Rx-beacon 프레임을 전송기 때문에 이들 사이에 충돌이 일어날 가능성이 있다.

이러한 경우 EEPB-MAC에서는 우선순위가 높은 데이터 수신을 요청 받은 수신자와 정상적인 데이터 수신 요청을 받은 수신자의 충돌 윈도우(CW: Contention Window)를 다르게 설정함으로써 해결한다. 즉, 우선순위가 높은 데이터의 수신 요청을 받았을 경우 수신자는 자신의 충돌 윈도우의 선택범위를 작게 선정한다. 본 논문에서 사용한 충돌윈도우의 설정 값은 다음과 같다.

- 우선순위가 높은 데이터 전송시 : 1 ~ 16 의 범위에서 랜덤으로 설정
- 일반 데이터 전송시 : 1 ~ 32 의 범위에서 랜덤으로 설정

위와 같이 우선순위가 높은 데이터를 수신할 수신 노드는 매체 전송 시 일반 데이터를 수신할 수신 노드들보다 작은 범위에서 CW를 설정함으로써 데이터 전송에 참여할 확률을 높인다.

### 3.4. 긴급성 데이터 처리

무선 센서 네트워크에서 설정된 임계치를 초과하는 데이터는 긴급성 데이터이다. 이러한 임계치를 초과하는 데이터는 다른 데이터에 비해 우선적으로 전송되어야 한다. 본 논문에서는 그림 3과 같이 우선순위 데이터 발생 전송 노드를 지정하여 데이터 전송이 이루어지는 것을 보여준다.

수신 노드는 이웃하는 전송 노드들로부터 Tx-beacon을 전송받는다. 이 Tx-beacon는 전송되어질 데이터가 우선순위가 있는지 여부를 알 수 있는 비트를 포함한다. 수신 노드는 우선순위 데이터가 포함된 Tx-beacon이 도착하면 즉시 그 Tx-beacon을 전송한 노드를 전송 노드로 지정하여 Rx-beacon을 브로드캐스트 한다.

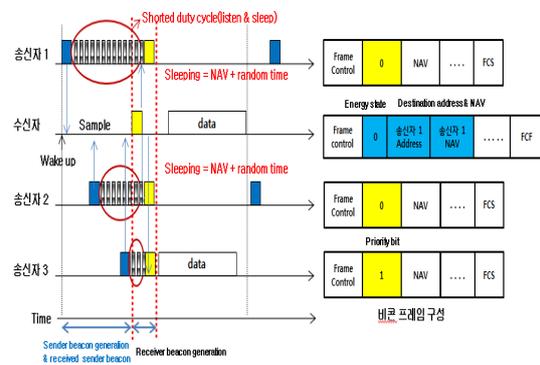


그림 3. 긴급성 데이터 전송 과정  
Fig. 3 Processing of Urgent data Transmission

이 Rx-beacon 프레임을 수신한 전송 노드는 즉시 데이터 패킷을 전송하고, 다른 모든 전송 노드들은 sleep 모드로 들어간다. 만일 일정시간(TL) 내에 우선순위 데이터가 포함된 Tx-beacon이 도착하지 않으면 수신 노드는 처음 Tx-beacon을 전송한 전송 노드를 데이터 전송할 노드로 지정하여 Rx-beacon을 브로드캐스트 한다.

그림 3에서 우선순위 데이터를 가지고 있는 전송 노드 3은 매체를 점유하여 데이터를 전송하고, 선정되지 못한 전송 노드들(노드 1, 노드 2)은 전송이 이루어지는 동안 sleep 함으로써 에너지 소모를 절약하는 것을 보여준다.

## IV. 성능분석

본 장에서는 EEPB-MAC 프로토콜과 기존에 제안된 관련 프로토콜과의 성능을 비교하였다. 전체 네트워크를 구성하는 노드들 중 우선순위 데이터 발생은 10% ~ 20% 로 임의의 비율로 발생하며, 동일한 전송 범위 내에서 수신자의 수는 최대 2 개로 제한하였다. 성능 비교를 위하여 [8]에서 사용된 파라미터들을 사용하였다. 아래 그림 4에서는 데이터 패킷을 전송하려는 전송 노드 수에 따른 우선순위 데이터의 지연 비교를 보여 준다. 그림에서 볼 수 있듯이 본 논문에서 제안된 EEPB-MAC 프로토콜이 전송 노드의 수가 증가에 따라 지연의 증가가 미비한 것으로 나타났다.

표 1. 성능 분석에 사용된 파라미터들의 값[5]  
Table. 1 Parameters for performance evaluations

파라미터	설명	값
$P_{TX}$	Tx 모드에서 무선전력 소모	63mW
$T_i$	슬립에서 wake-up셋업 시간	2.2ms
$P_{sleep}$	슬립모드에서의 전력소모	30 $\mu$ W
$P_{RX}$	Rx 모드에서 무선전력 소모	69mW
$T_{data}$	데이터 패킷 전송시간	7.744ms
$T_{ack}$	확인응답 시간T	0.288ms
$T_{ia}$	TX-RX/RX-TX 변환시간	1.1ms
Data_Rate	데이터률	250kbps
$B_{capacity}$	배터리 용량	1000mAh
$T_{sample}$	채널 샘플링 시간	2.08ms
$T_{RTS}$	전송요청 시간	1.1 $\mu$ s
$T_{SP}$	슬롯화된 프리앰블 시간	100ms
$T_{sample}$	채널 샘플링 시간	2.08ms

이는 우선순위가 높은 트래픽이 도착하면 수신 노드는 즉시 수신 모드로 들어가기 때문이다. 아래의 그림 5는 패킷의 도착 시간에 따른 전력 소모에 대한 비교를 보여준다. 본 논문에서 제안된 EEPB-MAC에서는 수신 노드가 충분한 에너지를 수확하지 못했을 경우 계속 sleep 모드에 머물면서 데이터 전송에 참여하지 않을 뿐만 아니라, 수신 노드가 보내는 수신 비콘 프레임에 NAV 정보를 포함하여 데이터를 전송하려는 전송 노드들이 충분히 sleep 모드에 머물 수 있는 메커니즘을 포함하기 때문에 기존의 프로토콜보다 더 적은 에너지를 소모함을 알 수 있다.

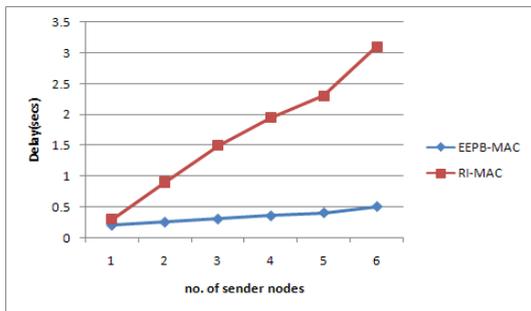


그림 4. 전송 노드 수에 따른 우선순위 데이터 지연  
Fig. 4 Delay of high-priority data vs no. of senders

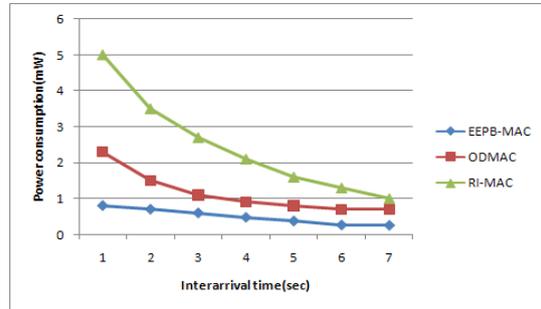


그림 5. 패킷 Interarrival 시간에 따른 전력소모  
Fig. 5 Power consumption vs packet interarrival time

### V. 결론

본 논문에서는 다양한 데이터 트래픽 부하 환경에서 특정 이벤트 발생에 대한 정보 혹은 비정상 측정값 등 긴급성이 요구되는 데이터를 우선적으로 전송할 수 있으며, 수신 노드의 에너지 상태를 고려하여 sleep 주기를 능동적으로 조절하고, 이를 주위의 전송 노드들에게 알림으로써 에너지를 절약할 수 있는 EEPB-MAC 프로토콜을 제안하였다. 실제 제안된 프로토콜은 데이터를 전송하려는 전송 노드의 수가 증가할수록 우선 전송을 필요로 하는 응급 데이터의 지연시간을 기존의 프로토콜보다 훨씬 줄였다. 또한 여러 수신 노드들이 데이터 전송에 참여할 경우 충돌회피 알고리즘의 사용 및 수신 노드가 발생하는 비콘 프레임에 NAV 값을 사용함으로써 전송 노드들이 충분히 sleep 모드에 머물게 함으로 전체 데이터 전송에 있어서 전력 소모를 막을 수 있었다. 추후 사용된 TL값 및 사용되어지는 에너지 수확 메커니즘에 따른 성능 변화 등에 대한 지속적인 연구가 이루어질 예정이다.

### 참고문헌

[ 1 ] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.12, Issue 3, pp.493-506, June 2004.

[ 2 ] T. van Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," ACM SenSys '03, LA, California, USA, November 2003.

[ 3 ] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," ACM SenSys '04, Baltimore, Maryland, USA, November 2004.

[ 4 ] Michael Buettner, Gary V. Yee, Eric Anderson, Richard Han. "X-MAC: a short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks," ACM SenSys '06, October, 2006.

[ 5 ] Yanjun Sun, Omer Gurewitz, David B. Johnson, "RI-MAC: a receiver-initiated asynchronous duty cycle MAC protocol for dynamic traffic loads in wireless sensor networks" ACM SenSys '08, November, 2008.

[ 6 ] A. Kansal, J. Hsu, S. Zahedi, and M. B. Srivastava, "Power management in energy harvesting sensor networks," Trans. Embedded Computing Sys., vol. 6, no. 4, 2007.

[ 7 ] C. Moser, L. Thiele, D. Brunelli, and L. Benini, "Adaptive Power Management in Energy Harvesting Systems," Proc. Conf. Design, Automation and Test in Europe (DATE '07), pp. 773-778, 2007.

[ 8 ] Xenofon Fafoutis, Nicola Dragoni. "ODMAC: an on-demand MAC protocol for energy harvesting - wireless sensor networks," ACM PE-WASUN '11, November, 2011.

[ 9 ] B. Yahya, J. Ben-Othman, "Energy efficient and QoS aware medium access control for wireless sensor networks," Concurrency and Computation: Practice and Experience, Vol. 22 Issue 10, pp. 1252 - 1266, 2010.

[10] IEEE Std 802.15.4-2006, IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local metropolitan area networks - Specific requirements, Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2006.

저자소개

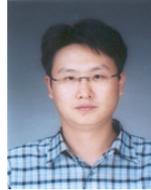
**김성철(Seong-Cheol Kim)**



1995년 6월 : Polytechnic University (NY) 공학박사(Ph.D)  
1997년 2월 ~ 현재 : 상명대학교 교수

※ 관심분야 : WLAN, 센서 네트워크, QoS, 멀티미디어 통신

**전준현(Jun-Heon Jeon)**



2012년 : 상명대학교 석사  
2012년 ~ : 상명대학교 박사과정  
2013년 ~ : 상명대학교 강사

※ 관심분야 : WSNs, MAC protocol, QoS 통신