

# WBAN 환경에 따른 유동적 상태 전환 Mac Protocol

## An Energy Efficient Mac Protocol for WBAN through Flexible Frame Structure

최준성\*, 김정곤

J. S. Choi, J. G. Kim

### 요 약

WBAN 환경에서 Master와 Node들의 에너지 효율을 관리하는 것은 매우 중요하다. 동시에 Master는 Node로부터 데이터를 수집하고 제어하는 중요한 역할을 함으로써 효과적인 에너지 소비를 유지하여 어떠한 상황에서도 대처할 수 있어야 한다. 따라서 Master와 Node 사이의 적절한 저전력 MAC 프로토콜이 필요하다. 우리는 간단히 WBAN 슈퍼프레임 구조를 변경해줌으로써 더 향상된 MAC 프로토콜을 제안한다. 시뮬레이션 결과는 제안된 구조가 IEEE 802.15.6과 기존 연구와 비교해서 Master와 각 노드들의 에너지의 효율 이득을 나타낸다.

### ABSTRACT

In WBAN environment, it is very important to achieve energy efficiency of master and nodes, At the same time, a master also plays an important role in collecting data from nodes and controlling the nodes. By maintaining a master properly, any kinds of situation can be handled. Therefore, low power MAC protocol between a master and a node is highly required appropriately. We propose an improved MAC protocol by simply changing the frame structure of WBAN system. The simulation results show that the proposed scheme attains a lot of saving of energy consumption of master and each node compared with IEEE 802.15.6 and conventional schemes.

**Keyword** : WBAN, Mac Protocol, Superframe, Master and Node

## 1. 서론

WBAN (Wireless Body Area Network)란 IEEE 802.15.6 TG6에서 2006년부터 인체에 부착된 여러 장치들을 몸을 중심으로 약 3미터 이내에서 길게는 5미터 이내에 장착된 장치들을 무선으로 연결하여 상호 통신을 하는 새로운 유형의 네트워킹 기술로

써 체내 혹은 인체의 주변에서 일어나는 근거리통신, 바이오센서, 인체 내부에 이식하기 위한 극소형의 나노기술, 인체 부착형 RF 인터페이스, 구동체 등의 다양한 기술이 복합적으로 적용되고 있다. 그림 1은 WBAN의 개념도를 나타낸다[1].

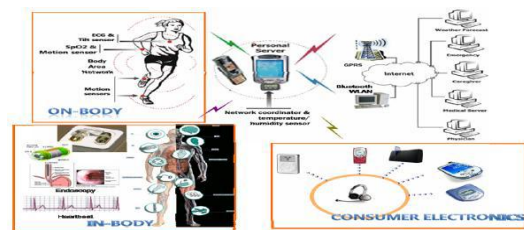


그림 1. WBAN의 개념도

WBAN 저전력 시스템을 구현하기 위하여 많은 연구가 진행되어왔으며, 이를 개선하기 위하여 충전이 가능한 PC의 사용 전력을 집중시켜 Node의 소

접 수 일 : 2013.11.20

심사완료일 : 2013.12.12

게재확정일 : 2013.12.20

최준성 : 한국산업기술대학교 전자공학과 석사과정

adiosamiggo@naver.com (주저자)

김정곤 : 한국산업기술대학교 전자공학과 교수

jgkim@kpu.ac.kr (교신저자)

\* “본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT 융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음” (NIPA-2013-H0401-13-1006)

비 전력 효율을 줄이는 연구[3], 슈퍼프레임 구조를 가변하여 에너지 소모량을 개선한 연구[4], 데이터 충돌 및 회피 기술로 인하여 전력소비를 감소시킨 연구가 제안되어왔다.

WBAN의 체내에 이식하는 디바이스 경우에는 전원 공급이 제한이 되며, 한번 이식이 되고 나면 충전 및 교체를 하기가 어렵기 때문에 매우 낮은 사용 전력 소비로 장기간동안 사용할 수 있는 것을 목표로 두어야하며, 인체 내부에서 조금이라도 큰 전력으로 구동되면 인체에 대한 큰 사고를 나타낼수 있기 때문에 저전력화 WBAN 연구는 필히 연구 되어야한다. 이러한 WBAN 기술 요구사항에 맞추어 체내에 이식하는 디바이스의 충전 및 교체에 대한 문제점을 개선하고자 WBAN 환경에서의 저전력 MAC 프로토콜을 제안한다.

본 논문은 WBAN을 위한 기본의 MAC 프로토콜에 대한 연구 배경과 제안하는 알고리즘에 대하여 설명 및 성능 분석을 본문에 설명하고, 마지막으로 결론을 맺도록 하겠다.

## 2. 본론

### 2.1 연구배경

#### 2.1.1 IEEE 802.15.6 Superframe

IEEE 802.15.6은 WPAN을 위한 기술 표준인 IEEE802.15의 TG6에서 진행하는 WBAN 기술의 표준이다. 이 표준의 MAC 계층은 Beacon을 이용한 Time Slot 분배 방식을 따르며, B (Beacon), EAP (Exclusive Access Period), RAP (Random Access Period), Type-I/II access phase로 구분된다. 이 모델에서는 하나의 hub의 제어를 따른다. 즉, 각 노드는 hub의 Beacon을 수신하여 EAP, RAP, Type-I/II 구간의 시간을 파악한 후, 각 구간별 제어 방식에 따라 자신의 데이터를 UP/Download 한다. 그림 2는 IEEE 802.15.6 MAC Superframe의 구조를 나타내며, 그림 3은 슈퍼프레임 구간내의 Type 구간을 나타낸다.

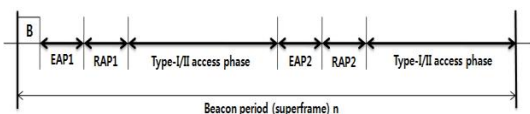


그림 2. IEEE 802.15.6 MAC Superframe[2]

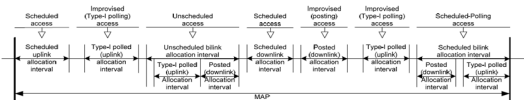


그림 3. Type-I/II 구간 상세 구조

Type-I/II는 EAP와 RAP에서 데이터를 송신하지 못한 노드들을 위한 Hub가 제어하는 Polling방식의 데이터 송수신을 의미하며, Up/Downlink에 대한 데이터들을 스케줄링 또는 긴급데이터와 같이 발생하는 데이터들을 Polling 방식으로 전송하는 구간으로 복잡도가 크다.

#### 2.1.2 기존에 연구되어진 Mac Protocol

IEEE 802.15.6 표준 외에도 WBAN을 위한 연구는 꾸준히 진행되어 왔으며, 이에 따라 많은 MAC 계층 구조가 연구되어왔다. H-MAC (Heartbeat Driven MAC Protocol)은 TDMA 기반으로 디자인된 body sensor network이다. 심장박동을 이용하여 동기화 하는 방식으로써 에너지 효율이 증가되는 장점과, 시각 동기화를 위한 컨트롤 메시지가 필요 없다는 장점이 있지만, 사람의 상태에 따라 심장 박동 정보가 다양하기 때문에 산발적인 이벤트에 대한 처리가 어렵다[6]. 슈퍼프레임 가변 방식의 MAC 프로토콜은 전송하는 데이터가 없을 경우 구간을 서로 바꾼 뒤 데이터를 처리 후 바로 Sleep 상태로 바꾸어 주는 방식으로 에너지 소모가 적고 데이터 손실이 적기 때문에 신뢰적이지만, 이벤트 성에 대한 time slot이 없기 때문에 Wearable 장치를 활용한 헬스케어에서 응급데이터가 발생한 환경에 대처하기가 어렵다는 단점이 있다[4].

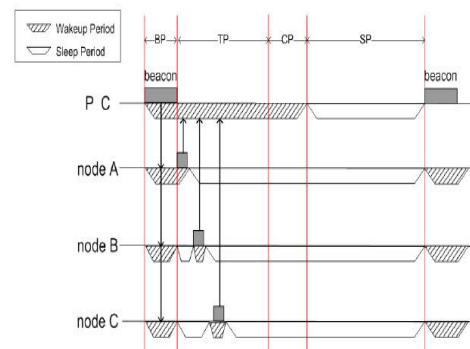


그림 4. 장치간 비대칭적 에너지 사용 MAC

그림 4는 비 충전장치인 노드의 에너지 효율을 높이고 응급 데이터 발생 시에 대한 전송 지연시간

을 줄여 QoS를 보장하는 방식으로 PC는 운영개념 상 저전력 측면에서의 중요도가 노드에 비하여 높지 않기 때문에, 각 노드의 에너지 소모 비율을 PC에 가중화 시키는데 목적을 두었다. PC는 Wakeup과 Sleep 모드를 반복하는 Duty Cycle을 운영하여, 에너지 효율을 보이지만 모든 데이터가 전송 완료된 후에도 PC가 Active 상태로 유지하여 낭비하지 않아도 될 전력을 소모하게 된다[3].

### 2.2 제안하는 Mac Protocol

그림5는 기존의 슈퍼프레임의 구조를 변경하여 제안된 Mac 프로토콜을 나타낸다. 제안하는 Mac 프로토콜은 가변된 슈퍼프레임 구조를 기반으로 Master가 Node로부터 Beacon을 수신하여 Node가 데이터를 전송하는 전송시간 정보 및 데이터 크기 정보를 획득하는 단계, 전송시간 정보를 토대로 Node에 대한 시간 동기화를 수행하는 단계, 시간 동기화된 Master와 Node에 대한 채널구간을 할당하기 위한 채널 스케줄을 생성하는 단계 및 채널 스케줄을 참조하여 채널형성이 요구되는 시 구간에서 데이터를 전송하는 상태로 제어하는 단계로 구분된다.

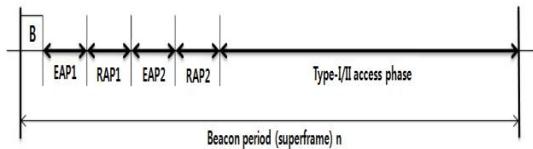


그림 5. 제안하는 Superframe 구조

제안하는 WBAN 슈퍼프레임 구조는 사용빈도가 낮은 Type-I/II의 두 구간을 하나의 구간으로 두고 슈퍼프레임 구조의 제일 마지막 구간에 위치하였다. 사용 빈도가 낮기 때문에 사용할 필요가 없을시 Master는 Polling 제어를 할 필요 없이 다음 비컨을 수신하기 전까지 SP 구간으로 사용하지 않아도 될 전력 소모를 줄일수 있기 때문이다.

또한 EAP2와 RAP2는 EAP1과 RAP1구간의 바로 뒤에 둬으로써 자신만 할당 할 수 있는 구간과 자율적으로 할당 할 수 있는 구간을 반복적으로 구간설정 하였다. 만약 EAP1에 데이터가 있고 RAP1부터 데이터가 할당된 구간이 없다면 EAP1 데이터를 수신 후 SP 모드로 전환하여 노드에 대한 전력 소비량을 줄였다.

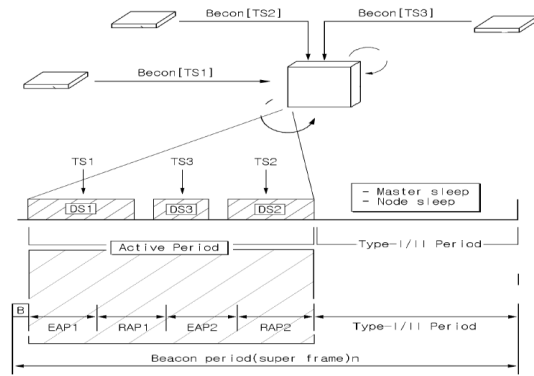


그림 6. 제안하는 슈퍼프레임 구조 방식

그림 6은 3개의 Node가 동시에 Master와 통신하는 환경에서의 제안된 MAC 프로토콜에 대해 나타내고 있다. 먼저, 각 Node들은 Beacon frame 동안에 Master와 서로 통신을 수행하며, 이 때 각 Node들이 데이터를 전송할 전송 시간 정보(TS1~TS3)을 결정하게 된다. 전송 정보는 Node에서 Master로 데이터 전송 유효 시간 등으로 정의될 수 있다.

Master와 연결된 각 노드들은 서로 Beacon 주기에 맞추어 동기화 과정을 거치게 되는데, 동기화 이루는 과정에서 Node들은 Master에게 자신이 가지고 있는 데이터 전송 크기에 대한 정보를 Master에게 전송하게 된다. 이로 인해 Master는 이 정보를 수신하여 각 노드들의 EAP, RAP, Type 구간의 데이터 전송시간을 파악하여 스케줄링을 수행하고 각 구간별 제어 방식에 따라 각 구간들에 대한 유동적 활성화/비활성 할당 작업을 수행하게 될 것이다.

또한, 제안 방식에서는 기존의 양쪽으로 분산되어 있는 EAP 및 RAP 구간을 앞부분으로 이동시키고, Type-I/II Access Phase 구간을 전부 마지막에 위치시킴으로써, Master와 Node의 통신이 이루어지고 있지 않은 구간에서 전력 소모를 최소화 할 수 있는 SP 구간을 최대한 확보하게 함으로써 Node 및 Master 소비 전력을 크게 개선하였다.

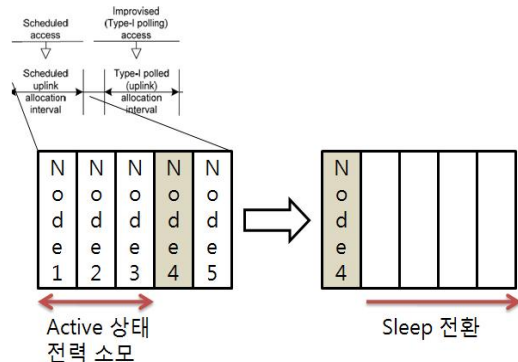


그림 7. Type 구간 변경 할당 방식

그림 7은 그림 4의 Type-I/II Access Phase 구간에서의 Scheduled Access 구간을 나타낸다. 이 구간에서는 EAP, RAP 구간내에서 전송하지 못한 데이터를 처리하기 위한 스케줄링을 수행하는 구간으로써, 전송하기 못한 Node들의 데이터들은 각각 순서에 의한 타임 슬롯에 맞추어 각 노드들이 전송하게 된다. 이로 인해 데이터를 모두 전송한 노드들의 슬롯도 항상 활성화 상태를 유지 해야함으로써 에너지 소모를 하게 된다. 낭비되는 슬롯에 의한 에너지를 최소화 하기 위하여, 타임 슬롯 할당 방식이 아니라, 전송되는 데이터 앞에 각 노드의 헤더를 붙여, 마스터는 어떤 노드에서 전송되었는지 확인을 하게 되며, 슬롯을 할당 받는 방식으로 진행하였다.

그림 7과 같이 Node 4에서만 남아있는 데이터를 전송을 한다고 가정한다면, 기존의 시간에 맞추어 전송하게 되면 미리 할당된 Node들의 시간 이후에 받게 되어 마스터의 불필요한 전력 소모가 이루어지게 될 것이다. 제안 방식에서는 이를 미리 동기화 과정에서 Type구간에서 전송 예상 Node를 파악하여 처음부터 순서대로 전송하고, 나머지 구간은 SP 상태를 유지하는 방식으로 전환하여 적용하게 될 것이다.

또한 Node의 전송 시간이 되기전까지 SP 모드로 전환하여 데이터 전송이 없을 시에 전력을 감소시킨다. SP 상태에서 수집된 Node의 정보에 의해 Node가 데이터를 전송 할 시간이 되게 되면 전송하고자 하는 Node보다 먼저 TP 구간을 활성화 시켜 Node의 데이터를 수신하게 된다. 데이터가 수신 완료가 되게 되면 다시 다음 Node의 전송 수신까지 SP 구간을 활성화 상태로 전환하게 된다.

## 2.2 성능 평가

이 장에서는 제안 방식에 대한 성능 평가를 기존 방식들과 Node 및 Master 소모 전력 비교를 통해 수행하였다. 제안한 슈퍼프레임 구조의 성능 평가에 사용된 환경 변수들은 1인 대상에 단말기와 소수의 단말기를 Master와 Node 사이의 간격을 3m의 간격으로 설정하고, 중앙에 1개의 Master와 주위의 N개의 Node를 배치하였으며, 동기화에 의한 패킷의 분실은 고려하지 않았으며, Node는 고정되어있는 것으로 가정하였다.

생체 신호인 경우에는 주기적 짧은 데이터 15bits 크기의 데이터와 최대 100byte의 랜덤적 크기 데이터를 생성하여 전송하게 되고, 시뮬레이션 시간은 10초로 설정하여 Master의 소비전력과, Node의 소

비전력에 대한 성능을 평가하였다. 또한 WBAN 환경에서의 요구 사항에 맞추어 아래 표 1과 같은 WBAN 통신 파라미터를 적용하였으며, Simulation tool은 Opnet simulator 17.5v를 사용하여 소모 전력 등의 성능 Simulation을 수행하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

	Parameter	Value
PHY	Data Rate	64Kbps
	Tx	2.428mW
	Rx	1.814mW
	Sleep	0.027mW
Application	Master	1
	Node	1 ~ N
	Network Topology	Star Structure

본 논문에서는 Node간 정보교환이 발생하지 않기 때문에 Star Topology의 네트워크 형태를 사용한 다.

그림 8은 IEEE 802.15.6 및 기존 방식 대비 제안한 MAC에 대해서 Master의 평균 소모 전력을 측정 한 결과로써 1개의 Master와 1개 또는 3개의 Node와의 환경을 구축하여 실험하였다.

실험에 Master와 연결된 모든 Node는 주기적으로 15bits의 짧은 크기의 데이터를 모두 Master로 송신한다고 가정하였다. 전송 주기가 증가함에 따라 소모 전력의 변화는 크게 나타나지 않았으며, 세 방식 중에 제안 방식의 전력 소모가 N=1 및 N=3인 두 경우 다른 방식 보다 매우 감소된 것을 볼 수 있었다.

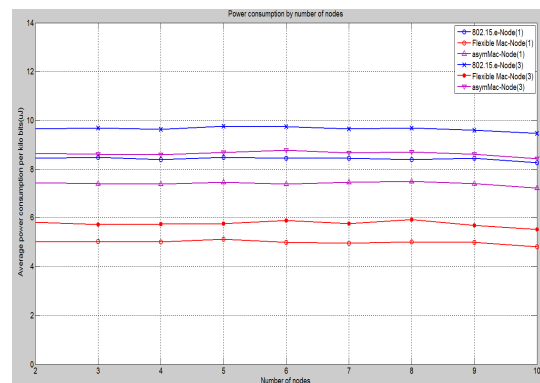


그림 8. 주기적인 전송 간격에 따른 Master에너지 소모량

IEEE 802.15.6은 그림 2에 나타나 있는 IEEE 802.15.6 슈퍼프레임 구조를 이용하여 데이터를 송

신한다. 따라서 Master는 소수의 Node와 연결된 상태에서 다음 Beacon 동기화가 이루어질 때까지 항상 Wakeup 상태를 유지를 해야한다.

asymMac[3]은 데이터 수신시 IEEE 802.15.6 보다 에너지 소모의 효율이 Node 측면에서는 더 효과적이지만, Master의 경우에는 Sleep 상태로 전환하기 전까지 항상 활성화 되어 있게 되므로 소모되는 낭비 에너지가 발생하게 된다. 따라서 보낼 데이터 양이 많을 경우에는 효과적일 수 있으나, 생체신호와 같이 작은 데이터를 전송하는 시스템에는 불필요한 에너지 소모가 발생할 수도 있을 것이다.

제안하는 Flexible Mac 프로토콜은 Node의 송신 관련 정보를 미리 수신하여, 이를 앞부분에 최적 배치하고, Node로부터 데이터가 오는 시간에만 Master가 활성화 상태가 된다. 그래서, 먼저 연결된 모든 Node로부터 데이터를 전부 수신하게 되면 다음 Beacon 동기화가 이루어 질때까지 SP 전환을 빠르게 수행함으로써 기존 방식 대비 가장 Master의 전력 소모를 최적화 할 것으로 예상할 수 있을 것이다.

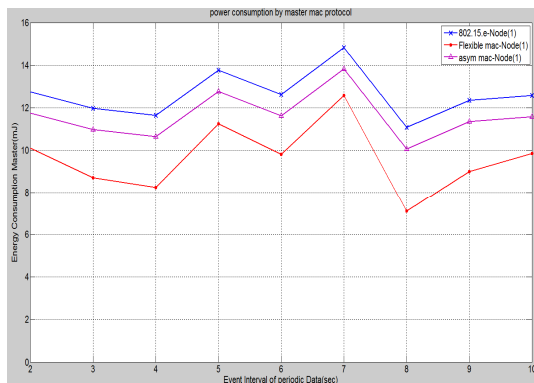


그림 9. 빅데이터 처리 Master 에너지 소모량 (1:1)

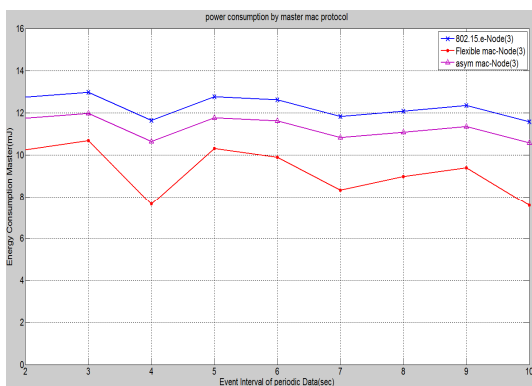


그림10. 빅데이터 처리 Master 에너지 소모량 (1:3)

그림 9와 그림 10은 크기가 큰 데이터 처리에 대

한 N=1 또는 N=3 환경에서 Master의 전력 소모를 나타낸다. 두 경우 모두 제안 방식이 제일 낮은 전력 소모를 나타내고 있으나 그림 8의 경우와 비교하면 데이터의 크기가 크면 구간 내에서 전환할 수 있는 Sleep 구간이 적어짐에 따라 다른 방식들과의 성능차이가 약간 줄어드는 것을 관찰할 수 있다.

그림 11은 Node 개수 증가에 따른 Node의 소비 전력을 전송 데이터 크기에 따라 kilo bits당 평균 소비전력을 나타내었다.

제안 방식이 기존 방식보다 데이터 크기에 상관 없이 월등하게 소비 전력이 감소함을 알 수 있고 Node 개수의 증가에도 소비전력이 급격하게 증가하지 않고 거의 일정하게 유지되는 것을 알 수 있었다. 이는 제안하는 MAC Protocol 이 모든 Node가 데이터를 보낼 순간만 활성화를 하게 되고, 서로간의 충돌이 일어나지 않게 미리 제어할뿐더러, 불필요한 재전송을 하게 되는 에너지 낭비가 없으며, 활성화/비활성화 상태를 최적 시나리오로서 전환하는 효율적인 에너지 관리를 하기 때문이다.

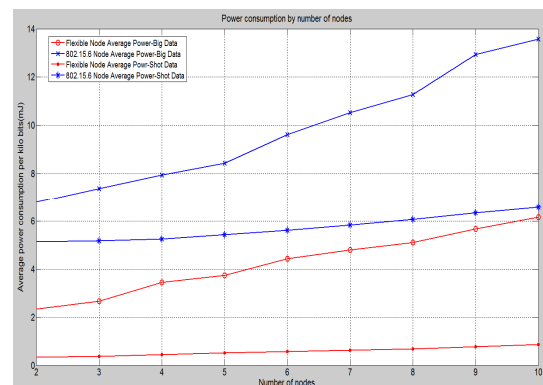


그림 11. 노드 수 증가에 따른 소비전력

### 3. 결론

본 논문에서는 WBAN 환경에서의 저전력 MAC 프로토콜 구현에 대한 연구를 수행하였다. 먼저, IEEE 802.15.6에서 다루고 있는 WBAN 표준 규격을 기반으로 기존 방식들에 대한 조사 분석을 수행하였다. 이를 기반으로 복잡도가 큰 Type 구간의 최소화사용과 전송되는 데이터 사이 시간대의 Sleep Mode 전환을 극대화 하는 등 전력 낭비가 발생하는 구간 및 요소들을 추출하여 이를 최적화 할 수 있는 유동적 상태 전환 가능 MAC 방안을 제안하였다. Opnet Simulator를 통한 모의실험 결과, 제안 방식이 주기적인 짧은 데이터 및 랜덤적인 커다란 데이터에 대해 제안 방식이 Master 및 Node의 소

비전력을 크게 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다.

다만, 향후 연구 방향으로는 기존 방식에 비해 동기화 및 사전 정보 교환 작업등의 추가되는 구현 복잡도가 증가하고, 재전송의 실시간 처리가 지연되는 전송 시간 지연발생에 대한 문제점을 좀 더 개선하여, WBAN 환경에서 저전력 및 전송 품질을 동시에 보장할 수 있는 최적 MAC 프로토콜 도출에 대해 추가 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

참고문헌의 제목은 장의 제목과 같이 11pt 두꺼운 글자체로 하되 번호를 붙이지 않는다. 참고문헌을 본문 중에 인용할 때는 인용부분 우측에 [2, 3] 또는 [2-5]와 같은 형태로 표시한다[2].

참고 문헌은 국내, 국외 각각에 대해 학술지 게재 논문, 학술회의의 게재 논문, 책 등의 유형에 따라 아래의 예와 같이 표기한다. 또한 참고 문헌은 인용한 순서대로 표시하는 것을 원칙으로 하며, [2], [3]와 같이 순번을 부여한다.

기타 참고문헌에 대해서는 아래 유형과 가장 유사한 형태를 활용하여 부여할 수 있다.

- [1] IEEE 802.15.4. : Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), Sep. 2006
- [2] IEEE 802.15 WPAN Task Group 6 Body Area Networks (WBAN)
- [3] 이재호, 엄두섭 "Wearable 장치를 사용하는 WBAN 환경에서 장치간 비대칭적 에너지 효율과 QoS를 위한 MAC 제안," 한국통신학회논문지, 제6권, 제37호, pp.395-404, 2012
- [4] 이재수, 안정근, 윤찬영, "WBAN을 지원하기 위한 개선된 슈퍼프레임 구조를 가지는 TDMA 기반의 CSMA/CA MAC프로토콜," 조명.전기설비학회논문지, 제 26권, 제1호, pp.87-93, 2012
- [5] 이인환, 이진우, 조성호, 조성래, "무선 인체통신 네트워크를 위한 복합 우선순위 MAC 기법," 한국통신학회논문지, 제 9권, 제35호, pp. 1305-1313, 2010



**최 준 성**

2012년 2월 한국산업기술대학교 졸업(학사)  
2013년 - 현재 한국산업기술대학교 석사과정

관심분야 : 재활공학, WBAN



**김 정 곤**

1991년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 (학사)  
1993년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 (석사)

1998년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 (박사)  
1998년 6월 - 1999년 5월 미국 University of Hawaii 전자공학과 Post-Doc  
1999년 6월 - 2001년 4월 LG Telecom 차세대 통신 연구소 선임 연구원  
2001년 5월 - 2003년 2월 삼성전자 통신 연구소 표준 연구팀 책임 연구원  
2010년 2월 - 2011년 2월 미국 USC 전기공학과 Visiting Scholar  
2003년 3월 - 현재 한국산업기술대학교 전자공학과 교수

4G 이동통신, MIMO, 협력통신,

관심분야 : 셀룰러 시스템, WBAN 구현 및 응용기술