

# WBAN을 위한 MAC 프로토콜 기술 동향 및 과제

김은교 | 손진호  
LG전자기술원

## 요약

WLAN, WPAN 기술에 이어 최근에는 인체영역에서의 의료용/비의료용 통신을 위한 무선 기술인 Wireless Body Network (WBAN)이 주목을 받고 있다. 이러한 추세에 따라 IEEE 802.15.6을 비롯한 여러 표준화 단체에서 인체영역의 무선 전송 기술 표준제정을 위해 활발한 활동을 벌이고 있다. 본 고에서는 이러한 인체영역 무선통신 기술의 표준화 동향과 MAC 프로토콜 설계 시 고려해야 할 사항 및 적용 가능한 기법에 대해 살펴본다.

## 1. 서론

WBAN은 인체 영역의 무선 통신이 가능한 네트워크이다. 여기서 인체 영역 무선 통신이란 인체 내부 혹은 외부에 위치한 단말들이 약 3m 내외의 범위에서 타 장치와 통신할 수 있는 무선 통신을 말한다.

WBAN이 WPAN, WLAN 등 다른 네트워크와 구별되는 큰 특징 중 하나는 의료용 application을 하나의 killer item으로 고려하고 있다는 점이다. 의료용 application의 경우 다른 네트워크에서 크게 고려되지 않았으므로, 이에 적합한 새로운 요구사항을 반영할 수 있는 기술이 필요하다. 또 다른 큰 특징은 인체 내부에 이식되는 implanted 장치의 무선 통신을 고려하고 있다는 점이다. Implanted 장치의 경우 신호 감쇄 및 안테나 크기 등 여러 가지 제약사항 때문에 기존의 무선

통신 기술을 그대로 적용할 수 없다. 이러한 WBAN만의 특성을 고려한 새로운 형태의 표준 통신 프로토콜을 정의하기 위해 IEEE 802.15 Working Group에서 많은 논의가 이루어졌으며, 2008년 1월부터 본격적인 활동에 들어간다.

본 고에서는 기존의 BAN 표준화 동향, WPAN 환경과 구별되는 WBAN 특성, WBAN의 MAC 계층 이슈 및 WPAN의 MAC 기술의 적용 가능성 등을 차례로 살펴본다.

〈표 1〉 WBAN Technical Requirement

	Requirement	Proposed Range
Operating space	In, on, or around the body	Up to 3 m
Data rate	Scalable	Up to 10Mbps
Target bands	Unlicensed and Medical approved bands	MICS*, MEDS**, ISM
Device duty cycle	Scalable	Up to 100% · For example, between 0.001-1% in stand-by mode up to 100% in fully active mode
Peak Power consumption	Scalable	Up to 40mW · For example, between 0.01-0.1mW in stand-by mode up to 40mW in fully active mode · Ability to be switched-off completely
Coexistence	Coexistence with legacy devices, primaries, and self-coexistence	Simultaneous nearby operation of hundreds devices belonging to different BANs
Security	High	Authentication, privacy, encryption, etc.
Safety	High	Meet regulation requirements for SAR***
Topology	Multiple simultaneous links	Tens of simultaneous links, no single point of failure, and multi-hop support
Network Setup	Required	Secure and under a few seconds
Location information	Desirable	Localization within a radius of a few centimeters

· MICS\*: Medical Implant Communications Service  
· MEDS\*\*: Medical Data Service  
· SAR\*\*\*: Specific Absorption Rate (전자파 인체흡수율)

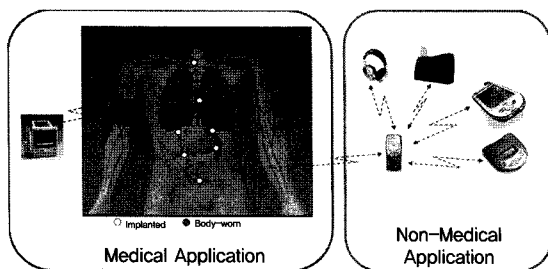
## II. IEEE 802.15 WBAN 표준화 동향

IEEE 802.15 Working Group은 Wireless Personal Area Network (WPAN)을 위한 표준화 기구로 블루투스, mmWave 등 근거리 무선 통신 기술들의 표준 제정을 담당하고 있다. Wireless Body Area Networks는 3m 이내의 인체 내/외부 장치 간 통신이 가능한 네트워크를 의미하며, 2006년 5월 Interest Group (IG) 형태로 처음 회의를 가진 이후 2007년 5월 Study Group (SG)을 형성하였고, 상위 기관 승인을 거쳐 2008년 1월 회의부터는 Task Group 6으로 표준 제정 활동을 본격적으로 시작할 예정이다. 지금까지는 논의된 내용은 주로 WBAN 표준에서 다룰 기술적 범위, 요구사항, application, regulatory 이슈, channel model 등으로, 여러 가지 기술들이 대략적으로 소개되었으나 적용할 기술적 내용이 구체적으로 논의되거나 결정된 상태는 아니다. <표 1>은 TG 6에서 정의하고 있는 WBAN의 기술적 요구사항을 보여준다.

### 1. WBAN Application

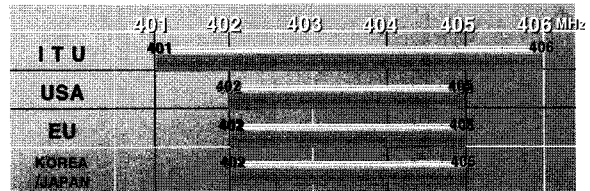
크게 의료용과 비의료용 application으로 구분될 수 있다 (그림 1). SG 형성 당시 표준 scope을 의료용 application으로 제한하지는 움직임으로 인해 그 명칭이 Medical BAN SG가 되었으나, 최종적으로 오디오/비디오 전송 등과 같은 비의료용 application까지 포함하는 것으로 결정되었다.

의료용 application은 심전도/혈압 측정, 심박 보조 조정기/인슐린펌프, 근육 수축/이완기, 보청기 등을 포함하고 있으며, 이 중 일부 application의 경우 인체 내부에 이식하여 동



(그림 1) WBAN Applications

작할 수 있는 implanted device와 삼킬 수 있는 캡슐형 내시경 device까지도 다루고 있다. 비의료용 application은 폰 북/사진 등의 데이터 파일 전송, 오디오/비디오 스트리밍 전송 등 기존의 WPAN application의 대부분을 포함한다.



(그림 2) WBAN 주파수 대역

### 2. WBAN Regulatory

의료용 application이 WBAN application 중 큰 부분을 차지하고 있으므로 WBAN에서는 2.4GHz ISM주파수 외에 Medical Implanted Communications Service를 위한 401 MHz ~ 406 MHz 주파수 대역의 사용을 고려하고 있다 (그림 2). 또한 UWB 기술을 위한 광대역 주파수 대역 역시 WBAN을 위한 후보 주파수 대역으로 논의되고 있다.

또한 주파수 대역 외에도 WBAN 환경은 인체 가까이에서 동작하는 장치들을 대상으로 하고 있기 때문에 인체 전자파 흡수율 (Specific Absorption Rate, SAR) 에 민감하다. 각 국가별로 SAR 기준치(표 2)가 약간 다르기는 하지만, 현재까지의 WBAN 연구 결과로는 이 수치를 넘지 않는다고 한다. 그러나 주파수 대역이 결정된 이후에, 실험을 통해 SAR 기준 만족 여부를 확인할 필요가 있다.

<표 2> 국가 및 기관별 SAR 기준

Application	우리나라	ICNIRP	CENELE	미국 FCC	JAPAN
SAR 기준치	1.6 W/Kg	2 W/Kg	2 W/Kg	1.6 W/Kg	2 W/Kg
SAR 산출을 위한 조직 무게	1g	10g	10g	1g	1g

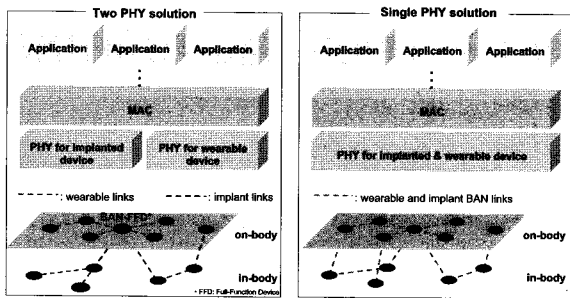
· ICNIRP: International Commission on Non Ionising Radiation Protection, 국제비전리복사방호위원회  
 · CENELEC: European Committee for Electrotechnical Standardization, 유럽전기기술표준위원회  
 · FCC: Federal Communication Commission, 미국연방통신위원회

### 3. WBAN Technology

Implanted device가 사용하는 인체 내부 링크는 일반 air 링크와는 그 특성이 매우 다르다. 따라서 두 링크의 특성을 모두 지원하기 위한 다양한 논의가 오가고 있다. 특히 전체

architecture에 관한 논의가 많았는데, 인체 내부 링크와 외부 링크를 하나의PHY 기술로 지원할 것인지, 아니면 각기 다른 두 개의 PHY 기술로 지원할 것인지에 대한 논의가 활발히 이루어지고 있다 (그림 3).

최근 회의 결과, 현재로서는 두 개의 PHY 기술을 만드는 의견이 더 우세한 상황이다.



(그림 3) WBAN Architecture 구성도

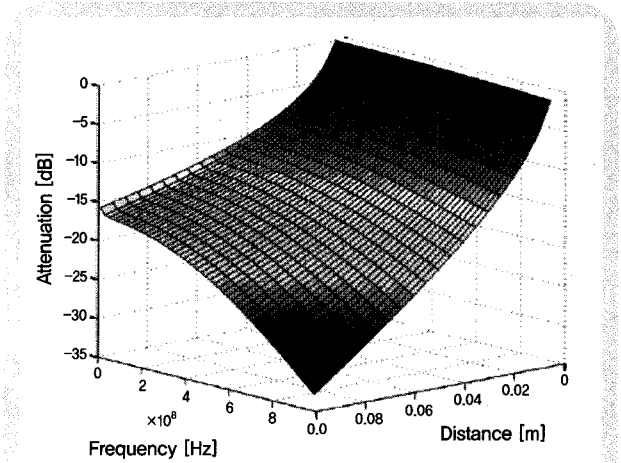
### III. WBAN의 특성

#### 1. 인체에 의한 전파 감쇄

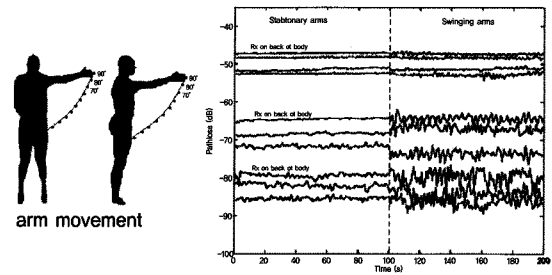
WBAN에서의 통신은 크게 implanted device 간의 통신, implanted device와 wearable device 간의 통신, wearable device 간의 통신으로 구분될 수 있다. 세 경우 모두 인체가 가까이에서 동작하기 때문에 인체에 의한 전파 감쇄현상이 크며, 특히 implanted device와의 통신인 경우 신호 감쇄로 인한 path loss가 더욱 커진다.

이러한 신호 감쇄 현상은 사용 주파수 대역에 따라 달라진다 (그림 4). 그리고 같은 주파수 대역을 사용하더라도 인체와 device 간의 거리에 따라서도 신호 감쇄 정도가 변하기 때문에, device가 부착된 인체의 움직임에 따라서 그 정도가 변화된다 (그림 5).

또한 같은 주파수를 사용하고 인체와 device 간의 거리가 같다 하더라도, 근육량이나 지방량과 같은 개인의 신체 특성에 따라 전파 감쇄 정도가 달라질 수 있다. 따라서 인체 영역에서의 channel modeling을 위해서는 여러 가지 사항을 복합적으로 고려해야 한다.



(그림 4) 주파수 및 거리에 따른 감쇄 현상의 변화



(그림 5) 신체 움직임에 따른 pathloss의 변화

#### 2. 상이한 서비스 품질 요구

앞서 살펴본 바와 같이 WBAN은 일반 데이터 전송 application부터 의료용 application까지 모두 지원해야 하므로, 각 application에 적합한 QoS를 제공해야 한다(표 3). 일반적으로 의료용 데이터들은 전송할 데이터의 양이 적고 전송 주기가 길다. 하지만 오디오/비디오 데이터의 경우에는 그 크기가 매우 크고 bulk 혹은 짧은 주기로 계속해서 전송되어야 한다. 또한 의료용 데이터의 경우에는 생명과 관련된 긴급한 데이터를 우선적으로 전송해야 하는 경우가 있으므로, 이러한 데이터를 처리하기 위한 메커니즘이 반드시 필요하다.

#### 3. 배터리 충전의 어려움

WBAN device는 인체에 부착되는 wearable device와 인체 내부에 이식되는 implanted device를 포함한다. Implanted device의 경우 기기 충전이 매우 어려우므로, 한번의 이식

〈표 3〉 WBAN application 별 요구사항

Application	Target data rate	Latency	BER
Drug Delivery	< 16 Kbps	< 250 ms	< 10 <sup>-9</sup>
Deep Brain Stimulation	< 320 Kbps	< 250 ms	< 10 <sup>-9</sup>
Capsule형 내시경	1 Mbps	-	< 10 <sup>-9</sup>
ECG* (심전도)	192 Kbps (6 Kbps, 32 channels)	< 250 ms	< 10 <sup>-9</sup>
EEG** (뇌파도)	86.4 Kbps (300Hz sample, 12-bit ADC, 24 channels)	< 250 ms	< 10 <sup>-9</sup>
EMG*** (근전도)	1.536 Mbps (8kHz sample, 16-bit ADC, 12 channels)	< 250 ms	< 10 <sup>-9</sup>
Glucose level monitor	< 1 Kbps	< 250 ms	< 10 <sup>-9</sup>
Audio	1 Mbps	< 20ms	< 10 <sup>-5</sup>
Video / Medical imaging	< 10 Mbps (e.g., Standard Video)	< 100ms	< 10 <sup>-3</sup>
Voice	50 - 100 Kbps per flow	< 10ms	< 10 <sup>-3</sup>

수술을 통해 수 년을 동작할 수 있을 정도로 전력 소모량이 작아야 한다. Wearable device의 경우도 소형, 경량의 형태로 만들어 휴대성을 보장해야 하므로, 전원 연결 보다는 배터리가 사용될 가능성이 높다. 따라서 wearable device의 경우도 전력 소모량이 낮아야 한다. WPAN 기술인 Bluetooth나 802.15.4 기술이 각각 120mW, 60mW 정도의 전력을 소비하는데, WBAN의 경우 이보다 훨씬 적은 40mW 정도의 에너지 소비량이 요구된다.

#### 4. 개인 정보 전송

의료용 application은 개인 의료 데이터를 취급한다. 이러한 데이터는 개인 신상 정보이므로 외부로 유출되는 것에 매우 민감할 수 있다. 따라서 해킹이나 기타 다른 이유로 데이터가 새어나가는 경우가 없어야 한다.

### IV. WBAN MAC 프로토콜 요구사항

앞서 살펴본 WBAN의 특성을 반영하기 위해 MAC 계층 설계에 있어서 다음 사항들이 요구된다. 표준화 회의에서는 아직 각 요구사항들에 대한 구체적인 기술적 접근 내용이 발표되고 있지는 않다. 다만 WBAN보다 range와 전력 소모량이 다소 크기는 하나, 현재 기술 중 WBAN 기술과 가장 가까운 WPAN 기술의 적용여부에 대한 논의가 조금 있었다. 논의되었던 내용을 바탕으로 WBAN 환경의 요구사항들을

만족시키기 위해 필요한 기술들과, 기존의 표준 기술 중 주로 IEEE 802.15.4 WPAN 기술이 WBAN 환경에도 적용 가능한지 여부에 대해 살펴본다.

#### 1. 전송 신뢰성 보장

##### - 링크 관리 기법

802.15.4와 같은 기존의 WPAN MAC에서는 링크 실패를 판단하기 위해 타이머를 사용하여, 일정한 시간 동안 데이터 응답을 받지 못하면 peer device가 실패했다고 판단하여 링크를 해제한다. 그러나 WBAN 특성을 고려했을 때 이러한 기법을 그대로 적용하기는 어렵다. WBAN은 인체의 여러 가지 상황과 조건에 따라 신호 감쇄 현상이 발생하고 그 정도 또한 변하기 때문에, 일시적으로 링크가 끊어질 수 있다. 따라서 기존의 방법을 그대로 적용하는 경우 실제 peer 실패가 발생하지 않았지만 일정 시간 동안 응답을 받지 못해 링크가 해제되는 경우가 생길 수 있다. 그러므로 신호 감쇄 및 path loss 상황을 고려할 수 있는 링크 관리 기법이 필요하다.

##### - 데이터 relaying 기법

기존의 IEEE 802.15.3 혹은 15.4 표준은 one hop 통신만을 지원한다. Multi hop 통신을 위한 표준은 IEEE 802.15.5로, 15.3 및 15.4 device들이 mesh topology를 형성하여 multi hop 전송을 지원할 수 있도록 하며, 현재 표준화가 진행 중이다. WBAN에서도 이러한 multi hop 전송을 고려해야 하는 이유는 역시 신호 감쇄로 인한 path loss 때문이다. 같은 장치라도 각 장치의 위치, 개인 인체 특성, 신체 움직임 등에 따라 목적지까지의 링크가 one hop으로 형성될 수도 있고 그렇지 못할 수도 있다. 따라서 때로는 중간 노드가 데이터를 전달해줘야 할 수 있다. 하지만 WBAN 장치에 802.15.5와 같은 mesh 프로토콜 전체를 구현하는 것은 비효율적일 수 있다. 프로토콜 오버헤드와 성능 간의 trade off 조정을 위해 좀 더 많은 연구가 필요하다.

##### - 에러 정정 기법

802.15.4와 같은 기존의 WPAN MAC에서는 기본적으로 CRC를 통해 에러를 검출하며 1/3 혹은 3/2 Forward Error Correction (FEC), Automatic Repeat Request (ARQ) 기법을

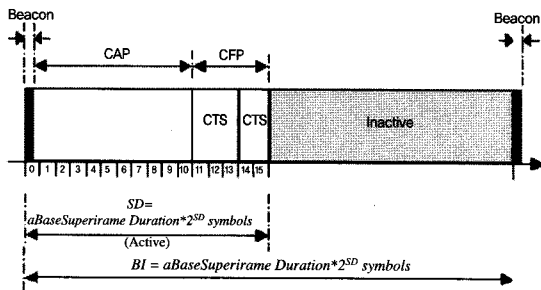
통해 해당 에러를 복구하거나 프레임을 재전송 받을 수 있다. WBAN에서도 이러한 기법이 그대로 적용될 수도 있으나 생명에 직접적으로 관련되는 긴급 데이터 전송에도 적용할 수 있는지에 대한 충분한 검토가 필요하다.

## 2. 서비스 품질 보장

### - 자원 예약 기법

802.15.4 표준에서는 superframe 구조를 사용하여 각 장치의 medium access를 조정한다. 하나의 superframe은 장치가 데이터를 주고 받을 수 있는 active period와, power saving mode로 동작할 수 있는 inactive period로 나누어져 있다. Active period는 다시 장치간 경쟁을 통해 medium access가 가능한 contention access period (CAP) 구간과, 지정된 시간에 지정된 장치만 데이터를 주고받을 수 있는 contention free period(CFP) 구간으로 나누어진다.

CFP 구간은 몇 개의 Guaranteed Time Slot (GTS)으로 나누어져 사용된다 (그림 6). GTS 구간에서는 미리 약속된 특정 장치 에게만 자원을 예약 할당하여, 해당 장치 외에는 데이터를 보낼 수 없다. WBAN에서도 중요한 데이터를 충돌 없이 보내거나, 긴급한 데이터, 실시간 데이터 전송을 위해서 이러한 자원 예약 기법을 적용할 수 있다. 그러나 802.15.4에서 정의하고 있는 GTS는 한 superframe 내에 최대 7개까지만 사용될 수 있으므로 확장성이 떨어진다. 따라서 이를 보완할 수 있는 자원 예약기법이 적용되어야 한다.



(그림 6) 802.15.4 superframe 구조

### - 우선순위 전송 기법

802.15.4 표준은 앞서 설명한대로 CAP 구간과 CFP 구간으로 나누어진다. CFP 구간에서는 정해진 장치만 데이터를 전

송할 수 있으므로 해당 시간에 대해서는 다른 장치에 비해 높은 우선순위로 전송이 가능하다. 그러나 CAP 구간 내 혹은 CFP 구간 내에서는 우선순위 없다. CAP 구간에서는 random access 기법을 통해 각 장치가 medium을 확보할 확률이 같으며, CFP 구간에서는 먼저 GTS를 요청한 장치에게 가능한 자원을 할당한다. WBAN에서는 긴급한 데이터나 실시간 데이터를 지원해야 하므로, 이러한 802.15.4의 medium access 기법의 수정/보완이 필요가 있다.

### - 다양한 데이터 전송률 지원

앞서 살펴본 바와 같이 WBAN은 application마다 요구하고 있는 데이터 전송률이 매우 상이하다. 포도당 측정 application의 경우 1Kbps 미만의 전송률을 요구하지만, video 전송 application의 경우 10Mbps 정도의 데이터 전송률을 요구한다. 이러한 큰 데이터 전송률 차이를 모두 효과적으로 처리할 수 있도록 적합한 fragmentation 기법 등이 적용되어야 한다.

## 3. 저전력 전송

### - duty cycle 관리 기법

802.15.4 표준 역시 저전력 통신을 위해 낮은 duty cycle로 동작할 수 있도록 정의되어 있다. 각 장치는 beacon frame을 항상 수신해야 하므로, power saving mode에 있다가도 beacon frame 수신을 위해 beacon 간격마다 receiver를 활성화해야 한다. Beacon frame은 최대 251,68424 초 간격으로 전달되므로, 적어도 이 시간 마다 한번은 깨어나서 beacon frame을 수신해야 한다. 이러한 동작방식에 의해 802.15.4 장치들은 0.1% ~ 100%의 duty cycle을 가질 수 있다. WBAN에서는 최소 0.001%의 duty cycle을 요구사항으로 고려하고 있다. 따라서 802.15.4 표준의 기법을 그대로 적용하기는 무리가 있어 보인다. 또한 802.15.4 표준에서는 한 coordinator에 연결된 모든 장치들이 같은 duty cycle로 동작하게 된다. 하지만 WBAN application마다 요구하는 duty cycle 이 상이하므로, 이를 잘 반영할 수 있는 방법이 필요하다.

## 4. 데이터 보안 기법

### - 인증 기법

802.15.4에서는 Access Control List (ACL)을 사용하여 상

대 단말의 접속을 제어한다. 이러한 ACL entry는 PAN 영역 내의 모든 장치들이 공유하고 있는 default ACL entry와, 장치 별로 추가할 수 있는 additional ACL entry로 나누어진다. ACL 보안 모드를 사용하는 장치는 ACL entry에 속한 장치들만 접속을 허용한다. WBAN 환경에서도 어떻게 타 장치를 인증할 것이며, 어느 수준으로 인증할 것인지에 대한 고민이 필요하다. WBAN 장치들의 크기나 processing power를 고려했을 때, 802.15.4 표준의 ACL 정도의 인증이 적절할 것인지의 여부는 좀 더 검토가 필요할 것으로 보인다.

**- 암호화 기법**

802.15.4 표준에서는 보안 모드 중 Security 모드를 사용하는 경우, Counter with CBC-MAC star (CCM\*) 방식을 이용하여 전송되는 데이터를 암호화한다. CCM\* 암호화 기법은 비교적 단순하고 기본적인 수준의 암호화 알고리즘이다. 강력한 암호화 알고리즘의 경우 구현이나 동작에 있어 processing overhead 및 processing power가 커질 수 있다. 따라서 개인 정보를 담은 데이터가 전송되는 WBAN 환경을 고려해 어느 정도 수준의 암호화 알고리즘이 제공되어야 하는지를 분석하여, CCM과 같은 기존 WPAN 암호화 기술의 적용 가능성 여부를 살펴보아야 한다.

**V. 결 론**

앞서 살펴본 바와 같이 WBAN은 기존의 무선 통신 환경과 상이한 점이 많다. 따라서 이를 반영하기 위한 다양한 PHY 및 MAC 계층 요구사항들이 존재한다. 특히 MAC 계층 프로토콜 설계에는 신뢰성, 적절한 QoS 제공, 저전력 통신, 보안 등이 고려되어야 한다. 이를 위해 802.15.4 프로토콜과 같은 기존의 MAC 프로토콜을 그대로 WBAN에 적용하기에는 무리가 있어 보인다. 따라서 여러 가지 기술을 충분히 검토, 분석한 후 WBAN 특징 및 요구사항을 잘 반영할 수 있는 기법이 적용되어야 한다.

**참 고 문 헌**

- [1] <http://www.ieee802.org/15>
- [2] "Medical BAN 표준화 동향 및 주요 Issue," 주간기술동향 통권 1310호 (발행일: 2007.08.22)
- [3] "Characterization of the ultra wideband body area propagation channel," Proc. IEEE Int. Conf. Ultra Wideband 2005.
- [4] 15-07-0564-00-0ban-usecases-apps-reqs.ppt (<ftp://ftp.802wirelessworld.com/15/07/>)
- [5] 15-07-0564-00-0ban-usecases-apps-reqs.ppt (<ftp://ftp.802wirelessworld.com/15/07/>)
- [6] 15-07-0787-00-0ban-channel-modeling-and-signaling-medical-implanted-communication-systems.pdf (<ftp://ftp.802wirelessworld.com/15/07/>)
- [7] 15-07-0564-00-0ban-usecases-apps-reqs.ppt (<ftp://ftp.802wirelessworld.com/15/07/>)
- [8] 15-06-0487-00-0ban-possible-approaches-to-provide-good-phy-solution-ban.ppt (<ftp://ftp.802wirelessworld.com/15/07/>)
- [9] 15-06-0337-00-0ban-tutorial-body-area-networks-part2.pdf (<ftp://ftp.802wirelessworld.com/15/07/>)

**약 력**



**김 은 교**

2003년 고려대학교 학사  
 2005년 고려대학교 석사  
 2005년 ~ 현재 LG전자기술원 주임연구원  
 관심분야: WBAN/WPAN/WLAN MAC protocol 설계 및 개발, Ubiquitous Networking 기술 개발



**손 진 호**

1991년 성균관대학교 학사  
 1993년 성균관대학교 석사  
 2004년 성균관대학교 박사  
 1993년 ~ 1998년 LG정밀  
 1999년 ~ 2000년 LG정보통신  
 2001년 ~ 현재 LG전자기술원 책임연구원, PAN Group장  
 관심분야: WBAN/WPAN/WLAN 시스템 설계 및 개발, 무선 응용 개발, Cognitive Radio, Network Convergence, Ubiquitous Seamless Networking 기술 개발