

노약자와 장애인의 건강상태를 모니터링하기 위한 소형 저 전력  
휴대용 Bio-signal 측정 장치의 개발

송길섭\*, 정현권, 송민, 변중남, 이희영  
전남대학교 전자공학과

TEL: 062-530-1751, FAX: 062-530-1759

Development of Portable Power-Efficient Bio-Signal Monitoring System  
using Bluetooth for the elderly and the disabled

Kil-Sup Song, Hyun-Gwon Jung, Min Song, Zeungnam Bien, Heyoung Lee  
Department of Electronics Engineering, Chonnam National University  
e-mail: u0120659@moiza.chonnam.ac.kr, jhg@moiza.chonnam.ac.kr,  
u0020641@moiz.chonnam.ac.kr, leehy@chonnam.ac.kr

**Abstract** - A portable bio-signal measurement system for 24-hours continuous health monitoring of the elderly and the disabled is presented. The measurement system has the functions of acquisition of various bio-signals such as ECG, EMG and EEG, wireless data transmission/receive and adjustment of parameters such as gain and cut-off frequency. The data is sent to a host computer or other device via a Bluetooth. The design targets of the developing system for volume and power consumption are 20x30x5(mm<sup>3</sup>) and 8mW.

1. 서 론

지속적인 생활 수준의 향상과 보건, 의료기술의 발달로 국민들의 평균 수명 연장과 함께 노인인구가 크게 늘어나고 있다[1-2]. 65세 이상 노인 인구가 2000년에 전체인구의 7.1%를 넘어서 고령화 사회에 진입했고, 2022년에 14%를 넘어서 고령사회가 될 전망이다. 이러한 65세 이상 노인 인구의 대다수(약87%)가 장기간 치료를 요하는 만성퇴행성 질환을 앓고 있으나 이들을 효율적으로 치료, 요양할 시설과 프로그램은 매우 부족한 실정이며 이로 인해 노인 부양 가정에 경제적으로 큰 부담을 주고 있다. 과거 전통사회에서 노인은 가정 내에서 중요한 역할을 해왔으나 사회, 경제, 문화적 여건의 변화와 함께 노인부부 또는 혼자 사는 노인이 늘어나고 있는 실정이다.

건강상태가 불안정하고 거동이 불편한 노인과 장애인에게 어디서나 쉽게 전문의료진에 의한 진료를 받을 수 있는 기회를 제공하여 경제적인 부담감을 해소하고 심리적인 안정과 신체적 기능회복을 도모할 수 있는 편리하고 수준 높은 의료 서비스의 필요성이 부각되고 있다.

본 연구에서 노약자나 장애인의 건강상태 변화를 점검하고 갑작스러운 발병에 신속히 대처함으로써 합병증의 최소화 및 이들의 삶의 질 향상에 기여할 목적으로 24시간 연속 건강상태 모니터링 시스템을 개발하고 있다. 노약자에게 주로 발병하는 심혈관 및 뇌혈관질환은 연속적인 관찰을 통해 초기에 질병의 발생/악화 유무를 판단할 수 있으며 신속한 대응으로 합병증을 최소화 할 수 있다[3]. 24시간 연속 건강상태 모니터링 시스템은 사용자의 심전도, 근전도, 혈압, 호흡 등 전기화학적 신호와 자세, 게이트 패턴, 제스처 등의 행동정보와 얼굴표정, 목소리, 이상행위 등의 감정 정보를 종합적으로 관찰하고 판단하여 질병의 예방과 진단을 가능하게 하는

것을 목적으로 한다.

일반적인 휴대용 생체신호 측정장치인 ECG(Holter) 장치는 Holter에 의해 개발되었고 광범위하게 연구되었다[4]. Bellet는 유사한 장치를 사용해 연속 2시간 동안의 데이터를 저장할 수 있는 시스템을 고안했다[5].

그러나 이들 휴대용 ECG 측정장치는 장기간에 걸쳐 사용하기 어렵고, 또한 무겁고 부피도 커서 착용하기에 불편하다.

최근에는 작고 착용하기 편한 다양한 생체신호 측정장치들이 개발되고 있다. M. Yamashita 등은 손가락의 맥박을 모니터링 하기 위한 반지형 무선장치 개발했다[6]. 또한 Casio (BP-100, JP200W -IV) 와 Omron (HEM-608, HEM-609)을 포함한 여러 회사들은 손목시계형의 맥박, 산소포화도 및 혈압 센서를 개발하여 상품화하였다. 그러나 이들 측정 장치는 통신 기능이 약하고 사용에 많은 제약이 있다. 이러한 휴대가 가능하고 장시간 사용할 수 있는 생체신호 측정 장치는 소형 저 전력 특성이 요구되며 더 나아가, 착용 중 사용자의 신체 활동에 따른 잠을 등에도 강해야 한다. 또한 무선으로 측정된 데이터를 전송할 수 있는 기능을 가져야 한다.

본 논문의 목적은 질병을 초기에 발견하고 응급상황에 신속한 대처를 가능하게 하고 병원을 직접 방문하지 않고 집에서 병원의 의사로부터 의료서비스를 제공받기 위해 7가지 생체 신호를 측정할 수 있는 소형, 저 전력 특성을 갖는 24시간 건강 상태 모니터링 시스템을 개발하는데 있다.

2. 본 론

2.1 건강상태 모니터링 시스템

우리는 다양한 인체정보를 통해 환자의 건강상태와 발병의 징후를 알 수 있다. 이러한 인체정보에는 심전도, 근전도, 뇌파, 호흡, 혈압, 체온 등과 같은 물리적 정보와 몸짓, 자세, 걸음걸이와 같은 행위적 정보, 얼굴표정, 목소리 등과 같은 감정적 정보로 분류할 수 있다. 이러한 정보들을 통합, 분석함으로써 보다 정확한 건강상태의 진단이 가능할 것이다. 표 1.은 다양한 인체정보들의 특징을 정리한 것이다.

본 연구에서 개발한 건강상태 모니터링 시스템은 소형 생체신호 측정장치를 통해 얻어진 다양한 생체신호들을 블루투스를 이용하여 사용자가 옥내에 있을 경우 가정의 PC로 전달되고, 옥외에 있을 경우에는 블루투스 기능을 지원하는 휴대폰이나 PDA, IMT-2000 등과 같은 개인용 통신기기를 이용하여 무선 인터넷망을 통해 사용자

가정의 PC로 전달된다. PC에 수신된 생체신호들은 잡음이 제거된 후 진단 소프트웨어를 통해 특정 파라미터 값들이 추출된다. 건강상태의 이상 유무를 판단하고, 이상이 있을 시에는 실시간으로 병원과 사용자에게 위험을 알려 위급한 상황에 신속한 대처를 가능하게 한다. 또한 PC에서 추출된 특정 파라미터들과 원 신호는 인터넷을 통해 병원 서버에 전달되어 DB에 저장된다. 이렇게 모아진 장기간의 데이터들은 환자의 과거 병력과 종합하여 정확한 진단을 내릴 수 있게 한다. 이러한 건강상태 모니터링 시스템은 특히 건강상태가 불안정하고 거동에 많은 제약을 받는 노약자 및 장애인에게 병원까지 가야하는 불편을 줄이면서 24시간 연속적인 건강상태 모니터링을 함으로써 저렴한 가격으로 고품질의 의료 서비스를 제공할 수 있을 것이다. 그림 1.은 24시간 건강상태 모니터링 시스템의 전체적인 개념을 나타낸다.

표 1. 인체 정보의 분류 및 특징

Subject Matters		Characteristics
Bio-signals	ECG,EMG, EEG	Amp. Range: 0.5mV-4mV Freq. Range: 0.01Hz-250Hz
	Blood pressure	Amp. Range: +/-5mV Freq. Range: DC-2kHz
	Respiration	Amp. Range: 0.001mV-0.1mV Freq. Range: DC-150Hz
	Body temp	Amp. Range: +/-1V Freq. Range: 8kHz
Motion and Expressions	Gestures	Reflection of body states
	Facial expression	Reflection of emotion
	Gait pattern	Reflection of body balance
	Postures	Reflection of body balance
Smell	Reflection of body states	
Voice, Noise	Freq. Range: 10Hz-10KHz	

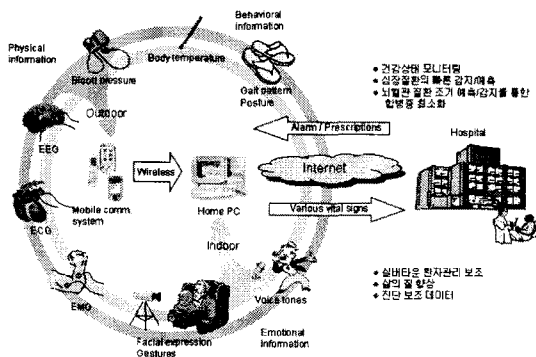


그림 1. 건강상태 모니터링 시스템의 개념도

## 2.2. Bio-signal 측정장치의 구조

본 연구에서 개발한 생체신호 측정장치는 무선통신을 위해 블루투스를 사용하였고 국제 의료장비 규격인 AAMI (Association for the Advancement of Medical Instrumentation)의 권장규격에 따라 설계되었다(7).

심전도의 경우 환자의 몸에 부착되는 전극은 paste 처리된 Ag-AgCl 전극 3개로 구성되어 있으며 이를 통해 얻어진 신호는 환자의 움직임에 따른 DC성분을 없애기

위해 차단 주파수가 0.1Hz인 RC회로로 구성된 고역통과필터를 통해 차동증폭기인 Instrumentation Amplifier에 의해 500배 증폭된다. Instrumentation Amplifier에 의해 증폭된 신호는 차단 주파수가 250Hz인 저역통과 필터에 입력되어 각종 고주파 잡음들이 제거된다. 이 신호는 마이크로 컨트롤러에 내장된 A/D Converter에 의해 Digital신호로 변환된 후 Buffer를 거쳐 자체 UART 모듈을 통해 HCI Data 패킷 형태로 블루투스 모듈에 전달되고 무선으로 PC나 휴대용 무선통신 기기로 전송된다. 마이크로 컨트롤러와 블루투스 모듈간의 UART 전송속도는 115,200bps이고 블루투스 비동기 채널의 전송속도는 723.2kb/s이다. 그리고 마이크로 컨트롤러에 의해 Instrumentation Amplifier의 이득과 저역통과 필터의 차단 주파수가 원격 조정됨으로써 전기적 특성이 다른 다양한 생체신호 측정이 가능하다. 그림 2.는 생체신호 측정장치의 블록도 이다.

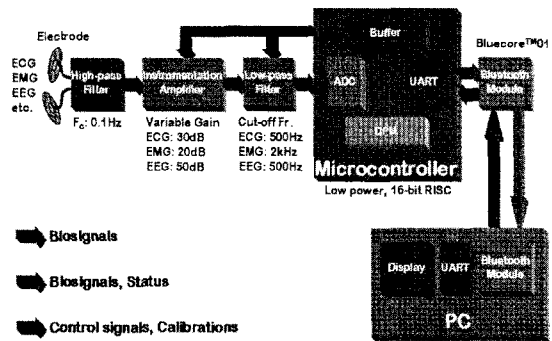


그림 2. 생체신호 측정장치의 블록도

생체신호 측정장치는 착용 편의성을 위해 가볍고 작아야 하기 때문에 큰 배터리를 사용할 수 없다. 그러므로 전력소모를 줄이는 것은 장시간 사용하기 위한 목적뿐 아니라 생체신호 측정장치의 크기를 줄이기 위해 필요하다. 이를 위해 소자들은 크기가 작으면서도 전력소모량이 적은 것으로 선택되었다.

### 1. 고역통과 필터

RC회로를 구성하여 고역통과 필터를 구현하였고 피 측정자의 신체 활동 시 발생하는 잡음을 제거하게 된다. 저항 3.3MΩ, 콘덴서 용량 0.47uF이고, 차단 주파수는 0.1Hz이다.

### 2. Instrumentation Amplifier

AAMI는 Instrumentation Amplifier의 입력 임피던스를 2.5MΩ이상, CMRR (Common Mode Reject Ratio)은 표준 심전도기의 경우 최소 89dB, 휴대용 심전도기는 60dB로 규정하고 있다. 본 연구에서는 1000MΩ의 입력 임피던스와 최소 90dB의 CMRR을 갖는 Analog Devices사의 AD627을 사용하였다. 증폭기의 최대 소비전류는 85uA이고 이득은 마이크로컨트롤러에 의해 조정되는 가변저항으로 변화되는데 1-1000배 범위에서 조절할 수 있다.

### 3. 저역통과 필터

저역통과 필터는 Anti-Aliasing의 목적으로 쓰였고 Maxim사의 5차 Elliptic Lowpass Switched-Capacitor Filter MAX7247을 사용하였다. 필터의 최대 소비전력은 0.8mA이며 Shutdown Mode 일 때는 0.2uA이다. 또한 마이크로 컨트롤러의 Timer에서 출력되는 Clock을 사용하여 차단주파수는 Clock을 변화

에 따라 1Hz-12kHz 범위에서 조정이 가능하다.

#### 4. 마이크로 컨트롤러

마이크로 컨트롤러는 블루투스 모듈과 UART 직렬 통신을 하게되며 HCI Command 패킷형태의 명령을 통해 블루투스 모듈이 상대 블루투스 모듈을 확인하고 데이터 전송을 위한 ACL(asynchronous connection-less)링크가 형성되면 HCI Data 패킷형태로 측정된 생체신호 데이터를 블루투스 모듈을 통해 PC에 전달한다. Texas Instrument사의 MSP430-F149를 사용하였으며 특징은 12bit A/D 컨버터와 UART 모듈을 내장하고 있어 생체신호 측정장치 소형화에 유리하고 또한 1MHz, 2.2V에서 소비전류가 280 $\mu$ A(저 전력 모드에서는 0.1 $\mu$ A)로 소비전류도 적다. 프로그램을 위한 Flash Memory 60KB+256B와 2KB의 RAM을 갖는다.

#### 5. 블루투스 모듈

블루투스는 근거리 무선통신 기술 규격으로 장치간의 연결 케이블을 대체하기 위해 개발되었다. 개발 단계에서부터 고려된 소형, 저 전력특성과 기기 간의 상호 접속성으로 무선네트워크 구축이 용이하며 다양한 어플리케이션 및 Ethernet과 같은 프로토콜을 적용할 수 있어 산업 및 일상 전반에 걸쳐 광범위하게 사용될 수 있다. 향후 PDA, IMT-2000 단말기 등의 다양한 개인 휴대 통신기기에 블루투스 기능이 내장될 것으로 예측된다. 또한 ISM밴드를 사용함으로써 전세계 공통으로 사용할 수 있는 송수신 모듈을 제조할 수 있다는 장점도 있다. 표 2.는 블루투스의 특성을 정리한 것이다.

표 2. 블루투스의 특성

Parameter	Specification
Frequency	2400-2483.5MHz
Bandwidth	
Modulation Type	Spread spectrum (Frequency hopping)
RF Transmitter (Power class)	Class1=100mW(20dBm), Class2=2.5mW(4dBm), Class3=1mW(0dBm)
Bit Rate	723.2/57.6kbps(Asymmetrical ACL link) 433.9kbps(symmetrical ACL link) 64kbps(SCO link)
Power Consumption	30mA(active Mode) 0.3mA(Sleep mode)
Vendors	Ericsson, CSR, Philips, lucent, etc

블루투스 스택은 크게 전송 프로토콜 그룹(transport protocol group), 미들웨어 프로토콜 그룹(middleware protocol group), 그리고 응용 그룹(application group)으로 나눌 수 있다. 전송 프로토콜 그룹(transport protocol group)은 상위 레이어 프로토콜과 어플리케이션이 전송 프로토콜을 통해 데이터를 전송할 수 있도록 물리링크(physical link)와 논리링크(logical link)를 구성하고 관리한다. Radio, baseband, link manager, logical link and adaptation 그리고 HCI(host controller interface)등이 전송 프로토콜 그룹에 포함된다. 미들웨어 프로토콜 그룹(middleware protocol group)은 기존에 존재하거나 새롭게 포함될 어플리케이션이 블루투스 링크 상에서 동작하는데 필요한 프로토콜이다.

third-party, 산업 표준 프로토콜, 그리고 SIG에서 블루투스 무선통신을 위해 특별히 개발한 프로토콜들이 포함된다. 인터넷 관련 프로토콜(PPP, IP, TCP), 직렬 포트와의 인터페이스를 위한 RFCOMM, 상호간의 서비스에 대한 정보와 접근 방법을 제공하는 SDP(service discovery protocol) 등이 있다[8][9].

본 연구에서는 CSR사의 BlueCore™01칩이 내장된 블루투스 모듈을 사용하였고 그림 3은 생체신호 측정장치와 PC간의 블루투스 스택 구조이다.

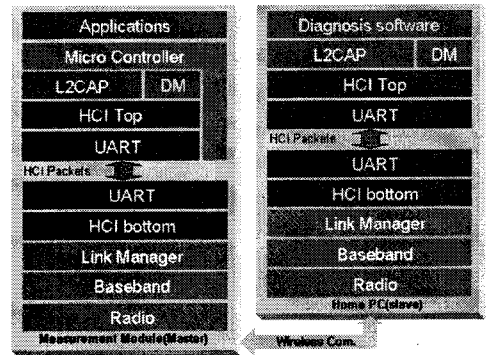


그림 3. 시스템의 블루투스 스택 구조

HCI(Host Controller Interface)는 블루투스 Host와 블루투스 모듈 사이의 인터페이스로 USB, RS232, UART 3가지 HCI Transport Layer가 정의되어 있다. 마이크로 컨트롤러는 Host로서 블루투스 모듈과 HCI패킷 명령을 사용하여 링크를 구성하고 측정된 데이터를 전송하게 된다. 본 연구에서는 HCI Transport Layer로 UART를 사용하였는데 USB에 비해 전송속도 늦지만 구현이 용이하고 UART를 지원하는 다양한 마이크로 컨트롤러가 상용화되어 마이크로 컨트롤러 선택에도 용이하다.

블루투스의 연결 모드에는 Master와 Slave 모드가 있는데 연결상의 편의를 위해 생체신호 측정장치는 Master, PC는 Slave로 설정하였다. 본 시스템에서는 블루투스 HCI 계층을 이용하여 PC와 1대1 통신을 구현하였다.

블루투스는 패킷교환 방식으로 통신하는데 패킷의 형식에는 Command 패킷, Event 패킷, Data 패킷이 있다. 마이크로 컨트롤러는 Command 패킷을 이용하여 블루투스 모듈에게 통신을 위한 준비과정을 지시하게 되고 블루투스 모듈이 링크를 설정하게되면 Data 패킷을 사용하여 측정된 데이터를 PC에 전송하게 된다. 그림 4는 HCI ACL Data 패킷의 구조이다.

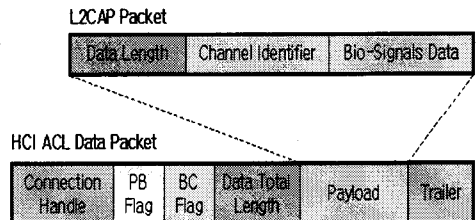


그림 4. HCI ACL Data 패킷의 구조

생체신호 측정 장치는 총 소비전력 최대 32mA, 크기 45x75x15mm<sup>3</sup>, 분해능 12bit, 샘플링 주파수 1kHz

이다. 향후 블루투스 모듈은 원칩화 되어 크기와 전력소모량이 더욱 줄어들 것으로 예측된다.

### 3. 실험 결과

심전도의 측정을 위해 피 측정자의 흉부에 3개의 전극을 연결한 후, 입력을 받아들여 500배 증폭하였다. 그림 5는 피 측정자의 움직임이 없는 상태에서 측정된 심전도 신호이며 주요한 파라미터인 P, Q, R, S, T파형이 구별될 수 있고 그림 6은 뛰면서 측정된 파형이며 찌그러짐은 있으나 주요한 파라미터들은 구별이 가능하다. 또한 각 파형에 실린 잡음성분의 대부분은 심전도 신호대역(0.05-250Hz)내에서 발생되고 있음을 알 수 있다. 근전도의 측정은 피 측정자의 이두근 양쪽 끝에 전극을 연결하여 입력을 받아 500배 증폭하였다. 실험에서 얻어진 파형은 그림 7과 같다.

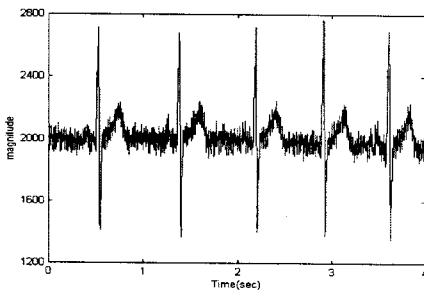


그림 5. 움직임 없이 측정된 심전도

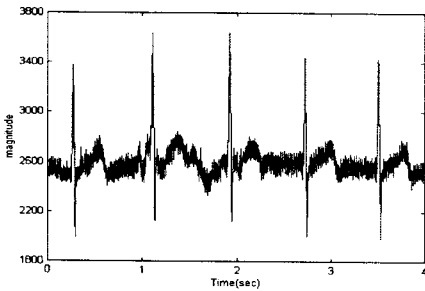


그림 6. 뛰는 동안 측정된 심전도

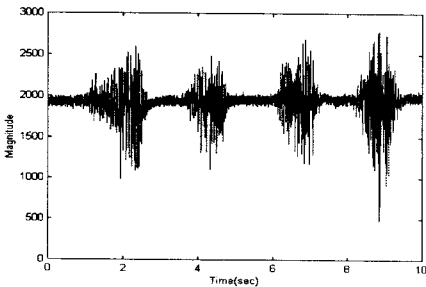


그림 7. 팔 접기에 의한 이두근의 근전도

### 4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 24시간 건강상태 모니터링을 위한 무선 휴대용 생체신호 측정장치를 제작하여 사용자가 신체 활동 중에도 안정되게 심전도와 근전도가 측정됨을

보였다. 향후 보다 효과적인 건강상태 모니터링을 위해서는 심전도와 근전도 이외에도 혈압, 호흡, 자세 정보의 측정과 얼굴표정 등 다양한 인체정보의 측정, 여러 통신 기기와의 호환을 위한 블루투스 스택의 구현, 적절한 진단 파라미터 선정을 통한 진단 알고리즘 개발, 그리고 계측된 생체신호의 대역 내에 포함된 잡음을 효과적으로 제거하기 위한 알고리즘 연구 등이 계속 되어야 할 것이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Won-Choul Bang, Heyoung Lee, Jin-Woo Jung, Min-Jung Kim, Jongho Lee, Dimiter Stefanov, Z. Zenn Bien, "Human-Friendly Health Monitoring System For service to the Elderly and the Disabled," IOS Press, 2001.
- [2] Sokwoo Rhee, Boo-Ho Yang, Haruhiko Harry Asada, "Artifact-Resistant Power -Efficient Design of Finger-Ring Plethysmographic Sensors," IEEE Tr. on Biomedical Engineering, Vol. 48, No. 7, p. 795, July 2001.
- [3] M. Chan, A. Drouin, and J. Pous, "Remote Monitoring System to Measure Indoor Mobile and Transfer of Elderly People," Proc. of The 3rd TIDE Congress, Helsinki, Finland, 1998.
- [4] N. J. Holter, "New Method for Heart Studies: Continuous Electrocardiograph of Active Subjects over Long Periods is now Practical," Science, Vol.134, p.1214, 1961.
- [5] S. Bellet, L. Roman, and J. Kostis et al., "Continuous Electrocardiograph Monitoring during Automobile Driving," Amer. J. Cardiol., Vol. 22, p. 856, 1968.
- [6] M. Yamashita, K. Shimizu, and G. Matsumoto, "Development of a Ring-type Vital Sign Telemeter," Biotelemetry XIII, 1995.
- [7] AAMI, AAMI Standards and Recommended Practices, Biomedical Equipment, Part 2 - Monitoring and Diagnosis Equipment, 1995.
- [8] Jennifer Bray, Charles F Sturman, "Bluetooth Connect Without Cables," Upper Saddle River, NJ 07458, Prentice Hall, 2001.
- [9] Brent A. Miller, Chatschik Bisdikian, "Bluetooth Revealed," Upper Saddle River, NJ 07458, Prentice Hall, 2001.