

# 맥파 측정 센서와 전도성 섬유, 임베디드 시스템 기반의 웨어러블 센서 글러브 구현

## Implementation of Wearable Sensor Glove using Pulse-wave Sensor, Conducting Fabric and Embedded System

이 영 범, 이 병 우, 이 명 호\*  
(Young Bum Lee, Byung Woo Lee, and Myoung Ho Lee)

**Abstract :** Today, there are research trends about the wearable sensor device that measures various bio-signals and provides healthcare services to user using e-Health technology. This study describes the wearable sensor glove using pulse-wave sensor, conducting fabric and embedded system. This wearable sensor glove is based on the pulse-wave measurement system which is able to measure the pulse wave signal in much use of oriental medicine on the basis of a research trend of e-Health system.

**Keywords :** wearable sensor glove, pulse-wave sensor, conducting fabric, embedded system

### I. 서론

우리는 전도성 섬유와 임베디드 시스템 및 맥파 측정 센서를 이용하여 웨어러블 맥파 센서 글러브를 구현하고자 한다. 맥파(pulse wave)는 동양 의학에서 많이 사용되는 신호이며, 이는 맥파 센서를 이용하여 측정할 수 있다.

맥파 측정 시스템은 맥파 신호를 측정하기 위한 센서(condenser microphone)와 작은 생체 데이터인 맥파 신호를 증폭할 수 있는 LM324 Chip을 사용하였다. 또한 측정된 analog 신호와 컴퓨터와의 인터페이스를 위해 analog to digital 변환에는 ATmega128(ATMEL 사)의 chip을 사용하였다. MAX232 Chip을 사용하는 RS232 통신을 이용하여 측정된 신호를 컴퓨터에 전송하였다. 전송된 데이터 display software는 LabVIEW Tool을 이용하여 구현하였다.

개발한 맥파 측정 시스템을 이용하여 피실험자를 대상으로 맥파 측정을 하고 맥파 입증을 위한 FFT(Fast Fourier Transform) 분석을 실시하였다.

우리는 기존의 맥파 측정 시스템을 웨어러블 장치에 적합하도록 전도성 섬유를 이용하여, 맥파 신호를 전달하고, 기존의 맥파 신호를 획득하고 신호처리하는 과정을 PC 대신 임베디드 시스템으로 구현하고자 한다. 최종 구현된 맥파 센서 글러브는, 팔에 밴드 형태로 고정된 임베디드 시스템과 전도성 섬유 전선으로 연결된다. 임베디드 시스템은 결과 출력을 위한 외부 노트북 PC와 연결된다. 노트북 PC에서는 맥파 신호처리 분석 결과를 보여주며, 사용자에게 적절한 피드백을 전달한다. 이 시스템은 한의학 관련 임상 의사가 뿐만 아니라, 환자 스스로가 시간과 공간의 제약을 벗어나 언제 어디서나, 맥파 측정 및 진단 서비스를 받을 수 있는 편의성을 제공하여 줄 것이다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 6. 21., 채택확정 : 2006. 12. 6.

이영범, 이병우, 이명호 : 연세대학교 전기전자공학과

(youngtiger@yonsei.ac.kr/bmeys@yonsei.ac.kr/mhlee@yonsei.ac.kr)

※ 본 논문은 정보통신부 정보통신 선도기술개발사업(과제번호 A1100-0501-0028)에서 지원하여 연구하였음.

### II. 맥파의 구분 및 특성

맥파를 이용한 진단을 올바르게 하기 위해서는 맥동과 맥파의 구별이 완전하게 이루어져야 한다. 맥동은 양적인 변화를 나타내 주고, 맥파는 질적인 변화를 나타내 준다. 맥박이 뛰는 모양을 혈류량의 변화를 통해서 분석해 보면 느리고 완만하게 변화하는 부분과 빠르고 급격하게 변화하는 부분으로 이루어진 것을 알 수 있다. 느리고 완만하게 변화하는 부분은 손가락 감각으로는 변화로서 인지하지 못하지만 빠르고 급격하게 변화하는 부분은 손가락 감각으로 변화를 느낄 수 있다. 사람이 맥박의 횟수를 셀 수 있다는 것도 이러한 빠르고 급격하게 변화하는 부분이 존재하기 때문이다. 이때의 변화가 25Hz의 평균주파수를 갖는 진동파로서의 맥파 신호이다[1].

다시 말해서 맥동에 대한 분석은 맥박이 뛰는 횟수 또는 외부에서 가하는 입력의 크기 등의 양적인 개념이고, 맥파에 대한 분석은 맥박이 어떠한 모양으로 뛰는가를 분석하는 질적인 개념이다. 맥이 파동으로 구성되어 있다는 사실을 인식한다는 것은 앞으로 맥진학의 발전 방향을 제시하는 중요한 근거가 될 것이라고 확신한다.

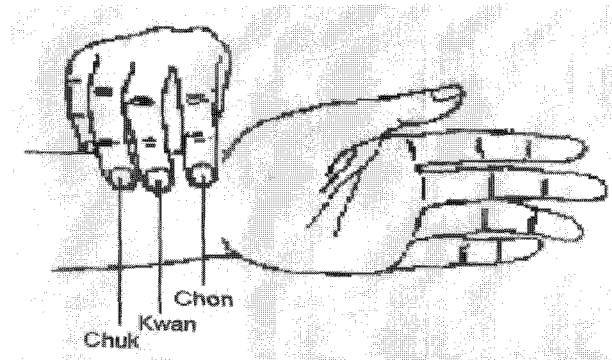


그림 1. 맥진의 측정 위치.

Fig. 1. Pulse-wave measurement position.

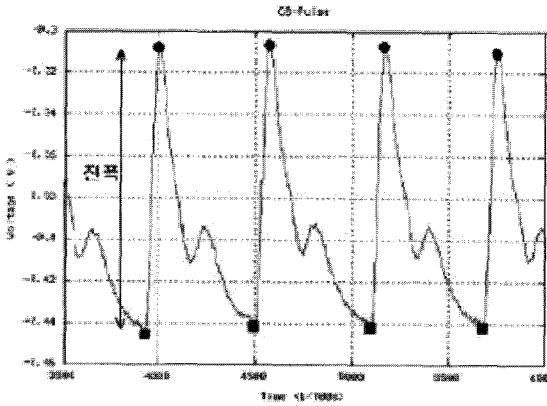


그림 2. 일반적인 맥파.  
Fig. 2. Normal pulse-waveform.

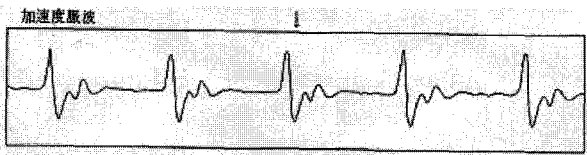


그림 3. 가속도 맥파.  
Fig. 3. Acceleration pulse-waveform.

1. 일반적인 맥파

일반적인 맥파의 모습은 전체적으로 완만한 모양의 그림이다. 즉, 맥파 파형이 전체적으로 완만한 모양을 갖으며, 파형의 변곡점의 기복이 별로 많지 않다. 이러한 맥파는 분석과 해석에 있어서 난해한 문제점이 있다. 이러한 맥파의 일반적인 유효 주파수 대역은 20Hz이다[2]. 위의 그림 2는 일반적인 맥파의 모습이다.

2. 가속도 맥파(미분 맥파)

가속도 맥파는 일반적인 맥파의 완만한 모습과는 달리, 맥파 파형의 변곡점의 기복이 심하여 파형 패턴을 보다 손쉽고 간단하게 분석 및 해석할 수 있는 장점이 있다. 일반적으로 가속도 맥파는 일반적인 맥파를 미분한 맥파와 같으므로, 미분 맥파라고도 불리운다. 가속도 맥파는 그림은 3과 같다.

III. 전체 시스템 개요

전체 시스템은 그림 4와 같이 맥파 센서 글러브, 맥파 측정 시스템 및 임베디드 시스템, 노트북 PC로 구성된다. 맥파 센서 글러브에는 그림 1의 맥진의 측정 위치에 따라, 총, 관, 척 3개의 맥파 센서가 위치하고 있다. 측정된 맥파 신호는 전도성 섬유 전선을 통해, 팔에 위치한 맥파 측정 시스템 및 임베디드 시스템으로 연결된다. 팔에 위치시킨 이유는, 기존의 MP3 플레이어도 목에 거는 형태이거나, 팔에 밴드 형태로 고정하는 형태인 것에서 착안한 것이다. 맥파 측정 시스템은, 맥파 신호를 입력받아서 증폭 및 필터링하여 신호처리에 적합한 신호를 얻기 위한 아날로그 하드웨어이다. 필터링된 맥파 신호는 AD 변환되어 임베디드 시스템에 전달된다. 임베디드 시스템은 입력받은 맥파 신호를

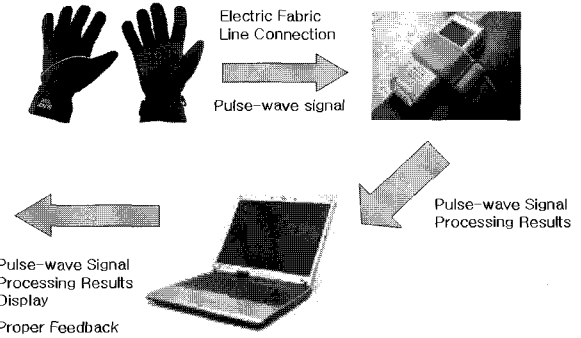


그림 4. 전체 시스템 개요.  
Fig. 4. Total system overview.

내부 프로그램에 의해 신호처리하고, 노트북 PC에 신호처리 결과를 전달한다. 노트북 PC에서는 맥파 신호처리 분석 결과를 사용자에게 보여주고, 차후 다양한 맥파 진단 서비스를 제공할 수 있을 것이다.

IV. 맥파 측정 시스템 설계

1. 맥파 측정부

맥파 측정을 위한 회로는 크게 sensor part, amplification part, filter part로 나눌 수 있다. 다음 그림 5는 맥파 신호 측정부의 회로도이다.

1.1 Sensor part

본 연구에서 사용된 센서는 콘텐서 마이크로폰에 들어가는 센서로 음성의 증폭을 필요로 하는 마이크 부분에 주로

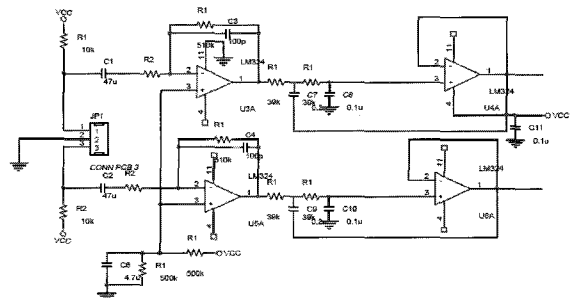


그림 5. 맥파 신호 측정부의 회로도.  
Fig. 5. Pulse-wave measurement circuit diagram.

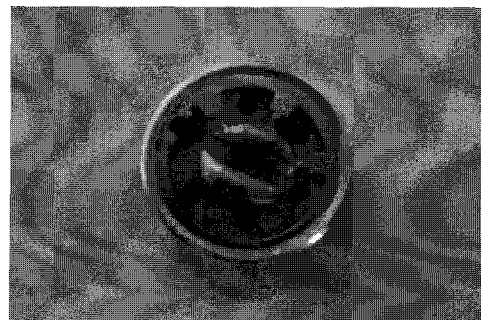


그림 6. 맥파 측정 센서.  
Fig. 6. Pulse-wave measurement sensor.

들어가는 센서로 알려져 있다. 이러한 콘덴서 마이크로폰 센서의 동작원리는 전압의 세기가 측정되어 이에 따른 센서역할을 하므로 마치 커패시티브와 같은 역할을 한다. 따라서 시정수를 통하여 마이크로 센서의 용량을 간접적으로 측정해 볼 수 있다. 이때 일반적인 콘덴서 마이크로폰 센서는 센서 내부에 들어가는 압전 소자와 집음구 간의 거리가 존재하여 주파수 대역이 상대적으로 큰 음성을 측정할 시에 사용하는 센서에 해당한다. 그러나 맥파 측정에 사용하는 센서는 저주파 신호에 응답 특성을 좋게 하기 위하여 압전 소자와 집음구 간의 거리를 제거한 센서를 사용하였다. 즉 진동의 주파수 대역에 맞춘 콘덴서 마이크로폰 센서를 사용한 것이다.

1.2 Amplification part

본 시스템에서는 그림 1에서 살펴본 바와 같이 춘, 관, 척의 3-채널의 입력을 받아 중요한 지표로서 사용한다. 그러므로 입력을 받을 때, 노이즈 등의 요인으로 신호의 왜곡이 일어날 경우 잘못된 결과를 낳게 되므로 증폭단 개발에 이 점을 고려해서 설계해야 한다.

사람으로부터 측정된 인체의 신호는 매우 작은 신호임을 알 수 있다. 따라서 맥파 역시 인체의 신호이므로 매우 작은 전압 범위를 가짐을 알 수 있다. 맥파의 전압 범위는 대략 1 Vpk-pk를 가지며 25Hz의 평균 주파수 크기를 갖는 것으로 알려져 있다[1]. 이러한 맥파 신호를 센서로부터 측정하여도 이를 눈으로 확인을 하고자 할 때, 증폭을 시키는 것은 당연할 것이다. 이 회로에서는 LM324 Chip을 사용하여 맥파의 신호를 증폭하였다.

1.3 Filter part

맥파 신호는 약 25Hz의 신호의 평균 주파수 대역을 가지고 있다. 또한 맥파의 유효 주파수 성분은 약 20Hz까지 이므로 60Hz의 전원 잡음 등은 필터링되어야 한다[2]. 맥파 신호 측정시, 잡음이 없으리란 보장은 없는 것이다. 이때 맥파 신호의 주파수 대역이 전원 잡음인 60Hz보다도 작은 20Hz로 작으므로 1차 또는 2차 low-pass filter를 주로 사용한다. 이 회로에서는 2차 low-pass filter를 사용하였다.

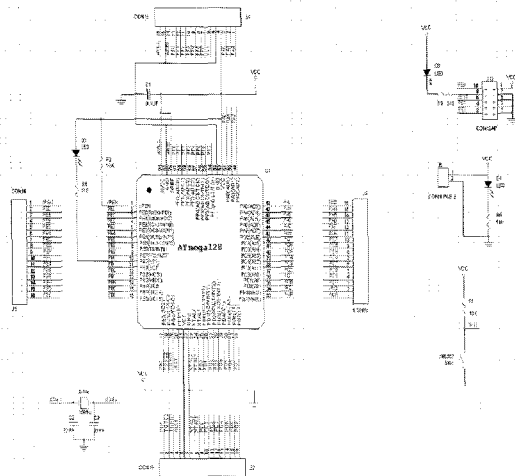


그림 7. Analog to digital 변환부 회로도.

Fig. 7. Analog to digital conversion circuit diagram.

2. Analog to digital 변환부

생체 신호는 디지털 신호처리를 위해 디지털 신호화 되어야 한다. 측정된 맥파 신호는 analog 신호로 이러한 신호는 컴퓨터에서 인식하기 어렵다. digital 신호로 변환하는 것은 컴퓨터에서의 신호 인식과 저장된 맥파 데이터의 보관의 용이성을 지닐 수 있게 된다.

맥파 신호를 처리하기 위한 장비는 장시간의 데이터 저장이 가능하여야 하며 맥파 신호의 경우 각 특징점들 사이의 시간 간격이 매우 중요한 동역학 활동을 나타내므로 analog to digital 변환시에는 신호의 크기에 대한 해상도보다는 시간에 대한 해상도를 크게 하여야 한다. 즉 샘플링 오차를 줄이고 정확한 분석을 하기 위해서는 최소한 250Hz 이상의 샘플링 주파수가 요구된다.

이를 위해, 본 연구에서는 10bits 해상도를 갖는 ATmega 128(ATMEL 사)을 사용하여 analog to digital 변환기를 설계하였다. 그림 7은 analog to digital 변환부 회로도이다.

V. 임베디드 시스템 구현

우리가 사용한 임베디드 시스템은 Pxa270 Processor를 사용한 보드로서, processor 처리 속도는 520MHz이고, power supply IC는 S1F81150을 사용하였다.

Memory는 flash가 64M bytes, SDRAM이 64M bytes이며, Ethernet은 LAN91C111을 사용하여 Fully Integrated IEEE 802.3/802.3u-100 Base-TX/10Base-T Physical Layer를 구현할 수 있다. Serial 포트는 디버깅 포트를 위한 UART이며, USB포트는 USB 1.1 Host Support이다.

I/O Board의 경우 PCMCIA, BlueTooth, stereo audio, camera interface, IrDA 인터페이스를 제공한다. 임베디드 시스템의 소프트웨어 사양은 기본적으로 임베디드 리눅스를 OS로 사용한다. BootLoader는 u-boot 1.2를 사용하며, Kernel은 linux-2.6.9를 사용한다. Ramdisk의 경우 busybox-1.0을 사용한다.

지원되는 디바이스 드라이버는 serial port, MTD flash support, memory management unit, ethernet support, USB host support 1.1 Spec, LCD 16/18bpp display support, touch screen support, APM & DVM/DFM power control support, PCMCIA support, camera interface, IrDA support, BlueTooth support, USB client support 등이 있다.

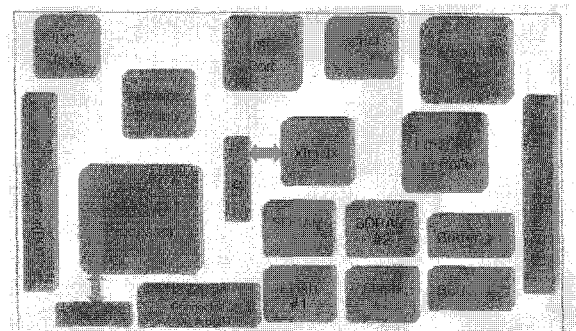


그림 8. 임베디드 시스템 구성도.

Fig. 8. Embedded system block diagram.

**VI. 웨어러블 센서 글러브 디자인**

그림 9는 기존의 연구 중에서, 손에 다양한 생체 센서를 부착하여, skin potential, skin temperature, skin conductance, skin blood flow 등을 측정하는 센서 글러브를 구현한 연구를 나타낸 것이다[3].

글러브 부분은 골프 장갑에서 사용하는 고급 소재를 사용하여 통풍과 편안함을 제공하고, 맥파 센서의 도선 부분을 전도성 섬유로 제작하여 인체와 이물감이 없이 잘 밀착하도록 하였다. 맥파 신호 전달을 위한 전도성 섬유 라인과 팔 위쪽 부분에 밴드 형태로 부착되는 맥파 신호처리 보드 부분은 실용성과 예술성을 고려하여 디자인되었다. 실제 디자인된 맥파 센서 글러브의 외관은 그림 10과 같다.

Wearable device 디자인 개발은, 1990년대 중반부터는 인간친화성 강화시기로 컴퓨팅 기기의 소형화, 경량화가 이루어졌으며, 센서기술과 섬유제조기술을 결합한 스마트 직물의 개발이 중요성이 확대되었으며 착용성 사용성에 중심을 둔 의류가 개발되었다. 초기의 기기 중심에서 벗어나 보다

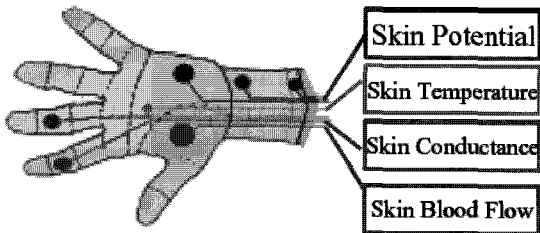


그림 9. 기존의 연구된 센서 글러브의 예[3].  
Fig. 9. Existing sensor glove research example.

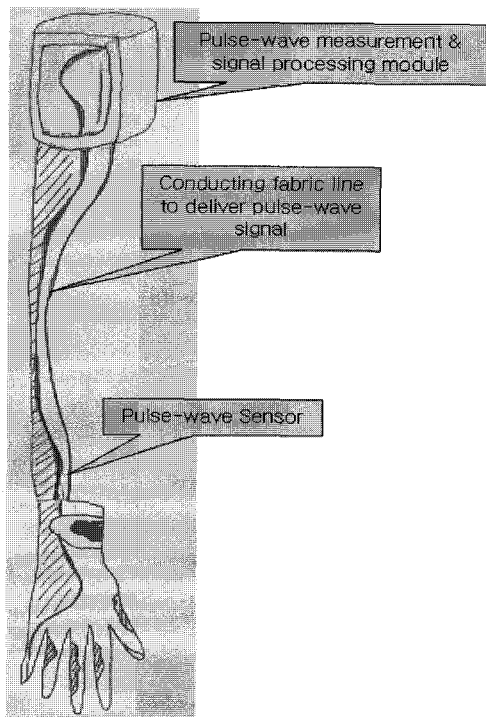


그림 10. 웨어러블 센서 글러브의 디자인.  
Fig. 10. Wearable sensor glove design.

일상적 의복에 가까운 웨어러블 PC를 개발하는 것이 웨어러블 device의 현주소이다. 의류적 측면에서 이러한 점을 고려하여 착용자의 사용성, 착용성에 중점을 두어 디자인하였으며, 기존의 와이어가 웨어러블 device에 있어 착용성의 문제, 의복으로서의 세탁성의 문제를 해결하는데에 중점을 두었다. 본 웨어러블 device는 전도성 섬유로 와이어를 대체하여 세탁이 가능할 뿐 아니라 착용성에 있어서도 착용감이 좋다.

또한 피부 공학(착용성)을 고려하여, 착용시 팔의 운동성을 고려하여 설계하였고, 상완으로부터 팔꿈치를 거치지 않고 하완으로 이어지도록 설계하였다. 기기의 부착 시 착용자마다 다른 상완의 사이즈, 안정된 착용감을 위해 벨크로 테이프를 이용하여 사이즈 조절이 가능하다. 선행 연구들을 고찰하여 기기 고장의 불안감, 착용감을 고려하여 보드부분을 상완에 부착하였다. 기기를 연결하는 와이어가 착용자가 움직일 경우 이물감으로 작용이 되는 점을 고려하여 전도성 섬유를 이용하여 와이어를 대체하였다.

마지막으로, 사용성을 고려하여 평상시 웨어러블 PC를 착용하지 않을 경우 이동성, 보관성을 고려하여 장갑, 와이어 부분을 수납할 수 있도록 설계하였다. 또한 세탁이 가능하게 하기 위하여 보드 부분과 와이어 부분을 탈부착 처리하여 세탁 시 기기를 분리하여 세탁이 가능하도록 하였다.

**VII. 실험 및 결과 고찰**

맥파 측정 시스템을 사용하여 계측된 맥파 신호를 개인용 컴퓨터와의 RS232 시리얼 통신 후 맥파 신호를 인터넷을 이용하여 전송 및 디스플레이 구현에 관한 연구를 위해 LabVIEW Tool을 사용하였다.

다음의 그림 11은 개발한 맥파 측정 시스템으로부터 측정된 맥파의 신호를 오실로스코프에서 측정한 것이다.

이렇게 측정된 맥파 신호들이 잡음이 아닌 정확한 맥파임을 확인하기 위해 측정된 맥파 신호를 FFT 분석을 하여 보았다. 다음의 그림 12는 피실험자의 맥파 신호와 이 신호의 FFT 분석 결과이다.

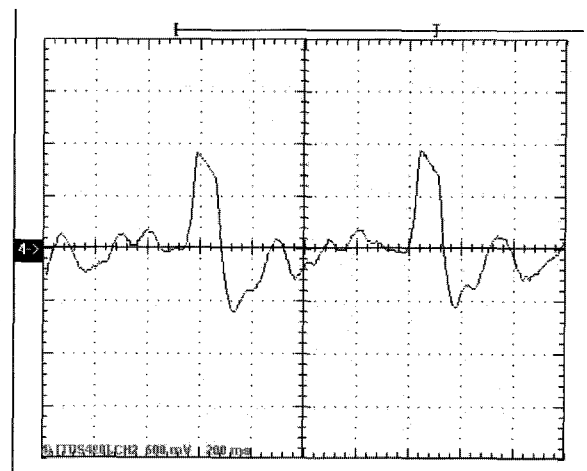


그림 11. 오실로스코프로 측정된 맥파의 신호.  
Fig. 11. Measured pulse-wave signal using oscilloscope.

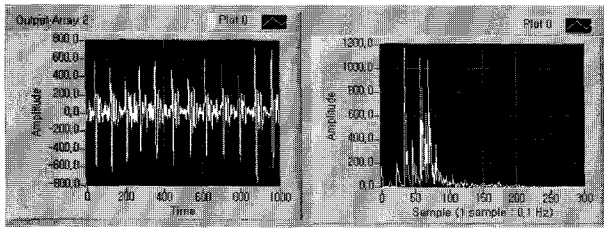


그림 12. 측정된 맥파 및 FFT 분석 결과.

Fig. 12. Measured pulse-wave signal using Labview and result of FFT analysis.

FFT 분석 결과 측정된 맥파의 주파수 대역이 0~20Hz 이므로, 이는 맥파의 유효 주파수 성분이 20Hz 미만인 점을 살펴보면[2], 맥파 성분이 맞음을 증명할 수 있다.

또한 측정된 맥파는 일반적인 맥파가 아닌 가속도 맥파임을 알 수 있다. 이것은 맥파 측정 시스템의 측정 부분의 센서를 보면 알 수 있는데, 센서는 커패시턴스를 가지는 용량성 마이크로폰 센서이다. 즉 센서의 커패시턴스 성분과 맥파 측정 시스템의 저항 성분으로 인한 미분 회로가 구성되어 이것으로 측정된 맥파의 모습은 일반 맥파가 아닌 미분한 맥파가 되는 것이다. 미분한 맥파는 가속도 맥파와 같으므로 결국 측정된 맥파는 가속도 맥파가 된다.

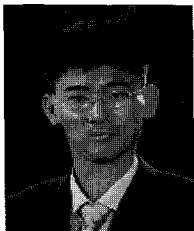
**VIII. 결론**

본 연구에서는, 맥파 센서를 이용하여 맥파 측정 시스템을 설계, 제작하였다. 이때 맥파 신호를 기존의 도선 대신

전도성 섬유를 이용하여 전달하고, 기존의 맥파 측정 시스템에 임베디드 시스템을 연결하여, 맥파 신호처리 알고리즘 구현 및 차후 웨어러블 컴퓨터를 위한 다양한 응용 가능성을 마련하였다. 그리고 사용자의 착용성과 기능성을 고려하여 맥파 센서 글러브를 디자인하였다. 앞으로, 맥파 신호처리 알고리즘을 완성하고, 무선모듈을 통해, 외부 디스플레이 장치에 신호처리 결과를 전달하고, 다양한 맥파 진단 서비스를 구현할 예정이다.

**참고문헌**

- [1] G. C. Back, "Easy learning pulse diagnosis," *Pulse Graph Research Association*, Korea, 1995.
- [2] 이종진, 정민석, 황성하, 이종현, 이선규, "공압 방식에 의한 다지점 요골 맥파 검출 장치," 한국정밀공학회 2001년도 춘계학술대회논문집, 2001.
- [3] F. Axisa, C. Gehin, G. Delhomme, C. Collet, O. Robin, and A. Dittmar, "Wrist ambulatory monitoring system and smart glove for real time emotional, sensorial and physiological analysis," *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, San Francisco, CA, USA September 1-5, 2004.
- [4] 이병우, "인터넷 기반의 실시간 데이터 전송을 적용한 맥파 측정 시스템에 관한 연구," *Master's thesis of Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei univ., Korea*, 2004.



**이 영 범**

2005년 연세대 전기전자공학부 졸업. 2005년~현재 동 대학원 석사과정 재학 중. 관심분야는 웨어러블 바이오센서, Brain Computer Interface.



**이 병 우**

2003년 연세대 전기전자공학부 졸업. 2005년 동 대학원 석사. 2006년~현재 동 대학원 박사과정 재학중. 관심분야는 생체신호처리.



**이 명 호**

1972년 연세대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 석사. 1978년 동 대학원 박사. 1980년~현재 연세대학교 전기전자공학부 교수. 관심분야는 e-Health 시스템, 생체신호처리, Implantable system.