

---

# 일상생활 건강 모니터링을 위한 착용형 PTT 측정 시스템의 구현

예수영\* · 노윤홍\* · 정도운\*\*

Implementation of the wearable PTT measurement system  
for health monitoring during daily life

Soo-young Ye\* · Yun-Hong Noh\* · Do-Un Jeong\*\*

## 요 약

맥파전달시간 측정을 위해 비침습적 방법으로 신체 착용 가능한 심전도 및 맥파 무선계측시스템을 구현하였다. 구현된 시스템을 이용하여 자세 변화에 따른 맥파전달시간의 변화를 관찰하고자 하였다. 맥파전달시간을 검출하기 위하여 심전도 및 맥파 신호 검출이 필요하고, 맥파신호 계측을 위하여 근적외선을 피검부위에 조사하여 헤모글로빈에 흡수되지 않고 투과된 투과광 또는 반사광으로 혈액량의 변동을 보는 광적용적맥파를 이용하였다. 또한 검출된 심전도와 맥파 신호를 무선으로 PC로 전송하기 위하여 Zigbee호환의 무선센서노드를 이용하였으며, 무선으로 전송된 데이터로부터 잡음을 제거하고 맥파전달시간을 계산하기 위한 신호처리 알고리즘을 구현하였다. 구현된 맥파전달시간 계측시스템의 유용성을 평가하기 위하여 기존 상용시스템과의 비교 평가를 수행하였으며, 자세 변화에 따른 맥파전달시간의 변화양상을 관찰하여 구현된 시스템을 통해 일상생활에서 건강모니터링이 가능함을 확인하였다.

## ABSTRACT

Device of the ECG and pulse signal was made to measure PTT signal using non-invasive method and possible to wearable. PTT alterations were observed according to position change using implemented system. It was needed to ECG and pulse to detect the PTT, used the photoplethymography appeared to change the blood volume. And also wireless sensor node which was able to Zigbee compatibility was used to transfer the detected ECG and pulse signal to PC. Noise was removed from transit data and algorithm was applied to calculate the PTT. After the evaluation of both the conventional measuring systems and the proposed photoplethymography measuring system, a highly effective and efficient formation and distribution sequences were found within the proposed photoplethymography measuring system.

## 키워드

맥파전달시간, 심전도, 맥파

## Key word

PTT(Pulse Transit time), ECG(Electrocardiogram)

---

\* 정회원 : 동서대학교

\*\* 정회원 : 동서대학교 (교신저자, dujeong@dongseo.ac.kr)

접수일자 : 2010. 10. 19

심사완료일자 : 2010. 10. 30

## I. 서 론

삶의 질이 향상됨에 따라 건강에 대한 관심이 높아지고 있지만 자신의 건강을 스스로 체크하고 관리하기란 쉽지 않다. 바쁘게 살아가는 현대인들과 몸이 불편한 노인들의 경우에는 더욱 힘든 현실이다[1]. 이에 시간과 장소에 제약받지 않고 가정에서 누구나 손쉽게 자신의 건강을 체크할 수 있는 헬스케어기술에 대한 많은 연구들이 이루어지고 있으며[2], 비 침습적인 방법으로 건강 상태를 모니터링하기 위하여 생체신호를 계속하고 분석하는 방법들이 많이 이용되고 있다[3]. 2004년 Paolo[4]는 경동맥에서 혈압 및 맥파전달속도를 기록하기 위하여 비침습적 휴대용 토노미터(tonometer)를 개발하였다. 이 때 맥파전달속도는 심전도의 R 정점과 경동맥압과의 1차 미분 최대 점을 이용하였다. 1999년 Chowienczyk[5]와 2001년 Gopaul[6]은 용적맥파신호(Photoplethysmograph, PPG)를 기록한 후 반사지수(reflection index, RI)를 검출하고 말초동맥 혈관의 기능을 평가하였다. 2002년 Millawweau[7]와 2002년 Oliver[8]는 용적맥파 신호에서 최대점과 반사파의 정점이 도달하는 시간의 차이를 이용하여 혈관경직도지수(stiffness index, SI)를 제안하고, 대동맥의 혈관 경직도를 평가하였다.

본 연구에서는 일상생활에서 편리하게 건강모니터링을 수행하기 위해 신체에 착용 가능한 심전도(Electrocardiogram, ECG) 및 맥파(pulse) 측정 시스템을 구현하였다. 그리고 구현된 맥파전달시간(Pulse transit time, PTT) 측정시스템과 기존 상용시스템의 비교평가를 수행하였으며, 실험결과 구현된 시스템의 유용성을 확인하였다.

## II. 시스템 구현

### 1. 시스템의 전체적인 구성

맥파 전달시간 신호를 측정하기 위하여 심전도 신호와 용적맥파신호를 측정할 수 있는 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템의 구성은 신호 검출 및 처리부와 무선 데이터 전송부로 나누었다. 신호 검출 및 처리부는 Ag-AgCl 표면 전극과 반사형 맥파센서로 구성되어 있

으며, 심전도 및 맥파 신호의 검출과 증폭, 그리고 필터링처리를 구현하였다. 무선 데이터 전송부는 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하고 데이터를 무선전송하기 위한 무선센서노드로 구성되어 있다. 전송된 신호는 PC상에서 데이터의 디스플레이 및 저장할 수 있는 모니터링 프로그램으로 관찰 할 수 있다. 본 연구에서 구현된 전체적인 시스템의 구성도를 그림1에 나타내었다.

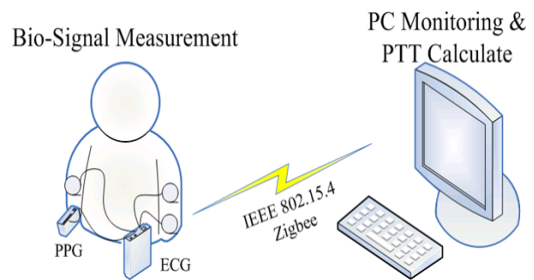


그림 1. 시스템의 구성도  
Fig. 1. Block diagram of the system.

### 2. 생체신호 측정부의 구현

심전도 신호를 측정하기 위하여 상용 일회용 Ag-AgCl 전극을 사용하였으며, 심전도 신호의 검출과 증폭 및 필터링을 위한 회로를 구성하였다. 먼저 고입력 임피던스를 갖는 차동증폭기를 이용하여 심전도 신호를 증폭할 수 있는 전치증폭부를 구성하였으며, 신호의 전원잡음 제거를 위해 60Hz 트윈티 노치필터(Twin-T notch filter)와 기저선 변동의 제거를 위해 0.05Hz 고역통과필터를 사용하였다. 그리고 고주파 잡음을 제거하기 위한 35Hz 저역통과필터와 신호의 증폭을 위한 다단증폭부를 구성하였으며, 전체적인 이득은 1000이 되도록 회로를 설계하였다.

맥파신호 측정을 위하여 반사형 맥파 센서를 이용하여 신호를 검출하였다. 맥파 센서로부터 출력되는 신호는 광량에 따른 전류변화를 검출하므로 이를 전압신호로 변환하기 위하여 전류-전압변환회로를 구성하였으며, 전원에 의한 잡음과 광원 자체가 지니고 있는 광특성의 변동에 따른 잡음이 존재할 수 있는 잡음의 제거를 위하여 차단 주파수가 60Hz인 트윈티노치필터와 맥파센서의 오프셋 신호를 차단하기 위하여 0.5Hz 차

단주파수를 갖는 고역통과필터를 설계하였다. 그리고 차단주파수가 10Hz인 저역통과필터를 설계하여 관심대역 이외의 고주파 잡음을 제거하도록 회로를 설계하였다.

### 3. 무선 데이터 전송부

계측된 심전도와 맥파신호를 디지털 신호로 변환하여 PC 또는 이동형 단말기에서 모니터링 할 수 있도록 무선센서네트워크 기술을 적용한 초저전력 무선통신부를 구현하였다. 데이터의 무선전송을 위하여 Zigbee호환의 무선센서노드인 TIP710CM (Maxfor, Co., Korea)을 사용하였다.

이 센서노드는 TI사의 저전력 16-bit RISC 구조의 마이크로프로세서인 MSP 430F1611에 의해 제어된다. MSP430F1611의 내부에 내장된 ADC를 이용하여 아날로그인 심전도 신호와 맥파신호를 초당 400회, 12-bit의 디지털 신호로 변환하여 PC로 전송하였으며, PC상에서 실시간으로 모니터링이 가능하도록 구현하였다.

## III. 맥파전달시간 신호처리

### 1. 맥파전달시간 개념

심전도 R파의 정점과 인체의 말초부위에서 측정된 맥파의 기준점 사이의 시간인 맥파전달시간은 맥동성 압력파가 대동맥 판막으로부터 말초부위까지 전달되는 시간을 의미하고[9], 그 개념을 그림 2에 나타내었다.

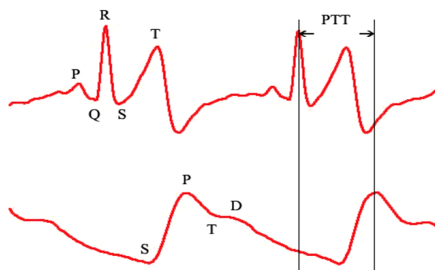


그림 2. PTT의 개념도  
Fig. 2. The definition of Pulse Transit Time.

### 2. 맥파전달시간 신호처리

심전도 및 맥파 신호로부터 맥파전달시간을 검출하기 위해서는 1회 심박출마다 각각의 신호에서 특징점들을 구해야한다. 심전도의 R파와 맥파의 P파는 심실의 탈분극을 나타내는 지표로서 혈액이 가장 강하게 혈관으로 나오는 시기이며, 혈관을 이동하는 혈액의 속도를 측정하기에 적합하고 파형의 변화가 가장 두드러지기 때문에 특징점 검출에 용이하다. 따라서 본 연구에서는 심전도의 R파와 맥파의 P파간의 시간차이를 계산하여 맥파전달시간을 검출하고자 하였으며, 이를 위해 그림 3과 같이 맥파전달시간의 신호처리 과정을 수행하였다.

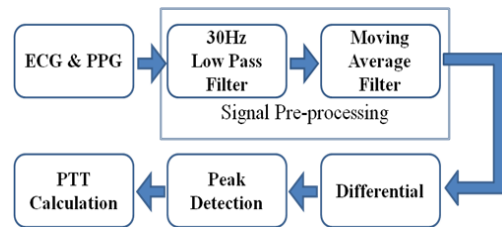


그림 3. PTT 신호처리 과정  
Fig. 3. Pulse transit time signal processing.

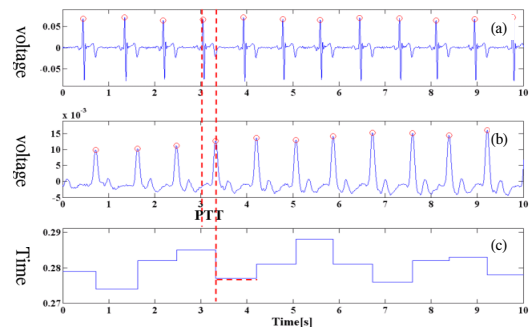


그림 4. 맥파전달시간 계산 결과 : (a) 심전도 미분, (b) 맥파 미분, (c) 맥파전달시간 신호.  
Fig. 4. Calculation of the PPT: (a) Differential of ECG, (b) Differential of PPG, (c) Signal of PTT.

계측된 심전도 및 맥파신호는 고주파 잡음 제거를 위한 30Hz의 저역통과필터를 사용하였고, 10차의 이동평균필터를 이용하여 전처리과정을 수행하였다. 그리고 각 신호로부터 피크를 검출 후 피크간의 시간차를 계산

하였으며, 이러한 일련의 신호처리결과에 일례를 그림 4에 나타내었다.

#### IV. 실험 및 결과

##### 1. 시스템 구현 결과

본 연구에서는 피검자의 불편함을 최소화하고 일상 생활에서 보다 편리하게 맥파 전달 시간을 측정할 수 있는 시스템을 구현하고자 하였다. 이를 위하여 배터리로 구동 가능한 초소형의 심전도 및 맥파 측정 시스템을 구현하였으며, 계측된 신호의 무선전송을 위하여 초저전력 무선 센서 네트워크 기술을 적용한 무선 생체신호 전송 시스템을 구현하였다. 시스템의 구현결과를 그림 5에 나타내었으며, 구현된 시스템을 이용한 실험장면을 그림 6에 각각 나타내었다.

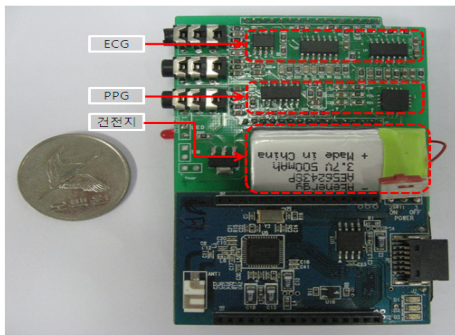


그림 5. 구현된 생체신호 계측 시스템  
Fig. 5. Implemented vital bio-signal measurement system.

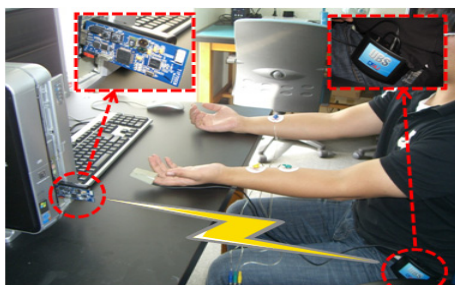


그림 6. 구현된 실험 셋.  
Fig. 6. Implemented experiment set.

##### 2. 비교 평가

본 연구에서 구현된 맥파전달시간 시스템의 유용성을 평가하기 위하여 P400(PhysioLab Co. Korea) 생체신호계측기와 비교 실험을 실시하였다.

LEAD I 법을 사용하여 두 시스템에서 심전도 신호와 맥파 신호를 계측한 후 맥파 전달 시간을 비교 평가하였다. 실험대상군은 건강한 대학생 5명을 대상으로 하였으며, 각 피검자는 의자에 앉아 5분간 편안한 휴식을 취한 후 5분간 데이터를 계측하였다. 그림 12의 114-116 구간은 본 연구에서 구현된 시스템에서는 맥파 전달시간을 구하였고, P400에서는 맥파 전달시간을 구하지 못하여 에러가 난 상태를 나타내고 있다. 실험 결과 본 연구에 의해 구현된 맥파 전달시간 측정 시스템의 계측결과와 P400계측 시스템에서 측정된 맥파 전달 시간과 약 5ms 정도 값의 차이는 나타나지만 신호의 변화 형태 즉, 맥파의 최고점과 반사파에 의해 생기는 이중맥(dicrotic)의 위치 또한 약 5ms 정도의 차이를 나타내었다. 이는 맥파 전달시간 계산을 하기 위한 맥파 신호의 특징점의 위치가 다름에 따른 값의 차이로 판단된다. 즉, 본 연구에서는 맥파의 기울기 변화가 가장 급격하게 증가하는 지점인 미분맥파의 첨두치 부분을 특징점으로 설정하였다. 본 연구에서 구현된 시스템을 이용한 맥파 전달시간 계측결과와 피지오랩사의 P400을 이용한 맥파 전달시간 측정 결과의 일례를 그림 7에 나타내었다.

##### 3. 자세변화에 따른 맥파 전달시간의 변화

인체는 자세 변화에 따라 부위별 혈관의 상태와 혈압이 다르게 작용한다. 따라서 심전도 신호와 맥파 신호를 이용하여 자세 변화에 따른 맥파 전달시간 변화 양상을 관찰하고자 하였다. 우리 몸은 자세 변화에 따라 부위별 혈관의 상태와 혈압이 다르게 작용한다. 본 연구에서는 심전도와 맥파 신호를 이용하여 맥파 전달시간의 변화 및 자세 변화에 따른 혈압변화를 관찰하고자 하였다. 이를 위해 건강한 대학생 10명의 피검자로부터 각 10분 동안 바로 누운 자세, 앉아 있는 자세를 취한 상태에서 심전도와 맥파를 동시에 계측하였다. 실험 방법은 심전도와 맥파 측정 전에 10분 이상 안정 상태를 유지하였으며, 식사 1시간 후, 담배를 피우거나 커피와 녹차 등 카페인이나 음료를 섭취한 경우에는 30분 후 측정을 시작하였다.

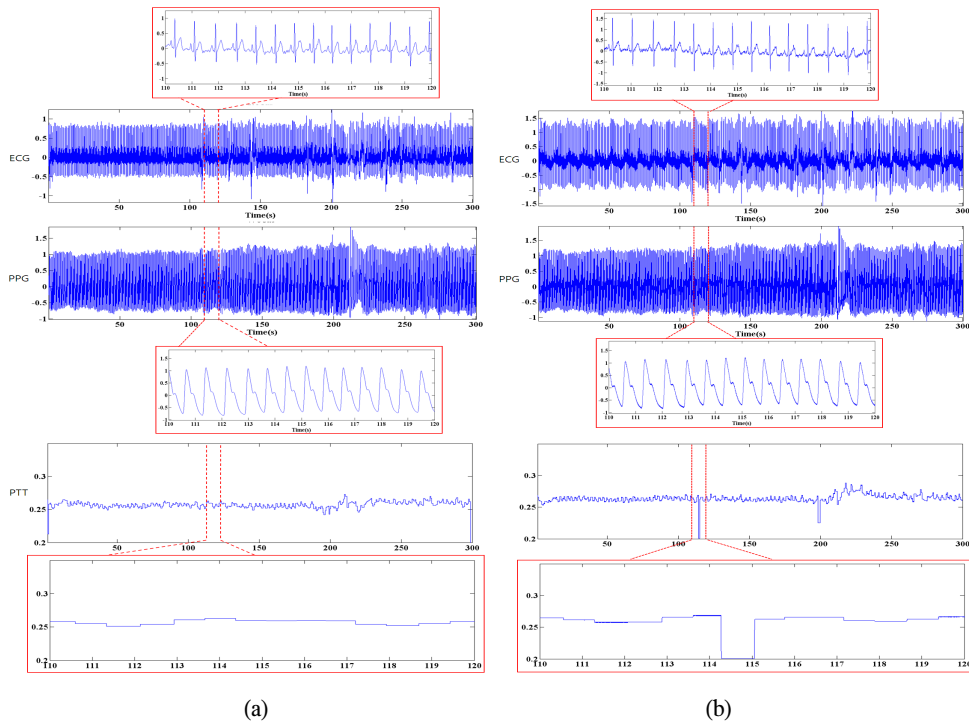


그림 7. 맥파전달시간 계측 비교 실험 결과 (a)구현된 시스템, (b) P400 계측기  
 Fig. 7. PTT measurement comparing experimental results (a) Implemented system, (b) P400 measurement system.

각 피검자로부터 상기에 기술한 방법으로 하루에 2번씩 총 10회, 데이터를 측정하여 표 1에 평균과 표준편차를 나타내었으며, 자세변화에 따른 맥파전달시간의 변화를 그림 8에 나타내었다.

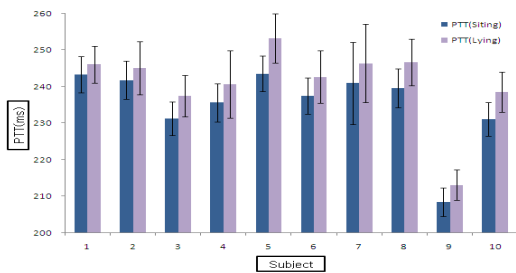


그림 8. 자세변화에 따른 맥파전달시간 변화  
 Fig. 8. The variation aspect of pulse transit time according to the change of body position.

표 1. 자세변화에 따른 PTT의 평균과 표준편차  
 Table 1. Average and SD of PPT as position change

Experimental ID	PTT(Siting)		PTT(Lying)		PTT Diff. a-b
	Avg(a)	Std	Avg(b)	Std	
object1	243.30	4.90	246.10	5.10	-2.80
object2	241.79	5.17	245.10	7.20	-3.31
object3	231.25	4.59	237.53	5.70	-6.28
object4	235.67	5.23	240.63	9.17	-4.96
object5	243.53	4.86	253.24	6.71	-9.71
object6	237.49	4.92	242.65	7.14	-5.16
object7	240.96	11.21	246.40	10.69	-5.44
object8	239.60	5.34	246.64	6.35	-7.04
object9	208.49	3.91	213.13	4.14	-4.64
object10	231.09	4.66	238.55	5.53	-7.46
Avg					-5.68

## V. 결론

본 연구에서는 편리하게 건강 상태를 모니터링하기 위해 신체에 착용 가능한 맥파전달시간 계측시스템을 구현하였다. 이를 위하여 배터리 구동으로 동작 가능한 착용형 심전도 및 맥파 계측시스템을 구현하고, 무선 데이터 전송이 가능한 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템의 유용성 평가를 위해 기존 상용 맥파전달시간 계측 시스템인 P400시스템과 계측 성능 비교평가를 수행한 결과 맥파전달시간 계산을 위한 맥파 기준 위치 설정방식의 차이에 의한 계측 값의 차이는 발생하지만 맥파전달시간 변화양상은 매우 유사함을 확인하였으며, 이를 통해 본 연구에 의해 구현된 시스템을 이용한 일상생활 건강 모니터링의 가능성을 확인하였다. 이에 따라 향후 연구에서는 혈압에 따른 맥파 전달시간 변화로 질병 추정 및 진단을 하고, 정상군과 비정상군(심장질환자)에 대한 비교연구를 진행하고자 한다.

## 참고문헌

- [1] 통계청, “만성질환 현황”
- [2] <http://www.medical.philips.com>.
- [3] Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Murray CJL. “Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors,” *Geneva: World Health Organization*, 2004.
- [4] P. Salvi, G. Lio, C. Labat, et al., “Validation of a new non-invasive portable tonometer for determining arterial pressure wave and pulse wave velocity: the Pulse Pen device”, *J. Hypertens*, vol. 22, pp.2285-2293, 2004.
- [5] P. J. Chowienzyk, R. P. Kelly, H. MaxCallum, et al., “Photoplethysmographic Assessment of Pulse Wave Reflection”, *J Am Coll of Cardiol*, vol. 34, no. 7, pp.2007-14, 1999.
- [6] N. K. Gopaul, M. D. Manraj, A. Hebe, et al.,

“Oxidative stress could precede endothelial dysfunction and insulin resistance in Indian Mauritians with impaired glucose metabolism”, *Diabetologia*, vol. 44, pp.706-712, 2001.

- [7] S. C. Millasseau, R. P. Kelly, J. M. Ritter, et al., “Determination of age-related increases in large artery stiffness by digital pulse contour analysis”, *Clinical Science*, vol. 103, pp.371-377, 2002.
- [8] J. Oliver and D. J. Webb, “Noninvasive Assessment of Arterial Stiffness and Risk of Atherosclerotic Events”, *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, vol. 23, pp.554-556, 2003.
- [9] Jochanan E. Naschitz, Stanislas Bezobchuk, Renata Mussafia-Priselac, “Pulse transit time by R-wave-gated infrared photoplethysmography : review of the literature and personal experience”, *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, vol.18, pp. 333-342, 2004.

## 저자소개



예수영(Soo-Young Ye)

- 동서대학교 전자공학과(공학사)
- 부산대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 부산대학교 의공학협동과정 (공학박사)
- 현재 동서대학교 메카트로닉스공학과 교수
- ※관심분야: 신호처리, 생체계측, 의공학



노윤홍(Yun-hong Noh)

- 동서대학교 컴퓨터정보공학부 졸업(공학사)
- 동서대학교 유비쿼터스 IT학과 (공학석사)
- 현재 동서대학교 유비쿼터스 IT학과 박사과정
- ※관심분야: 생체계측시스템, 생체신호처리



**정도운(Do-Un Jeong)**

- 동서대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
  - 부산대학교 대학원 의공학협동과정 졸업(공학석사)
  - 부산대학교 대학원 의공학협동과정 졸업(공학박사)
  - 현재 동서대학교 컴퓨터정보공학부 조교수
- ※ 관심분야: 생체계측시스템, 신호처리, 헬스케어