

# 무선 센서네트워크를 이용한 착용형 PTT 측정시스템의 구현 및 평가

김진호\* · 강학성\*\* · 정도운\*\*\*

\*동서대학교 일반대학원 · \*\*동서대학교 일반대학원 · \*\*\*동서대학교 컴퓨터정보공학부

## Implemetation and Estimation of the Wearable PTT Monitoring System Using Wireless Sensor Network

Jin-Ho Kim\* · Hag-Seong Kang\*\* · Do-Un Jeong\*\*\*

\*Graduate School Dongseo University · \*\*Graduate School Dongseo University · \*\*\*Division of  
Computer & Information Engineering, Dongseo University

E-mail : jjino1109@naver.com, 2768096@hanafos.co.kr, dujeong@dongseo.ac.kr

### 요 약

본 연구에서는 일상생활에서 보다 편리하게 건강모니터링을 수행하기 위해 신체에 착용 가능한 심전도 및 맥파 측정 시스템을 구현하고자 하였다. 이를 위하여 배터리로 구동 가능한 초소형의 심전도 및 맥파 측정 시스템을 구현하였으며, 측정된 생체신호의 무선전송을 위해 초저전력 무선 센서네트워크 기술을 적용한 무선 생체신호 전송시스템을 구현하였다. 무선으로 전송된 심전도 및 맥파 신호는 잡음 제거 및 심박동을 검출하기 위하여 전처리과정과 적응 가변형 문턱치를 적용하였으며, 검출된 심박동으로부터 동맥순환계의 긴장도 및 유순도의 변화를 반영하는 맥파전달시간(pulse transit time, PTT)을 계산하였다. 구현된 무선 맥파전달시간 측정시스템과 기존 상용시스템의 비교 평가를 수행함으로써 구현된 시스템의 유용성을 평가하고자 하였으며, 혈압 및 맥파전달시간의 동시계측을 통해 자세 변화에 따른 혈압의 변화 및 맥파전달시간의 변화양상을 관찰함으로써 혈압과 맥파전달시간의 관계를 추정하고자 하였다.

### 키워드

ECG(electrocardiogram), PPG(photoplethysmography), PTT(pulse transit time), Zigbee

### 1. 서 론

현대사회는 고도의 경제성장과 과학기술 및 의학의 발달로 인하여 국민 건강 상태를 증진시키고 평균 수명을 연장시키는데 기여하고 있다. 평균 수명의 증가로 인해 현재 대한민국 총인구 중 65세 이상 인구가 차지하는 비율은 10.7%이며, 10년 후에는 총 인구 중 고령인구 구성비가 14%인 고령 사회에, 15년 후에는 구성비가 20%가 넘는 초고령화 사회가 될 것으로 전망된다[1]. 또한 사회가 발전함에 따라 생활 수준이 향상됨으로써 개개인의 삶의 질이 향상되었고 이로 인해 건강 관리에 관심이 높아지고 있으며 기존의 진료중심의 의료에서 예방 예측 중심의 의료로, 질병관리 중심에서 건강관리 중심으로 의료 패러다임을 변화시키고 있다[1].

따라서 언제 어디서나 건강을 관리하고자 하는 유비쿼터스 헬스케어가 최근 많은 관심을 끌고

있다. 유비쿼터스 헬스케어는 정보통신 기술이 의료와 접목되어 시간과 공간에 구애받지 않고 언제 어디서나 건강을 관리하고 증진시키며 질병을 예방하고 관리하는 새로운 형태의 의료서비스이다.

유비쿼터스 헬스케어에서는 보다 편리하고 많은 건강정보를 얻기 위해 생체신호 중 가장 많은 건강정보를 포함하고 있고 비침습적으로 측정이 가능한 심전도와 맥파를 측정하기 위한 연구들이 수행되었다. 특히 기존 연구에서는 맥파와 심전도를 동시에 측정하여 혈관의 신전성과 밀접한 관련성을 지니고 있는 맥파전달시간을 분석함으로써 동맥의 유순도 및 혈관의 긴장성을 평가하기 위한 연구들이 수행되었다.

본 연구에서는 기존 연구자들에 의해 심혈관계 건강 모니터링에 유용하다고 평가된 맥파전달시간을 일상생활 중 편리하고 지속적으로 측정하기 위한 휴대용 초소형 맥파전달시간의 모니터링 시

시스템을 구현하고자 하였다. 맥파전달시간 측정을 위해 일상생활 중에서 편리하게 신체 착용 가능한 심전도 및 맥파 무선 계측시스템을 구현하였으며, 자세 변화에 따라 변화하는 혈압 변화 및 맥파전달시간의 변화를 관찰하고자 하였다.

### II. 맥파전달시간

맥파전달시간은 심전도 R파의 정점과 인체의 말초부위에서 측정된 맥파의 기준점 사이의 시간을 의미한다. 즉 맥동성 압력파가 대동맥 관막으로부터 말초부위까지 전달되는 시간을 의미하며, 그 개념을 그림 1에 나타내었다.

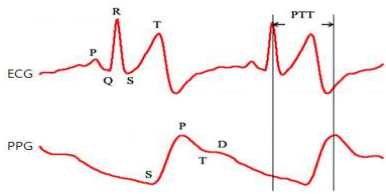


그림 1. 맥파전달시간의 개념도.

맥파전달시간은 혈관의 유순도에 비례하고 혈관의 거리, 혈관의 구경, 혈관벽의 구조적 성질에 의존적인 특성을 나타내며 순환시스템에서 혈관의 긴장도 및 유순도를 측정하는 맥파전달속도와 비교하여 국소적 혈관부위가 아닌 심장에서 특정 부위까지 혈관의 물리적 특성을 대변한다. 특히 비교적 간편한 방법으로 측정이 가능하여 임상적으로 활용이 점점 증가되고 있다.

### III. 시스템 구현

본 연구에서는 일상생활 중 보다 편리하게 건강모니터링을 수행하기 위해 착용 가능한 PTT 측정 시스템을 구현하였다. 이를 위하여 심전도와 맥파를 측정하기 위한 계측부와 아날로그 신호를 디지털로 변환하여 무선전송하기 위한 무선센서노드, PC상에서 데이터의 디스플레이 및 저장을 위한 모니터링 프로그램을 구성하였으며 전체적인 시스템의 구성도를 그림 2에 나타내었다.

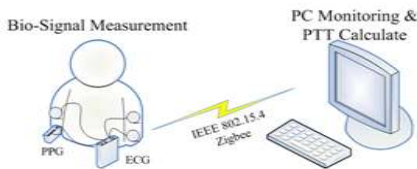


그림 2. 시스템의 구성도.

먼저 심전도 계측부에서는 상용 일회용 전극을 사용하였으며, 심전도 신호의 검출과 증폭 및 필터링을 위한 전자회로부를 구성하였다. 또한 맥파

를 계측하기 위하여 근적외선 LED와 포토다이오드를 이용한 반사형 맥파 센서를 설계 및 구현하였으며, 맥파 센서로부터 출력되는 광량에 따른 전류변화를 검출하기 위하여 전류-전압변환회로를 구성하였다. 심전도와 맥파 계측부의 구성도를 그림 3에 나타내었다.

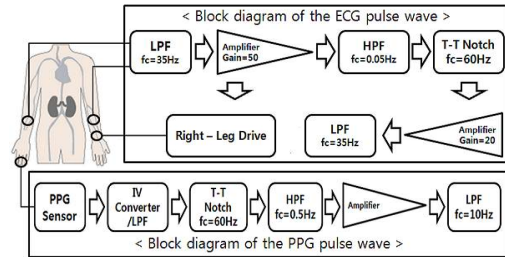


그림 3. 심전도 계측부의 구성도.

다음은 계측된 심전도와 맥파신호를 디지털 신호로 변환하여 PC 또는 이동형 단말기에 무선으로 데이터를 전송하기 위해 TIP710CM(Maxfor co. Ltd., Korea) 무선 센서노드를 이용한 무선통신부를 구현하였다. 이 센서노드는 저전력 마이크로프로세서인 MSP430F1611에 의해 제어되며, 내부에 내장된 12-bit 분해능의 A/D변환기를 이용하여 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하였다. 구현된 무선데이터 전송부의 구성을 그림 4에 나타내었다.

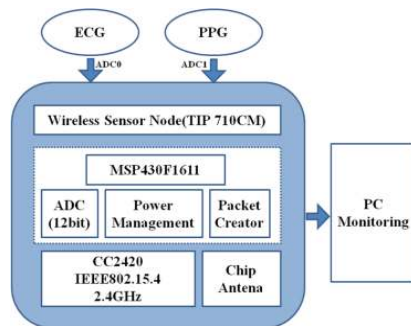


그림 4. 무선데이터 전송부의 구성.

### IV. PTT의 신호처리

심전도 및 맥파 신호로부터 맥파전달시간을 검출하기 위해서는 동일한 심장 움직임을 나타내면서도 변화가 뚜렷하여 측정이 용이한 지점이어야 한다. 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 심전도의 R파와 맥파의 P파에 시간차이를 계산하여 맥파전달시간을 검출하였으며, 그림 5과

같이 맥파전달시간의 신호처리 과정을 수행하였다.

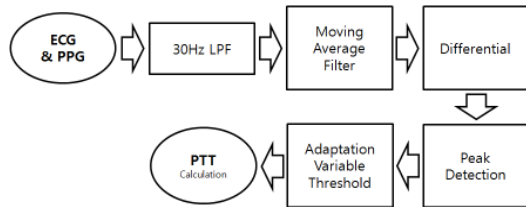


그림 5. 맥파전달시간의 신호처리 과정.

계측된 심전도 및 맥파로부터 맥파전달시간을 계산하기 위해 각각의 신호에 고주파 잡음 제거를 위한 30Hz의 저역통과필터, 신호의 진폭 잡음 제거를 위한 10차 이동평균필터를 적용하여 전처리과정을 수행하였으며, 두 신호의 미분과 적응가변형 문턱치 알고리즘을 통해 피크값을 검출하고, 각 신호의 피크점 사이의 시간차를 계산하였다.

신호처리 과정에 따른 맥파전달시간의 측정결과를 그림 6에 나타내었으며, 그림 6의 (a)는 계측된 심전도 및 맥파의 원신호, (b)는 저역통과필터를 적용한 후, (c)는 이동평균필터를 적용한 심전도 및 맥파 신호를 전처리 과정을 거친 신호이다. 그리고 전처리과정을 거친 신호로부터 기저선의 제거 및 특징점의 추출을 용이하게 하도록 각각의 신호에 미분과정을 수행한 결과를 (d)에 나타내었으며, (e)에서는 심전도와 맥파의 피크검출 결과를 나타내었다.

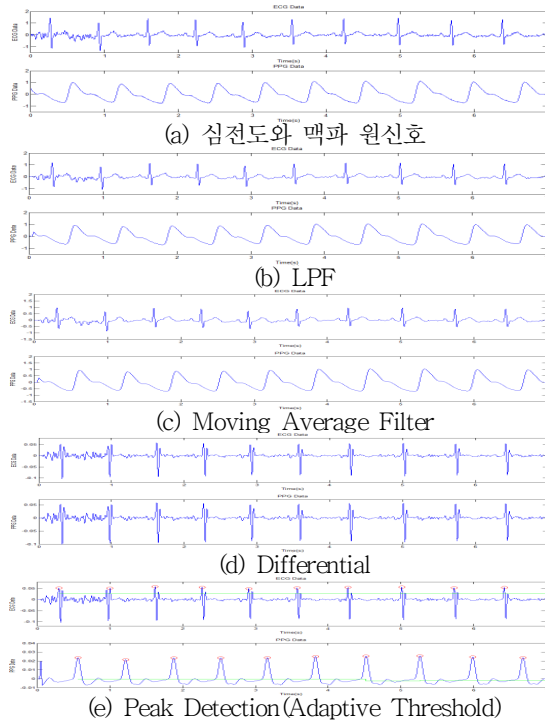


그림 6. 맥파전달시간의 신호처리 측정결과.

맥파전달시간은 심전도와 맥파의 미분신호에서 정점을 검출하고 원신호에서 재검출하여 피크간의 시간차를 계산함으로써 맥파전달시간을 구하였다. 계산된 맥파전달시간을 맥파신호와 동기 시켜 시간에 따른 맥파전달시간 변화의 일례를 그림 7에 나타내었다.

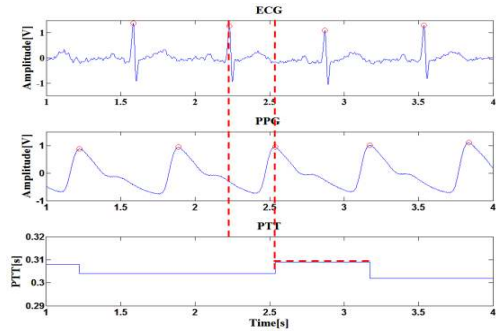


그림 7. 맥파전달시간의 계산 결과.

### V. 실험 및 결과

본 연구에서는 피검자의 불편함을 최소화하고 일상생활에서 보다 편리하게 맥파전달시간을 측정하기 위하여 배터리로 구동 가능한 초소형의 심전도 및 맥파 측정 시스템을 구현하였으며, 무선 생체신호 전송 시스템을 구현하였다. 실제 구현된 생체신호 무선전송시스템을 그림 8에 나타내었다.

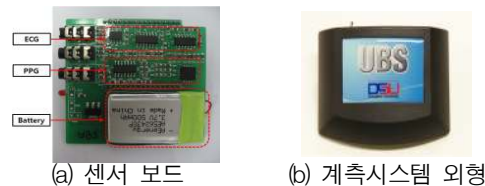


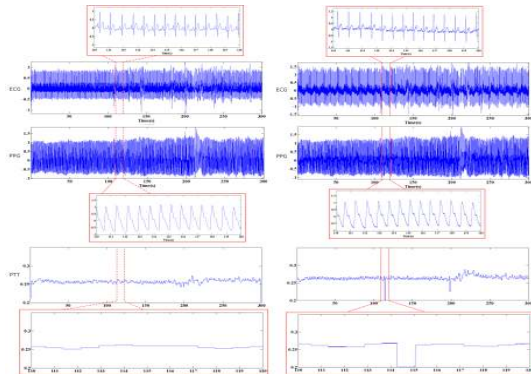
그림 8. 생체신호 무선전송 시스템.

#### 5.1. 상용시스템과 비교평가

본 연구에서 구현된 맥파전달시간 시스템의 유용성을 평가하기 위하여 피지오랩사의 P400 생체신호계측기와 LEAD I 법을 사용하여 동시 계측을 수행, 맥파 전달 시간을 비교 평가하는 실험을 수행하였다. 실험대상군은 건강한 대학생 5명을 대상으로 하였으며, 5분간 데이터 계측을 수행하였다.

구현된 시스템을 이용한 맥파전달시간 계측결과와 피지오랩사의 P400을 이용한 맥파전달시간 측정 결과의 일례를 그림 9에 나타내었다. 그림 9의 (a)에서는 구현된 시스템을 이용한 신호를 그림 9의 (b)에서는 P400 계측 시스템을 이용한 신호를 나타내었다. 그림 9의 (b)에서 P400 계측시스템에서 피크가 검출되지 못한 부분이 나타난다. 이것은 구현한 시스템에서는 동잡음에 강하게 설

계되었으나, P400에서는 동잡음에 강인한 시스템 설계보다는 넓은 주파수 대역의 계측을 위해 차단 주파수가 설정되었기 때문으로 생각된다.



(a) 구현된 시스템을 이용한 계측결과  
(b) P400을 이용한 계측결과  
그림 9. 맥파전달시간 계측 비교 실험 결과.

실험결과 본 연구에 의해 구현된 PTT측정시스템의 계측결과와 P400계측 시스템에서 측정된 PTT결과가 값의 차이는 나타나지만 신호의 변화 형태는 매우 비슷하게 나타났다.

5.2. 자세변화에 따른 맥파전달시간의 변화

인체는 자세 변화에 따라 부위별 혈관의 상태와 혈압이 다르게 작용한다고 알려져 있다. 기존 연구에서 맥파전달시간을 이용한 혈압의 추정 연구를 보면 혈압이 증가하면 맥파전달시간이 감소하고, 혈압이 감소하면 증가한다고 알려져 있다.

이와 같은 혈압과 맥파전달시간의 반비례 관계를 이용하여 상관성에 따른 보정 계수를 설정함으로써 맥파전달시간을 입력변수로 사용하는 혈압추정용 선형회귀식을 도출할 수 있다[2].

표 1. 자세변화에 따른 맥파전달시간의 평균과 표준편차[ms]

Experimental ID	PTT (Sitting)		PTT (Lying)		PTT 차이 (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	±9.91	213.13	±4.14	-4.64
object10	231.09	±4.66	238.55	±5.53	-7.46
Avg					-5.68

본 연구에서는 심전도와 맥파 신호를 이용하여 맥파전달시간의 변화 및 자세변화에 따른 혈압변화를 관찰하고자 하였다. 이를 위해 건강한 대학

생 10명의 피검자로부터 각 10분 동안 바로 누운 자세, 앉아 있는 자세를 취한 상태에서 심전도와 맥파를 동시에 계측하였으며, 자세변화에 따른 맥파전달시간의 변화를 그림 10에 나타내었다.

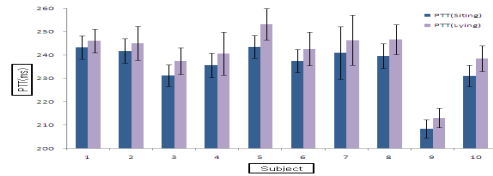


그림 10. 자세변화에 따른 맥파전달시간의 변화.

V. 결론

위의 실험 결과 맥파전달시간은 앉아있는 자세가 누워있는 자세보다 더 짧았다. 이러한 결과는 앉아있는 자세에서 팔의 위치가 심장보다 아래로 내려오기 때문에 정수압(hydrostatic pressure)의 영향으로 혈관내의 압력이 증가하여 나타난 결과로 판단된다.

본 연구에서는 일상생활에서 보다 편리하게 건강 모니터링을 수행하기 위해 무선 데이터 전송이 가능한 착용형 심전도 및 맥파 계측시스템을 구현하였다. 구현된 시스템의 유용성 평가를 위해 기존 상용 맥파전달시간 계측 시스템인 P400시스템과 계측 성능 비교평가를 수행한 결과 맥파전달시간 변화양상은 매우 유사함을 확인하였으며, 이를 통해 구현된 시스템을 이용한 일상생활 건강 모니터링의 가능성을 확인하였다. 또한 자세변화에 따라 맥파전달시간의 변화와 자세변화간의 관계를 확인할 수 있었다. 이는 PTT를 통해 혈압 변화의 모니터링이 가능함을 나타내며 비침습적 혈압 추정 및 연속적 혈압 변화를 통한 고혈압 등 심혈관계 건강 모니터링에 활용 가능함을 확인하였다.

향후 연구에서는 맥파전달시간 변화로 혈압의 변화 및 질병을 추정하고, 실제 임상 실험군에 대한 비교연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청의 산학공동 기술개발지원사업 및 동서대학교 유비쿼터스 어플라이언스 지역혁신센터의 연구비를 지원받았음

참고문헌

[1] 통계청, 장애인구 추계결과, 2004.  
[2] G. V. Marie, C. R. Lo and D. W. Johnston, "The relationship between pulse transit time and blood pressure", Psychophysiology, vol. 21, no. 5, pp.521-527, 1984.