

4 채널의 Photo-plethysmogram 시스템 구현에 관한 연구(I)

김형태, 한순천, 김정국, 허 웅, *박영배
명지대학교 대학원 전자공학과, *경희대학교 한의과대학
전화 031-336-6347 / 핸드폰 017-335-8195

Implementation of 4 Channel Photo-Plethysmogram System(I)

Hyoung-Tae Kim, Soon-Chen Han, Jung-Kuk Kim, Woong Huh, *Young-Bae Park
Department of Electronic Eng. Myongji Univ.
*School of Oriental Medicine. Kyung Hee Univ.
E-mail : bis8@mju.ac.kr

Abstract

In this paper, we implement the volume pulse detection system which can quantitatively represent an artery elasticity. The system consists of transducer which has IRLED-photodiode detector, temperature sensor, filters, preprocessing circuits, A/D converter, serial communication part and computer system.

In order to presume the artery elasticity information we measure the volume pulse at four points and then evaluate the transition time, distance and the correlation coefficient of the pulse wave between the points.

We test the system with 10 subjects during the week for basic experiment and obtain the data at four points. As the result of experiment, we can detect normalized volume pulse wave and evaluated parameter with effectively.

1. 서 론

용적맥파는 압맥파와 달리 동맥벽의 용적변화에 의하여 발생하는 맥파 신호로 동맥의 생리적 상태를 반영하는 것으로 알려져 한의학계에서 이를 이용하여 동맥 경화의 진단사항을 예측하고자 하는 노력이 기울여져 오고 있다. 그러나 동맥벽의 용적변화는 용적 1cm^3 당 $1/250\text{cm}^3$ 정도에 지나지 않아 매우 미소하며 이 값을 절대적인 방법으로 계측하기는 매우 어려워 상대계 측법을 사용하여 검출하고 있다.

일반적으로 용적맥파를 검출하는 곳은 指尖이며 맥파를 검출하는 방법은 혈액과 상관성이 좋은 파장의 광을 지침에 조사하여 투과 또는 반사되는 량을 검출하여 이를 시간에 대하여 그래프로 묘사하여 얻어진다. 용적의 변화를 비교적 정확하게 측정하기 위해서는 투과식을 사용하며, 변화의 형상이 필요한 경우에는 반사법을 사용하고 있다. 투과식의 경우는 지침에서만 측정이 가능하나 반사식의 경우는 혈관이 있는 부분이면 대부분의 지점에서 측정이 가능하다.

본 연구에서는 지침부위 측정을 위한 투과식 1 channel과 각 부위별 측정을 위한 반사식 3 channel로 구성하여 4 channel의 용적 맥파 신호를 검출할 수 있는 시스템을 구현하였다. 검출된 신호는 변동성분과 비변동성분으로 구성되며 변동성분은 교류형으로 심장의 박동에 의하여 발생하는 압력과 동맥계의 용적변화에 의하여 나타나는 량이며, 비변동성분은 조직의 광 흡수도와 관련된 량이다. 수신 광량의 변화는 광과 혈중의 산화 헤모글로빈 량의 변화와 관계되며 헤모글로빈 량의 변화는 심장의 박동변화와 동일하므로 동맥벽의 용적변화를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 산화 헤모글로빈과 상관성이 좋은 파장의 광을 투과 또는 반사시켜 변동성분과 비변동성분을 별도로 검출하고 측정 부위별로 검출된 용적맥파 신호의 전달 시간과 거리, 그리고 time interval에 대한 각 신호의 변화 정도를 나타내는 변이계수와 상관관계를 나타내는 상관계수를 구하여 동맥 탄성에 대한 정보를 추정하고자 기초 실험을 수행하였다.

2. 용적 맥파계의 구성

2.1 기본 구성

본 연구에서 구현한 시스템은 Fig 1과 같이 하드웨어부와 소프트웨어부로 구성되며 하드웨어부는 혈관의 미세한 용적변동을 광학적으로 검출하는 맥파신호검출부와 피검자의 지침의 온도를 검출하는 부, 검출된 용적 맥파신호를 증폭하는 증폭부, 아날로그 신호를 디지털로 변환해주는 A/D 변환부로 구성되고 소프트웨어부는 디지털로 변환된 신호를 모니터에 보여주는 Display부와 측정된 데이터를 분석하는 데이터 분석부, 분석된 데이터를 저장하는 데이터베이스부로 구성된다.

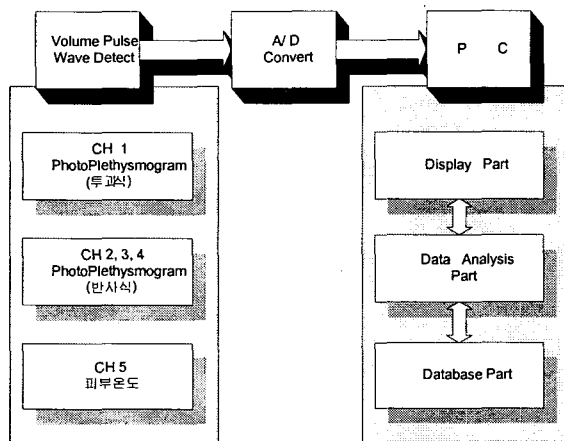


Fig.1 Photo-plethysmogram의 기본 구성

2.2 맥파 검출 시스템

혈관의 용적변화와 혈류변화는 심장박동변화와 동일하므로 혈액의 산화 헤모글로빈과 상관성이 좋은 940nm대의 광을 이용하여 맥파 신호 검출 시스템을 구현하였다.

Fig 2. 에 나타난 투과식 맥파 검출기는 IRLED와 Photodiode를 서로 마주 보게 구성하여 IRLED에서 방출된 광이 지침을 통과하면서 지침 동맥의 용적변화에 의해 변위되고 그 변위된 광이 Photodiode에 수광되도록 설계하였다. Fig 3. 에 나타난 반사식 맥파 검출기는 IRLED와 Photodiode에 일정한 입사각과 반사각을 주어 IRLED에서 방출된 광이 혈관의 변위에 따라 광의 반사량이 변위되고 그 변위된 광이 Photodiode에 수광되도록 설계하였다. Photodiode에 수광된 광은 미세한 전류로 변환되어 출력되고 OP Amp에서 I-V 변

환과 증폭이 이루어진다.

전압 신호로 변환된 신호는 Fig 4에 나타난 바와 같이 출력된다. I-V 변환된 신호를 High Pass Filter와 Low Pass Filter를 사용하여 맥파 신호인 AC 성분과 지침의 연부 조직의 두께와 관련된 DC 성분으로 분리하였고 이를 각기 증폭하여 출력값이 1~3V가 되도록 하였다. 다시 이것을 60Hz Notch Filter와 차단주파수가 40Hz인 Low Pass Filter를 사용하여 Noise나 그 밖의 불필요한 신호를 제거한 후 A/D 변환하여 serial 통신으로 PC에 보내진다. Fig. 5에서 출력된 신호를 나타내었다.

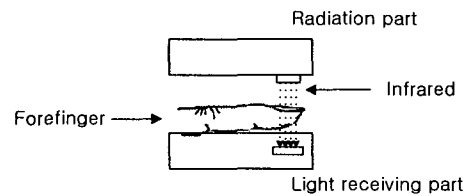


Fig 2. 투과형 변환기의 기본구조

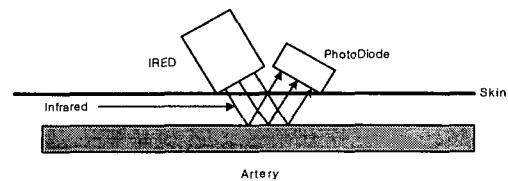


Fig 3. 반사형 변환기의 기본구조

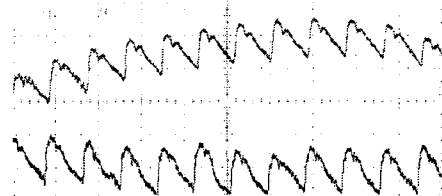


Fig 4. I-V 변환된 신호

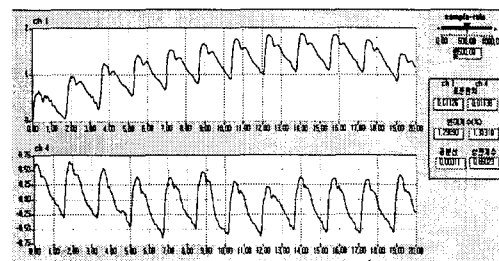


Fig 7. Plethysmogram Signal

2.3 검출된 맥파 신호 분석

본 연구에서는 각 채널별로 검출된 용적 맥파 신호의 특성과 신호들 간의 상관관계를 알아보기 위하여 속도맥파(PWV : Pulse Wave Velocity)의 peak점을 검출하고 검출된 peak점간의 time interval을 계산하여 맥파의 전달시간을 검출하였다.

2.3.1. 속도맥파(PWV)의 전달시간 검출

Fig. 6은 맥파 전달시간을 검출하기 위한 전체 흐름도이다. 먼저, 알고리즘의 안정적인 동작을 위해 입력된 맥파 신호에 전처리 과정을 수행하고 일차 미분하여 속도맥파(PWV)를 얻는다. 일차 미분한 속도 맥파는 간단한 threshold값으로도 용이하게 peak 검출이 가능하므로 1초 동안 검출된 data의 최대값의 30%를 threshold로 하여 peak를 검출한다. 또한, n주기에서 검출된 peak는 n-1까지 검출된 peak들간의 time interval 평균값과 비교하여 정확한 peak점을 검출하도록 하였다. 검출된 peak점은 각 채널의 해당 주기의 peak점들과 그 크기와 위치를 서로 비교하도록 하여 맥파의 전달 시간을 검출하였다. Fig 7은 속도맥파(PWV)에서 peak점을 검출한 화면이다.

2.3.2. 채널별로 측정된 신호간의 상관성

본 연구에서는 채널별로 측정된 신호의 특성을 알아보기 위해 PWV의 peak와 peak간의 time interval의 평균과 표준편차를 구하여 채널별 time interval에 대한 변이계수를 구하였다. time interval에 대한 변이계수는 각 채널의 time interval의 변화 정도를 나타내어 측정 부위별 time interval의 변화를 알 수 있다.

두 신호간의 상관성은 time interval에 대한 확률분포함수를 구하여 확률변수의 특성을 찾고 각 변수들간의 관계가 결합적으로 어떻게 변화하는 가를 측정하기 위해 확률변수 X의 증감에 따른 확률변수 Y의 증감 경향을 나타내는 공분산(covariance)을 식 1과 같이 정의하여 구하였다. 상관성은 공분산이 어느 정도인가에 따라 그 정도를 나타내는데 공통으로 변하는 부분이 적으면 적을수록 상관관계가 낮아지고 공통부분이 완전히 일치되면 상관관계가 1이 된다.

$$Cov(X, Y) = E[(X - X_m)(Y - Y_m)] \quad (1)$$

$$X_m: \text{mean}(X), Y_m: \text{mean}(Y)$$

상관계수는 두 확률 변수 X와 Y에 대한 변수들의 기대값을 X_m, Y_m 이라 하고, 표준편차를 σ_X, σ_Y 라 하면

X와 Y의 상관계수 ρ_{XY} 는 식 2와 같이 구할 수 있다.

$$\rho_{XY} = Corr(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (2)$$

Table 1은 피검자 A의 채널 1과 채널 4에서 측정된 용적맥파의 PWV에서 검출된 peak점에 대한 time interval 특성과 상관성을 나타내었다.

본 연구에서는 4개의 channel에서 각각 측정된 용적 맥파 신호간의 상관성을 구하기 위하여 용적 맥파를 미분하여 구해진 속도 맥파(PWV)의 time interval에 대한 변이 정도를 나타내는 변이계수와 상관관계를 나타내는 상관계수를 구하여 비교·분석 하였다.

본 논문에서 구현한 소프트웨어는 측정부위에 따른 용적맥파를 채널별로 디스플레이하여 데이터 분석을 수행하고 분석된 데이터는 피검자의 정보와 함께 저장하여 관리하도록 데이터베이스화하였다.

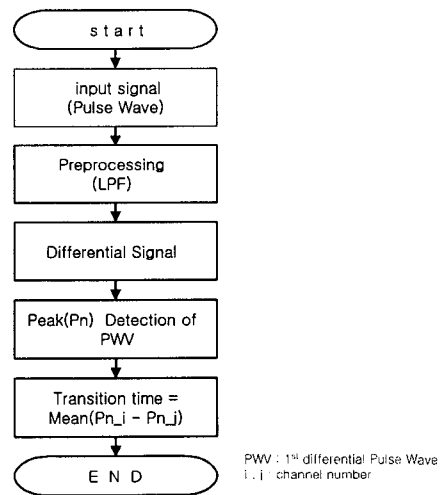


Fig 6. 맥파 전달시간 검출 흐름도

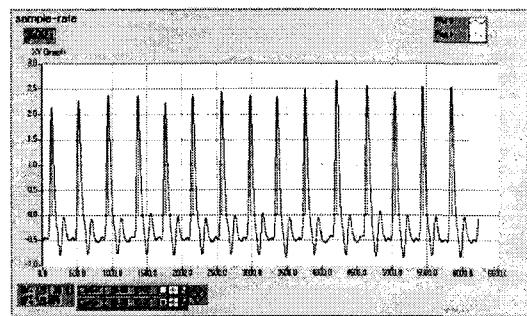


Fig 7. PWV의 Peak 검출

III. 실험 및 고찰

본 논문에서는 구현한 시스템의 출력 전압에 대한 특성을 고려하기 위하여 먼저 기초 실험을 수행하였다. 기초 실험은 정상인 10명을 대상으로 일주일 동안 매일 일정한 시간에 반복적으로 실험을 수행하였다. 측정 부위는 네 지점으로 지침, 손목과 팔의 요골동맥, 경동맥을 측정하였다.

네 지점에서 검출된 맥파 신호는 Fig 8에 보여진 것과 같이 (a)는 지점에서 검출된 파형이고 (b)는 손목의 요골동맥에서 검출된 파형이며 (c)는 팔의 요골동맥에서 검출하였고 (d)는 경동맥에서 검출된 파형이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 산화 헤모글로빈과 상관성이 좋은 파장의 광을 투과 또는 반사시키는 4 채널의 용적맥파 검출 시스템을 구현하여 측정된 용적 변화율을 정규화하고 각 채널별로 측정된 맥파 신호간의 상관관계를 검출하고자 기초실험을 수행하였다. 또한, 채널별로 측정된 맥파 신호는 그 전달 시간과 채널별 신호간의 상관관계를 비교하기 위하여 속도맥파(PWV)의 peak점 time interval을 이용하여 time interval의 변이계수와 상관계수를 구하였다.

본 연구에서 구현한 4 채널의 용적맥파 검출 시스템은 네 지점에서 측정된 용적맥파 신호간에 어떠한 상관성을 검출하여 후에 동맥의 탄성에 관한 정보를 얻을 수 있으리라 사료된다.

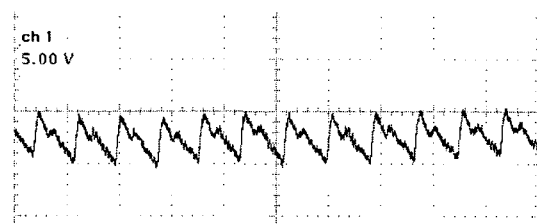
V.참고문헌

- [1] 나중석 “혈액학” 고문사, pp.61-78, 1989
- [2] 김근이, “펄스 옥시미터 시스템 具現에 관한 연구” 明知大學校 工學碩士論文, 1992
- [3] 박연순, 김근이, 임현수, 허웅 “펄스 옥시미터 시스템 개발에 관한 연구” 大韓醫用生體工學 春季學術大會 論文集, pp. 116-119, 1993
- [4] Y. Mendelson, J. K. Kent, B. L. Yocum, M. J Birle, “Design and Evaluation of a New Reflectance Pulse Oximeter Sensor”, Med. Instrum. vol.22, No.4, pp.167-173, Aug.1988
- [5] 自己回歸 모델을 이용한 心拍의 파워스펙트럼 推定에 관한 研究, 仁荷大學校, 工學博士學位論文, 2001.

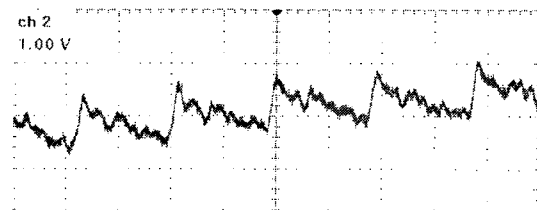
ch1		ch 4		Transition time(sec)			
Pr(sec)	time interval	ch 1 평균	peak(sec)	time interval	ch 4 평균	평균	평균
0.78933	0.88620	0.86673	0.89283	0.88496	0.86637	0.10690	0.10537
1.67214	0.86990		1.77781	0.87357		0.10567	
2.54193	0.86258		2.65138	0.85612		0.10945	
3.40451	0.84835		3.50750	0.85167		0.10299	
4.25287	0.85749		4.35917	0.85733		0.10630	
5.11035	0.86236		5.21650	0.85150		0.10615	
5.97271	0.85951		6.07800	0.86075		0.10529	
6.83223	0.86596		6.93875	0.86125		0.10653	
7.69818	0.87560		7.80000	0.87850		0.10182	
8.57379	0.87943		8.67850	0.87800		0.10471	
9.45321			9.55650			0.10329	

표준편차		공분산	상관계수	변이 계수(%)	
ch 1	ch 4			ch 1	ch 4
0.01126	0.0113763	0.00011	0.86023	1.2989	1.3131

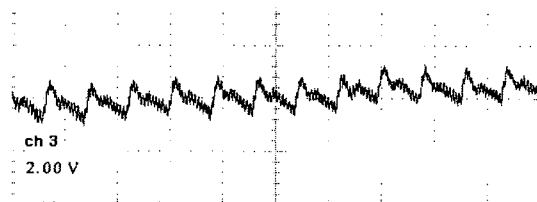
Table 1. 피검자 A의 channel 1과 channel 4의 PWV peak 특성과 채널별 상관성



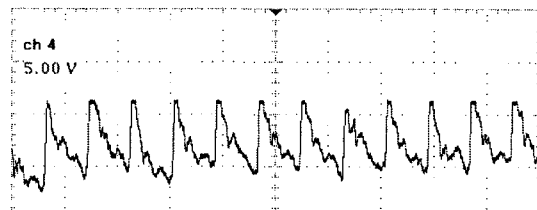
(a) channel 1 : 지점에서 검출된 파형



(b) channel 2 : 손목의 요골동맥에서 검출된 파형



(c) channel 3 : 팔의 요골동맥에서 검출된 파형



(d) channel 4 : 좌측 경동맥

Fig 8. 각 채널별로 측정된 용적맥파 파형