

산소포화도 측정을 위한 광전용적맥파 시스템에 관한 연구

김홍엽[○], 김경호^{*}, 송민욱^{**}

[○]단국대학교 전자공학과

^{**}충남테크노파크 디스플레이센터

e-mail: {khy1003, dkuhealth}@dankook.ac.kr, mwsong@ctp.or.kr

A Study of Photoelectric Plethysmography System for the Measurement SpO2

Hong-Yeop Kim[○], Kyung-Ho Kim^{*}, Min-Wook Song^{**}

[○]Dept. of electronic engineering, Dankook University

^{**}Dept. of Chungnam Techno Park Displaycenter

● 요약 ●

본 연구에서는 두 파장을 이용한 광전용적맥파(photoelectric plethysmography, PPG)의 시스템을 기반으로 산소포화도 및 다양한 맥파 관련 건강정보를 분석할 수 있는 시스템에 관하여 연구하였다. 광전용적맥파를 이용한 산소포화도 측정을 위해 서로 다른 두 파장의 빛을 이용하여 비 침습적 맥파 측정 방식으로 손가락 끝 부분에서 측정하고, 혈액 내 헤모글로빈의 빛 대한 광 흡수도의 차이를 분석하여 검출하였다. 또한 정확한 분석을 위하여 두 파장의 빛을 순차적으로 제어하는 스위칭 기법을 사용하고, 조직을 통과한 두 파장의 빛을 분리하기 위하여 수광부에 시간의 차이를 두어 각 파장에 대한 광전용적맥파를 측정하였다. 본 연구에서는 산소포화도를 측정하기 위한 방법으로 서로 다른 두 파장을 이용한 광전용적맥파 측정기기를 설계하고, 측정 결과의 정확성 및 유의성에 대한 검증하였다.

키워드: Ubiquitous, 감성(human emotion), PPG(Photoplethysmogram), ECG(Electrocardiogram), FFT(Fast Fourier Transform), 전력스펙트럼밀도(Power Spectrum Density)

I. 서론

현대 사회를 살아가면서 사람들은 아프거나 건강관리를 하기 위해 병원을 방문하고, 다양한 검사들을 통해 치료 및 건강관리를 받고 있다. 이러한 의료행위나 건강관리는 ECG, EEG, 혈압, 맥파, 체온, APG 같은 생체 정보 측정 기술들을 기반으로 하고 있으며 최근 건강에 대한 관심이 증가로 가정에서도 손쉽게 생체정보들을 측정하여 건강을 관리하려는 움직임이 일어나고 있다.

건강을 관리하는 방법 중 하나인 맥파는 심장에서 나온 혈액이 수축과 이완함에 따라 순환되고 심장의 심실이 수축함에 따라 혈액이 대동맥으로 나오면서 1회 나온 혈액은 일시에 말초 혈관으로 보내지 못하게 된다. 심실에서 나오게 된 혈액은 혈관의 탄력성에 의해 확장되고 혈액의 일부가 수용되어 대동맥의 기시부에서 혈압이 상승하게 됨에 따라 시간의 경과와 혈액이 계속 나오게 되면서 압력이 증가하여 말초혈관으로 퍼져나가게 되는 현상을 맥파라고 말한다[1].

본 연구에서는 맥파를 측정하기 위해 고통과 감염 등의 위험이 있는 침습적인 방법보다 비 침습적인 방법 중 하나로 빛을 이용하여 말초 혈관의 투과하거나 반사되어 나온 신호의 가감쇠를 얻어 측정하는 광전용적맥파 방법을 선택하였다[2]. 빛을 이용하여

측정하는 광전용적맥파는 가시광선 영역에서 근적외선 영역을 이용하여 측정하게 되고 단일파장을 이용하여 측정 가능 하지만 서로 다른 두 파장의 빛을 한 지점에서 조사하여 측정하는 방법으로 맥파의 활용도를 높이고 정확성 높은 시스템을 구현하고자 하였다.

II. 관련 연구

국내·외로 맥파의 측정 및 활용방법에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히 맥파의 측정 방법 중에서 비 침습적 측정 방법은 다양한 방향으로 연구되어 왔으며 대표적으로 빛을 이용하여 측정하는 광전용적맥파가 주로 연구되어 왔다[3]. 이외에도 압력 센서를 이용하여 사람의 맥파를 측정하는 방식으로 한의학에서 측정하는 맥진 방법을 기초로 하고 맥진하는 측정 부위의 경우 요골동맥이 대표적이며 혈관의 압력 변화로 인해 피부가 움직이는 미세한 움직임을 측정하여 얻어내는 방식에 대해서도 연구가 진행되었다.

그러나 압력센서를 이용하여 맥박을 측정하는 방식은 혈관의 변화로 맥파를 얻어내는 방식이라 동전압에 매우 민감하고 요골동맥에서 측정함에 따라 측정위치가 달라져도 다른 파형이 측정되는 문제점이 있다.

최근에는 광전용적맥파를 심전도(ECG)와 같은 다른 생체정보들과 함께 활용하여 기존 혈류속도를 측정하는 방식 및 수면 무호흡과 같이 사람이 무자각적인 상황에 활용하도록 하는 연구들이 활발하게 진행되고 있다.

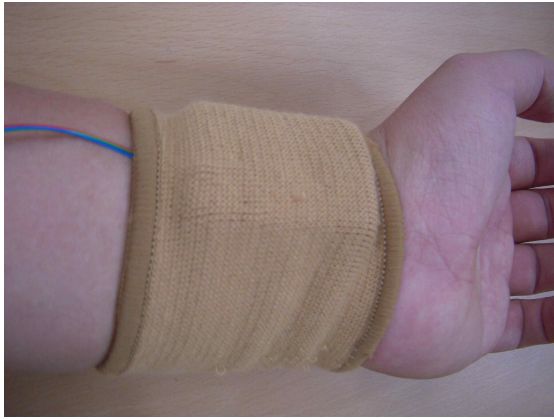


그림 1. 압력 맥파 측정 시스템
Fig. 1. Pressure Pulse Measurement System

III. 본론

1. 광전용적맥파 측정을 위한 센서부 설계

광전용적맥파를 측정하는 방식은 투과방식과 반사방식 두 가지 방식이 존재한다. 투과방식은 발광부에서 나온 빛이 손가락을 투과하여 반대편에 있는 광 검출기에서 얻는 방식이고 반사방식은 발광부에서 나온 빛이 헤모글로빈에 반사되어 다시 되돌아오는 빛을 광 검출기에서 얻음으로서 생기는 신호이다.

본 연구에서 측정한 광전용적맥파는 두 파장을 이용하여 측정하였으며 스위칭 기법과 Micro Controller를 통해 시스템을 제어하였다.

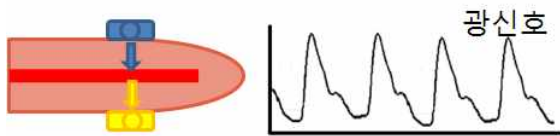


그림 2. 투과방식 광전용적맥파의 신호
Fig. 2. Transmission of the Signal PPG

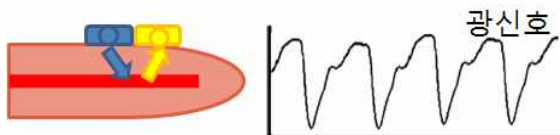


그림 3. 반사방식 광전용적맥파의 신호
Fig. 3. Reflection of the Signal PPG

1.1 맥파 측정을 위한 측정 파장

광전용적맥파는 빛을 이용하여 조직으로 조사되면 그에 따른 광흡수도의 변화를 측정하는 것이다. 피부에 발광부와 광검출기를 부착하여 피부를 투과하는 빛의 강도를 측정하면 광 검출기의 출력에 나타나는 신호는 심장 박동 주기에 따라 요동한다[4]. 빛이 혈액속의 헤모글로빈에 조사되어 광 흡수도의 차이로 인해 광전용적맥파를 측정하는 것이다.

헤모글로빈의 광 흡수도는 빛의 파장 영역에 따라 산화헤모글로빈과 비산화헤모글로빈으로 차이점을 보인다. 그림 4에서 보는 것과 같이 가시광선영역에서는 산화헤모글로빈의 광 흡수도가 작고 비산화헤모글로빈의 광 흡수도가 크며 근적외선 영역에서는 그 반대의 성질을 보인다.

본 연구에서 선택한 것은 가시광선영역에서 적색의 625nm 파장과 근적외선 영역인 940nm 파장을 선택하였다.

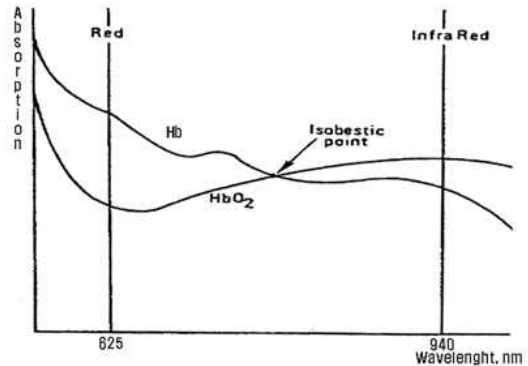


그림 4. 헤모글로빈의 광 흡수도
Fig. 4. Optical Absorption of Hemoglobin

1.2 광전용적맥파 제어 기법

광전용적맥파를 동시에 얻기 위한 방법으로 스위칭 기법을 사용하였다. 두 파장의 빛이 동일한 장소를 조사 하였을 경우 빛은 서로가 간섭 및 영향을 주게 되고 빛이 서로 산란하기 때문에 측정값을 얻을 수 없다. 따라서 본 연구에서는 각각의 시간의 차이를 두어 그로 인해 발생된 신호만을 얻음으로서 두 파장에 대한 측정 결과를 얻을 수 있었다.

스위칭 하기 위한 방식으로 Hardware 방식과 Software 방식이 존재한다. Hardware 방식은 고속 스위칭 소자를 이용하여 신호를 분할하는 방식이고 Software 방식은 두 가지의 신호로 인해 발생한 맥파를 ADC처리를 하면서 시간타임으로 얻어내는 방식이다. 두 방식 모두 신호를 분할하는데 있어 무리가 없으나 Hardware 방식은 고속 스위칭 소자가 사용되는 단점이 있고 Software 방식은 신호를 사용하게 될 MCU에 불필요한 무리를 주게 된다. 따라서 본 연구에서는 Software 방식보다 Hardware 방식으로써 사용하게 되었다.

Hardware 스위칭 기법을 사용하기 위해 Micro Controller에서 신호를 분할하기 위한 Timer 연산을 통해 각각의 시간대를 구성하였다.

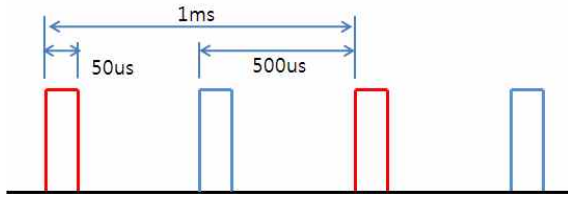


그림 5. 스위칭 시간 간격
Fig. 5. Switching Time Intervals

첫 번째 신호 시간대와 두 번째 신호 시간대를 구분 짓기 위해 사이에 간격을 $450\mu s$ 시간을 두었으며 각각의 신호는 $50\mu s$ 의 시간동안 신호를 얻을 수 있는 시간 간격을 구성하였다.

2. 광전용적맥파 시스템 구성

본 연구에서는 두 가지의 방식 중 광 검출기에서 얻은 값이 보다 큰 투과방식의 방법을 선택하였다.

광 검출기를 통해 얻은 광전용적맥파 신호는 투과방식이라 하여도 그 크기가 미약하기 때문에 증폭을 하여야 했다. 또한 다른 생체 신호에 대한 측정 결과를 보이게 되어 필터처리를 했으며 스위칭을 하기위한 고속 스위칭 소자를 사용하였다.

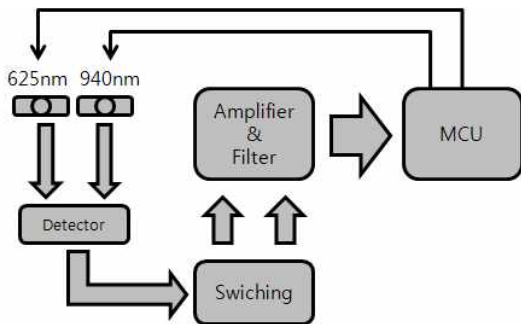


그림 6. 시스템 구성도
Fig. 6. System Block Diagram

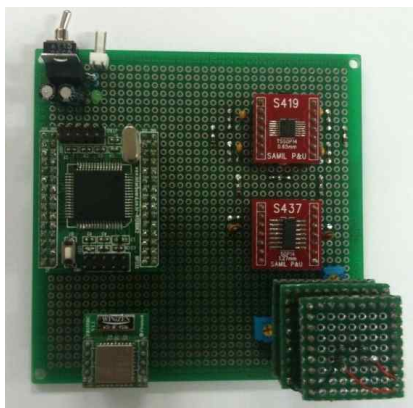


그림 7. 광전용적맥파 시스템
Fig. 7. PPG System

2.1 Micro Controller

Micro Controller는 데이터의 처리 및 스위칭 기법을 담당한다. 추출된 데이터는 Micro Controller로 입력되며 Timer 연산을 통해 스위칭에 사용되는 시간 계산 및 스위칭에 사용될 구형파 발생한다. 발생된 구형파는 각각의 발광부에 입력되었으며 시간의 맞는 빛을 낼 수 있었다.

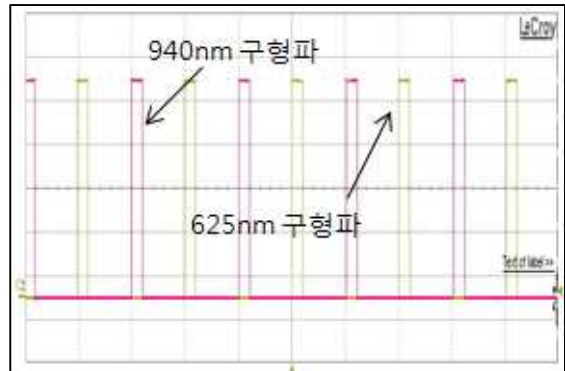


그림 8. 발광부 제어 구형파
Fig. 8. Irradiation control square wave

2.2 맥파 측정 시스템

생체 신호는 각각 고유의 주파수를 가지고 있고 그 중에 본 연구에서 사용한 맥파의 고유의 주파수는 $0.5\sim 5\text{Hz}$ 이다. 따라서 광전용적맥파를 측정하기 위해 Amplifier & Filter 처리가 필수로 사용되었는데 증폭과 필터를 처리하기 위한 Active type의 Band Pass Filter를 설계 하였으며 설계된 OP-Amp는 Rail to Rail 특성과 Low Drift Current 특성을 지닌 소자를 사용함으로써 증폭과 잡음에 대한 효율성을 높였다. 또한 고속 스위칭 을 하기 위한 고속 반도체 스위칭 소자를 활용하여 스위칭을 하기 위한 시스템으로 스위칭을 하게 될 때 20ns 의 시간차이가 발생하게 되었는데, 이는 맥파를 측정하기 위한 $50\mu s$ 시간보다 매우 작은 시간에 불과하여 영향을 받지 않았다.

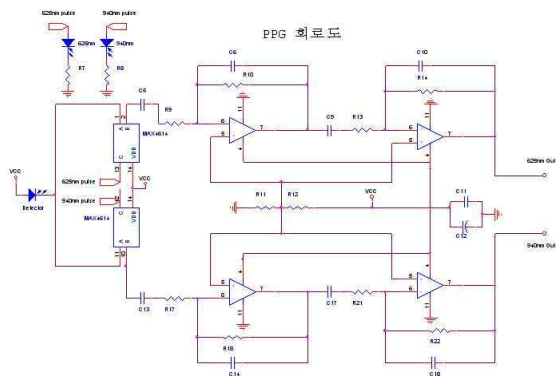


그림 9. 광전용적맥파 측정 회로
Fig. 9. PPG Measurement Circuit

3. 광전용적맥파 시스템 측정 및 실험

3.1 광전용적맥파 측정 실험

설계된 맥파 시스템을 바탕으로 손가락을 통해 광전용적맥파를 측정하였고 동잡음이나 외부에서 들어오는 투과광에 의한 잡음을 최소화하기 위해 최대한 편안한 자세를 유지 할 수 있도록 하여 측정하였으며 빛을 이용한 측정법이라 빛에 민감하여 최대한 빛의 영향을 받지 않도록 하기 위해 빛의 흡수율이 좋은 검은색 상자도 외부 빛에 대한 영향을 최소화하였다.

3.2 광전용적맥파 측정 결과

측정된 광전용적맥파는 그림 10에서 보는 것처럼 두 파장의 흡수율이 달라서 두 맥파의 피크 차이가 나게 되었고 흡수율의 차이로 인해 헤모글로빈의 양을 측정하여 산소포화도를 측정 가능하였다.

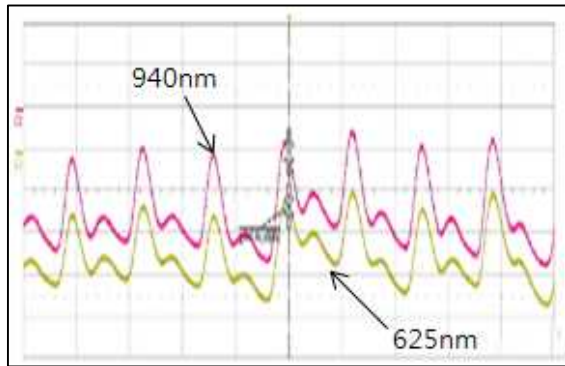


그림 10. 측정된 광전용적맥파
Fig. 10. The Measured PPG

그림 11은 측정된 두 파장에 대한 광전용적맥파의 유사함을 보기 위함으로 파형의 일치 여부를 보기 위해 두 파장을 겹쳐 놓았다. 두 파장에 대한 맥파의 비는 혈관에 존재하는 헤모글로빈에 대한 빛의 흡수 비로써 산소포화도는 두 파장에 대해 설명가능 하다. 두 파장을 일치시킨 결과 차이점을 보이게 되었고 이는 서로 다른 파장에 대한 혈관내의 헤모글로빈의 흡수율 차이로 인해 산소포화도를 나타내었다.

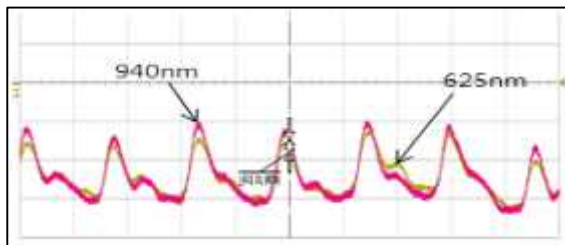


그림 11. 측정된 광전용적맥파 비교
Fig. 11. Comparison of the Measured PPG

본 연구를 통하여 검출된 두 신호에 대한 광전용적맥파의 정확성과 유의성에 대해 입증하였다.

IV. 결론

본 연구에서는 스위칭 기법을 활용한 두 파장 광전용적맥파 시스템에 대해 설계 측정 하였다. 측정한 결과 두 파장에 대한 광전용적맥파를 검출 할 수 있었고 각각의 신호의 비교한 결과 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

그러나 두 파장에 대한 측정결과가 약간의 차이점을 보이게 되었는데 각각의 파장에 대한 헤모글로빈의 광 흡수도가 차이를 발생하여 두 파장이 약간의 차이점을 보였다.

따라서 이를 바탕으로 본 연구에 사용된 두 파장을 이용한 광전용적 맥파는 산소포화도를 측정하기 위한 맥파 정보 신호와 비교한 결과 비슷한 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 이로써 본 연구 결과로 인해 산소포화도를 측정할 수 있는 기반이 되었다.

본 연구를 통해 입증된 광전용적맥파 시스템을 기반으로 향후 산소포화도를 이용하여 휴대용 산소포화도 장치나 다른 생체 측정 기기와 결합된 시스템 등에 사용될 수 있는 시스템이 필요하다.

참고문헌

- [1] 李京聲, 最新醫用工學, 靑丘文化社, 76-77쪽, 1993년.
- [2] 김경호 이정환 양희경 공역, “의용기기개론”, 문운당, 102-103쪽, 2007년
- [3] Drzewiecki, G, *The Biomedical Engineering Handbook*, CRC Press, 1-16쪽, 2000년.
- [4] 정동근 김광년 연구선 최병철 서덕준, “광전용적맥파를 이용한 요골동맥 맥파검출”, 생명과학회지, 제 13호, 42-43쪽, 2003년