

실시간 혈압 추정을 위한 자기용적맥파 시스템 개발

강승진*, 이강휘*, 이영재*, 김경남*, 이정환*
 건국대 의학공학부*

Magnetic-plethysmograph system development for real-time blood pressure estimate

Seung-Jin Kang*, Kang-Hwi Lee*, Young-Jae Lee*, Kyeung-Nam Kim*, Jeong-Whan Lee*
 Dept. of Biomedical Engineering, Konkuk University*

Abstract - 급작스레 발병하는 혈관 질환으로 인해 실시간 혈압 추정 연구가 많이 진행되어지고 있다. 본 논문에서는 자기장을 이용하여 혈압을 추정할 수 있는 자기용적맥파 시스템을 개발하였다. 자기장을 이용한 방법은 온도에 강하며 혈류와 상관성이 있기에 사용하였다. 혈압 추정의 과정은 총 3부분 나눌 수 있다. MPG측정, ECG측정 그리고 신호처리 부분이며 신호처리는 PC에서 디지털 필터링 및 PTT 계산을 실시하게 된다. 비교 기준 혈압으로 Omron 혈압계를 사용하여 동시 측정하였으며 결과로 각 PTT간 기준 수축기 및 이완기 혈압을 비교 할 수 있었다.

$$V = LI, -N\Phi = LI \quad (1)$$

$$L = -N\Phi/I$$

역 기전력은 위 식 1에서 인덕턴스와 맴돌이 전류의 곱으로 표현할 수 있고, 인덕턴스는 또 턴 수와 자기선속간의 곱으로 표현할 수 있다. 혈압 추정을 위해 MPG를 사용 PTT를 구한다. PTT는 ECG의 R-peak와 MPG의 rising edge와 최대 피크사이의 변곡점을 기준으로 구하며 이를 위해 MPG파형을 디지털 저대역통과필터에 통과시켜 부드럽게 하며 필터링된 신호를 1차 미분하여 사용한다.

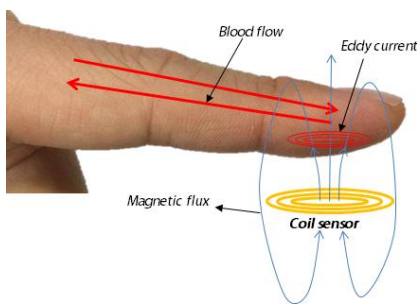
1. 서 론

혈관 내의 압력을 의미하는 혈압은 일정하게 유지되어야 온 몸으로 혈액을 보내주어 산소를 공급하게 된다. 최근 서구화된 식습관과 생활습관의 불규칙으로 인하여 혈관 질환이 급격히 증가하고 있다. 최근 발표된 통계에 의하면, 매해 고혈압 환자가 약 60만명씩 늘어나고 있으며 우리나라 고혈압 환자의 수도 1000만 명에 이르렀다고 한다. 이러한 혈압 관련 질환 갑작스레 발생되어 미처 대처하기도 전에 사망에 이르곤 한다. 이에 따라 혈압을 실시간으로 측정하는 필요성이 증가하고 많은 연구도 진행되고 있다. 혈압을 측정하는 방법에는 두 부분의 광용적맥파(PPG;Photoplethysmograph)의 피크를 검출해 시간과 실제 거리를 가지고 맥파전도속도를 구해 추론하는 방법, 심전도(ECG;Electrocardiograph)의 R-peak와 PPG의 1차 미분 파형을 사용해 맥파전달시간(PTT;Pulse transit time)을 구해 추론하는 방법, 또는 각 신체특성이나 PPG의 진폭을 이용해 위 방법들을 보완하는 연구 등이 있다. 대부분의 연구에서 사용된 PPG는 생체조직의 온도와 습도에 따라 광 변화 특성이 변하며 오랜시간 실시간으로 측정시에 에러가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에는 자계를 이용한 자기용적맥파(MPG;Magneticplethysmograph)를 측정하여 실시간 혈압을 추정 할 수 있는 시스템을 개발 하려고 한다.[1][2][3]

2. 본 론

2.1 기본 원리

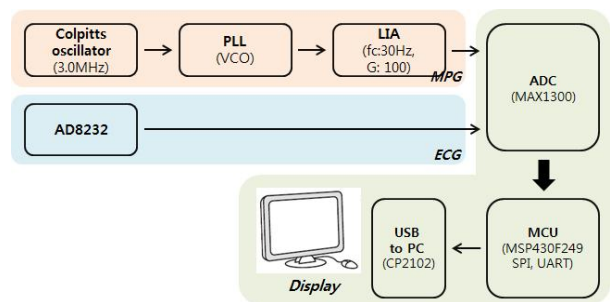
MPG는 자기장의 미세한 변화를 증폭시켜 측정한다. 혈액이 흐르는 생체조직에 자기장이 발생하는 코일을 가져가면 자기장을 밀어내는 방향으로 역 자기장이 조직내에 발생한다. 이 때 맴돌이 전류에 의해서 역 자기장이 생기는데 코일 센서에 발진신호를 흘려주게되면 발생하는 자기선속이 변화를 일으키는데 이에 따라 역 자기장도 변화하게 되고 역자기장을 생성시키기 위해 맴돌이 전류도 따라서 변화하게 된다. 코일에서 발생하는 자기장에 맴돌이 전류에서 발생하는 자기장이 영향을 주어 발진파형을 만드는 발진기의 인덕턴스(Inductance)를 변화시키는데 이것이 MPG의 기본 원리가 된다.



<그림 1> 자기장에 의한 맴돌이 전류 생성 및 MPG 원리

2.2 혈압 추정 시스템

혈압 지표인 PTT를 측정하기 위해 MPG와 ECG신호를 동시에 측정할 수 있는 통합 모듈을 제작하였다. MPG와 PPG와의 비교를 위해 PPG 모듈까지 포함시켰으며 메인 컨트롤러는 TI사의 MSP430F249를 사용하였다.



<그림 2> 혈압 추정 시스템 블록다이어그램

2.2.1 MPG 모듈

MPG 모듈은 다음의 세 부분으로 구성 되어있다. 첫 번째 부분은 코일 센서 부분으로 콜피츠 발진기를 포함한다. 콜피츠 발진기의 인덕턴스 부분을 코일로 만들어 자계의 변화에 따라 맴돌이 전류가 변하며 그 변화에 따라 역 자기장이 형성되어 전체 자기선속을 변화게 한다. 이 때 이 변화가 콜피츠 발진기의 인덕턴스를 변화시키는데 그에 따라 발진 주파수가 변화하게 된다. 두 번째 부분은 주파수의 미세한 변화를 입력 주파수와 귀환 주파수의 차이를 전압으로 바꾸어주는 위상고정루프(PLL:Phase Locked Loop)이다. 세 번째로 두 번째 PLL에서 나온 파형을 락인앰프(LIA;Lock-In Amplifier)에서 증폭시킨다. LIA는 잡음속에서 미세한 신호만을 잡아 증폭시킬 때 많이 사용하며 신호를 동기화 하는 FM 주파수 동기 방법을 사용한다. 증폭비는 100배이며 LIA내에 존재하는 저대역통과 필터는 30Hz로 전원잡음을 차단한다.[4][5]

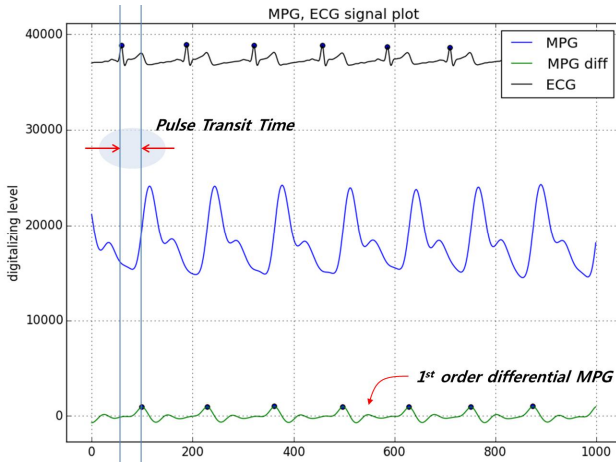
2.2.2 ECG 모듈

ECG신호는 Analog Device사에서 나온 ECG칩 AD8232를 사용하여 측정하였다. 주변의 저항과 커패시터의 조합으로 Heart-rate를 측정할 수 있으며 증폭비는 내부 100배이고 ECG케이블을 쉴드 선을 사용하여 잡음에 유리하도록 하였다.

MPG 와 ECG 아날로그 신호는 MAX1300(MAXIM) IC를 통해 16bit의 해상도로 A/D 변환되어 200Hz의 샘플링으로 PC로 전송 된다.

2.2.3 Omron 혈압계

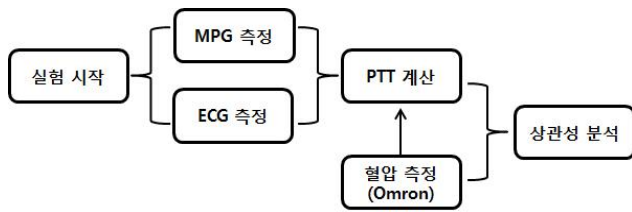
혈압 추정 시스템에서 얻은 혈압의 재연성을 높이기 위한 기준 혈압으로 Omron 혈압계 HEM-1000을 사용하여 추정 혈압과 비교 및 상관성을 계산하였다.



〈그림 3〉 PTT 및 ECG, MPG 파형

2.3 실험 프로토콜

실험은 앉은 자세에서 실시하였으며 1분정도 측정하였다. 왼쪽 검지에 MPG 센서를 위치시킨 후 밴드로 고정하였고, 3-lead 방식으로 왼쪽 손목, 오른쪽 손목 그리고 오른다리 구동은 오른쪽 배에 세 전극을 위치시켜 ECG를 측정하였다. 측정이 완료가 된 직후 왼쪽 팔뚝에 위치시킨 혈압계를 이용해 혈압을 측정하여 기록하였다. 측정 후 얻은 1분의 데이터를 PC에서 추출 후 PTT를 계산하였고 혈압계를 통해 얻은 혈압과의 상관성을 비교하여 그래프로 나타내었다.



〈그림 4〉 실험 프로토콜 블록다이어그램

PTT를 구할 때에는 R-peak 검출 알고리즘을 사용하여 ECG의 R-peak 점 들을 찾아냈으며, MPG신호의 기울기가 가장 가파른 지점으로 PTT 계산 기준점을 지정하여 계산하였다. (그림 3) [6]

2.4 실험 결과 및 분석

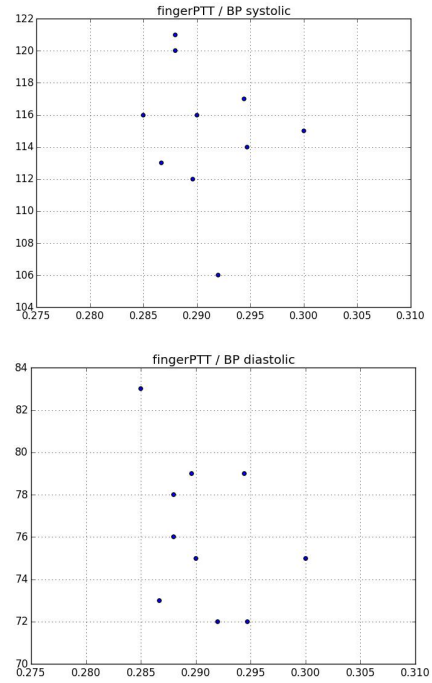
10번에 걸쳐 반복실험 후 구간별 PTT의 평균을 finger PTT로 정리하였고 혈압계에서 측정된 수축기 혈압(Systolic), 이완기 혈압(Diastolic)을 표 1에 정리하였고 MPG에서 구한 finger PTT와 혈압계의 상관성을 분석하였다.

〈표 1〉 실험 결과표

구 분	finger PTT(sec)	BP systolic (mmHg)	BP diastolic (mmHg)
1	0.288	120	78
2	0.288	121	76
3	0.2867	113	73
4	0.2947	114	72
5	0.292	106	72
6	0.285	116	83
7	0.29	116	75
8	0.2896	112	79
9	0.2944	117	79
10	0.3	115	75

총 10번의 반복실험을 통해 데이터를 정리하였고, 샘플링 주파수를 250Hz 설정하였기 때문에 한번 샘플링 하는데 1/250초가 소요되며 R-peak와 MPG peak간 샘플 개수와 1/250초를 곱하여 PTT를 계산하였다. 계산 값은 위 표 1의 값과 동일하다.

수축기 혈압과 이완기 혈압을 각각 PTT와 비교하였으며 그림 5와 같은 그래프를 얻을 수 있었다.



〈그림 5〉 fingerPTT와 수축기 혈압, 이완기 혈압 간 관련 그래프

3. 결 론

본 논문에서는 자기장의 변동을 이용한 MPG로 PTT를 계산하여 실시간으로 혈압을 추론할 수 있는 시스템 개발을 목적으로 하여 실험을 실시하였다. 통합보드를 개발하여 MPG와 PPG, ECG를 동시에 측정할 수 있어 혈압 추론의 지표인 PTT를 쉽게 계산 해낼 수 있었지만 기준이 되는 혈압 측정 기기의 부정확성과 실험 횟수가 짧아 정확한 혈압 값을 확인하는데에는 부족하였다.

실험 횟수 및 기준이 되는 혈압계의 에러율 최소화 등의 보완이 이루어진다면 더 나은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

[감사의 글]

위 논문은 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발사업(S072014112014)에 의거 국민체육진흥공단의 국민체육진흥기금을 지원받아 연구되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Parry Fung, Guy Dumont, Craig Ries, Chris Mott, Mark Ansermino, "Continuous Noninvasive Blood Pressure Measurement by Pulse Transit Time", IEEE, 738-741, 2004
- [2] Kwang-Suk Seo, Jung Soo Kim, Wonsik Ahn, Kwang Suk Park, Hyun-Jeong Kim, Kwang-Won Yum, Eui-Kyoung Goo, "Estimation of Continuous Blood Pressure with Amplitude of Photoplethysmogram and Pulse Transit Time of Finger and Toe", Korean J Anesthesiol, 53, 159-68, 2007
- [3] Dilpreet Buxi, Jean-Michel RESoute and Mehmet Rasit Yuce, "A survey on signals and systems in ambulatory blood pressure monitoring using pulse transit time", IOP Physiol Meas, 36,R1-R26, 2015
- [4] Y.J. Lee, C.K. Lee, M.S. Kang, S.J. Kang, G.N. Kim, K.H. Kim, K.S. Kim and J.W. Lee, "Magne to-Plethysmographic Sensor for Peripheral Blood Flow Velocity", IEEE sensor, Vol. 14, No. 5, p1341-1342, 2014
- [5] Seung-jin Kang, Kang-Hwi Lee, Young-Jae Lee, Kyeung-Nam Kim, Jeong-Whan Lee, "Pulse Wave Velocity Measurement and the study of Application possibilities by Magnetic-Plethysmography system", KIEE, 29-31, 2015
- [6] Gary M. Friesen, Thomas C. Jannett, Manal Afify Jadallah, Stanford L. Yates, Stephen R. Quint, H. Troy Nagle, "A Comparison of the Noise Sensitivity of Nine QRS Detection Algorithms, IEEE, Vol. 37, No. 1, 1990