

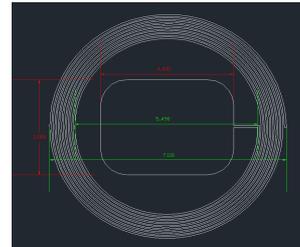
패치형 압력센서를 이용한 휴대용 실시간 무선 맥박 측정 시스템 개발

박재순*, 최상동, 조성환, 정연호
국립 한밭대학교*

Development of Real-time Wireless Heart beat measurement System Using Patch-type Pressure Sensor

Jae-Soon Park*, Sang-Dong Choi, Sung-Hwan Cho and Yeun-Ho Joung
Department of Electronics and Control Engineering, Hanbat National University*

Abstract - 본 연구는 정확한 혈압과 맥박을 측정하기 위해 L-C 공진을 이용한 압력센서 및 이를 측정하기 위한 측정시스템의 개발에 대한 연구로 기존의 인위적인 압력을 가하거나 침습형태가 아닌 인체 요골동맥에 패치형태로 센서를 부착하여 심장운동에 따른 요골동맥의 기계적 변화를 센서 내부의 커패시턴스 및 인덕턴스의 변화로 인한 공진 주파수의 변화로 검출하였으며, 센서의 코일은 휴대용 무선 측정 시스템의 안테나와 Inductive Coupling을 이루어 무선전력전송이 이루어지며 센서를 통해 측정된 혈압 및 맥박은 LCD 디스플레이 및 오실로스코프를 통해 수치화 및 영상화 하였다.



<그림 2> Auto CAD 프로그램을 이용한 센서 설계도면

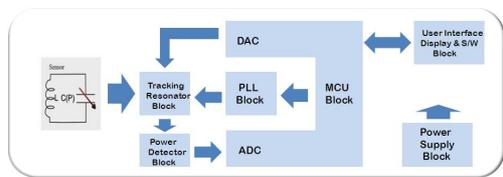
1. 서 론

혈압과 맥박을 측정하는 것은 예로부터 사람의 기본적인 건강상태 및 다양한 신체변화를 측정하는 방법으로 사용되었으며, 오늘날에 이르기까지 의사들은 가장 정확한 혈압 및 맥박측정의 중요성을 강조하였다. 현재의 맥박 측정 시스템은 인위적인 혈관차폐를 통해 일시적으로 측정하는 방법이 존재한다. 하지만 사람의 혈압 및 맥박은 측정 장소 및 시간, 심지어 측정 전 식단에도 영향을 받기 때문에 일상에서 실시간으로 환자가 의식하지 않는 상태에서 측정이 이루어지지 않는다면 측정값의 신뢰도가 현저히 떨어진다. 본 연구에서는 심장의 운동에 의한 인체 요골동맥의 기계적 변화를 반도체 공정을 통해 제작된 압력센서를 이용하여 압력 변화를 주파수의 형태로 변환하였고, 이를 마이크로프로세서를 이용한 측정시스템을 통해 측정하여 수치화 한 후 LCD 디스플레이를 통해 나타내었다.

2. 본 론

2.1 시스템의 구성

전체의 시스템 블록은 아래와 같이, 맥박에 따라 커패시터의 변화를 가지는 센서부와 신호를 검출 및 처리하는 리더부로 나눌 수 있다. 리더부는 신호발생부, 신호 검출부, 신호 처리부 그리고 인터페이스부로 나뉘어진다. 신호 발생부에서는 PLL 제어를 통하여 90-100MHz 의 발진 주파수를 발생한다. 신호 검출부에서는 MEMS 기술이 적용된 센서와 inductive coupling을 이용하여 코일 안테나로 검출된 신호를 전달받으며, 신호 처리부에서는 MCU를 이용하여 수신된 신호를 처리하여, 사용자가 쉽게 확인할 수 있게 파형 또는 수치를 표시해준다. 그리고 인터페이스부는 LCD 출력 장치, 통신 포트 및 전원 연결 부 등으로 구성된다.



<그림1. 시스템 구성도>

2.2 반도체 공정을 이용한 압력센서

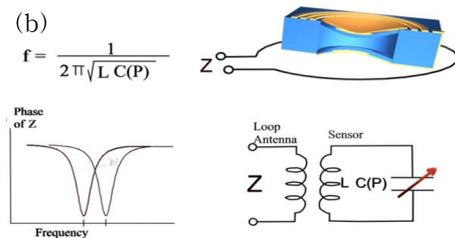
요골동맥 위에 부착되는 센서는 손목 움직임에 의한 동잡음 및 부착시 활동성을 고려하여 반도체 공정인 MEMS 공정을 통해 직경 1cm의 크기로 제작되었다. 또한 센서의 민감도를 고려하여 두께 200µm의 폴리이미드 기판위에 가로 4cm, 세로 3cm크기의 커패시터 전극과 권선 폭 60µm, 권선 간격 40µm의 8turn의 코일을 설계하였다. 그림 1은 Auto CAD 프로그램을 사용하여 센서를 설계한 모습이다.

2.2.1 센서 제작

센서는 DC Sputter를 이용한 금속박막 증착, 포토리소그래피, 전기도금, 식각 순의 반도체 공정을 통해 제작하였다. 이를 통해 제작된 2개의 기판은 광학용 접착필름인 OCA film을 이용하여 adhesive bonding되어 커패시터 전극 간 Air-gap을 형성하여 L-C공진회로로 구성된 압력센서를 제작하였다. 센서는 기계적 압력이 가해질 때 상 하부 기판사이의 Air-gap의 변화가 생기며, 이 변화로 인해 공진주파수가 변화하게 된다. 센서의 공진 주파수는 다음 공식에 의해 계산된다.[1]

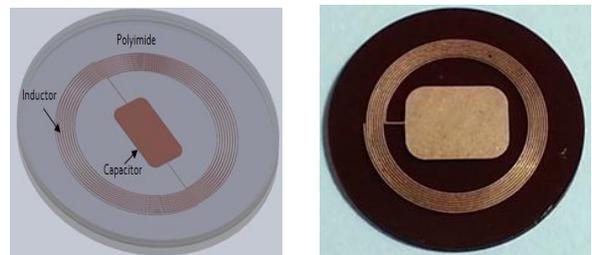
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

다음 그림 1은 압력에 따른 센서의 동작 및 공진주파수 변화에 대한 그림이다.



<그림 3> (a) 대기압에서 센서의 동작, (b) 압력이 가해질 때 센서의 동작 및 공진주파수의 변화

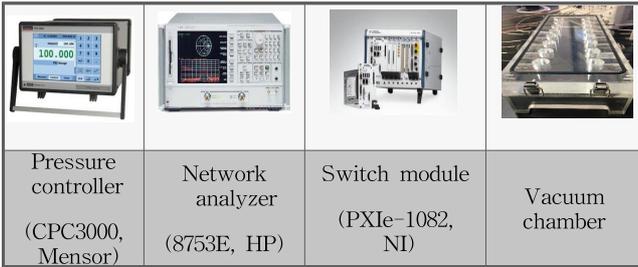
위의 원리를 사용하여 센서는 설계 및 제작되었으며, 아래의 그림 2는 센서 제작 전 설계한 센서의 모식도와 이를 바탕으로 제작된 압력센서의 단일기판 사진이다.



<그림 4> 압력센서의 모식도 및 제작된 센서의 모습(단일기판)

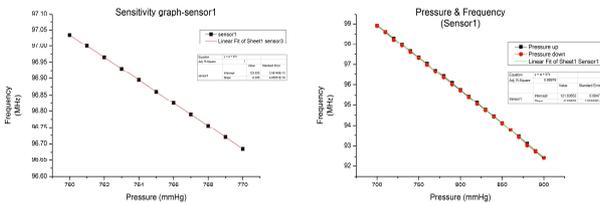
2.2.2 센서 특성 평가

반도체 공정을 통해 제작된 센서의 전기적 및 기계적 특성평가를 위해 특성 측정 시스템을 제작하였다. 자체 제작한 특성 평가 시스템은 초정밀 압력 조절기 (CPC3000, Mensor)와 센서의 공진주파수를 측정하기 위한 Network analyzer (HP8753E, Hewlett Packard), 여러개의 센서를 스위칭 하여 측정하기 위한 Switch module(PXIe-1082, NI) 및 인가된 압력을 일정하게 유지하기 위한 진공 Chamber (자체제작)로 구성하였다.

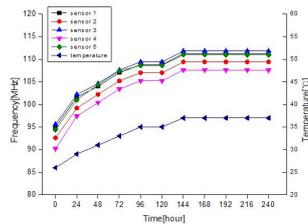


<그림 5> 특성평가 시스템 장치 구성 목록

센서의 특성평가는 압력을 1mmHg씩 변화하여 센서의 공진주파수 변화를 보는 민감도(Sensitivity), 압력 증가구간과 감소구간의 공진주파수의 차이를 확인하는 히스테리시스(hysteresis) 및 온도에 따른 공진주파수 변화에 대한 평가로 이루어졌다. 평가 결과 센서는 30kHz/mmHg의 민감도를 보였고, 히스테리시스 특성은 나타나지 않았으며, 온도의 증가에 따른 공진주파수의 변화를 보였으나 사람의 손목에 부착되어 항온으로 유지가 가능한 패치형 압력센서의 특성상 기계적 특성변화 없이 동작이 가능할 것으로 보인다.



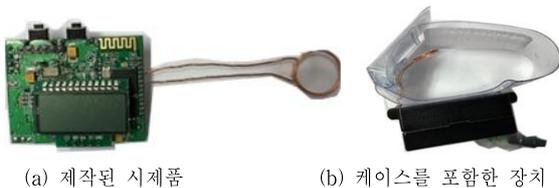
<그림 6> 민감도 평가 및 히스테리시스 평가 곡선



<그림 7> 센서의 온도 특성 시스템 구성도 및 온도 특성 평가 곡선

2.3 실시간 맥박 측정 실험

아래의 그림은 인체의 맥박을 측정하기 위해 제작된 휴대용 맥박 측정 장치를 보여 주고 있다.

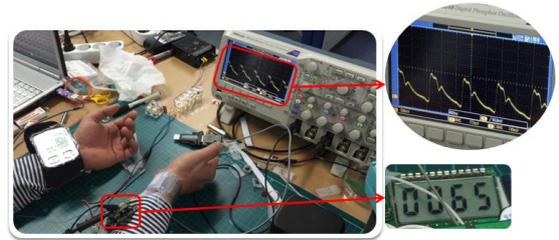


<그림 8> 제작된 휴대용 맥박 측정 장치

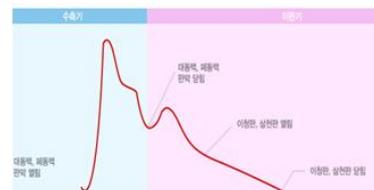
맥박 측정 시, 요골 동맥에서, 압력 센서에 가해지는 혈압에 따라, 측정부에 존재하는 안테나 코일에서의 발생하는 자계와 센서 내부에 존재하는 인덕터 코일 사이의 자계 유도 결합이 이루어진다[2~4]. 이렇게 형성된 자계 유도 결합을 이용하여, 센서와 측정 시스템 사이의 에너지 전달 값을 tracking 함으로써, 압력에 따른 공진 주파수를 추적할 수 있게

된다. 즉, PLL에 의해서, 90MHz~100MHz 사이의 tracking 공진 주파수는 발생하면, 검출부에서는 tracking 주파수에 동기화하여 주파수를 스캔한다. 동시에, 검출부에서 대략적인 공진 주파수가 발생하는 지점의 대역을 찾는다. 그리고 보다 높은 정밀도를 위해 공진이 발생한 주파수 대역 근처를 다시금 tracking 한다. 이때 검출된 주파수는 맥박에 따른 센서의 공진 주파수의 변화를 발생시킨다. 이를 RF detector에 의해 진압으로 변환한 후에, MCU에 의해 맥박 수치로 변환함으로써 최종 출력 데이터를 얻는다.

아래에는 맥박을 측정하는 실험 환경을 보여주고 있다. 실제 측정에서 실시간으로 맥박을 추적하여 변화 값을 출력하는 것을 확인하였고, 또한 오실로스코프 화면에서 그 측정 파형이 출력되는 것을 확인하였다. 출력된 오실로스코프의 파형은 아래와 같이 실제 정상적인 맥파와 거의 유사한 형태를 보여주고 있다.



<그림 9> 실제 시험 환경



<그림 10> 정상적인 맥파

실험에서 사용된 PLL소자는 아날로그디바이스 사의 ADF4001BRU을, VCO는 LSV0095HCS를 사용했으며, MCU는 Atmel 사의 Atmega128을 사용하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 실시간으로 맥박측정을 위한 폴리머 기반 압력 센서를 제작, 전기적 기계적 특성평가 및 실시간 맥박 측정의 타당성을 분석하였다. 센서는 폴리이미드 필름 위에 MEMS 기술을 이용하여 형성된 캐패시터와 나선형 인덕터로 구성되었으며 서로 마주보는 캐패시터는 인덕터와 상호 연결되어 LC 공진 기능을 위한 센서로 동작한다. 압력 센서 주변에 압력이 가해지게 되면 기관에 기계적 변형이 생겨 상하부 기관이 가까워지게 되고 그에 따라 센서가 갖고 있던 고유 공진 주파수가 변하게 된다.

제작된 센서 특성은 선형성, 온도 변화에 따른 주파수 변화, Hysteresis 특성을 분석하였는데, 압력에 따른 센서의 직선성은 기울기 값이 0.031~-0.035인 음의 기울기 값을 나타내었다. 또한 최소 30kHz/mmHg 이상의 민감도를 가지며, Hysteresis 특성이 존재하지 않으며, 압력 증감 구간에서 선형적으로 동작함을 확인하였다. 또한 민감도 및 히스테리시스 특성으로 확인한 정밀도는 1mmHg 미만이며, 시스템의 온도가 26°C에서 36.5°C로 상승할 때 5개 샘플 센서의 주파수는 같은 기울기로 증가함을 볼 수 있었고, 항온(36.5°C)으로 유지될 때 센서의 주파수는 변화하지 않음을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] Sajeeda and T. J. Kaiser "Passive telemetric readout system", IEEE Sensors J., vol. 6, no. 5, pp.1340 - 1345, 2006
 [2] T. J. Harpster, B. Stark, and K. Najafi, Sens. Actuators A, Phys., 95, 100 (2002).
 [3] J. C. Butler, A. J. Vigliotti, F. W. Verdi and S. M. Walsh, Sens. Actuators A, Phys., 102, 61 (2002).
 [4] E. Y. Chow, A. L. Chlebowski, S. Chakraborty, W. J. Chappell and P. P. Irazoqui, IEEE Trans. Biomed. Circuits and Systems, 57, 1487 (2010).