

유연 웨어러블 심전도 모니터링 시스템

김채현¹, 김영준¹
가천대학교 전자공학과¹

Flexible and Wearable ECG Monitoring System

Chae-Hyun Kim¹, Young-Joon Kim^{1*}
Department of Electronic Engineering, Gachon University, Korea
*youngkim@gachon.ac.kr

Abstract

In this abstract, we report a thin (~2 mm average), highly flexible and wireless wearable cardiac sensor, designed as light weight (5.8g), and water resistant. The sensor consists of two re-attachable flexible layers and three conductive polymer-based electrodes which are soft and stretchable for wearable applications. The cardiac biosensor wirelessly communicates with an Android smartphone for a real-time ECG monitoring. An infinite impulse response (IIR) filter is implemented in the software which removes interference noise and motion artifacts. A feasibility study demonstrates that the biosensor effectively measures cardiac signals with comfortable experience in real-time. The physical attributes and performance results of this device demonstrate its utility for monitoring cardiac signals during daily activity, with potentials for home-based care.

1. 연구 배경

Electrocardiogram (ECG)은 심장의 전기적인 활동을 관찰할 수 있는 중요한 지표이다 [1]. ECG 측정은 혈전 형성, 혈관 폐쇄 등과 같은 심장질환 발생에 대한 생체신호 변화를 감지하고, 지속적인 상태 확인 및 조기 진단이 가능하도록 한다 [2].

기존 ECG 측정 시스템은 와이어로 연결되어 일상적인 움직임에 제한을 주고, 습식전극을 사용하여 신호측정이 잘 되는 반면, 장시간 부착 시 피부가 자극이 되어 붉어지거나 알레르기 반응을 초래할 수 있다. 일상생활 속에서 지속적 모니터링이 필요한 ECG 측정 디바이스에는 이에 대한 개선이 필요하다.

장시간 측정과 휴대성 측면에서 전력소모를 낮출 수 있고 안드로이드 스마트폰에 적용가능한 Bluetooth Low Energy (BLE)는 무선통신방식으로 유용하게 사용될 수 있다 [3]. 이는 데이터 저장 및 실시간 모니터링도 가능하다는 이점이 있으며, 통신방식을 적용하기 위해서는 측정시스템과 전극이 하나의 디바이스로 결합되어야 한다. 최근 전극은 습식 형태의 단점을 보완할 수 있는 전도성 폴리머 기반으로 개발되고 있다. Polydimethylsiloxane (PDMS)은 잘 늘어나고 생체 적합한 재료로써 전도성 있는 물질을 추가하면, 부드럽고 유연하며 재사용이 가능한 건식 전극으로 제작될 수 있다 [4].

배터리 교체로 쉽게 전원공급이 가능하고 무선 통신을 사용해 측정 중에도 일상 생활의 활동범위를 최대화할 수 있는 ECG 모니터링 시스템과 생체적합한 재료들로 구성되어 장시간 부착에도 자극이 없는 일체형 웨어러블 디바이스를 개발하고자 한다.

2. 연구 방법

ECG 측정 시스템은 30×13×0.5mm³의 사이즈인 Printed Circuit Board (PCB)에 제작되었다. 전극을 통해 측정된 작은 크기의 생체 신호를 증폭하고 저역/고역통과필터와 60Hz 노이즈 제거를 위한 notch 필터를 거쳐, Analog Front End (AFE)로 출력한다. 출력된 신호는 MCU (nRF52832, Nordic

Semiconductor)에 전달되어 10kHz로 샘플링 되고 BLE를 통해 안드로이드 스마트폰의 어플로 실시간 모니터링이 가능하도록 하였다. 어플리케이션의 IIR 디지털 저역/고역통과필터를 적용하여 모션 아티팩트와 간섭

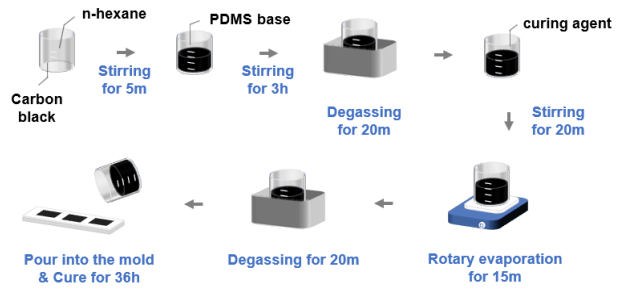


그림 1. CPDMS 전극 제작 방법

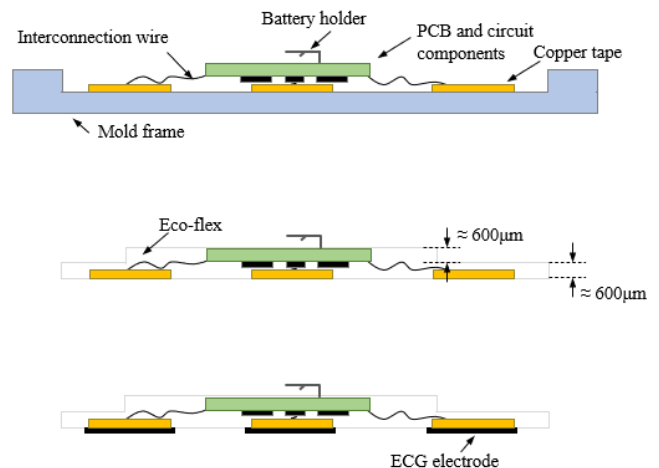
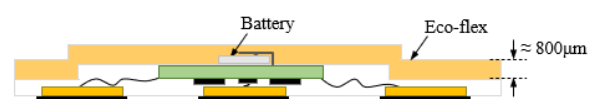


그림 2. ECG 웨어러블 디바이스 제작 방법



노이즈를 제거하였다.

그림 1은 생체신호 측정을 위한 15×11×0.3mm³ 사이즈의 Carbon Black Polydimethylsiloxane(CPDMS) 전극 제작방법을 보여준다. 먼저, carbon black (Vulcan XC-72, Cabot corp.) 1.5g과 n-hexane (Duksan) 30mL를 150mL 비커에 넣어 1000rpm에서 5min동안 교반하고, PDMS base (Sylgard184 silicone Elastomer, Dow Inc.) 5.0g을 추가하여 같은 속도로 3h 동안 교반 했다. 이 후, ultra sonication을 사용하여 용액 내 생성된 기포를 제거하였고, base와의 10:1비율을 맞춰 curing agent 0.5g을 넣고 800rpm으로 20min, 가열교반기 온도를 50°C로 높여 600rpm으로 20min동안 n-hexane을 회전 증발시켰다. 마지막으로 기포를 한 번 더 제거하고 Fusion 360을 활용해 제작한 3D 프린팅 몰드로 전극의 사이즈와 형태를 조절하였다.

ECG 측정 시스템과 전극을 하나의 디바이스로 제작하기 위해 copper tape와 PCB 사이를 매우 얇고 유연한 와이어 (stainless steel wire Cat. 793200, A-M Systems)로 연결하고, 배터리 홀더를 PCB에 부착하여 리튬 코인 셀 배터리 (CR1220, Maxell)를 교체하면서 사용할 수 있게 하였다. Eco-flex(0045, Smooth-On Inc.)로 전체 디바이스의 형태를 갖추고 내부 부품 간의 절연을 위해 사용하였다. 자세한 제작과정은 그림 2에서 확인할 수 있다.

3. 연구 결과

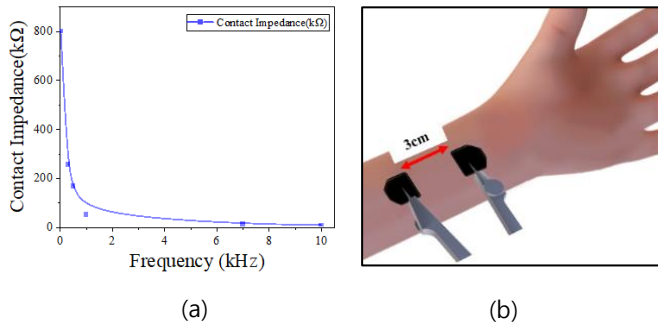


그림 3. (a) CPDMS의 contact impedance, (b) contact impedance 측정 방법

웨어러블 디바이스에는 2개의 측정전극과 1개의 기준전극이 사용되었다. 측정전극 간의 거리는 3cm로 유지하였고, 전극의 성능을 확인하기 위해 그림 3(b)와 같이 전완부에 측정거리와 동일한 간격으로 LCR meter (E4980A, Keysight)를 사용하여 접촉 임피던스를 측정하였다. 그림 3(a)는 각 주파수에서의 임피던스 값을 나타낸 그래프이며, 제일 낮은 33Hz에서 800kΩ이 측정되었고, 주파수가 증가할수록 감소하는 경향을 보여준다.

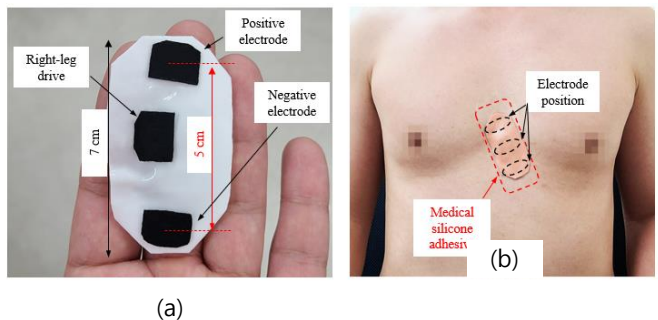


그림 4. (a) 측정 디바이스의 전극 간의 거리, (b) 측정 디바이스 착용 사진

그림 4(a)는 웨어러블 디바이스의 전극 구성을 보여주며, 기준전극을 두 측정전극들 사이에 위치시켜 작은 형태를 유지할 수 있게 하였다. 그림 4(b)는 건강한 남성(39세)의 가슴 중앙부에 ML II의 방향으로 디바이스를 부착한 후, 방수성과 장시간 사용을 위하여 의료용 실리콘을 접착한 모습이다. 디바이스를 부착하고 안드로이드 어플리케이션을 통하여 모니터링하였고 그림 5에서 PQRST파형이 명확히 구분되는 ECG 신호를 확인할 수 있으며, 특이점으로 부착된 전극 간의 간격이 협소하여 R peak가 다소 작게 측정되었다.

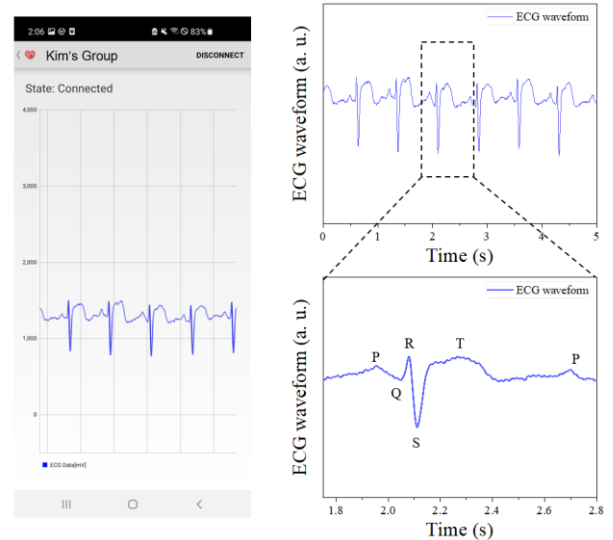


그림 5. 어플리케이션으로 측정한 ECG waveform

이 연구에서 개발된 일체형 웨어러블 디바이스를 통해 장시간 동안 피부에 자극 없이, 움직임에 제한 받지 않고 일상생활에서 스마트폰으로 안정적이고 편리하게 ECG 모니터링이 가능함을 확인할 수 있었다.

4. Acknowledgements

이 연구는 National Research Foundation of Korea의 지원을 받아 수행하였음. (NRF-2020M3A9E4104385)

5. 참고 문헌

[1] C. Park, P. H. Chou, Y. Bai, R. Matthews, and A. Hibbs. "An ultra-wearable, wireless, low power ECG monitoring system." *IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference*, p. 241-244, 2006.

[2] H. U. Chung, A. Y. Rwei, A. Hourlier-Fargette, *et al.* "Skin-interfaced biosensors for advanced wireless physiological monitoring in neonatal and pediatric intensive-care units." *Nature Medicine*, Vol 26, p. 418-429, 2020

[3] S. Majumder, L. Chen, O. Marinov, C. -H. Chen, T. Mondal, and M. J. Deen. "Noncontact Wearable Wireless ECG Systems for Long-Term Monitoring." in *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, Vol. 11, p. 306-321, 2018.

[4] B. Liu, Z. Luo, W. Zhang, Q. Tu, and X. Jin. "Carbon nanotube-based self-adhesive polymer electrodes for wireless long-term recording of electrocardiogram signals." *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, Vol 27, No.18, p.1899-1908, 2016