

전도성 섬유 웨어러블 안테나를 기반으로 한 심전도 모니터링 시스템 설계

정재영

서울과학기술대학교 전기정보공학과

An ECG monitoring system using a conductive thread-based wearable antenna

Jae-Young Chung

Department of Electrical and Information Engineering, Seoul Nat'l University of Science and Technology

요약 웨어러블 기기를 이용한 생체 신호 모니터링 어플리케이션들이 큰 관심을 끌면서 측정된 생체 신호를 무선링크를 통해 효율적으로 외부기기에 전달할 수 있는 방법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 본 논문에서는 전도성 섬유를 이용해 제작한 안테나를 옷에 부착하고 이를 심전도 센서 모듈 및 무선 통신 모듈과 결합하여 심전도 신호를 모니터링할 수 있는 시스템을 구현하는 과정에 대해 서술하였다. 사용한 전도성 섬유는 40가닥의 은도금 한 실 묶음으로 직류 선저항이 30 ohm/m 이하, 도전율이 105 S/m 이상이다. 전도성 섬유 기반 안테나를 설계하고 제작하는데 있어 3차원 전파 시뮬레이션 소프트웨어 및 자수기 소프트웨어를 이용하였으며, 제작한 안테나 시작품의 반사계수를 네트워크 분석기를 이용해 측정한 결과 지그비 2.4GHz 통신 주파수 대역에서 -10dB 이하의 우수한 안테나 임피던스 매칭 특성을 보임을 확인하였다. 해당 웨어러블 안테나를 지그비 통신 모듈, 심전도 데이터 처리 모듈 및 마이크로 프로세서로 구성된 심전도 측정 시스템에 연결하여 최대 220m 떨어진 수신기에 심전도 데이터가 실시간으로 전송됨을 시연하였다.

Abstract Research interest has strongly focused on developing a method for effectively transmitting bio-signals over a distance using a wireless wearable device. In this paper, we describe a procedure for the design and fabrication of a wearable antenna based on embroidering conductive threads to clothing capable of transmitting electrocardiogram signals. 3D electromagnetic simulation software and embroidery software were used to design and fabricate the conductive thread-based antenna, respectively. The measurement results show that the reflection coefficient of the fabricated antenna prototype exhibits excellent antenna impedance matching characteristics of less than -10dB in the Zigbee 2.4GHz frequency band. We also verified that the electrocardiogram data could be effectively received and monitored in real-time by a receiver 220m away from the transmitter.

Keywords : Antenna, conductive fiber, electrocardiogram, wearable wearable device, Zigbee

1. 서론

최근 인체 중심 통신(Body Centric Network Communication)을 이용한 다양한 어플리케이션에 대한 관심이 증가하고 있다. 이들은 인체 또는 옷에 부착한 센서로부터 취득한 신호를 변조하여 무선링크를 통해 외부

전자기기에 전송하는 형태로 오락, 보안, 군사, 특히 의료산업에 활용되는 수요가 급격하게 증가되고 있다 [1-3]. 이에 맞춰 세계 전기전자 기술자 학회(IEEE)의 통신표준 위원회에서는 인체 중심 통신에 적합한 저전력 (<100mW), 근거리(<3m), 저용량(수Kbps~수Mbps) 무선통신표준(IEEE802.15)을 제정한 바 있다 [4].

본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jae-Young Chung(Seoul Nat'l University of Science and Technology)

Tel: +82-2-970-6445 email: jychung@seoultech.ac.kr

Received February 6, 2017

Revised February 27, 2017

Accepted May 12, 2017

Published May 31, 2017

본 논문은 웨어러블 심전도 모니터링 시스템의 구현을 다룬다. Fig. 1은 시스템에 대한 개요도이다. 인체에 부착된 심전도(Electrocardiography, ECG) 센서로부터 취득한 전기신호를 변조 및 증폭하여 옷에 부착된 안테나와 고주파 무선링크를 통해 근거리에서 위치한 수신기로 전달하여 복조한 후 디스플레이하는 시스템이다.

본 논문에서 특히 중점을 둔 사항은 전류를 전달할 수 있는 전도성 섬유를 이용한 의복에 직접 재봉한 웨어러블 안테나의 설계 및 제작에 대한 것이다. 기존 기판형[5] 또는 전도성 천 부착형[6] 웨어러블 안테나와는 다르게, 컴퓨터 연동 재봉기를 이용해 전도성 실을 의복에 자수(embroidering)하는 방식으로 구현함으로써 설계 자유도를 제고하고 유연성을 확보할 수 있었다[7].

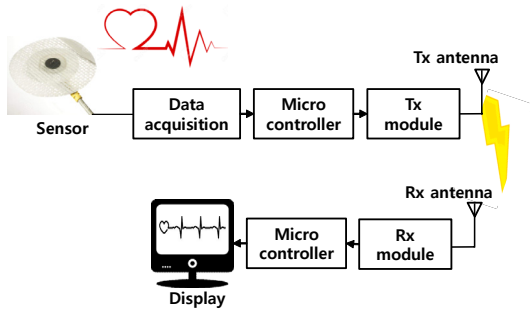


Fig. 1. Block diagram of wireless ECG monitoring system

본 논문의 2장에서는 심전도 모니터링 시스템의 각 구성품에 대해 서술하였다. 3장에서는 전파 시뮬레이션 소프트웨어를 이용해 웨어러블 안테나를 설계하고 컴퓨터 연동 자수기를 통해 제작하는 과정에 대해 서술하였다. 4장은 통합된 시스템의 심전도 모니터링 시연에 대해 서술하였다.

2. 시스템구성

Fig. 1에 보여진 것과 같이 무선 심박동 모니터링 시스템은 심전도 센서, 데이터 처리 장치, 마이크로 컨트롤러, 송수신부 통신 모듈 및 안테나로 이루어져있다.

데이터 처리 장치는 최대 3개의 센서 데이터를 처리할 수 있는 소형 1채널 모듈(피지오랩, PSL-iECG)[8]로 이득값이 500(27dB)인 아날로그 증폭기 및 잡음 필터를 내장하고 있어 작은 심전도 신호도 감지할 수 있는 제품

이다. 통신 모듈은 Xbee S2[9]로 소형, 저전력 통신망 구성에 용이한 Zigbee 통신표준을 기반으로 한다. 동작 주파수는 무면허 산업 과학 및 의료장비 주파수 대역(Industrial-Scientific-Medical band, ISM band)으로 분류되는 2.4~2.48GHz이다.

마이크로 컨트롤러는 심전도 데이터 처리 장치 및 통신모듈과 호환성이 우수한 아두이노 우노[10]를 사용하였다. 간단한 스케치 프로그래밍을 통해 심전도 신호를 통신 모듈로 전달할 수 있는 구현의 용이성을 고려했다. Fig. 2는 결합된 시스템의 사진이다.

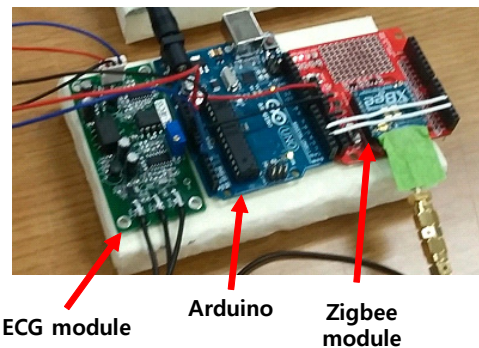


Fig. 2. Picture of ECG signal acquisition and wireless communication module connected to microprocessor unit

3. 전도성 섬유기반 안테나 설계-제작

본 장에서는 2장에서 설명한 시스템에 연결되는 무선 통신용 웨어러블 안테나 설계 및 제작에 대해 서술한다. Fig. 3는 이 과정을 보여주는 순서도이다. 안테나 목표 스펙은 Zigbee 통신 대역인 2.4~2.48GHz에서 공진하고 해당 대역에서의 반사계수(S11)가 -10dB 이하, 최대이득은 2dBi 이상이 되도록 설정하였다. 안테나 길이는 5cm이하로 2.4GHz의 반파장인 6.25cm보다 작은 소형 안테나 설계를 목표로 하였다.

Fig. 4는 위 목표 달성에 적합한 안테나를 3차원 전파 시뮬레이션 소프트웨어(Ansys HFSS)[11]를 이용해 모델링한 그림이다. 두 금속부(전도성 섬유부) 사이에 전류를 급전하는 아크형태 다이폴 안테나를 기반으로, 전도성 섬유부의 길이와 안테나 급전부의 폭을 조정해가며 최적 구조를 도출해냈다.

최적화된 안테나 구조는 총 길이가 46mm, 폭이

15.2mm, 그리고 굵전부의 간격은 1mm이다. Fig. 5와 Fig. 6는 최적화된 안테나의 반사계수 및 방사패턴의 시뮬레이션 계산값이다. 반사계수 $S_{11} < -10\text{dB}$ 대역이 Zigbee 2.4GHz 대역과 잘 일치함을 확인할 수 있다. 방사패턴은 전형적인 다이폴 안테나의 전방향성 패턴을 보이며 최대이득은 2.3dBi로 확인되었다.

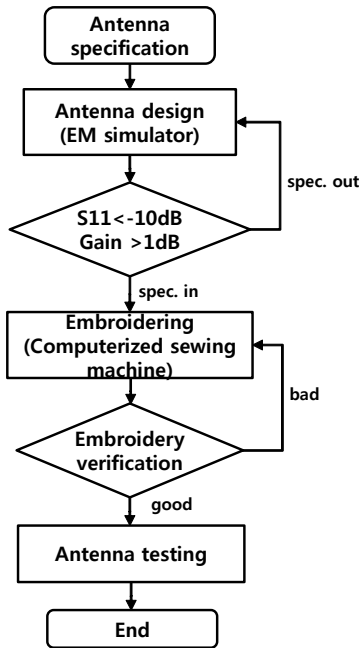


Fig. 3. Flow chart of implementing conductive fiber based wearable antenna

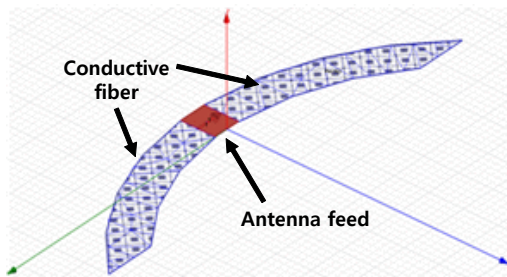


Fig. 4. Arc-shaped dipole modelled by full-wave simulation software

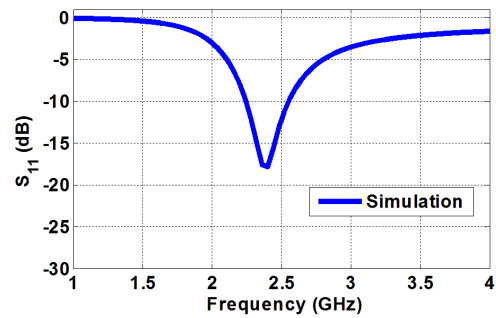


Fig. 5. Simulated antenna reflection coefficient

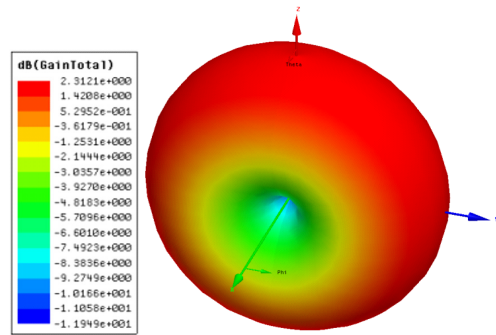


Fig. 6. Simulated antenna radiation pattern

전파 시뮬레이션 소프트웨어를 이용해 전기적 성능이 검증된 안테나를 전도성 섬유를 이용해 제작하기 위해 컴퓨터 연동 자수기(Brother NV-900)를 사용하였다. 더 구체적으로, 최적화된 안테나 모델 파일을 자수기와 호환이 되는 자수프로그램(Brother PE-design)[12]에 맞게 변형하여 입력한다. 안테나 모델의 가장자리를 정의한 후, 자수패턴, 자수땀처리 방식, 자수밀도 및 속도 등을 설정한다.

Fig. 7은 자수프로그램에서 지원하는 자수패턴의 예를 보여준다. 여러 번의 제작실험 결과, 자수기에서 지원하는 다양한 자수패턴 중 바늘의 이동폭이 좁고 촘촘한 fill stitch방법이 본 안테나 제작에 용이함을 확인하였다. 또, 자수방향은 횡방향, 한땀의 길이는 2~4mm, 자수밀도는 5~7mm, 빈도수는 30% 내외로 설정하였을 때, 오류없이 안테나 제작이 이루어졌다. 자수밀도가 너무 촘촘하거나 자수속도가 빠르면 전도성 실이 자수기 내부에서 엉키면서 제작이 중단되었다.

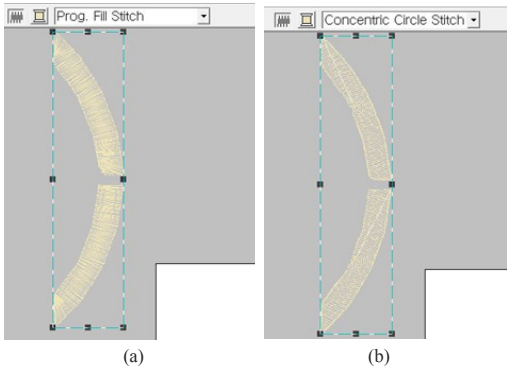


Fig. 7. Examples of stitching patterns. (a) Fill stitch, (b) Circle stitch

안테나 제작에 사용한 전도성 실은 Syscom Advanced Materials사의 Liberator40[13]이다. 40개의 은도금 극세사를 엮은 형태이며 직류 선저항이 30 ohm/m 이하, 도전율이 105 S/m 이상으로 전류를 손실없이 전달할 수 있는 특징점이 있다. 해당 전도성 실은 인장강도가 높아 자수기의 워실 커터가 실을 종종 자르지 못하는 문제점이 있었다. 이를 해결하기 위해 워실통에는 일반 실을 밀실통에는 전도성 실을 넣어 제작하였다. Fig. 8은 컴퓨터 연동 자수기의 워실 및 밀실에 사용된 적색 일반 실과 은도금 전도성 실의 그림을 보여준다.

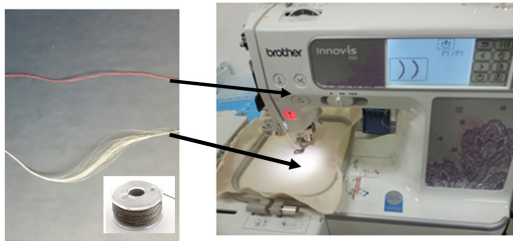


Fig. 8. Embroidery machine with silver conductive thread and red ordinary thread in the lower and upper containers.

Fig. 9은 야구점퍼에 제작된 안테나를 안과 밖에서 촬영한 사진이다. 자수기의 워실과 밀실 구성에 따라 안테나의 바깥쪽은 적색 일반 실이, 안쪽은 은색 전도성 실이 노출되어 있다. 안테나의 급전은 고주파 동축케이블을 이용하였다. 동축케이블 내심과 외심이 각각 다이폴 안테나의 위와 아래 부분과 연결되어 있다. 안테나와의 접합은 Chemtronics CW2400 전도성 에폭시[14]를 사용하였다. 섬유소재질의 안테나를 가열하여 납땀 할 수 없기

때문에 결합력이 강하고 전도성이 높은 에폭시를 사용한 것이다. 동축케이블의 다른 한 쪽은 3.5mm SubMiniature-A(SMA) 단자가 결합되어 있어 Zigbee 모듈과 연결할 수 있도록 하였다.

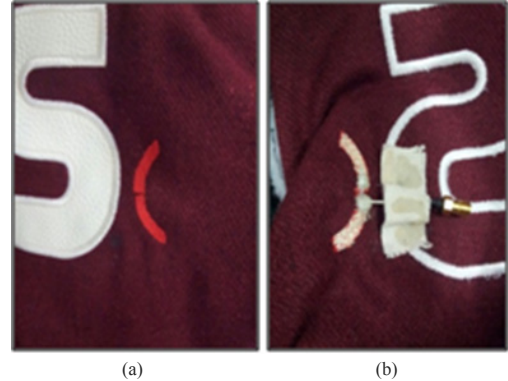


Fig. 9. Wearable antenna fabricated on a jacket. (a) Outside and (b) Inside

4. 안테나 및 시스템 성능 측정

Fig. 10은 제작된 안테나를 네트워크 분석기(Anritsu MS2028C)에 연결하여 측정한 반사계수를 컴퓨터 시뮬레이션 계산값과 비교한 것이다. 시뮬레이션 값은 Fig. 5와 동일하다. 측정된 반사계수의 공진 주파수가 시뮬레이션 값에 비해 25MHz 정도 높은 주파수로 이동하였지만 전체적으로 시뮬레이션 값과 잘 일치한다고 볼 수 있다. 관찰 주파수 전반의 측정값이 시뮬레이션 값보다 작은 이유는 점퍼와 에폭시의 손실탄젠트(loss tangent) 때문으로 판단된다.

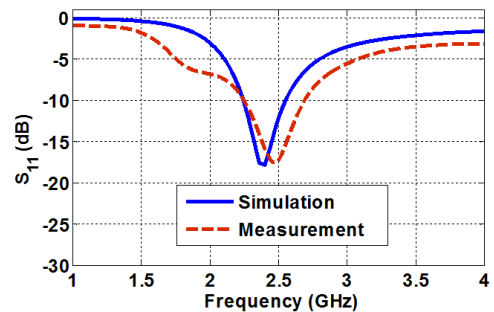


Fig. 10. Comparison of measured and simulated antenna reflection coefficients

다음으로, 제작된 안테나를 2장에서 구성한 심전도 측정 시스템에 연결하여 심전도 값을 모니터링 하였다. 웨어러블 시스템이 구현된 점퍼를 착용한 피시험자의 팔에 심전도 센서를 부착한 상태에서 약 100m 떨어진 수신단에 안정적으로 심전도 측정값이 전송되는지 여부를 확인하였다. Fig. 11은 수신단에 기록된 심전도 측정값이다. 착용자가 가만히 있는 상태에서의 일정한 주기의 심전도가 잘 수신되고 있음을 보여준다. 또, 착용자가 이동하여 운동량이 증가함에 따른 심전도의 변화를 실시간으로 확인할 수 있었다. 착용자와 수신단의 거리를 늘려가며 확인한 결과, 최대 220m까지 데이터 전송이 가능하였다.

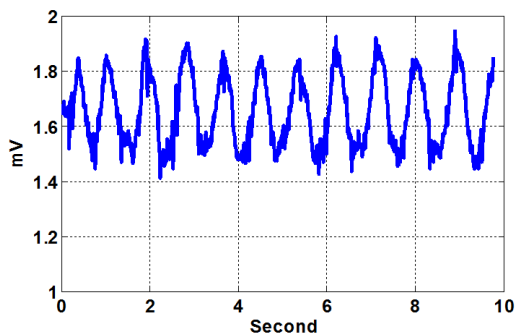


Fig. 11. ECG measured data received via wireless link

5. 결론

본 논문에서는 인체 생체 신호를 고주파 무선링크를 통해 외부 기기에 전송하는데 있어 용이한 웨어러블 안테나의 설계 및 제작에 대해 서술하였다. 안테나 설계는 3차원 전파 시뮬레이션 소프트웨어를 이용해 안테나의 물리적 변수를 변화시키면서 안테나의 반사계수를 관찰하는 방식으로 최적화 하였다. 안테나 제작은 고주파 전류를 효율적으로 전달할 수 있는 전도성 실을 옷에 자수하는 방식으로 제작하였다. 정확한 제작을 위해 자수 소프트웨어로 제어가 가능한 자수기를 이용하였다. 제작된 안테나를 심전도 센서 및 데이터 처리기, Zigbee무선통신 모듈, 아두이노 마이크로프로세서로 구성된 시스템에 결합하여 심전도 데이터가 최대 220m 거리 떨어진 수신기에 전송됨을 확인하였다.

본 연구를 통해 확보한 유연하면서도 전류전도가 가능한 웨어러블 안테나 설계 및 제작 기술이 다양한 웨어

러블IoT 어플리케이션에 사용될 수 있다. 특히, 사용자의 신체상태를 실시간으로 모니터링함으로써 갑작스런 재난을 회피하거나 별도의 회진 없이 진료가 가능한 Ubiquitous healthcare 응용에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 실용화를 위해 주위 환경 변화(예: 온도)에 따른 안테나 성능 열화 정도를 파악하고 이를 개선하는 연구가 계속되어야 한다.

References

- [1] E. Jovanov, "A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation", *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 2, no. 6, 2005.
DOI: <http://doi.org/10.1186/1743-0003-2-6>
- [2] S. Ullah, et al., "A comprehensive survey of wireless body area networks", *Springer Journal of Medical Systems*, vol. 36, no 3, pp. 1065 - 1094, 2012.
DOI: <http://doi.org/10.1007/s10916-010-9571-3>
- [3] Seungman Hong, Youngsung Kim, Chang Won Jung, "Glass Antenna Using Transparent IZTO/Ag/IZTO Multilayer Electrode", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 17, No. 2 pp. 372-377, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.2.372>
- [4] "IEEE 802.15 WPAN task group 6 body area networks", www.ieee802.org/15/pub/TG6.html.
- [5] M. G. Hossain, et al., "Dual mode delta-patch antenna for short range wireless wearable device", *Proc. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 1706-1707, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1109/aps.2013.6711512>
- [6] H. S. Zhang, et al., "Wide band e-shape wearable antenna for wireless body area network", *Proc. of IEEE International Wireless Symposium 2014*, pp.1-4, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ieeee-ivs.2014.6864195>
- [7] T. M. Nguyen and J.-Y. Chung, "Analysis and fabrication of a wearable antenna using conductive fibers," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 16, no. 4, pp. 2770-2776, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.4.2770>
- [8] Available on: www.physiolab.co.kr
- [9] Available on: www.digi.com/lp/xbee
- [10] Available on: www.arduino.cc
- [11] Available on: www.ansys.com
- [12] Available on: www.brother.com
- [13] Available on: www.metalcladfibers.com
- [14] Available on: www.chemtronics.com

정 재 영(Jae-Young Chung)

[정회원]



- 2002년 2월 : 연세대학교 전기공학
학과 (공학사)
- 2010년 6월 : 오하이오주립대학교
전기 및 컴퓨터 공학과 (공학박사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 서울과학기술
대학교 전기정보공학과 조교수

<관심분야>

안테나 설계, 전자파 측정