

섬유센서를 이용한 생체계측 기술에 관한 연구

민 세 동*, 정 봉 근

1. 서 론

전 세계적으로 고령화 사회가 확산됨에 따라 그에 따른 의료인 및 건강관리 전문 인력 또한 줄어들 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 고령 인구의 건강관리를 해 줄 수 있는 대체 수단이 필요한 실정이다. 또한 이제는 ‘얼마나 오래 살 것인가?’에서 ‘어떻게 오래 살 것인가?’로 관심이 변하고 있다. 이러한 새로운 환경변화에 대비하여 많은 건강관리 솔루션들이 연구 개발되고 있으며, 그 중 재택 및 모바일 환경에서 개인의 건강관리를 할 수 있는 솔루션들이 향후 고령자의 만성 질환관리와 예방의학차원에서의 건강한 성인들을 위해 많이 활용될 것으로 기대된다.

재택이나 모바일 환경(작업장, 사무실, 차량 등)에서 개인의 생체정보를 획득하기 위해서는 사용자에게 불편함을 주지 않으면서 정확한 측정을 할 수 있어야 한다. 이러한 측정을 가능하게 해주는 여러 센서 중에 전기 신호를 전달 할 수 있는 섬유 센서가 개발되어 기존의 전극이나 센서들을 대체 할 수 있는 기술들이 개발되고 있다.

많은 사람들에게 있어서 섬유라는 것은 우리가

매일 입는 의복 그리고 가정에서 인테리어로 필요한 소재로 인식되어져 있다. 하지만, 이미 1968년도에 기존의 의복에 새로운 기능을 더하여 사용자의 편의와 안전을 도모하기 위한 기능성 의복들이 연구 개발되어져 왔으며[1], 지난 10여 년간 학계와 산업계에서 기능성 섬유에 대한 많은 연구와 개발이 진행되어져 왔다. 특히 IT산업의 도래와 함께 IT융합 섬유 소재들은 전도성 섬유, 지능형 스마트 섬유, 스마트 의류 등으로 불리며 언제 어디서나 사용자에게 다양한 서비스를 제공할 수 있는 새로운 패러다임의 기술로 부각되고 있다.

섬유 제품은 유연하고, 신축성이 있고 편안하며 넓은 표면에 적용할 수 있는 장점과 또한 효율적인 계측 인터페이스가 될 수 있기 때문에 지속적인 생체정보의 측정과 모니터링이 가능하여 사용자 중심의 시스템으로 개발이 가능하다.[2]

이러한 사회적, 기술적 트렌드에 따라 섬유 기반의 생체정보 측정 시스템은 다양하게 연구 개발되어지고 있으며, 특히, 심전도, 호흡, 체온 등 인체 Vital Sign의 측정과 모니터링을 할 수 있는 시스템과 인체의 움직임 및 동작분석을 위한 계측 및 모니터링 시스템의 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 섬유를 활용한 생체정보 계측 기술, 특히 섬유센서를 이용한 vital sign 측정과 동작분석 관련 국내외 기술 동향을

* 교신저자(Corresponding Author): 민세동, 주소: 충남 아산시 신창면 순천향로 22 의료과학대학 1520호, 전화: 041) 530-4871, E-mail: sedongmin@sch.ac.kr

* 순천향대학교 의료IT공학과 조교수

소개하고 현 기술의 제한점 및 향후 발전 방향에 대해 논의 하고자 한다.

2. 전도성 섬유

일반적으로 부도체인 섬유(폴리에스테르)에 전도성이 우수한 금속(구리, 니켈, 은, 금 등)을 도금하여 생산하는 섬유를 전도성 섬유라고 한다. 이러한 전도성 섬유는 크게 금속섬유, 도금 섬유, 로 구분되어진다.

금속섬유는 금속(스테인리스, 구리, 니켈 등)을 섬유화 한 것으로 전기저항은 낮으나 유연성이 떨어지고 무거운 단점이 있다. 반면에 도금 섬유는 일반적인 섬유와 유사한 강신도, 가소성, 유연성을 가지고 있어 섬유센서로 사용이 가능하다. 또한 최근의 도금섬유제품들은 도금법의 발달로 인해 우수한 전도성 및 다양한 소재 및 두께로 생산이 가능하여 생체 신호측정용 전극을 대신할 수 있는 단계까지 와있다[3]. 이러한 전도성 섬유는 그림1과 같이 제품 소재에 따라 Woven, Non-Woven, Mesh, Rip-Stop 등으로 구분[4]이 되며, 최근에는 쿠션소재에 도금을 하여 여러 용도로 쓰일 수 있게 하였다. 또한, 전도성 섬유는 도금을 어떻게 하느냐에 따라 여러 형태로 개발이 가능하다.

이렇게 다양한 전도성 섬유를 생체정보 계측용 전극으로 사용 하기 위해서는 전도성 섬유 자체 및 섬유-피부간의 임피던스가 낮아야 하며, 전도성 섬유를 압력센서나 Strain Gauge 센서로 사용하기 위해서는 전도성 섬유가 인체 표면에 잘 부착될 수 있도록 설계해야한다.

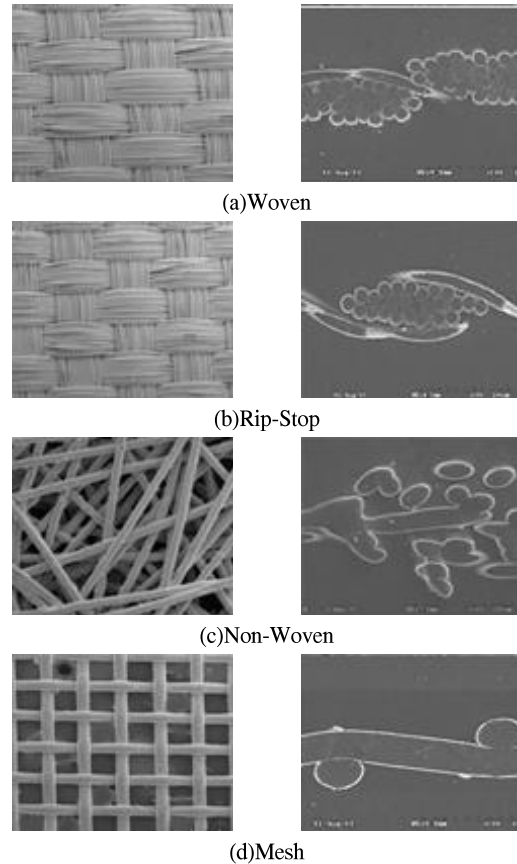


그림 1. 소재에 따른 전도성 섬유의 종류

3. 전도성 섬유 기반 생체전위 측정 전극

심장의 박동 및 심전도는 대표전인 생체 전기 현상으로 심장 근육에서 발생하는 전위차를 인체 표면에서 측정하는 기술이다. 재택이나 모바일 환경에서 개인의 심박 측정 및 모니터링은 개인의 생명 및 안전에 중요한 요소이다. 이를 위해 기존의 심전도 측정용 전극(Ag/AgCl)을 대신해 전도성 섬유 전극을 이용한다면 사용자에게 불편함을 주지 않고 심전도 측정이 가능하다.

이와 관련한 연구 및 개발은 국내·외에서 많이 진행 되어져 왔으며, 해외 에서는 이미 수년전에 상품화 시도를 하였다. 대표적으로 미국의 텍트론 닉사 (Textronics, Inc)는 전도성 섬유 기반의 심박 및 심전도 센서를 개발[5]하여 특허 등록

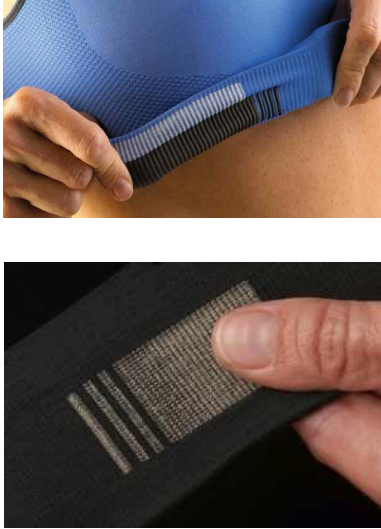


그림 2. 텍트로닉사의 전도성 섬유 전극

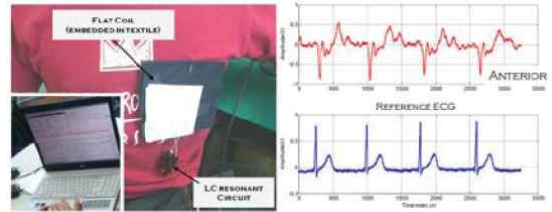
(7,308,294 B2, U.S. Patent) 및 상품화를 진행하였으며, 의료용 기기로 진출하기 위해 지난 2008년 FDA 승인을 획득하였다.

국내에서는 연세대학교, 건국대학교 및 ETRI[6]의 연구팀에서 전도성 섬유를 이용한 심박 및 심전도 측정관련 연구 개발이 진행되어져 오고 있다. 특히, 건국대 이정환 교수팀에서는 전도성사(糸)를 코일형태로 제작하여 인체에서 발생하는 Magnetic Field를 통해 비 접촉식으로 심장의 움직임을 감지하는 시스템을 개발하였다[7]. 개발된 코일형태의 전도성 센서는 기존의 심박을 측정하기 위한 전도성 섬유 전극과는 다르게 인체 피부 표면에 완벽하게 접촉 및 압박이 되지 않아도 심장의 움직임을 정확하게 측정 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

심전도를 측정하기 위한 전극은 시간의 변화에 크게 영향을 받지 않고 일정하게 낮은 임피던스를 유지하는 것이 중요하다. 이를 검증하기 위해 연세대학교 유선국 교수 연구팀에서는 전도성 섬유 전극이 기존 Ag/AgCl 전극을 대체 할 수 있는지



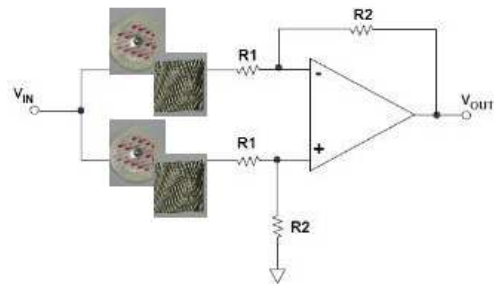
(a)



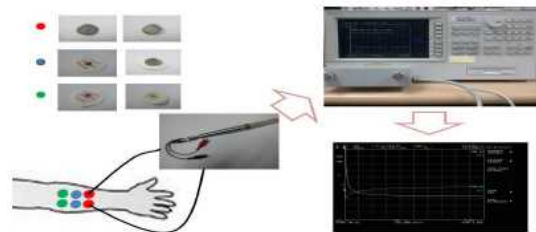
(b)

그림 3. 건국대학교의 코일형 전도성 섬유 전극 및 심장 움직임 측정

를 확인하기 위해 전도성 섬유 전극의 시간에 따른 임피던스 변화와 인체 생체전기 현상의 차동성 분만을 증폭하기위한 중요한 요소인 CMRR (Common Mode Rejection Ratio, 공통성분제거비)등을 측정하여 전도성 섬유 전극이 기존의 Ag/AgCl 전극을 대체 할 수 있음을 보였다[8].



(a)



(b)

그림 4. 연세대학교의 전도성 섬유 전극 성능평가 시험
a) CMRR측정 시험, b)임피던스 측정 시험

4. 전도성 섬유 기반 힘/압력 센서

인체로부터 측정 할 수 있는 움직임은 수없이 많다. 이러한 움직임 들 중에 호흡(들숨과 날숨)에 의해 흉부나 복부에서 발생하는 움직임이 있으며, 보행 시나 운동 시에 사지(팔·다리)의 움직임이 있다.

(1) 호흡

호흡은 인체 4대 활력징후(Vital Sign)의 하나로 호흡의 모니터링은 인체의 생리적 상태를 파악하는 중요한 지표이다. 이런 호흡은 인체에서 발생하는 물리적인 변화를 측정하는 것으로 일반적으로 호흡 시 발생하는 흉부 및 복부의 부피 변화를 측정하거나 비강 입구에서의 호흡 기류를 측정하는 방식이 대표적이다.

(2) 자세 및 보행

부적절한 자세 및 보행으로 인한 근골격계 질환의 예방이나 과학적인 분석을 통해 운동 동작을 훈련하기 위해 인체의 동작을 측정하는 것은 매우 중요한 요소이다. 이를 위해 마커를 이용한 동작 분석 카메라, 지면반력기 등을 이용한 동작 측정 장비가 개발되었다. 하지만, 이러한 장비들은 시간적/공간적/비용적 한계를 가지고 있어서 새로운 측정 방법이 시도되고 있다.

(3) 측정방법 및 연구동향

인체의 움직임에 의해 변화하는 물리량을 전도성 물질을 이용하여 측정할 수 있는 방법에는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 동작 변화에 따른 저항을 측정하는 Resistive 방식이며, 다른 하나는 외부에서 인가되는 압력에 의해 커패시터 양 플레이트(Plate)의 거리 변화를 측정하는 Capacitive Pressure 방식이다.

Resistive 센서의 가장 기본적인 원리는 그림 5와 같이 R2의 저항변화로 인해 출력전압을 변화시키는 것이다. 즉, 전도성 섬유기반의 저항체가 인체의 움직임으로 인해 수축되거나 늘어났을 때의 정도를 측정하는 것이다.

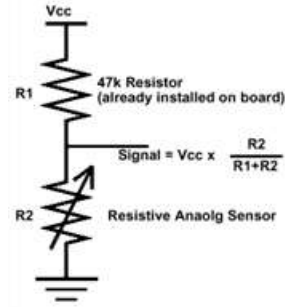


그림 5. Resistive 센서의 원리

Capacitive 센서의 원리는 그림 6과 같이 외부 압력에 의해 커패시터 양 플레이트의 거리 변화(x)가 전체 커패시턴스의 용량 변화를 가져오게 되는 물리적인 동작에 기반을 두고 있으며 그 수식은 식(1)과 같다.

$$C = \epsilon \times \frac{A}{d} \tag{1}$$

식(1)에서 ϵ 는 유전율, A는 플레이트의 면적, d는 양 플레이트 사이의 거리이다.

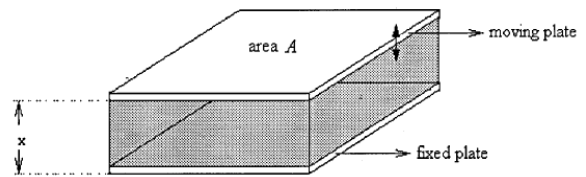


그림 6. Capacitive Pressure 센서의 원리

섬유기반의 Resistive 센서관련 연구는 국내외에서 많이 진행이 되고 있다. 국외의 연구 동향은 그림 7에서 나타내었다. 그림 7의 (a)는 대만의 연구진[9]에 의해 개발된 전도성 실 기반의 호흡 센서의 모습이다. 그림 7의 (b)는 인도의 연구진[10]에 의해 개발된 전도성 resistive 실 기반의

상지 움직임 측정 센서이다. 마지막으로 그림 7의 (c)는 영국의 연구진[11]에 의해 개발된 무릎 관절의 움직임을 측정하기 위한 센서이다.

그 외에도 많은 국외 연구진들이 전도성 섬유 기반의 resistive 센서를 활용하여 비침습적이며 무자각적으로 인체의 호흡 및 움직임에 대한 연구 및 개발을 진행하고 있다.[12-14]

또한 국내에서도 전도성 고무를 이용하여 엘라스틱 스트립 타입으로 구성된 호흡센서를 개발한 바가 있으며[15], 무릎관절의 운동 평가를 위하여 전도성 섬유센서를 개발하여 생체 임피던스를 측정한 연구[16]가 있다.

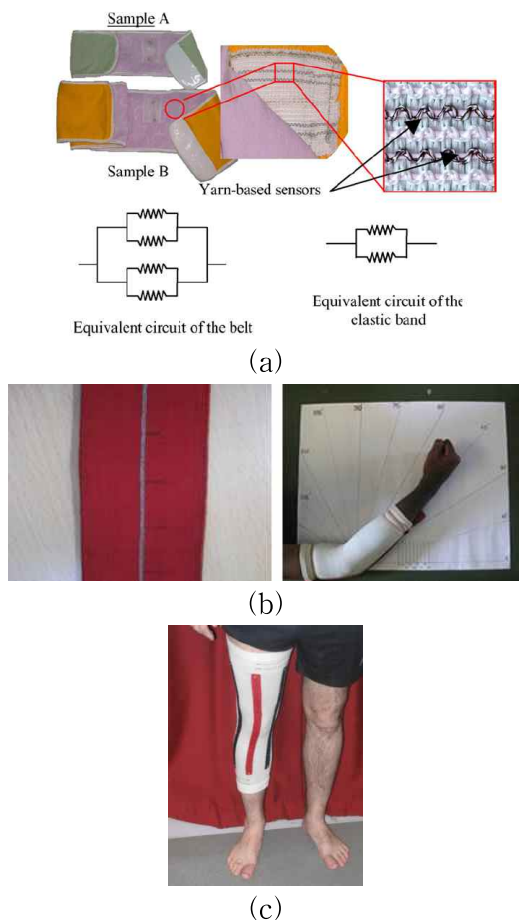


그림 7. Resistive 방식을 이용한 (a)호흡측정 센서 및 (b) 상지 움직임 측정 센서 (c)하지 움직임 측정 센서

전도성 섬유기반의 Capacitive 방식의 센서관련 연구 또한 국내외에서 지속적으로 되고 있으며 대표적인 연구사례는 그림 8과 같다. 그림 8의 (a)는 스위스 연구진[17]에 의해 개발된 전도성 섬유 기반의 capacitive pressure 센서로 근육의 움직임과 동작을 감지하기 위해 개발된 센서이다. 그림 8의 (b)는 미국의 연구진[18]에 의해 개발된 전도성 섬유기반의 capacitive 타입의 호흡측정 벨트이다.

국내에서는 본 연구진이 Capacitive 방식의 압력센서를 전도성 섬유를 이용하여 벨트 타입과 깔창 형태로 만들어 호흡과 보행을 측정 모니터링 하기도 하였다[19,20].

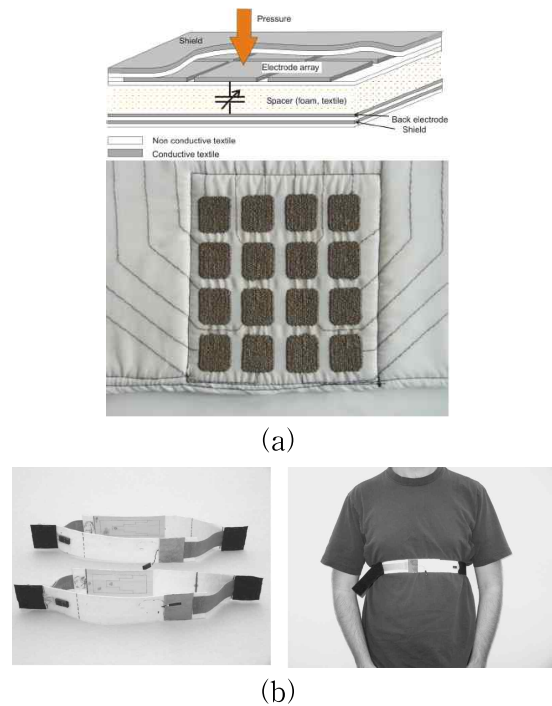


그림 8. Capacitive 타입의 (a)움직임 감지 센서(b) 호흡 측정 센서

5. 결 론

본 논문에서는 전도성 섬유를 이용하여 생체계측을 할 수 있는 방법에 대해 소개하였다. 지난 2000년대 초반부터 전도성 섬유를 소재로 한 생체계측의 연구는 국내외를 걸쳐 활발하게 진행되고 있다. 하지만, 모든 생체계측에 있어서 움직임에 의한 노이즈가 계측 시에 신호를 왜곡시키는 것과 같이 전도성 섬유센서를 사용하여도 여전히 움직임에 따른 노이즈 간섭은 여전히 풀어야 할 숙제이다. 인체의 동작이 존재하는 환경에서도 측정이 잘 되게 하기 위하여 전도성 섬유 센서의 적절한 착용 위치 및 착용 방법에 대해서는 조금 더 깊은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

또한, 생체전기현상을 측정하기 위한 전도성 섬유 전극은 전극 자체의 임피던스 문제 및 인체 피부와의 접촉에 의한 임피던스 문제를 고려하여 설계 제작해야 할 것이다.

마지막으로, 의복에 적용하는 전도성 섬유 전극 및 센서는 오랜 기간 일정한 성능을 유지 할 수 있도록 개발 되어야 할 것이다. 아직까지는 세탁 시에 코팅된 전도성 물질이 씻겨나가 전도성분이 떨어지는 경우가 많이 있다.

위와 같은 문제점들을 해결한다면, 국내외적으로 의복에 적용한 생체계측 시스템 및 모듈의 상용화가 활발히 이루어 질 것으로 예측한다.

참 고 문 헌

- [1] Lucy Dunne, Smart Clothing in Practice: Key Design Barriers to Commercialization, Fashion Practice, Volume 2, Issue 1, pp. 41 - 66, 2010
- [2] F.Axisa, C. Gehin, G. DELHOMME, C.Collet, O. Robin, A. Dittmar, Wrist Ablulatory Monitorinf System and Smart Glove for Real Time Emotional, Senorial and Physiological Analysis, Proceeding of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 1-5 September, 2004, San Francisco, CA, USA.
- [3] 조광년, 정재석, IT융합 섬유제품을 위한 전도성 섬유의 개발동향, 한국정보과학회지, 31(1), 2013.1, 88-96.
- [4] Ajinelectron, http://www.ajinelectron.co.kr/product/sub03_01.htm
- [6] Textronics, <http://www.textronicsinc.com>
- [6] YongWon Jang, SeungChull Shin, YoungJoo Jeon, SeungHwan Kim, Biosignal Measurement and Analysis using Conduction Fabric during Exercise, 대한전자공학회 추계 종합학술대회, 제29권, 2호, 2006.
- [7] Sun Ok Gi, Young Jae Lee, Hye Ran Koo, Seon Ah Khang, Hee Jung Park, Kyeong Seop Kim, Joo Hyeon Lee, Jeong Whan Lee, An Analysis on the Effect of the Shape Features of the Textile Electrode on the Non-contact Type of Sensing of Cardiac Activity Based on the Magnetic-induced Conductivity Principle, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 62, No. 6, pp. 803~810.
- [8] Bo Kyu Kang, Sun Kook Yoo, A Study on Performance Evaluation for Electrocardiography Signal Measurement Electrode based on Conductive Fabric, Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea Vol. 50, NO. 2, February 2013, 210-220.
- [9] Ching-Tang Huanga, Chien-Lung Shen, Chien-Fa Tang, Shuo-Hung Chan, A wearable yarn-based piezo-resistive sensor, Sensors and Actuators A 141 (2008) 396 - 403.
- [10] Annual Report 2012-2013, Government of India, Department of Science & Technology, Ministry of Science & Technology, 41-42.

- [11] C.D. Metcalf, S.R. Collie, A.W. Cranny, G. Hallett, C. James, J. Adams, P.H. Chappell, N.M. White, J.H. Burrige, Fabric-based Strain Sensors for Measuring Movement in Wearable Telemonitoring Applications. IET Conference on Assisted Living 2009, January 2009, page 13
- [12] Paulo Lopez-Meyer, Edward Sazonov, Brian Cheung, Comparative sensor analysis for an electronic wearable and non-invasive respiratory signal acquisition system, 2012 Sixth International Conference on Sensing Technology, 2012, 811-814.
- [13] Federico Lorussi, Enzo Pasquale Scilingo, Mario Tesconi, Alessandro Tognetti, and Danilo De Rossi, Strain Sensing Fabric for Hand Posture and Gesture Monitoring, IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE, VOL. 9, NO. 3, SEPTEMBER 2005, 372-381.
- [14] M. Pacelli, L. Caldani and R. Paradiso, Textile Piezoresistive Sensors for Biomechanical Variables Monitoring, Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference, New York City, USA, Aug 30-Sept 3, 2006, 5358-5361.
- [15] Kyung-Ah Kim, In-Kwang Lee, Seong-Su Choi, TaeSoo Lee, Eun-Jong Cha, Conductive rubber belt to monitor respiratory changes, IEEE SENSORS 2006, October, 22-25, 2006
- [16] Byung Woo Lee, chungkeun Lee, Hakyung Cho, MyoungHo Lee, Development and Assessment of Conductive Fabric Sensor for Evaluating Knee Movement using Bio-impedance Measurement Method, Journal of Biomedical Engineering Research 32, 2011, 37-44.
- [17] Jan Meyer, Paul Lukowicz, Gerhard Troster, Textile Pressure Sensor for Muscle Activity and Motion Detection, 2006 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers, 11-14 Oct. 2006, 69-72.
- [18] Carey R. Merritt, H. Troy Nagle, Edward Grant, Textile-Based Capacitive Sensors for Respiration Monitoring, IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 9, NO. 1, JANUARY 2009, 71-78.
- [19] Se Dong Min, Chun-Ki Kwon, Step Counts and Posture Monitoring System using Insole Type Textile Capacitive Pressure Sensor for Smart Gait Analysis, Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 17 No. 8, August 2012, 107-113.
- [20] Se-Dong Min, Young-Hyun Yun, Chung-Keun Lee, Hang-Sik Shin, Ha-Kyung Cho, Seon-Cheol Hwang, Myoung-Ho Lee, Respiration Measurement System using Textile Capacitive Pressure Sensor, Trans. KIEE, Vol. 59P, No. 1. MAR., 2010, 58-63.



민 세 동

- 2010년 연세대학교, 전기전자공학과, 공학박사
- 현재 순천향대학교 의료IT공학과, 조교수
- 관심분야: 모바일헬스케어, 웨어러블센싱, u-Health시스템



정 봉 근

- Washington University School of Medicine, Doctoral degree in Occupational Therapy
 - 현재 순천향대학교 작업치료학과, 조교수
 - 관심분야: 자세 및 동작 분석, 원격진료 및 시스템
-