

섬유 근접센서를 이용한 복약 여부 평가에 관한 연구

A Study of Medication Adherence Using Textile Proximity Sensor

호 종 갑* · 왕 창 원* · 민 세 동†
(Jong Gab Ho · Changwon Wang · Se Dong Min)

Abstract - The purpose of this study is to evaluate whether to take a medicine based on a measuring data using textile proximity sensor. We developed a proximity sensor of ring type using conductive textile, and acquired a data in accordance with the quantity of each pills. To evaluate our approach, we designed an experimental protocol that is counting pills subtracting the one which contains range of 0 T(Tablet, 4,100mg) from 20 T. And, The experiments were performed a nine times in the same way. In order to remove a noise and smoothen data, data preprocessing were performed using resampling method and moving average filter which has ten points. Then, we calculated a linear trend line equation, and analyzed a correlation between pill quantity and trend line equation. As a results, correlation coefficient was shown at 0.833 through using a Spearman's correlation method and we could be determined that data was continuous decreases when take a medicine.

Key Words : Conductive textile, Capacitive proximity sensor, Pill case, Medication adherence

1. 서 론

오늘날 의학기술이 발전함에 따라 평균 수명이 꾸준히 증가하고 있다. 국내의 경우 평균 기대수명은 2000년도 76.02세에서 2014년도 기준 82.4세로 매년 상승하고 있는 것으로 나타났다.[1] 평균 수명이 늘어남에 따라 고령화 사회가 가속화 되어가고 그로 인해 사람들은 본인의 건강에 대한 관심이 점점 높아지고 있다.[2] 또한, 질병예방과 건강관리에 대한 관심이 증가하고 있다. 하지만 그런 노력에도 불구하고 인간은 적어도 한번쯤은 질병을 겪게 되며 질병에 대한 조기 치료는 매우 중요하다. 질병을 치료하는 방법 중 가장 대표적이고 일반적인 방법은 약을 복용하는 것이다. 대부분의 질병은 꾸준한 복용으로 예방이 가능하다. 하지만 대부분의 사람들이 처방된 약을 복용하는 중에 상태가 호전되면 복용을 멈추고 약의 정량을 다 복용하지 않는 경우가 많다. 이는 질병의 재발 위험 가능성이 존재하며 질병 시에만 약을 찾게 되는 악순환을 초래할 수 있다. 그러므로 정량적인 양의 약을 제 시간에 복용하게 도와주는 시스템의 개발이 요구되고 있다. 이에 따라 복약을 도와주는 시스템에 대한 연구가 이뤄져 왔으며, 대표적으로 WSN(Wireless Sensor Network)을 이용하여 무선으로 약의 복용과 시간을 조절해주는 시스템[3]과 로드셀을 이용하여 약의 미세한 무게를 다뤄 복용 여부를 판단해주는

시스템[4]외에 정량적인 복약을 도와주는 시스템 개발[5-8]이 시도 되어 왔다. 하지만 앞서 진행 된 연구들은 하드웨어적으로 크고 딱딱하며 시스템에 요구되는 재료들이 많아 값이 비쌀뿐더러 사용자 친화적이지 못하다. 그렇기 때문에 쉽고 사용자 친화적이며 저렴하고 가벼운 시스템의 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 사용자 친화적이며 가볍고 저렴한 섬유 근접센서를 개발하여 사용자가 약을 복용할 때 약이 감소하는 수치로 인한 근접 센서 값의 변화를 추세선식 데이터와 비교하여 유의성을 통해 약을 복용하였는지를 판단하는 것을 목적으로 연구를 진행하였다.

2. 본 론

2.1 전도성 섬유 근접센서

2.1.1 전도성 섬유

전도성 섬유는 섬유 위에 전도성 물질을 코팅하여 전기가 통하기 쉽게 하는 전기 전도도를 나타내는 섬유로 제작이 쉽고 간편하며 실드 효과와 전도성을 가지는 장점이 있다. 최근 전도성 섬유를 이용하여 근육의 움직임 감지하는 센서[9]와 관절의 각도를 평가해주는 센서에 대한 개발[10] 및 전도성 섬유 센서를 이용하여 신체 활동을 감지하고 평가[11]해주는 연구가 있었다. 또한, 발바닥의 압력을 측정하고 분석해주는 압력 센서의 개발[12]과 같이 전도성 섬유를 이용한 다양한 연구가 진행되어져 왔다.

† Corresponding Author : Dept. of Medical IT Engineering, Soonchunhyang University, Korea
E-mail: sedongmin@sch.ac.kr

* Dept. of Medical IT Engineering, Soonchunhyang University, Korea

Received : June 8, 2016; Accepted : June 28, 2016

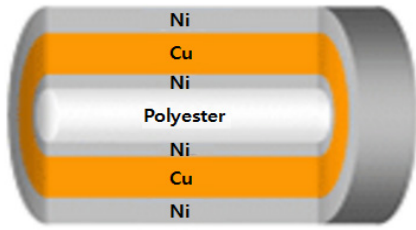


그림 1 전도성 섬유 구조(W-290-PCN)

Fig. 1 Structure of conductive textile(W-290-PCN)

본 연구에서는 전도성 섬유 모델인 W-290-PCN(Ajin Electron, Korea)을 사용하였다[13]. 이 모델은 그림 1과 같이 폴리에스테르에 니켈과 구리, 니켈 순으로 도금을 하였고, 전도성 섬유의 특성은 표 1과 같다.

표 1 W-290-PCN의 특성

Table 1 Properties of W-290-PCN

ITEM	W-290-PCN
Textile type	Woven
Base material	Polyester
Width(mm)	1100±5
Weight(g/m^2)	81±5
Thickness(mm)	0.1±0.01
Density(g/m^3)	188±5

2.1.2 정전용량형 근접 센서의 원리

정전용량형 근접 센서는 센서부와 쉴드부로 구성되어 있으며 그림 2에서 보여지는 것과 같다. 이 센서는 전기장을 만드는 특성을 가지고 있으며, 대상으로 하는 물체와의 거리를 검출하는 센서로서 정전용량의 변화를 이용한다. 또한, 대상물과 센서간의 정전용량이 둘 사이의 거리에 반비례하는 특성을 이용할 수 있는 장점이 있다.

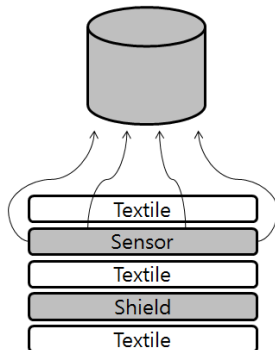


그림 2 정전용량형 근접 센서의 원리

Fig. 2 Principle of capacitive proximity sensor

정전용량형 센서는 기본적으로 그림 2처럼 근접 감지와 액체의 경우 액체의 변화량에 따라 센서의 값이 변하여 액체의 양을 감지할 수 있다.[14] 이 원리가 고체의 경우에도 적용 가능하다 사료되어 본 연구에서는 액체의 원리를 이용해 고체인 약의 변화량을 감지하기 위해 전도성 섬유를 이용한 근접 센서를 제작하였다.

2.1.3 전도성 섬유 근접센서 제작

전도성 섬유 근접센서를 제작하기 위해 폴리에스테르 기반으로 구리와 니켈이 도금 된 전도성 섬유인 W-290-PCN을 사용하였다. 섬유 근접센서는 그림 3과 같이 센서의 하단부분과 옆부분의 자기 유도를 억제해주는 쉴드층을 구축하는 모델인 Ring형으로 하였다.[15] 이는 약통을 센서 위로 배치시키기 때문에 아래와 옆에서 발생하는 잡음을 최소화하기 위해 구성하였다. 섬유 근접센서는 센서부와 쉴드부로 구성하였으며, 센서부는 3×3(cm) 크기로 하여 실험 약통의 밑 부분을 감싸는 크기로 제작하였고 쉴드부는 센서부에서 1 cm 떨어뜨려 두께 1 cm로 센서부 주변을 감싸고 5×5(cm) 크기로 아래쪽에도 배치하여 센서를 제작하였고 구성도는 그림 3과 같다.

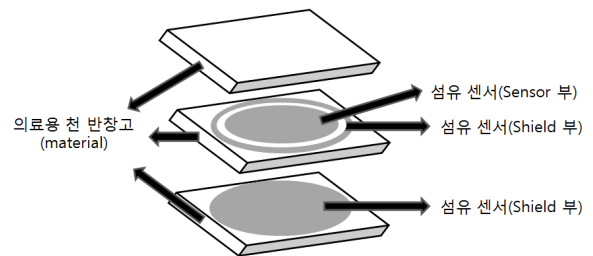


그림 3 전도성 섬유 근접센서 구성

Fig. 3 Architecture of conductive textile proximity sensor

2.2 시스템 구성

직접 제작한 섬유 근접센서를 기반으로 그림 4와 같이 약통 데이터 측정 시스템을 구성하였다.



그림 4 전체 시스템 구성

Fig. 4 Architecture of overall system

섬유 근접센서에 약통을 올려놓았을 때 발생하는 캐패시턴스를 디지털 값으로 변환 시켜주기 위해 CDC (Capacitance to Digital Converter) 기능이 내장 되어 있는 FDC1004 칩(Texas Instruments, USA)을 사용하였다. 변환된 디지털 값은 Atmega128(Microprocessor Model)로 I²C 통신을 통해 전달되며, Atmega128은 UART 통신의 Gateway 역할을 한다. UART 통신은 CC2420 Zigbee 모듈(Texas Instruments, USA)을 통해 이루어지며, CC2420 모듈은 송신부와 수신부 1쌍을 이뤄 데이터를 주고받도록 구성하였다. 수신부에서 받은 데이터는 실시간으로 모니터링이 가능하며, 데이터 저장 및 Sampling rate의 재설정이 가능한 C# 기반 어플리케이션을 통해 데이터를 확인하도록 구성하였다. 그림 5는 시스템 구성의 흐름도를 나타내고 있다.

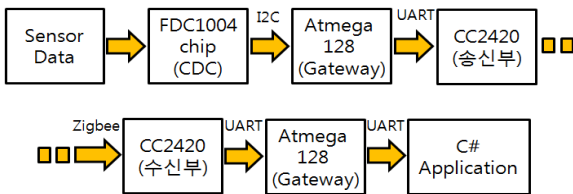


그림 5 시스템 구성 흐름도
Fig. 5 System architecture flow chart

2.3 실험 프로토콜

약의 복용 여부를 평가하기 위해 복용을 필요로 하는 사용자가 약을 복용할 때 하는 행동을 기반으로 실험 프로토콜을 설정하였다. 일반적으로 약을 복용할 때 표 2와 같은 행동의 절차를 거치게 된다. 사용자는 약의 복용을 위해 섬유 근접센서 위에 위치한 약통을 손에 들고 정량적인 약을 복용 한 뒤 약통을 제자리인 섬유 근접센서 위에 놓는다.

표 2 복용 시 행동 절차

Table 2 Activity process when medication

복약행동	동작 절차
행동 ①	사용자가 약을 복용하기 위해 약통을 들은 경우
행동 ②	사용자가 약을 복용중인 경우
행동 ③	사용자가 약통을 제자리에 다시 위치시킨 경우
행동 ④	사용자가 약통을 놓고 자리를 완전히 떠난 경우

우리는 약을 복용하기 전의 데이터와 복용한 후의 데이터를 비교하여 변화량에 의해 사용자가 복용하였는지의 여부를 평가하였다. 약의 개수에 해당하는 데이터를 획득하기 위해 표 2와 같이 약을 복용하는 행동을 기반으로 실험을 진행하였다. 실험에 사용한 약통은 멀티 비타민제(Enerheim, Germany) 20정 (4,100mg×20)을 사용하였고, 20T(Tablet, 4,100mg)에서 0T가 될 때까지 각 약통의 개수를 감소시켜 데이터를 획득하였다. 실험은 두 번에 걸쳐 서로 다른 날에 각각 3회, 6회씩 진행하였다.

2.4 데이터 획득 및 처리

약 데이터는 제작한 센서로부터 데이터 획득을 위해 제작한 C# 기반 어플리케이션을 통해 Sampling rate를 100 Hz로 설정하여 획득하였다. 그림 6은 표 2의 각 행동에 관한 실험을 실시하고 약을 1회 복용했을 때의 데이터를 나타내고 있다.

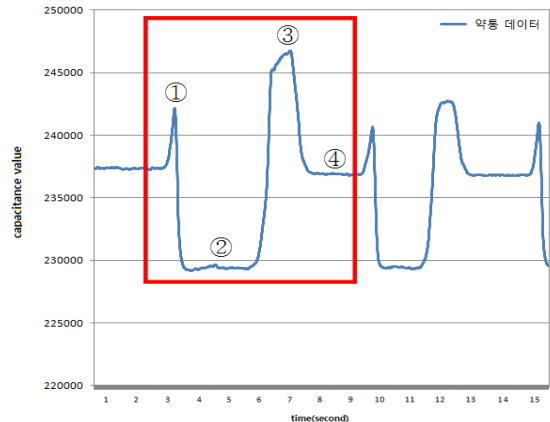


그림 6 복용 행동 시 데이터 신호
Fig. 6 Data signal of medication activity

그림 6의 ①은 약을 복용하기 위해 약통을 들은 경우에 순간적으로 손의 영향을 받아 근접 값이 일시적으로 상승하는 경우로 나타났고, 그림 6의 ②와 같이 약을 복용중일 때 제일 낮은 값으로 떨어지는 것을 보였고, 약을 복용하고 다시 제자리에 놓았을 때 약통과 함께 손이 함께 닿기 때문에 그림 6의 ③과 같이 가장 높은 값으로 오르는 것을 확인하였다. 마지막으로 약통만이 남아 있을 경우에 그림 6의 ④의 경우가 되었을 때 약의 데이터만을 획득할 수 있다.

획득한 데이터 중 약의 복용 여부를 평가하기 위해 그림 6의 ④에 대한 데이터만을 추출하였다. 추출한 데이터 중 앞뒤로 급격하게 변하는 데이터 값들을 제거해주고 150개의 데이터를 추출하였다. 그리고 잡음 제거와 데이터를 완만하게 해주기 위해 평균 이동필터의 point를 10으로 설정하여 처리하였다. 평균 이동필터의 point는 실험을 통해 가장 최적의 값으로 설정하였다. 평균 이동필터는 식 (1)과 같다.

$$\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-10} x_{k-n+i}}{n} \quad (1)$$

3. 결 과

3.1 약 개수에 따른 데이터 평균값 그래프

평균 이동필터를 사용해 처리한 각 데이터들에 대해 평균값을 계산하여 각 약의 개수에 해당하는 데이터 값을 도출하였다. 각

약 개수에 따른 평균값을 나타내는 그래프는 그림 7과 같다. 그림 7의 a-c와 d-i는 각각 다른 날 실험을 진행한 데이터이며, 문제점 두 가지를 확인하였다. 첫 번째는 실험 시 각각 다른 베이스라인이 측정 되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 시스템에 전원이 공급될 때 나타나는 차이로 사료되었다. 이 문제점은 측정 초기의 베이스 라인을 측정하여 획득한 데이터에 베이스 라인 값을 차감해주어 동일한 기준으로 데이터를 획득하도록 개선해주었다.

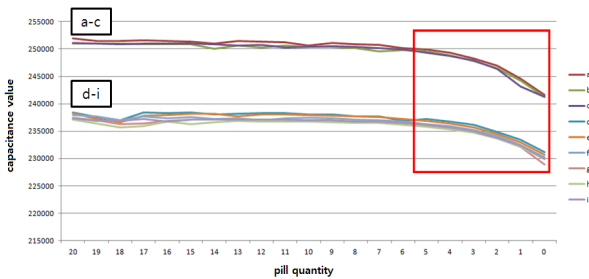


그림 7 약 개수에 따른 데이터 평균 값
Fig. 7 Data average value according to pill quantity

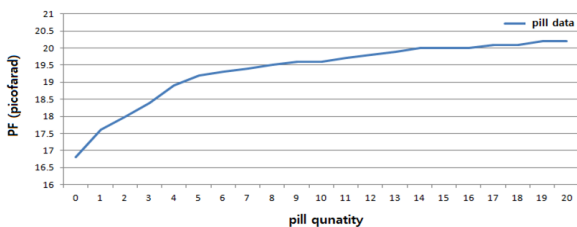


그림 8 LCR미터의 약 개수 데이터 측정
Fig. 8 pill quantity data measurement of LCR meter

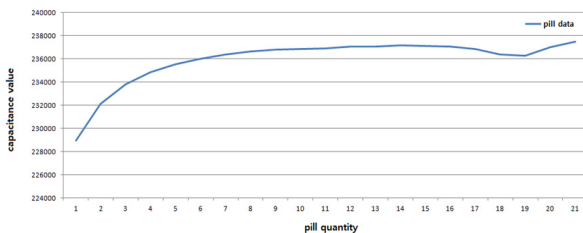


그림 9 제작한 센서의 약 개수 데이터 측정
Fig. 9 pill quantity data measurement of manufactured sensor

두 번째 문제점은 그림 7의 네모 칸에 표시가 된 것처럼 약 5 개 이하 일 때 신호가 급락하는 것을 확인하였다. 위 문제점은 우선적으로 시행했던 센서의 특성을 알아보기 위한 실험을 토대로 해결할 수 있었다. 센서의 특성을 알아보기 위한 실험으로 GW Instek(Good Will Instrument, Taiwan)사의 LCR-8110G 모델 LCR미터를 사용하여 센서의 LCR 중 C(Capacitance)의 특성을 알아보았다. 특성 그래프는 그림 8과 같이 나타났으며 센서 특성 상 약이 5개 이하일 때 데이터 값이 급격히 낮아지는 특성

을 발견하였다. 센서 특성 신호와 약의 개수에 따라 획득한 평균 데이터를 비교하기 위해 제작한 센서로부터 얻은 신호를 그림 9와 같이 그래프로 나타냈다. 그 결과 그림 8과 그림 9의 그래프는 로그함수의 형태와 유사한 형태를 보였으며, 5개 이하일 경우 데이터가 급락하는 것을 보였다. 그러므로 약이 5개 이하일 때 센서의 특성상 신호가 급락한다는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 약 개수에 따른 평균값 데이터 추세선식

그림 7에서 5T 이하로 떨어질 때 데이터가 급락하는 현상을 발견하고 약 5T 이하일 경우를 제외한 나머지 약의 데이터로 복용여부에 대한 선형성을 알아보기 위해 선형 추세선식을 도출하였다. 그래프 데이터의 선형 추세선식은 결정계수(R²)가 가장 양호한 추세선식을 도출하여 결정하였고 그래프는 그림 10과 같다.

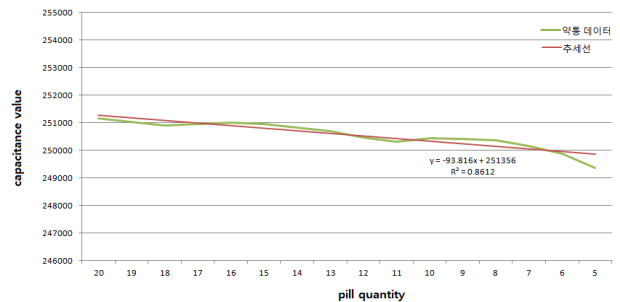


그림 10 약 데이터에 대한 선형 추세선식
Fig. 10 Linear trend line formula of fill data

도출한 추세선식은 식 2와 같다. 식에서 y는 약의 개수인 x에 상응하는 약 데이터 값을 나타낸다.

$$y = -93.816x + 251356 \quad (2)$$

우리는 추세선식 데이터와 약 데이터의 상관관계를 확인하기 위해 SPSS Statistics version 18.0(IBM, USA)을 사용하였고, 표본크기가 20미만이므로 비모수상관관계분석을 수행하였다.

3.3 추세선식과 약 데이터의 상관관계

약을 복용하였을 때 근접센서 값의 변화를 측정하고 추세선식 데이터와의 상관관계를 통해 복용 여부를 평가하였다. 우리는 그림 10으로부터 도출한 추세선식과 데이터 처리를 한 각 실험 데이터와의 상관분석을 수행하였다. 상관분석은 비모수상관관계분석 방법 중 Spearman's 상관관계를 사용하였다. 그림 11는 Spearman's 상관관계의 대표적인 예를 보여주고 있다.

각 실험 별 상관계수는 표 3에서 나타내고 있으며, 가장 높은 상관계수는 0.956이고 가장 낮은 상관계수는 0.691로 평균 0.833의 상관계수를 나타냈다. 이는 추세 데이터와 실험 데이터간의 강한 상관관계가 있음을 보여 약 복용 시 일정하게 데이터가 감소하는 것에 유의성(p < 0.01)을 보였다.

상관계수			약 데이터
Spearman's correlation	추세선식	상관계수	.956*
		유의확률	.000
		N	16

*p<0.01

그림 11 약 데이터 감소에 대한 Spearman's 상관분석 결과
 Fig. 11 Result of correlation analysis about pill data reduction

표 3 각 실험 별 데이터와 추세선식과의 상관계수
 Table 3 Coefficient of experiment data and trend line formula

실험	상관계수(r)
a	0.800*
b	0.718**
c	0.956*
d	0.918*
e	0.864*
f	0.691**
g	0.936*
h	0.718**
i	0.900*
평균	0.833*

*p<0.01 **p<0.05

4. 결 론

본 논문에서는 약의 복용 여부를 평가하기 위해 약 복용 시 데이터의 변화를 측정하여 추세선식과 상관관계를 분석하여 약의 개수가 감소함에 따라 데이터 값이 감소하는지를 확인하였다. 총 9번의 실험에서 획득한 각 데이터와 추세선식 데이터간의 상관관계를 비모수상관관계분석 방법인 Spearman's correlation을 통해 도출한 결과 평균 0.833의 상관계수를 보여 통계적으로 강한 상관성이 있음을 보였다. 이를 통해 약 복용 시 일정하게 데이터가 감소하는 것을 확인하여 약의 복용여부를 판단할 수 있음을 증명하였다.

우리는 실험 결과로 베이스라인이 다른 것과 5개 이하일 때 데이터가 급락하는 두 가지 문제점을 보였다. 첫 번째 그림 7에서 베이스라인의 차이를 보인 것에 대한 문제점은 시스템에 전원이 공급 될 시에 베이스라인이 조금씩 다르게 형성되는 것으로 발견되었다. 이 문제점은 베이스라인을 먼저 측정하여 획득한 데이터에 베이스라인 값을 차감해주어 동일한 기준으로 데이터를 획득할 수 있도록 문제점을 해결하였다. 두 번째 그림 7에서 약의 개수가 5T가 남았을 때부터 0T까지의 데이터 변화가 급락하는 문제점은 추가적인 LCR미터의 센서 특성 실험으로 근접센서가 약의 개수가 5개 이하로 줄어들 경우 신호가 급락하는 것을

확인하였다. 이 문제점은 5개 이하일 경우 추가적으로 약의 복용 여부에 관한 알고리즘 구현이 요구되었다. 또한, 본 연구는 약을 하나씩 복용했을 경우의 데이터만을 다뤘기 때문에 과용이나 미복용 시의 시나리오를 추가하는 실험을 필요로 한다.

향후 연구로 다양한 시나리오에 대한 추가적인 실험을 실시하고, 5개 이하일 경우 약의 복용 여부를 판단하는 추가적인 알고리즘을 보강하여 실생활에서의 복약 환자들을 대상으로 정량적 복용을 도와주고 관리해주는 복약 관리 시스템을 구축하는 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 바이오·의료기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2015M3A9D7067388).

References

- [1] Statistics Korea, http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2927
- [2] Kyung Hyun Suh. Health and quality of Life for Korean people in ageing society. THE KOREAN JOURNAL OF CULTURE AND SOCIAL ISSUES, 12(5), 133-147.
- [3] Chang, Wen-Wei, et al. "A smart medication system using wireless sensor network technologies." Sensors and Actuators A: Physical 172.1 (2011): 315-321.
- [4] Kim, Beom-Joon. "Developing a smart pillbox to improve the medication adherence of the patients requiring a long-term administration." The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences 8.4 (2013): 611-617.
- [5] Abbey, Brianna, et al. "A remotely programmable smart pillbox for enhancing medication adherence." Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2012 25th International Symposium on. IEEE, 2012.
- [6] Salgia, Aakash Sunil, K. Ganesan, and Ashwin Raghunath. "Smart Pill Box." Indian Journal of Science and Technology 8.S2 (2015): 189-194.
- [7] Morales, Suárez-Varela MT. "Study on the use of a smart pillbox to improve treatment compliance[.]" Atencion Primaria/Sociedad Espanola de Medicina de Familia y Comunitaria 41.4 (2009): 185-191.
- [8] Lee, Matthew L., and Anind K. Dey. "Reflecting on pills and phone use: supporting awareness of functional abilities for older adults." Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.

ACM, 2011.

- [9] Meyer, Jan, Paul Lukowicz, and Gerhard Tröster. "Textile pressure sensor for muscle activity and motion detection." *Wearable Computers, 10th IEEE International Symposium on*, 2006.
- [10] Holleczeck, Thomas, et al. "Textile pressure sensors for sports applications." *Sensors IEEE*, 2010.
- [11] Enokibori, Yu, and Kenji Mase. "Human joint angle estimation with an e-textile sensor." *Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers*. ACM, 2014.
- [12] Shu, Lin, et al. "In-shoe plantar pressure measurement and analysis system based on fabric pressure sensing array." *IEEE Transactions on information technology in biomedicine* 14.3 (2010): 767-775.
- [13] 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." *THE TRANSACTION OF THE KOREAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS P*, 59.1 (2010.3): 58-63.
- [14] Jia, Ning. "ADI Capacitance-to-Digital Converter Technology in Healthcare Applications." *Analog Dialogue* 46.2 (2012).
- [15] Eren, Halit, and Lucas D. Sandor. "Fringe-effect capacitive proximity sensors for tamper proof enclosures." *Sensors for Industry Conference IEEE*, 2005.

저 자 소 개



호 종 갑 (Jong Gab Ho)

2015년 : 8월 순천향대학교 의료IT공학과 (학사), 2015년~현재 : 순천향대학교 의료IT공학과 석사과정
관심분야 : 생체신호처리, 컴퓨터비전, 패턴 인식



왕 창 원 (Changwon Wang)

2013년 : 2월 순천향대학교 의료IT공학과 (학사), 2015년 : 2월 순천향대학교 의료IT공학과 (석사), 2015년~현재 : 순천향대학교 의료IT공학과 박사과정
관심분야 : 생체신호처리, 스마트케어, 의공학



민 세 동 (Se Dong Min)

2001년 2월 : 고려대학교 응용전자공학과 (공학사), 2004년 2월 : 연세대학교 생체공학협동과정 (공학석사), 2010년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과(공학박사)
현재 : 순천향대학교 의료IT공학과 교수
관심분야 : 생체신호처리, 스마트케어, 의료 영상시스템