

## 호흡 측정 기능의 스마트 의류를 위한 기초 디자인 연구

A Study of the Basic Design for Smart Clothing based on Measurement of the Respiration

조하경\* · 민세동\*\*†

Cho Ha Kyung\* · Min Se Dong\*\*†

\*한국섬유소재연구소

\*Korea High Tech Textile Research Institute

\*\*순천향대학교 의료IT공학과

\*\*Soon Chun Hyang Univ. Dept. of Medical IT Engineering

### Abstract

According to introduction of Well-Being lifestyle and ageing society, vital sign monitoring system which can be continued measurement of vital sign has been increased their important in field of the healthcare. Under this trend, Respiration monitoring system has been studied and developed in a various way to apply continued monitoring and non-conscious monitoring system. But, Study of the respiration monitoring system based on consumer needs and usability test is insufficient. In this study, Textile capacitive pressure sensor(TCPS) of belt type was developed and tested it's utility and subjective sensibility. TCPS measures respiration signals and can be derived in real time monitoring. As a result, monitoring respiration using textile capacitive pressure sensor offers a promising possibility of convenient measurement of respiration rate (correlation ( $r=0.9553$ ,  $p<0.0001$ )). In the result of usability and wearability test, all of categorizes(perceived change, wearability, movement, facility of management, usefulness) were received favorable evaluation on usability test( mean value : 3.8), and suitable location of TCPS in the clothing is derived on the abdomen part. According to synthetical results, Basic smart clothing design based on respiration monitoring system is proposed.

**Key words** : Respiration monitoring, Textile Capacitive Pressure Sensor, Usability and Wearability test, Consumer needs, Smart clothing.

### 요약

1990년대 이후 웰빙 라이프스타일의 도입 및 인구 고령화 사회의 진입으로 인해 언제 어디서나 지속적으로 측정가능한 생체 신호 센싱 모니터링 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 따라, 최근 지속적으로 호흡 측정이 가능한 시스템에 대한 연구 및 개발이 활발히 이루어지고 있으나 소비자 수요에 기반한 스마트 의류적용을 위한 호흡 측정 시스템의 연구는 미비하다. 따라서, 본 연구에서는 압전의 원리를 이용하여 호흡시 인체의 체표면이 변화하면서 센서에 가해지는 압력을 전기적 신호로 바꾸어 호흡을 측정하는, 전도성 섬유기반의 전기용량성 섬유 압력 센서(Textile Capacitive Pressure Sensor, TCPS)를 개발하였으며, 이를 실증적 연구를 통해 센서의 유

† 교신저자 : 민세동

E-mail : sedongmin@sch.ac.kr

TEL : 041-530-4871

FAX : 041-530-3084

용성을 입증하고자 하였다. 그 결과, Nasal로부터 측정된 호흡율과 TCPS를 통해 측정된 호흡율간의 상관관계수는  $r=0.9553$  ( $p<0.0001$ )로 TCPS의 신호 측정 정확성을 확인할 수 있었으며, 또한, 사용성 및 착용성 평가의 결과 인지적 변화, 착용성, 운동성, 관리의 용이성 및 유용성에서 모두 만족한다 정도의 평가 결과를 가져와 본 연구에서 개발된 TCPS의 착용성 및 의류 적합성을 입증하였다. 마지막으로 TCPS의 의류 적합 위치 평가 결과는 복부 부위에서 신호의 안정감을 갖으며, 착용감도 높은 것으로 나타났다. 최종적으로, 위의 결과들을 종합하여 호흡 측정 기능의 스마트 의류 개발을 위한 기초 디자인을 제시하였다.

**주제어:** 호흡 모니터링, 전기용량성 섬유 압력 센서, 사용성 및 착용성 평가, 소비자 수요, 스마트 의류

## 1. 서론

최근 고령화 사회의 도래와 건강관리에 대한 관심의 증가로 언제 어디서나 지속적으로 건강 관련 요소를 모니터링하는 u-Health 디바이스 및 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다(Part S.M. et. al., 2003). 이에 따라, 건강과 관련된 생체 신호를 비침습 무자각적으로 일상생활 환경 내에서 지속적으로 모니터링이 가능한 환경을 추구하는 경향이 증가하고 있다. 특히, 섬유 기반의 생체 신호 측정 시스템은 유연성이 있으며 인체에 잘 맞으며, 경제적인 인터페이스가 될 수 있어(F. Axisa, 2004) 지속적인 생체 신호의 측정과 사용자 중심의 시스템 개발이 가능한 경제적인 정책 중의 하나로 볼 수 있다.

이러한 트렌드에 따라, 언제 어디서나 측정이 가능한 생체신호 모니터링 시스템은 보다 유연하며 인체에 편안한 환경을 기반으로 삶의 질을 향상시키는 유용한 도구로 자리잡고 있으며(Min S.D., 2009), 심전도, 근전도, 호흡 및 체온 측정 의류 등의 다양한 어플리케이션으로 연구, 개발되어지고 있다.

인체의 생리적 상태를 파악하는 필수 지표 중 하나인 호흡 모니터링은 만성질환자 및 노령화 인구의 증가와 환경오염에 따른 호흡기 질환의 급증으로 호흡 모니터링에 대한 중요성이 증가하고 있다. 또한, 호흡 모니터링은 과호흡, 빈호흡 등의 증상들이 나타나는 경우 신속한 진단 및 적절한 조치를 요구하는 기본 신호 중 하나이다. 최근 지속적인 생체 신호 측정에 대한 관심이 높아지면서 호흡 측정 또한 무구속, 무자각으로 지속적인 측정을 위한 섬유를 기반의 웨어러블 시스템에 관한 연구가 진행되고 있다.

그러나, 현재 호흡 측정시스템 관련연구는 센서 개발 및 신호 평가에 중점을 두고 진행되어오고 있으며, 착용자를 둘러싼 물리적 인터페이스로서의 착용편의성과 사용 편의성, 소비자 수요에 바탕을 둔 호흡측정

기능의 스마트 의류에 대한 연구는 미비한 상태이다.

따라서, 본 연구에서는 전도성 섬유를 사용하여 착용형 전기용량성 섬유 압력 센서(Textile Capacitive Pressure Sensor, TCPS)를 개발하여 센서의 호흡 측정 정확도 평가 뿐 아니라, 사용성, 착용성 평가 및 의류 적합 위치 평가 등을 통해 소비자 수요에 적합한 기초 디자인을 제시하고자 하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1. 스마트 의류 동향

스마트 의류는 웰빙 트렌드의 도입과 라이프스타일의 다양화 등으로 기능성에 대한 수요의 증가로 인해 사용자 니즈 중심의 애플리케이션으로 세분화 되고 있으며, 그 수요 또한 증가하고 있다(Cho H.K. et al., 2010).

특히, 생체 신호 센싱 기능 스마트 의류의 연구는 2000년대 초에 이르러 몇몇 의류 업체 및 전자 업체 또는 통신업체들이 협업을 통해 생체 신호 모니터링 기능의 시스템을 의류형태로 구현하는 것을 기점으로 본격화되고 있다(Chae J.M. et al., 2009).

신체 상태 센싱 기능 스마트 의류는 이탈리아의 Wealthy project, EU 연합의 Mobihealth 등 유럽 국가적 차원에서의 지원을 통해 활발히 연구, 개발되어오고 있다. 또한, 글로벌 스포츠 제품 브랜드인 Adidas와 Nike를 중심으로 생체 신호 측정, 분석 및 피드백을 통해 건강관리를 지원하는 의류 시스템이 상용화되고 있는 등 생체 신호 측정 스마트 의류의 개발이 가속화되고 있다.



Figure 1. Mycoach (adidas:left) and Wealthy project (Italy:right)

이러한 생체 신호 센싱 기능을 갖는 스마트 의류는 여가 생활의 증가 및 건강에 대한 관심의 증가에 따라 지속가능한 생체 신호 측정 기능을 갖는 시스템으로 그 수요가 높아지고 있다.

이에 따라 스마트 의류에 대한 시장은 연평균 19%의 높은 성장세를 보이고 있으며, 본 기술을 개발한다면 고속 성장하는 스마트웨어 시장을 고부가가치 제품으로 공략하는 것이 가능하며 이를 통해 조기 시장 선점이 가능할 것으로 기대된다( pHealth, 2006).

## 2.2. 호흡 측정 시스템

호흡은 인체의 기본적인 생체 신호 중 하나로 지속적인 관찰과 이상 징후 발생 시 신속한 응급 치료가 요구되는 주요한 지표이다.

최근에는 지속적이고 무자각적인 호흡측정 방법에 대한 관심이 증가하면서, 흉곽의 용적 변화와 연계되는 흉벽의 운동역학을 측정하기 위한 전기적 임피던스, 초음파 및 적외선 등을 이용하여 변화를 감지, 호흡의 활성도를 관찰하는 등(Cho H.K., 2007), 다음과 같은 다양한 연구개발이 이루어지고 있다. Chalcogenide 적외선 광섬유를 이용하여 호흡 운동에 의해 발생한 이산화탄소 유무에 따른 적외선 변화를 측정하는 시스템 등의 적외선을 이용한 호흡 측정 시스템(Yoo W.J. et al., 2007)과 전도성 고무를 이용하여 엘라스틱 스트립 타입으로 구성된 호흡센서를 개발한 바가 있으며, 전도성 실을 이용하여 섬유 센서를 구성, 호흡을 측정하는 센서를 개발하는(P.J. Fadel et al., 2004; M. Pacelli et al., 2006) 등 비침습적, 무자각적 호흡 측정 시스템이 지속적으로 개발되어 오고 있다.

최근 국내에서도 PVDF를 이용, 압전 폴리머 양쪽에 얇은 판 형태의 금속을 부착하여 센서로 사용하며, 바깥쪽에는 실리콘을 부착하여 벨트 형태로 구현한 형태도 개발(Kim J.D. et al., 2010)하는 등 착용형 호

흡센서에 대한 다양한 시스템이 연구, 개발되고 있다 (Fig. 2).



Figure 2. Smart clothing system for measurement of ECG and respiration(eong-Do Kim, et. al., 2010)

## 3. 연구 방법

### 3.1. 연구 설계

인체의 움직임에 의한 영향을 최소화 하면서 비침습적이고 지속적인 호흡 측정 기능을 갖는 스마트 의류 개발을 위한 기초 연구는 다음과 같은 연구 설계를 통해 진행하였다(Fig. 3). 호흡 측정 센서 및 생체 신호 측정 최근 동향을 고찰, 이를 기반으로 압력 소재 센서의 소재 및 레이어를 설계하여 압력 센서의 기초 디자인을 개발, 제시하였다. 개발된 압력 센서의 정확성 평가를 위해 실증적 평가를 기반으로 호흡 측정수와 호흡 측정율을 분석하였으며, 의류 내 호흡 측정 압력 센서의 적합 위치 도출을 위한 주관적 감성 평가를 진행하였다. 최종적으로 호흡 측정 기능을 갖는 스마트 의류의 기초 디자인을 제시하였다.

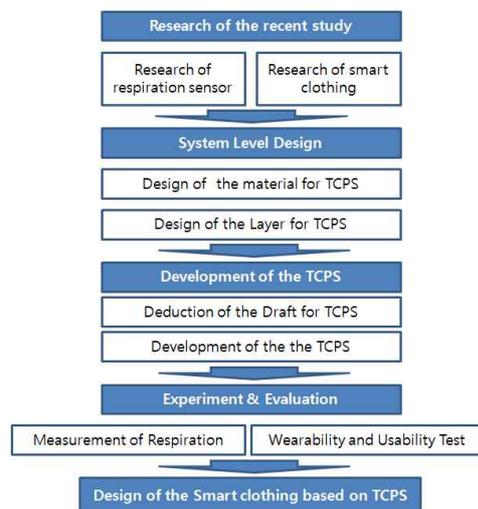


Figure 3. Research Method

### 3.2. 전기용량성 섬유 압력 센서 설계

#### 3.2.1. 소재의 선정

본 소재의 선정은 호흡 측정 섬유 센서의 적용 가능성 및 의류 적용에 적합성을 고려하여, 전도성 섬유들 중 신도, 파열강도, 밀도 등 섬유의 기본 특성을 비교, 선택하였다.

그 결과, 국내에서 생산되고 있는 아진 일렉트론社의 전도성 소재 중 니켈-구리-니켈로 구성된 W-290-PCN을 적용하였다.

W-290-PCN의 기본 특성은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristic of conductivity fabric

ITEM		
Base Material		Polyester
Density	warp	188 ± 5
	weft	92 ± 5
Weight(g/m <sup>2</sup> )		81 ± 5
Thickness		0.1 ± 0.01
Elongation(%)	warp	27.6 ± 10
	weft	36.8 ± 10
Breaking strength(N)	warp	671.3 ± 10
	weft	392 ± 10
Surface resistance (Ω/sq)	MAX	50
	MIN	0.005
	EVER.	less than 0.05

출처 : 아진 일렉트론

또한, 전기 용량성 섬유 압력센서 구성 시 전도성 섬유 간 접촉을 막기 위한 비 전도성 섬유로는 폴리에스터 심지를 선택, 구성하였다.

#### 3.2.2. 센서의 설계

본 연구에서 제안한 벨트 타입의 호흡측정 센서는 호흡시 인체의 체표면이 변화하면서 센서에 가해지는 압력을 전기적 신호로 변환하는 압전의 원리를 이용하여 전도성 섬유기반의 전기용량성 섬유 압력 센서(Textile Capacitive Pressure Sensor, TCPS)로 개발되었다.

본 센서는 캐패시턴스의 원리를 적용하기 위해 2개

층의 전도성 섬유와 3개층의 비전도성 섬유로 구성하여, 전도성 섬유는 캐패시터 양극판의 역할을 하도록 구성하였다. 또한, 벨트 타입의 끝단에 고무밴드를 적용하여 센서 착용시 인체의 밀착이 가능하게 함과 동시에 다양한 인체 사이즈에 적합하도록 구성하였다.

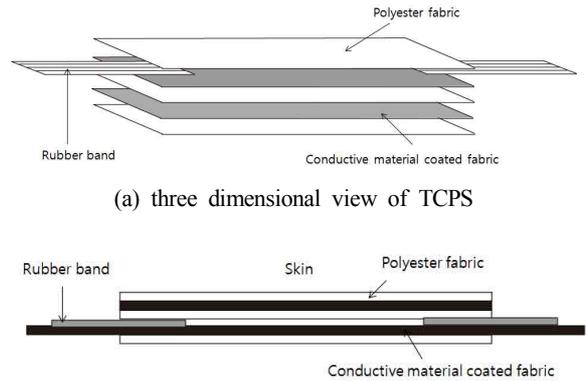


Figure 4. Layer design of the TCPS

본 연구에서의 실험을 위해 전도성 섬유의 한 층을 밖으로 노출되도록 센서를 제작, 끝단에 스냅 버튼을 이용하여 측정 기기와 연결이 가능하도록 하였다. 길이는 830 및 780mm 두 사이즈로 구성하였으며, 각각 넓이 38.6mm, 두께 1.35mm 로 구성, 제작하였다.

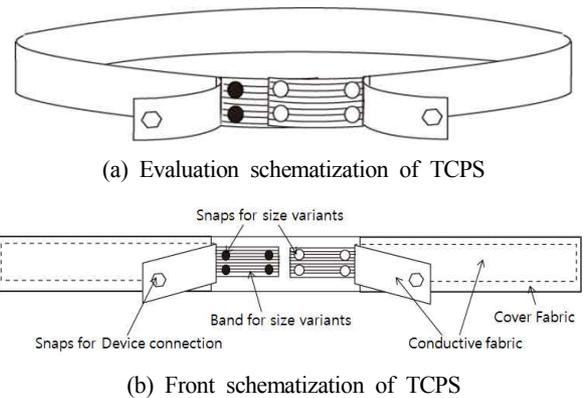
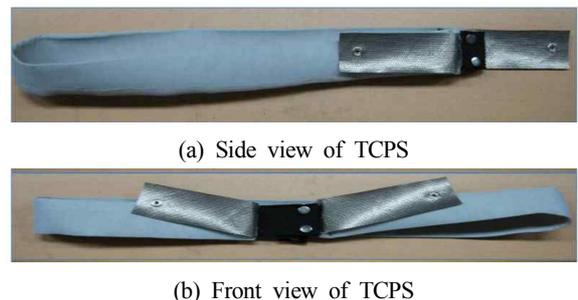


Figure 5. Design of Band type TCPS





(c) Ground view of TCPS

Figure 6. TCPS for measurement of respiration (Se-dong Min et. al., 2009)

### 3.3. 실험 방법

본 연구에서는 전도성 섬유 기반 압력센서를 설계, 제작하고, 호흡측정의 정확성, 최적 위치 및 주관적 감성평가를 실시하여 호흡측정 스마트 의류의 기초 모형을 제시하였다.

#### 3.3.1. 호흡측정센서의 실증적 평가 방법

##### 1) 평가 방법

본 연구에서의 TCPS의 실증적 평가를 위하여 24세에서 36세의 평균체형을 가진 5명의 피험자를 선정, 각 피험자의 키, 가슴둘레, 흡기시 가슴둘레, 호기시 가슴둘레를 측정하였으며 이를 Table 2에 제시하였다.

Table 2. Measured Data of subjects

Subject	Age	Gen	Ht (cm)	WC (cm)	IC (cm)	EC (cm)
1	26	M	174	93	86	80
2	36	M	173	82	83	78
3	29	M	178	84	88	81
4	26	M	178	78	79	77
5	30	M	172	82	81	85

\* Gen : Gender, Ht : Height, WC : Waist Circumstance  
IC : Inspiration Circumstance EC : Expiration Circumstance

실험 진행 순서는 실험 전 본 연구에서 개발된 호흡측정센서를 가슴 아래 부분에 착용, 트레드밀 위에서 정자세를 취한 후 1km/h의 속도로 걸으면서 180초간 호흡을 측정(3번 반복측정), 5km/h의 속도로 180초간 호흡을 측정(3번 반복측정)하여 그 결과를 분석하였다(Fig. 7).

개발된 센서의 정확도를 비교하기 위해 호흡 측정의 표준 방식인 Nasal Thermocouple 센서(TSD202A, Biopac, USA)를 피험자의 코 아랫부분에 부착하여 측정하였다.

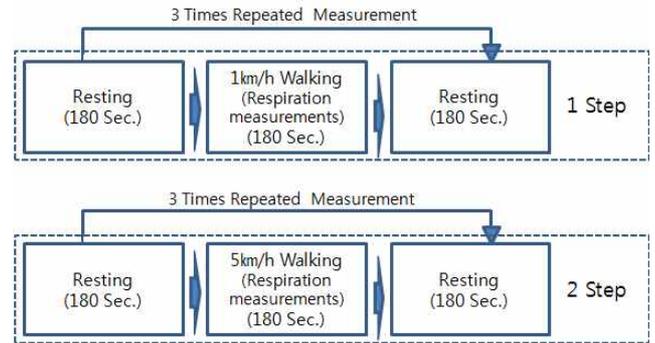


Figure 7. Experimental protocol

##### 2) 분석 방법

본 연구에서 개발된 전도성 섬유 기반 압력센서는 MP150(Biopac,U.S.A.)을 통해 측정되었으며, Acqknowledge 3.8.1(Biopac, U.S.A.) 및 Matlab 7.3(The MathWorks, Inc., MA, U.S.A.)를 통해 저장, 분석되었다. 측정을 위한 회로부에는 커패시턴스 변화에 따른 전류변화를 전압변화로 변환하는 Auto Balancing Bridge회로부(Kazunari Okada & Toshimasa Sekino, 2003), 교류신호를 직류신호로 변환하는 High Impedance precision Rectifier(Robert F. Coughlin & Frederick F. Driscoll, 2001)를 적용하였으며, 2nd Butterworth Low Pass Filter를 설계, 적용하였다(Min S.D. et al., 2009). 호흡 요인의 측정은 TCPS로 측정된 호흡의 수를 카운팅 하였으며, 호흡율은 흡기에서 호기로의 변곡점은 필터링 된 신호를 기반으로 영점교차기법을 적용, 검출하였다. 변곡점은 호흡의 한주기를 의미하며, 이 간격으로부터 호흡율을 유도하였으며, 호흡율의 정확성은 Nasal로부터 측정된 호흡율과 비교를 통해 검증하였다(Min S.D. et al., 2009). TCPS로부터 측정된 호흡율의 정확도를 평가하기 위하여 Nasal Thermocouple 센서로부터 측정된 호흡율과의 상관관계 분석을 위해 SPSS 18.0을 사용하였다.

#### 3.3.2. 호흡측정센서의 사용성 및 착용성 평가

##### 1) 평가 문항 구성

본 연구에서 개발된 TCPS의 사용성 및 착용성 평가를 위해 선행연구들을 고찰하여 평가 문항을 추출, 본 연구에 적합한 문항으로 구성하였다. 평가 문항은 총 5요인으로 인지적 변화, 착용성, 운동성, 관리의 용

이성, 유용성으로 구성하였다(Yang E.S. et al., 2003; Park S.H. et al., 2005). 평가 요인 및 요인에 대한 구체적인 설명은 다음과 같다.

Table 3. Factor composition for usability and wearability test

Factor	Illustration of the Factors
Cognitive Change	I feel awkward wearing the clothing, due to the sensor.
Wearability	I feel uncomfortable to wear the sensor.
Activity	This sensor affects my activity or moving.
Facility of maintenance	This sensor is easy to management and laundry.
Usefulness	This sensor will be a useful tool for me.

또한, 스마트 의류내의 호흡 측정 센서 적합 위치 도출을 위하여 가슴-배 부위를 3구역으로 나누어 각 부위마다 센서를 착용, 주관적 착용성 평가를 통해 의류 내 적합 위치를 도출하였다.

2) 평가 및 분석 방법

호흡측정센서의 주관적 감성 평가를 위해 센서 착용 직후 1차 사용성 및 착용성 평가를 실시하였으며, 트레드밀에서의 호흡 측정 실험을 마친 후 즉시, 사용성 및 착용성 평가 항목에 대한 2차 평가를 실시하였다. 또한, 3 부위에 각각 호흡 측정 센서를 착용하고 각 부위별 착용감에 대하여 평가 하였다. 각 평가 요인에 대한 평가는 5점 척도로 평가되었으며, 분석은 엑셀을 이용하여 평균값 분석을 통해 제시하였다.

4. 결과

4.1. TCPS의 실증적 평가

본 연구에서의 TCPS의 센서로의 효용성을 측정하기 위해, 각 피험자의 호흡수 및 호흡율을 측정하였다. 그 결과, 5명의 피험자 모두에게서 TCPS와 Nasal Thermocouple과의 호흡수를 비교하였을 때, 두 센서 모두 같은 호흡수 측정된 것으로 평가되어 본 연구에서 개발된 TCPS의 정확성을 입증할 수 있었다.

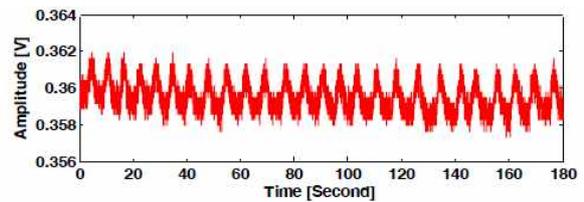
또한, TCPS와 Nasal Thermocouple에서 측정된 호흡

을 비교한 결과 두 센서에서 측정된 호흡율의 상관계수는  $r=0.9553$  ( $p < 0.0001$ )로 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다.

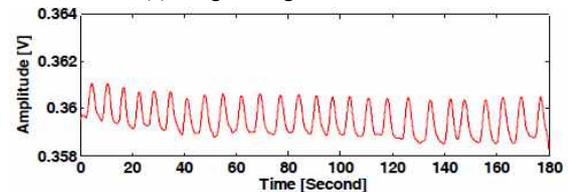
Table 4. Comparison of the respiration signal from Nasal Thermistor and TCPS

No.	Respiration Number(N)		Respiration Rate(%)	
	TCPS	Nasal Thermistor	TCPS	Nasal Thermistor
1	27.0	27.0	6.515	6.503
2	24.0	24.0	7.022	7.025
3	49.0	49.0	3.586	3.584
4	34.0	34.0	5.015	5.013
5	47.0	47.0	3.798	3.799

다음 Fig 8. 은 피험자들의 호흡 신호를 측정, 필터링 후 결과를 보여준다. 본 실험에서는 호흡대역의 주파수(0.1~0.5 Hz)이외의 고주파 잡음을 제외하기 위해 이동평균필터(Moving average filtering)을 사용하여 노이즈를 제거 하였다. 그 결과, 파형 및 호흡 신호가 필터링 이전에 비해 노이즈가 제거된 호흡 신호의 파형을 볼 수 있으며(Fig. 8), 이는 본 연구에서 개발한 TCPS가 스마트 의류에 적용 및 호흡 측정 신호 측정에 적합성이 있는 것으로 사료된다.



(a) Original signal from TCPS



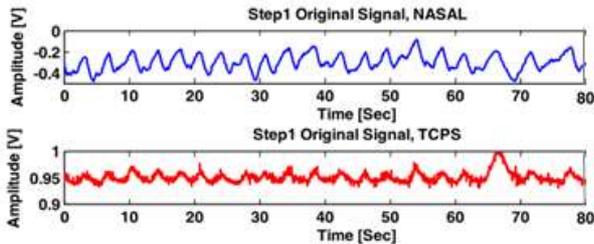
(b) TCPS signal after moving average filtering

Figure 8. Measured signal of Respiration by TCPS

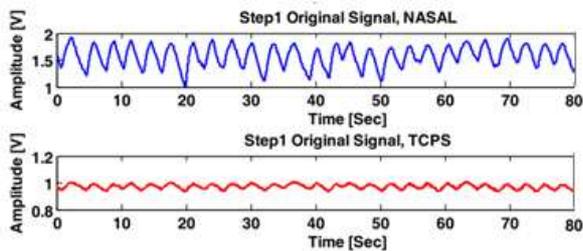
Fig. 9 (a)는 속도 1km/h, Fig. 9 (b)는 속도 5km/h 에서의 Nasal로부터 측정된 호흡 신호와 섬유기반 TCPS로부터 측정된 호흡 신호의 파형을 보여준다.

두 센서로부터의 호흡측정 결과를 비교하였을 때,

모든 피험자에서 Nasal 측정 신호와 TCPS 측정 신호가 같은 호흡수 및 양상을 보여 TCPS가 호흡 측정의 정확성 및 효용성을 갖는 센서로의 적용 가능성을 입증하였다.



(a) Original signals from Nasal and TCPS(1km/h)



(b) Original signals from Nasal and TCPS(5km/h)

Figure 9. Measured Signals of respiration from Subject 5

### 4.2. 부위별 신호의 효용성 평가

섬유기반 호흡측정센서의 의복 내 적합위치를 도출하기 위해, 가슴-배 부위를 3구역으로 나누어 각 부위에 본 연구에서 개발한 TCPS를 착용하고 신호정확성 및 착용성 평가를 실시하였다.

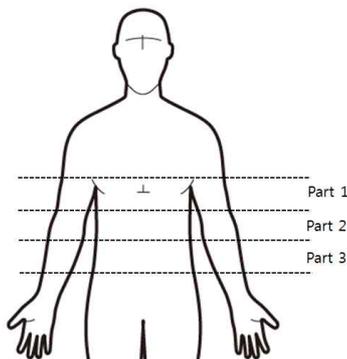


Figure 10. Design for Applied section test of TCPS

Table 5. Result of signal quality test for sensor location

	Min.	Max.	P-P
Part 1	0.1142	0.1205	0.0043
Part 2	0.1153	0.1219	0.0066
Part 3	0.1151	0.1214	0.0068

각 센서 위치에서의 신호 정확성 및 효용성을 평가하기 위해, Nasal로 측정된 신호와 각 부위에서의 TCPS를 통해 측정된 호흡신호를 비교 한 결과 모든 부위에서 100% 일치하는 호흡수를 보여 각 부위에서의 신호 정확성을 갖는 것으로 나타났다. 세 부위 중 신호의 효용성을 갖는 부위를 도출하기 위해, TCPS의 최소값, 최대값을 비교한 결과 세 부위에서의 유의한 차이를 보이지 않았으나, 신호의 품질평가를 위해 P-P(Peak-to-Peak, 신호의 크기)값을 비교, 분석한 결과, 가슴 부위인 부위 1보다 복부에 위치한 부위 2, 3에서의 P-P의 신호 크기가 더 큰 것으로 나타났다(Table 5). 그러나, 부위 2와 부위 3의 신호의 P-P값에 있어서는 유의한 차이를 보이지 않아 두 부위에서 모두 호흡 측정의 적합 위치로 분석되었다.

### 4.3. TCPS의 사용성 및 착용성 평가

TCPS의 사용성 및 착용성 평가 결과는 다음 Table 6. 에서 보는 바와 같다.

Table 6. Result of usability test

Factors	Ever. of the 1st Evaluation (Usability and Wearability )	Ever. of the 2nd Evaluation (Usability and Wearability)
Cognitive Change	2.5	3.7
Wearability	3.0	3.8
Activity	3.2	3.7
Facility of maintenance	4.2	4.2
Usefulness	3.9	4.0

착용성 및 인지적 변화는 착용 직후에는 약간의 불편한 감성을 갖는 것으로 평가되었으나, 실험 이후 2차 평가에서는 거의 거의 불편함을 거의 느끼지 못하는 것으로 평가되었다. 이는 초기의 불편함 또는 인지

적 느낌이 착용이 지속되면서 익숙해져 나타난 현상으로 분석된다. 착용성의 경우 고무 밴드로 인해 다양한 사이즈에 적용이 가능토록 구성되어, 피험자 모두 편안함을 갖는 것으로 평가되었다.

운동성의 경우 실험 전 1차 평가에서는 운동 시 불편할 것이라고 평가되었으나, 실험 후 2차 평가에서는 실제 트레이드 밀 평가 시, 운동에 대한 제한성이 거의 없는 것으로 느껴 2차 평가 결과에서 운동성에 대한 만족도가 높아진 것으로 설명될 수 있다. 관리의 용이성은 1차, 2차 평가 결과에 차이 없이 관리 및 세탁이 편리할 것이라는 평가로 본 연구에서 개발된 TCPS가 섬유기반으로 제작되어 세탁, 보관 등이 가능하도록 구성되어 있음을 입증 할 수 있었다. 마지막으로, TCPS는 유용성 측면에서도 높은 평가 점수를 보여 웰빙 및 건강관리에 대한 관심이 높아짐에 따라 의류 내 활용 및 지속적 신호 측정에 적합한 센서의 구조를 갖는 것으로 평가되었다.

Table 7. Result of quality test for sensor location

	Part 1	Part 2	Part 3
Subject 1	3.5	2.9	3.9
Subject 2	3.2	3.1	3.9
Subject 3	3.3	3.2	4.2
Subject 4	3.1	2.8	4.1
Subject 5	3.4	3.1	4.2
<b>Everage</b>	<b>3.30</b>	<b>3.02</b>	<b>4.06</b>
<b>SD.</b>	<b>0.141</b>	<b>0.146</b>	<b>0.135</b>

센서 위치 측정 적합 위치는 Table 7과 같이 가슴 부위에 가까운 부위 1(3.30), 가슴과 복부 중간에 위치한 부위 2(3.02)에서는 평균 보통 정도의 착용감을 갖는 것으로 나타났으며, 복부에 위치한 부위 3에서 모든 피험자에 있어 가장 높은 착용감을 나타냈다.

부위 3에서는 평균적으로 만족한다 지수(4.06)의 값을 보여 측정된 세 부위 중 가장 좋은 착용감을 나타내어 의류 내 센서 부착 적합 위치로 분석되었다. 이 위치는 부위별 신호의 품질평가에서도 신호의 질이 좋은 위치로, 신호 및 주관적 평가의 결과를 종합하였을 때, 가장 적합한 호흡센서의 적용 위치로 평가될 수 있다.

#### 4.4. 호흡 측정 기능의 스마트 의류 디자인

본 연구에서는 앞서 섬유 기반 전기전도성 압력센서를 개발하여 실증적 연구를 통해 입증된 결과 및 주관적 감성 평가의 결과를 종합하여 다음과 같은 스마트 의류 디자인을 제시하였다.

본 제시 디자인은 호흡 측정 기능의 스마트 의류 기본 디자인을 제시하기 위해 95사이즈, 민소매 티셔츠 형태로 디자인하였다.

호흡 측정 센서는 실증적 평가 결과 정확성을 입증받아 센서의 구성 및 디자인은 그대로 적용하여, 밴드의 형태로 사이즈 조절이 가능하면서 인체에 잘 맞도록 고무 밴드를 넣어 디자인하였다.

사용성 및 착용성 평가 결과에 따라 호흡측정 센서의 위치는 복부 부위에 부착되도록 설계 하였다. 또한 선행연구의 결과(Cho H.K, 2007; Gemperle et al., 1998)에 따라 기기는 왼쪽 옆구리 부위에 치우쳐 위치하도록 구성하여 다음과 같이 기본 디자인을 제시하였다.

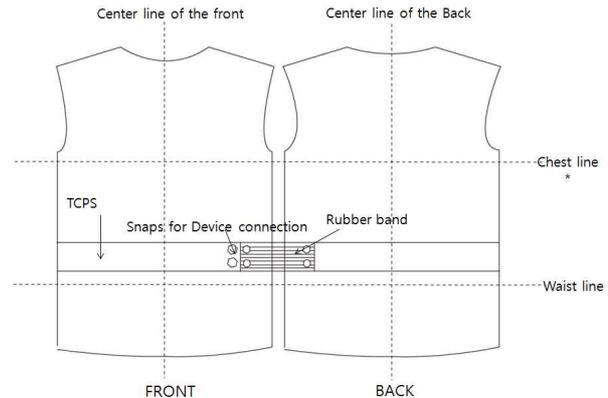


Figure 11. Measured signal of Respiration

### 5. 논의

최근 고령화 인구의 증가와 건강에 대한 관심의 증가로 인해 무구속적이고 지속적인 생체 신호 측정 시스템에 관한 관심이 높아지면서 착용형 호흡센서에 대한 다양한 시스템이 연구, 개발되어오고 있다.

이에 본 연구에서는 생체 신호 측정 스마트 의류개발을 위해 밴드 형태의 섬유 기반 호흡 측정 센서를 개발, 평가 하였다. 본 연구에서 개발된 센서는 압전의 원리를 이용하여 호흡 시 인체의 체표면이 변화하면서 센서에 가해지는 압력을 전도성 섬유기반의 전

기용량성 압력 센서(Textile Capacitive Pressure Sensor, TCPS)로 디자인되었다.

TCPS의 평가를 위해 호흡측정, 의류 적합성 및 적합 위치에 대한 평가를 실시하였다. 그 결과, 호흡 측정은 일반적으로 사용되고 있는 Nasal 센서와 95% 이상의 정확성을 보였으며, 사용성 및 착용성 평가 결과 또한, 인지적 변화, 착용성, 운동성, 관리의 용이성 및 유용성에서 높은 점수를 보였다. TCPS의 의류 내 위치를 판단하기 위한 평가에서는 복부 부위에 위치하는 것이 가장 착용성 및 안정성을 갖는 것으로 평가되었다. 이는 호흡신호의 정확성 및 유효성 평가결과와 비교하였을 때에도 일치하는 결과로 나타났으며, 이 결과들을 토대로 토대로 호흡 측정 기능의 스마트 의류 기초 디자인을 제안하였다.

본 연구는 호흡 측정 센서를 전도성 섬유 기반 전 기용량성 압력 센서를 개발하고 실증적 연구 및 사용성 및 착용성 평가를 통해 기초 센서의 성능 및 의류 적합성을 평가하고, 의류 적용시 적합 위치를 도출 하는 소비자 수요를 통해 스마트 의류의 기초 디자인을 제시하였다는 점에서 의의를 갖는다.

추후 다양한 연령층과 성별에서의 평가 및 연구가 이루어져야 할 것이며, 섬유센서 구성에 있어 비전도층의 적용 섬유에 따른 유전율의 변화 등을 연구하여 센서 구성에 적용하는 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- Chae J.M., Cho H.S., & Lee J.H.(2009). A Study on Consumer Acceptance toward the Commercialized Smart Clothing, *Journal of Korea Society for Emotion & Sensibility*, 12(2), pp.181-192.
- Cho H.K., Kim J.S., & Lee J.H. (2010). A Study of Directions for Development of Smart Clothing Based on the Consumer's Lifestyle, *Journal of Korean Society for Emotion & Sensibility*, 13(1), pp.11-20.
- F.Axisa, C. Gehin, G. DELHOMME, C.Collet, O. Robin., & A. Dittmar. (2004). 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, San Francisco, CA, USA.
- Gemperle, F., C. Kasabach, Stivorie, J., M. Bauer., & Martin, R. (1998). Design for wearability, *Digest of Papers Fourth International Symposium of Wearable Computer, LosAlamitos, California:IEEE*.
- Kazunari Okada. & Toshimasa Sekino. (2003). *Impedances measurement handbook, Agilent Technologies, Dec*.
- Kim J.D., Ki K.J., m, Chung G.S., Lee J.W., Ahn J.H., & Lee S.G. (2010). The Mobile Health-Care Garment System for Measurement of Cardiorespiratory Signal, *Korea Information Processing Society A, Korea 17-A(3)*, pp.145-152.
- M. Pacelli, L. Caldani., & R.Parad. (2006). Textile Piezoresistive Sensors for Biomechanical Variables Monitoring, *Proceedings of the 28th IEEE, EMBS Annual International Conference, New York City, USA, Aug 30- Sept 3*.
- Min S.D., Yun Y.H., Lee C.K., Shin H.S., Cho H.K., Hwang S.C., & Lee M.H. (2009). Respiration Measurement System using Textile Capacitive Pressure Sensor, *Trans. KIEE*. 59(1), pp.58-93.
- P. J. Fadel, S. M. Barman, S. W. Phillips., & G. L. Gebber. (2004). Fractal fluctuation in human respiration, *Journal of Applied Physiology*, vol. 97, pp.2056-2064.
- Park S.H., Woo S.J., Lee Y.S., Choi E.J., Kim H.J., & Lee J.H. (2005). A Development of Design Prototype of Smart Battle Jacket for the Future Soldier System-Part 1, *Journal of Korean Society for Emotion & Sensibility*, 8(3), pp.277-290.
- Park S.M. & Sundaresan Jayaraman. (2003). Enhancing the quality of life through wearable technology, *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE*.
- Robert F. Coughlin. & Frederick F. Driscoll. (2001). *Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits*, 6th Edition, Prentice Hall.
- Yang E.S., Cho H.Y., & Lee J.H. (2003). A Development of a Design Prototype of Wearable Computer For a Daily Life-based Application, *Proceeding of the Annual Conference of the Korea Society for Emotion & Sensibility*, pp.141-147.

Yoo W.J., Cho D.H., Jang K.W., Oh J.E., Lee B.S., & Tack G.R. (2007). Feasibility study on the development of respiration sensor using a chalcogenide optical fiber, *Journal of the Korean Sensor Society*, 16(5), pp.331-336.

pHealth (2006), The business of wearable electronics

[http://nikerunning.nike.com/nikeos/p/nikeplus/ko\\_KR](http://nikerunning.nike.com/nikeos/p/nikeplus/ko_KR)

<http://www.adidas.com/kr/miCoach/#Start/sdf/mdf>

[http://www.ajinelectron.co.kr/product/sub03\\_06.htm](http://www.ajinelectron.co.kr/product/sub03_06.htm)

원고접수: 2011.12.29

수정접수: 2012.10.26

게재확정: 2012.11.05