

표면적 변화에 기반한 입체적 웨어러블 호흡수 센서의 가능성 탐색

A Study on the Possibility of Three-dimensional Wearable Respiration Rate Sensor based on Surface Area Changes

이승표* · 반현성* · 이주현**
Seungpyo Lee* · Hyunsung Ban* · Joohyeon Lee**

*연세대학교 의류환경학과
*Department of Clothing & Textiles, Yonsei University

Abstract

This study suggests the sensing method of the Three-dimensional respiration rate sensor based on surface area changes, and exploring the design direction of the three-dimensional breathing sensor and the design orientation of the garment. To achieve this, two types of three-dimensional respiration rate sensor were produced, and the study of the dummy and the subjects studied. The study I investigated the possibility of measurement of the three-dimensional respiration sensor by the study variables of the sensor type and speed of respiration. The study II proposes a suitable type of sensor for each of the three measuring positions in addition to the study variables in the study I. To evaluate accuracy, reproducibility, and reliability of the three-dimensional respiration rate sensor, the BIOPAC was used to measure the respiration rate simultaneously with the three-dimensional respiration rate sensor. Through all these results of the experiment, it explored the possibility of measurement of the three-dimensional respiration sensor for the dummy. It also proposed a suitable type of sensor by measuring the respiration rate for the human body.

Key words: Three-dimensional Structure, Respiration Rate Sensing, Fabric Sensor, Sensing Accuracy, Sensing Reproducibility, Sensing Reliability

요약

본 연구에서는 센서의 표면적 변화에 따른 입체적 호흡수 센서의 센싱 방식을 제안하고, 직물 기반의 입체적 호흡수 센서의 성능 평가 및 의복에 적용할 수 있는 디자인 방향성을 탐색하고자 한다. 이를 위해 입체적 구조의 차이에 따라 2가지 유형의 입체적 호흡수 센서를 제작하고 더미와 인체 대상으로 연구를 실시하였다. 연구 I 은 더미 대상 실험으로 센서의 유형 및 호흡 속도의 연구변인에 의해 입체적 호흡수 센서의 측정 가능성을 탐색하였다. 연구 II 는 7명의 20대 남성을 대상 실험으로 연구 I 의 연구변인 이외에 3개의 측정 위치별 적합한 유형의 센서를 제안하였다. 입체적 호흡수 센서의 정확도, 재현성, 신뢰도를 평가하기 위해, 의료기기 분야의 대표적 웨어러블 호흡수 센서인

※ 이 논문은 2018년도 BK21플러스 사업(연세대학교 의류환경학과)에 의하여 지원되었음.

† 교신저자 : 이주현 (연세대학교 의류환경학과)

E-mail : ljhyeon@yonsei.ac.kr

TEL : 02-2123-3108

FAX : 02-312-8554

BIOPAC을 사용하여 입체적 호흡수 센서와 동시에 호흡수를 측정하였다. 이상의 연구 결과를 통해 더미 대상으로 입체적 호흡수 센서의 측정 가능성을 탐색하였으며, 인체 대상으로 호흡수를 측정하여 측정 위치별 적합한 유형의 센서를 제안하였다.

주제어: 입체 구조, 호흡수 센싱, 직물 센서, 센싱 정확도, 센싱 재현성, 센싱 신뢰도

1. 서론

최근 황사와 미세먼지 같은 대기오염물질로 인해 호흡기 질환 환자가 급증하고 있으며, 그로인한 호흡 모니터링의 중요성이 커지고 있다(Cho & Min, 2012). 호흡 모니터링은 인체의 건강 상태를 확인하는 중요한 지표로서, 환자의 진료 또는 응급상황 시 호흡을 통한 심장 이상, 교감신경, 부교감신경의 활동을 분석할 수 있다. 최근에는 웨어러블 호흡 모니터링 기기가 개발되어 유아의 질식사 예방, 호흡기 질환 환자 모니터링, 독거노인의 고독사 예방, 운동효과 모니터링 등 다양한 분야에서 활용이 가능하다(Min et al., 2010).

현재까지 저항 변화 기반의 호흡수 측정 방법은 센서의 길이 변화를 통해 저항값을 측정하는 방식의 센서 개발이 진행되어 왔다. 그러나 센서의 접촉 표면적 변화를 통해 저항값을 측정하는 방식의 센서 개발에 대한 연구는 미비한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 센서의 표면적 변화에 따른 호흡수 센싱 방식을 제안하고, 의복에 적용할 수 있는 직물 기반의 입체적 호흡수 센서의 성능 평가 및 디자인 방향성을 탐색하고자 한다.

2. 선행연구 고찰

호흡의 측정 항목은 호흡량, 폐활량, 폐혈류, 흉강 내압, 기도 저항, 호흡수 등이 있으며, 본 연구에서는 호흡 측정 항목을 호흡수로 한정하였다(Hoshimiya, 2004). 호흡수 측정 기능의 웨어러블 호흡 모니터링 기기는 호흡 시 발생하는 흉부와 복부의 체적 변화를 통해 측정이 가능하며, 최근 의복 형태의 개발이 진행되고 있다. 현재 개발된 웨어러블 호흡 모니터링 기기의 측정 원리는 유도용량형, 스트레인게이지형, 정전용량

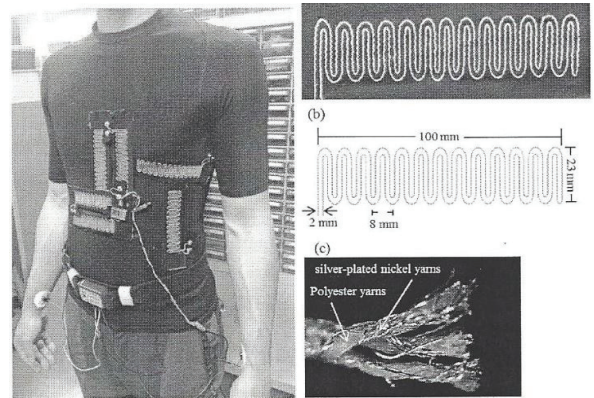


Fig. 1. Inductive capacity textile sensor (Yang, 2015)

형, 압전형 등이 있으며 선행 연구는 다음과 같다.

Yang(2015)은 은사를 직물에 자수하여 유도용량형 직물 센서를 제작하였으며, 심장활동과 호흡의 측정 가능성을 검증하였다. 또한 최상의 측정 위치를 도출하고 유도용량형 직물 센서를 적용한 의복 디자인을 제시하였다.

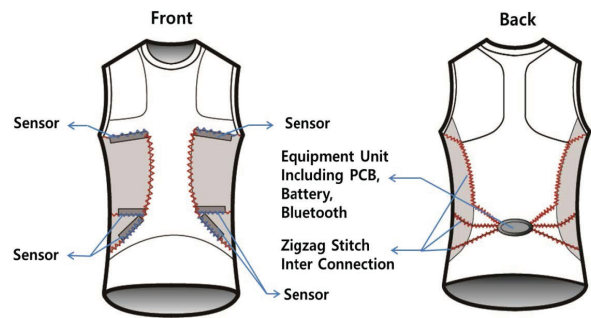


Fig. 2. Strain gauge textile respiration sensor (Kim, 2015)

Kim(2015)은 투명전도성산화물과 MWCNT (Multi wall carbon nanotube)로 코팅된 스트레인게이지형 직물 호흡 센서를 개발하고 측정 가능성을 탐색하였다. 또한 모션캡처를 통한 인체 동작 분석 및 센서의 위치별 신호 민감도를 측정하여 측정 적합 위치를 선정하였으며, 이를 적용한 의복 디자인 방향을 제시하였다.

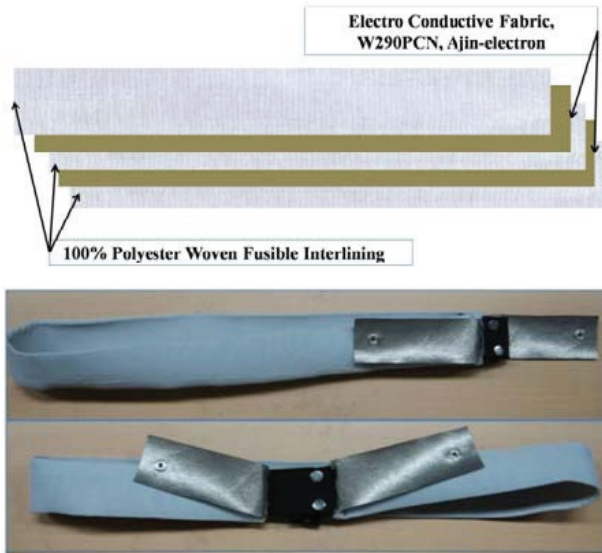


Fig. 3. Capacity fabric pressure sensor (Min et al., 2010)

Min et al.(2010)은 정전용량형 섬유 압력 센서를 개발하고 측정 가능성을 탐색하였다. 정전용량성 섬유 압력 센서와 유량계를 함께 착용하고 호흡을 측정하여 측정값 간의 상관관계를 분석하였다. 분석 결과 0.96 ($p < 0.0001$)의 유의한 상관계수를 나타내었으며, 평균 호흡률은 0.001의 오차가 발생하였다. 또한 Cho & Min (2012)은 정전용량형 섬유 압력 센서의 측정 위치에 따라 신호 정확성 및 착용성을 평가하고, 센서의 측정 적합 위치 선정 및 이를 적용한 의복 디자인을 방향을 제시하였다.

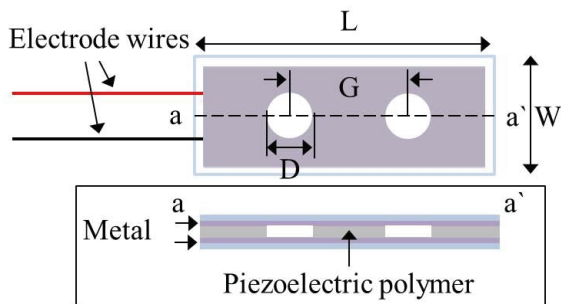


Fig. 4. Structure of PVDF film sensor (Son et al., 2013)

Son et al.(2013)은 압전성 고분자 물질인 PVDF (Polyvinylidene fluoride) 필름을 이용한 압전형 호흡수 센서의 구조를 제안하고, 호흡 신호 발생 시뮬레이터를 사용하여 압전형 호흡수 센서의 측정 가능성을 탐색하였다.

3. 연구 방법

본 연구에서는 기존의 센서 길이 변화에 따른 전기적 저항 변화로 호흡을 측정하는 스트레인지지형의 호흡 측정 방식에서 벗어나, 센서의 표면적 변화에 따라 전기적 저항 변화로 호흡을 측정하는 웨어러블 호흡 측정 방식을 제안하였다. 제작한 호흡수 센서의 성능을 평가하기 위해 입체적 구조의 차이에 따라 2가지 유형의 입체적 호흡수 센서를 제작하고 더미와 인체 대상으로 연구를 실시하였다.

3.1. 직물 호흡 센서의 고안 및 측정 위치

센서의 표면적 변화에 따라 전기적 저항이 달라지는 원리에 근거하여 다음과 같은 입체적 구조의 호흡수 센서를 개발하였다. 입체적 호흡수 센서는 입체부와 평면부로 구성되어 있다. 입체부는 플라스틱 소재로 제작된 입체 충전체를 직물로 감싼 형태이며, 센서의 입체부와 평면부의 재료로는 니켈 MPF(Metal Plated Fabric)와 SWCNT(Single Wall Carbon Nano-Tube)로 코팅된 직물을 사용하였다. 니켈 MPF와 SWCNT 직물의 저항값을 5회 반복 측정하여 평균값과 표준편차값을 산출하였다(Table 1).

Table 1. Resistance values of MPF and SWCNT

	MPF	SWCNT
Average	10.4 k Ω ·m	227 Ω ·m
SD	0.55	1.38

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Fig. 5. Law of resistance

입체적 호흡수 센서의 측정 원리는 Fig. 5와 같다. R은 전기저항(Ω), ρ 은 전도성 직물의 저항률(Ω ·m), L은 직물 전극의 길이(m), S는 표면적(m^2)을 의미한다. 직물 호흡 센서는 호흡 시 발생하는 흥부와 복부의 체적 변화를 입체적 호흡수 센서의 입체부와 평면부 간의 표면적(S) 변화를 통해 호흡 측정이 가능하다.

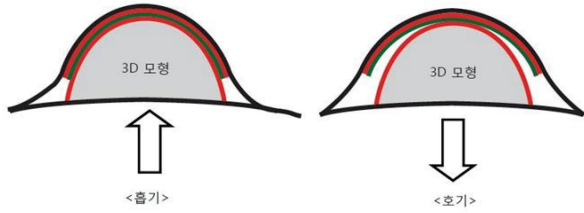


Fig. 6. Surface area change of three-dimensional respiration rate sensor during respiration

Fig. 6은 호흡 시 입체적 호흡수 센서의 표면적 변화를 보여준다. 흡기 시 흉강의 체적이 증가하여 체표면은 입체부 센서를 밀어내어 평면부 센서와 맞닿는 표면적이 증가한다. 반대로 호기 시 흉강의 체적이 감소하면 입체부 센서와 평면부 센서가 맞닿는 표면적은 감소하게 된다.

입체적 호흡수 센서의 유형은 입체적 구조의 차이에 따라 2가지 유형(Type 1, Type 2)으로 분류하였다. 2가지 센서의 높이는 동일, 입체적 곡면의 곡률에 차이가 있으며, 곡률의 차이를 위해 밑면의 면적을 다르게 제작하였다. 이러한 입체적 구조의 차이로 인해 센서의 입체부와 평면부가 맞닿는 표면적 변화 정도가 다를 것으로 예측되었다.

Table 2는 제작한 호흡 센서의 입체부 면저항을 측정한 결과값이다. 측정 방법은 입체부의 좌우 끝부분에 저항측정기를 연결하여 5회 반복 측정하였다.

Table 2. Surface resistance of Type 1 and Type 2

	Type 1	Type 2
Average	11.14 Ω/sq	4.38 Ω/sq
SD	0.42	0.19

Table 3. Characteristics of the subjects

	Gender	Age	Height (cm)	Mass (kg)	Chest Circumference (cm)	Upper Abdomen Circumference (cm)
Subject 1	male	29	173	79	100	91
Subject 2	male	25	171	67	94	83
Subject 3	male	29	173	72	95	83
Subject 4	male	29	185	76	95	85
Subject 5	male	26	178	67	94	81
Subject 6	male	28	172	69	95	83
Subject 7	male	29	170	65	92	80
Average	male	27.9	174.6	70.7	95	83.7

3.2. 실험 설계

본 연구에서는 호흡 속도를 느린 호흡(10회/분), 보통 호흡(20회/분), 빠른 호흡(30회/분)으로 분류하고, 입체적 호흡수 센서의 정확도, 재현성, 신뢰도를 분석하였다. 호흡 프로토콜은 느린 호흡, 보통 호흡, 빠른 호흡 순서로, 각 호흡 속도별 5회씩 반복 측정하였다.

호흡은 메트로놈 소리에 맞추어 흡기와 호기를 실시하였으며, 각 호흡 속도 사이에는 7초의 휴식 및 호흡 중지 시간을 두었다.

호흡수는 호흡 속도별 호흡한 시간을 측정하고, 1분 동안의 호흡수로 환산하여 분석에 활용하였다.

3.3. 피험자

본 연구의 측정 대상은 건강한 20대 남성 7명을 대상으로 진행하였다. 피험자의 평균 나이는 27.9세, 평균 키는 174.6cm, 평균 몸무게는 70.7kg, 평균 가슴둘레는 95cm, 평균 상복부둘레는 83.7cm이며, 피험자별 세부 내용은 Table 3과 같다.

4. 결과 및 논의

입체적 호흡수 센서의 정확도, 재현성, 신뢰도를 평가하기 위해, 의료기기 분야의 대표적 웨어러블 호흡수 센서인 BIOPAC을 사용하여 입체적 호흡수 센서와 동시에 호흡수를 측정하였다.

입체적 호흡수 센서의 정확도는 BIOPAC 호흡수와의 일치도 분석과 통제된 실제 호흡수와의 일치도 분석을 통해 평가하였다.

입체적 호흡수 센서의 재현성은 반복 측정된 호흡수에 따른 표준편차와 BIOPAC의 호흡수 표준편차를 비교하여 평가하였다.

입체적 호흡수 센서의 신뢰도는 연속적인 전압 변화량과 BIOPAC의 연속적인 전압 변화량 간의 Pearson 상관관계분석(양측검증 방식)을 실시하여 산출한 상관계수를 통해 평가하였다.



Fig. 7. Structure of dummy

4.1. 연구 I

연구 I에서는 입체적 호흡수 센서의 측정 가능성을 탐색하기 위해 사이즈코리아에서 2015년에 발표한 대한민국 표준 20-24세 남성 기준 배꼽수준허리둘레(82.3cm)를 기반으로 인체 상복부 모형을 제작하였다. 더미의 앞면에는 개폐부를 설치하여 호흡 시 발생하는 체적의 변화를 구현하였다(Fig. 7). 개폐부가 닫힌 상태의 더미 둘레는 82.3cm, 개폐부가 열린 상태의 더미 둘레는 84.3cm로 통제하였다.

BIOPAC과의 일치도를 통한 입체적 호흡수 센서의 정확도 분석을 위해, 세 번의 Set에서 각 5회씩 반복 측정된 입체적 호흡수 센서의 유형(Type 1, Type 2)에 따른 호흡수와 BIOPAC의 호흡수간의 일치도를 산출하였다(Table 4). 입체적 호흡수 센서의 높은 정확도 기준은 BIOPAC과의 일치도가 99% 이상인 경우로 선정하였다.

Table 4에 제시된 바와 같이, 느린 호흡에서는 2가지

유형(Type 1, Type 2) 모두가, 보통 호흡에서는 Type 1 센서가, 빠른 호흡에서는 Type 2 센서가 높은 정확도를 지니는 것으로 관찰되었다. 그러므로 2가지 유형의 입체적 호흡수 센서는 느린 호흡 속도에서 높은 정확도를 지니는 것으로 관찰되었다.

실제 호흡수와의 일치도를 통한 입체적 호흡수 센서의 정확도 분석을 위해, 세 번의 Set에서 각 5회씩 반복 측정된 입체적 호흡수 센서의 유형(Type 1, Type 2)에 따른 호흡수와 더미를 사용하여 개폐한 횟수인 실제 호흡수의 일치도를 산출하였다(Table 5). 입체적 호흡수 센서의 높은 정확도 기준은 센서의 유형(Type 1, Type 2) 중 실제 호흡수와의 일치도가 높은 값으로 선정하였다.

Table 5에 제시된 바와 같이, 모든 호흡 속도(느린 호흡, 보통 호흡, 빠른 호흡)에서 Type 1 센서가 Type 2 센서보다 실제 호흡수와 일치도가 높은 것으로 관찰되었다. 또한 Type 1 센서와 Type 2 센서 모두 빠른 호흡, 보통 호흡, 느린 호흡 순서로 일치도가 높게 관찰되었다.

Table 4. Sensing accuracy by speed of respiration according to the type of three-dimensional respiration rate sensor: conformity degree with BIOPAC (Study I)

Sensor type	Slow speed of respiration		Normal speed of respiration		Fast speed of respiration	
	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2
Set 1	99.789	99.512	99.445	98.684	99.342	98.643
Set 2	99.497	99.835	98.145	99.159	97.341	99.478
Set 3	99.852	99.973	99.798	98.896	98.497	99.069
Average	99.713	99.773	99.129	98.913	98.393	99.063

unit: %

Table 5. Sensing accuracy by speed of respiration according to the type of three-dimensional respiration rate sensor: conformity degree with actual respiration rate (Study I)

Sensor type	Slow speed of respiration		Normal speed of respiration		Fast speed of respiration	
	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2
Set 1	91.558	91.667	93.826	92.443	97.355	95.605
Set 2	91.920	91.575	95.229	92.661	98.277	97.248
Set 3	92.073	91.583	94.171	92.533	98.235	94.458
Average	91.850	91.609	94.409	92.546	97.956	95.771

unit: %

표준편차 비교를 통한 입체적 호흡수 센서의 재현성 분석을 위해, 세 번의 Set에서 각 5회씩 반복 측정된 입체적 호흡수 센서의 유형(Type 1, Type 2)에 따른 호흡수 표준편차와 BIOPAC의 호흡수 표준편차를 비교하였다(Table 6). 높은 재현성의 기준은 BIOPAC과의 비교를 통해 호흡수 표준편차가 작은 값으로 선정하였다.

Table 6에 제시된 바와 같이, 모든 호흡 속도(느린 호흡, 보통 호흡, 빠른 호흡)에서 스트레인지지형 센서인 BIOPAC이 표면적 변화에 기반한 입체적 호흡수 센서의 2가지 유형보다 높은 재현성을 지니는 것으로

관찰되었다. 또한 입체적 호흡수 센서의 2가지 유형과 BIOPAC 모두 호흡 속도가 빨라질수록 표준편차가 커지는 것으로 관찰되었다.

상관계수 비교를 통한 입체적 호흡수 센서의 신뢰도 분석을 위해, 입체적 호흡수 센서의 연속적인 전압 변화량과 BIOPAC의 연속적인 전압 변화량 간의 Pearson 상관관계분석(양측검증 방식)을 실시하여 상관계수를 산출하였다(Table 7). 입체적 호흡수 센서의 높은 신뢰도 기준은 0.900**(**. $p < .01$) 이상의 상관계수로 선정하였다.

Table 6. Sensing reproducibility by speed of respiration according to the type of three-dimensional respiration rate sensor: Comparison of standard deviation with BIOPAC (Study I)

Sensor type	Slow speed of respiration				Normal speed of respiration				Fast speed of respiration			
	BIOPAC	Type 1	BIOPAC	Type 2	BIOPAC	Type 1	BIOPAC	Type 2	BIOPAC	Type 1	BIOPAC	Type 2
Set 1	0.070	0.062	0.022	0.054	0.101	0.266	0.142	0.266	0.528	0.869	0.711	0.965
Set 2	0.049	0.096	0.034	0.030	0.122	0.192	0.122	0.198	0.636	0.544	0.215	0.444
Set 3	0.030	0.048	0.047	0.098	0.097	0.143	0.082	0.181	0.449	0.508	0.421	0.588
Average	0.050	0.069	0.034	0.061	0.107	0.200	0.115	0.215	0.538	0.640	0.449	0.666

Table 7. Sensing reliability by speed of respiration according to the type of three-dimensional respiration rate sensor: Comparison of correlation coefficient with BIOPAC (Study I)

Sensor type	Slow speed of respiration		Normal speed of respiration		Fast speed of respiration	
	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2
Set 1	0.934**	0.959**	0.949**	0.964**	0.937**	0.965**
Set 2	0.916**	0.943**	0.858**	0.961**	0.832**	0.952**
Set 3	0.947**	0.914**	0.870**	0.967**	0.833**	0.963**

** . $p < .01$

Table 7에 제시된 바와 같이, 느린 호흡에서는 2가지 유형(Type 1, Type 2) 모두가, 보통 호흡에서는 Type 2 센서가, 빠른 호흡에서는 Type 2 센서가 높은 신뢰도를 지니는 것으로 관찰되었다. 그러므로 입체적 호흡수 센서의 2가지 유형 중 Type 2 센서가 모든 호흡 속도 및 모든 Set에서 높은 신뢰도를 지니는 것으로 관찰되었다.

4.2. 연구 II

연구 II에서는 입체적 호흡수 센서의 인체 대상 측정 가능성을 탐색하기 위해 7명의 20대 남성을 대상으로 측정 위치별 호흡수를 측정하였다. 연구 II의 연구변인에는 연구 I의 연구변인인 입체적 호흡수 센서의 유형(Type 1, Type 2), 호흡 속도(느린 호흡, 보통 호흡, 빠른 호흡) 이외에 선행 연구를 기반으로 3개의 측정 위치(가슴 중앙, 상복부 중앙, 상복부 측면)를 선정하였다(Cho & Min, 2012; Gunnesson & Olsén, 2011; Kim, 2015; Ragnarsdóttir & Kristinsdóttir, 2005; Yang, 2015).

BIOPAC과의 일치도를 통한 입체적 호흡수 센서의 정확도 분석을 위해, 세 곳의 측정 위치(가슴 중앙, 상복

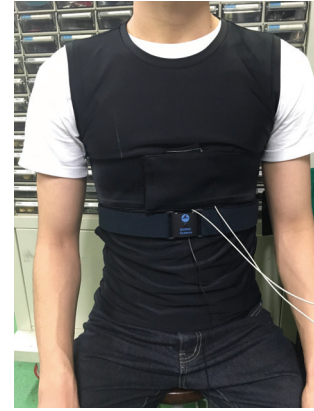


Fig. 8. Measurement of respiration rate to subjects

부 중앙, 상복부 측면)에서 각 3회(7명 평균)씩 반복 측정한 입체적 호흡수 센서의 유형(Type 1, Type 2)에 따른 호흡수와 BIOPAC의 호흡수간의 일치도를 산출하였다(Table 8). 입체적 호흡수 센서의 높은 정확도 기준은 BIOPAC과의 일치도가 99% 이상인 경우로 선정하였다.

Table 8에 제시된 바와 같이, 느린 호흡에서는 Type 1 센서와 가슴 중앙 위치, Type 1 센서와 상복부 중앙 위치, Type 1 센서와 상복부 측면 위치, Type 2 센서와 가슴 중앙 위치가 조합된 경우, 보통 호흡에서는 Type

Table 8. Sensing accuracy by speed of respiration according to the type of three-dimensional respiration rate sensor: conformity degree with BIOPAC (Study II)

Measurement position	Slow speed of respiration		Normal speed of respiration		Fast speed of respiration	
	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2
Chest center	99.722	99.451	99.249	98.780	97.830	98.485
Upper abdomen center	99.320	97.901	98.868	97.823	99.391	97.244
Upper abdomen side	99.277	98.783	98.996	97.244	99.072	96.170

unit: %

Table 9. Sensing accuracy by speed of respiration according to the type of three-dimensional respiration rate sensor: conformity degree with actual respiration rate (Study II)

Measurement position	Slow speed of respiration		Normal speed of respiration		Fast speed of respiration	
	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2
Chest center	92.439	93.554	94.989	97.224	97.289	99.920
Upper abdomen center	93.782	94.038	97.064	97.404	98.853	99.893
Upper abdomen side	93.379	93.301	96.558	97.073	99.645	98.853

unit: %

1 센서와 가슴 중앙 위치가 조합된 경우, 빠른 호흡에서는 Type 1 센서와 상복부 중앙 위치, Type 1 센서와 상복부 측면 위치가 조합된 경우 높은 정확도를 지니는 것으로 관찰되었다.

실제 호흡수와의 일치도를 통한 입체적 호흡수 센서의 정확도 분석을 위해, 세 곳의 측정 위치(가슴 중앙, 상복부 중앙, 상복부 측면)에서 각 3회(7명 평균)씩 반복 측정된 입체적 호흡수 센서의 유형(Type 1, Type 2)에 따른 호흡수와 통제된 실제 호흡수의 일치도를 산출하였다(Table 9). 입체적 호흡수 센서의 높은 정확도 기준은 센서의 유형(Type 1, Type 2) 중 실제 호흡수와의 일치도가 높은 값으로 선정하였다.

Table 9에 제시된 바와 같이, 느린 호흡에서는 Type 2 센서와 가슴 중앙 위치, Type 2 센서와 상복부 중앙 위치, Type 1 센서와 상복부 측면 위치가 조합된 경우, 보통 호흡에서는 Type 2 센서와 가슴 중앙 위치, Type 2 센서와 상복부 중앙 위치, Type 2 센서와 상복부 측면 위치가 조합된 경우, 빠른 호흡에서는 Type 2 센서와 가슴 중앙 위치, Type 2 센서와 상복부 중앙 위치, Type 1 센서와 상복부 측면 위치가 조합된 경우

높은 정확도를 지니는 것으로 관찰되었다. 그러므로 Type 2 센서와 가슴 중앙 위치, Type 2 센서와 상복부 중앙 위치가 조합된 경우 모든 호흡 속도에서 높은 정확도를 지니는 것으로 관찰되었다.

표준편차 비교를 통한 입체적 호흡수 센서의 재현성 분석을 위해, 세 곳의 측정 위치(가슴 중앙, 상복부 중앙, 상복부 측면)에서 각 3회(7명 평균)씩 반복 측정된 입체적 호흡수 센서의 유형(Type 1, Type 2)에 따른 호흡수 표준편차와 BIOPAC의 호흡수 표준편차를 비교하였다(Table 10). 높은 재현성의 기준은 BIOPAC과의 비교를 통해 호흡수 표준편차가 작은 값으로 선정하였다.

Table 10에 제시된 바와 같이, 느린 호흡에서는 Type 1 센서와 가슴 중앙 위치, Type 2 센서와 가슴 중앙 위치가 조합된 경우, 보통 호흡에서는 Type 2 센서와 상복부 측면 위치가 조합된 경우, 빠른 호흡에서는 Type 1 센서와 가슴 중앙 위치, Type 1 센서와 상복부 측면 위치, Type 2 센서와 가슴 중앙 위치, Type 2 센서와 상복부 중앙 위치가 조합된 경우 높은 재현성을 지니는 것으로 관찰되었다.

Table 10. Sensing reproducibility by speed of respiration according to the type of three-dimensional respiration rate sensor: Comparison of standard deviation with BIOPAC (Study II)

Measurement position	Slow speed of respiration				Normal speed of respiration				Fast speed of respiration			
	BIOPAC	Type 1	BIOPAC	Type 2	BIOPAC	Type 1	BIOPAC	Type 2	BIOPAC	Type 1	BIOPAC	Type 2
Chest center	0.018	0.010	0.047	0.015	0.148	0.189	0.023	0.061	0.170	0.168	0.270	0.085
Upper abdomen center	0.032	0.056	0.014	0.025	0.117	0.149	0.027	0.070	0.292	0.479	0.159	0.106
Upper abdomen side	0.018	0.034	0.012	0.041	0.058	0.143	0.097	0.067	0.288	0.280	0.222	0.248

Table 11. Sensing reliability by speed of respiration according to the type of three-dimensional respiration rate sensor: Comparison of correlation coefficient with BIOPAC (Study II)

Measurement position	Slow speed of respiration		Normal speed of respiration		Fast speed of respiration	
	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2
Chest center	0.832**	0.868**	0.945**	0.929**	0.910**	0.915**
Upper abdomen center	0.808**	0.864**	0.904**	0.922**	0.906**	0.924**
Upper abdomen side	0.928**	0.878**	0.961**	0.904**	0.938**	0.916**

** . p < .01

상관계수 비교를 통한 입체적 호흡수 센서의 신뢰도 분석을 위해, 입체적 호흡수 센서의 연속적인 전압 변화량과 BIOPAC의 연속적인 전압 변화량 간의 Pearson 상관관계분석(양측검증 방식)을 실시하여 상관계수를 산출하였다(Table 11). 입체적 호흡수 센서의 높은 신뢰도 기준은 $0.900^{**} (**p<.01)$ 이상의 상관계수로 선정하였다.

Table 11에 제시된 바와 같이, 느린 호흡에서는 Type 1 센서와 상복부 측면 위치가 조합된 경우, 보통 호흡에서는 2가지 유형(Type 1, Type 2)과 모든 측정 위치가 조합된 경우, 빠른 호흡에서는 2가지 유형(Type 1, Type 2)과 모든 측정 위치가 조합된 경우 높은 신뢰도를 지니는 것으로 관찰되었다. 그러므로 Type 1 센서와 상복부 측면 위치가 조합된 경우 모든 호흡 속도에서 높은 신뢰도를 지니는 것으로 관찰되었다.

5. 결론

이상의 연구 결과를 통해 더미 대상으로 입체적 호흡수 센서의 측정 가능성을 탐색하였으며, 인체 대상으로 호흡수를 측정하여 측정 위치별 적합한 유형의 센서를 제안하였다. 본 연구는 기존의 센서의 길이 변화를 통한 전기적 저항 변화를 측정하는 웨어러블 호흡수 센싱 방식에서 벗어나, 센서의 표면적 변화를 통한 전기적 저항 변화를 측정하는 웨어러블 호흡수 센싱 방식을 제안하고 의복에 적용 가능한 웨어러블 호흡수 센서의 디자인 방향을 제시하는데 의의가 있다.

Type 1 센서는 상복부 측면 위치와 조합되었을 때 느린 호흡 속도와 빠른 호흡 속도에서 높은 정확도와 재현성을 나타내며, 모든 호흡 속도에서 높은 신뢰도를 나타내었다. 그러므로 무호흡이나 과호흡과 같은 응급 상황 시에 호흡수를 측정할 수 있는 적합성을 갖춘 것으로 해석된다. 따라서 Type 1 센서는 일상복이나 환자복의 상복부 측면 위치에 적용하는 것이 적합할 것으로 예상할 수 있다.

Type 2 센서는 상복부 중앙 위치와 조합되었을 때 모든 호흡 속도에서 높은 정확도를 나타내며, 느린 호

흡과 빠른 호흡에서 높은 재현성을, 보통 호흡과 빠른 호흡에서 높은 신뢰도를 나타내었다. 그러므로 운동(러닝, 요가, 필라테스 등) 시에 호흡수를 측정할 수 있는 적합성을 갖춘 것으로 해석된다. 따라서 Type 2 센서는 스포츠 웨어의 상복부 중앙 위치에 적용하는 것이 적합할 것으로 예상할 수 있다.

REFERENCES

- Cho, H. K., & Min, S. D. (2012). A study of the basic design for smart clothing based on measurement of the respiration. *Science of Emotion & Sensibility*, 15(4), 415-424.
- Gunnesson, I. L., & Olsén, M. F. (2011). Validity in measuring breathing movements with the respiratory movement measuring instrument, RMMI. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 31(1), 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-097x.2010.00970.x>
- Hoshimiya N. (2004). *Basic of Biomedical Equipment Technology*. Seoul, Korea: Yangseogak.
- Kim, S. H. (2015). *A design of the smart clothing for respiration monitoring using the conductive fabrics coated with the non-metal materials*. Unpublished doctoral dissertation, Yonsei University.
- Min, S. D., Yun, Y. H., Lee, C. K., Shin, H. S., Cho, H. K., Hwang, S. C., & Lee, M. H. (2010). Respiration measurement system using textile capacitive pressure sensor. *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers P*, 59(1), 58-63.
- Ragnarsdóttir, M., & Kristinsdóttir, E. K. (2005). Breathing movements and breathing patterns among healthy men and women 20–69 years of age. *Respiration*, 73(1), 48-54. DOI: <https://doi.org/10.1159/000087456>
- Son, G. S., Han, S. H., Cha, B. J., Maeng, J. H., Shin, H. J., Woo, D. H., Jang, J. S., & Lee, S. Y. (2013). Firefighter's respiration rate monitoring using

piezoelectric polyvinylidene fluoride(PVDF) film.
The Korean Society of Mechanical Engineers,
2481-2484.

Yang, E. K. (2015). *Inductive textile sensor for simultaneous measurement of respiration and heart activity signals applied to clothing*. Unpublished doctoral dissertation, Yonsei University.

원고접수: 2017.07.19

수정접수: 2018.01.10

게재확정: 2018.02.06