

심전도 측정을 위한 밀착 의복 연구 -패턴 축소 및 주관적 평가를 중심으로-

정연희 · 양영모*[†]

군산대학교 의류학과/군산대학교 기초과학연구소, *울지대학교 응급의학과

Development of Tight-fitting Upper Clothing for Measuring ECG -A Focus on Weft Reduction Rate and Subjective Assessment-

Yeonhee Jeong · YoungMo Yang*[†]

Dept. of Clothing & Textiles, Kunsan National University/
Institute of Basic Science, Kunsan National University

*Dept. of Emergency Medicine, Eulji University

접수일(2012년 8월 23일), 수정일(2012년 10월 2일), 게재확정일(2012년 10월 30일)

Abstract

This study develops tight-fitting upper clothing to measure electrocardiography (ECG) data. Taking into consideration the elasticity of the clothing, we made 4 experimental clothes by applying to each a weft reduction rate of 40%, 50%, 60%, and 70%. The 4 experimental clothes were used to measure resting ECG, exercise ECG, and post-exercise ECG for 4 men in their 20s. We compared clothing pressures using sensors on the human body and on a dressform. Subjective wear sensations of the 4 experimental clothes were evaluated using a subjective 7-point scale (with 7 being most excellent). We measured clothing pressures by using the air type pressure (AMI 3037-2) for upper and lower chest sensors in the developed tight-fitting upper clothing. The lower chest sensor showed that the clothing pressure on a human body and dressform changed consistently as the weft reduction rate decreased. The upper chest sensor showed inconsistent changes in clothing pressure as the weft reduction rate decreased. The wearing-test result for preliminary subjects showed that the lower chest sensor was more stable than the upper chest sensor; therefore, we inserted the sensor at the lower chest position before performing ECG. Except for Subject 4, the resting ECGs were stably measured for 3 subjects (Subject 1, Subject 2, and Subject 3) in all the developed clothes (A clothing, B clothing, C clothing, and D clothing). However, D clothing showed stable ECG values after exercise. The results of the experiment showed that we could measure ECG without difficulty using clothes with a weft reduction rate of 40% when the movement was not intense; however, tight-fitting upper clothing with a weft reduction rate of 70% was necessary to measure exercise ECG and post-exercise ECG values.

Key words: Tight-fitting upper clothing, ECG, Weft reduction rate, Clothing pressure, Subjective wear test; 밀착 상의, 심전도, 가로 축소율, 의복압, 주관적 착의평가

I. 서 론

[†]Corresponding author
E-mail: emdyang@eulji.ac.kr

웹빙 트렌드와 IT 산업의 발달은 실시간 생체신호 감지 모니터링이 가능한 기능성 융합(fusion technology)

‘생체신호 감지용 의류 제품’ 개발에 대한 필요성을 급증시키고 있다. 이는 주 5일제에 의한 레저인구의 증가와 건강에 대한 관심증가 및 노인인구의 급증 등과 같은 새로운 의생활 환경의 변화와 그 맥을 같이 하고 있다. 특히 레저인구의 증가는 전세계적인 추세로 다양한 스포츠 산업 발달을 추동하고 있으며, 그 중 익스트림 스포츠는 최근 급격히 증가하는 추세이다. 익스트림 스포츠는 크게 육상 스포츠류(사이클, 마라톤, 인라인스케이팅, 모터사이클, 카레이싱, 스키, 스노우보드)와 고공 스포츠류(스카이다이빙, 스카이서핑, 해양 스포츠류(스쿠버다이빙, 제트스키), 특수 스포츠류(야마카시, BMX[bicycle stunt riding], 산악자전거, 스포츠 클라이밍, 하프보드) 등이 있으며, 이러한 스포츠는 속도 및 상황에 의해 잠재적 사고 위험이 커 응급 상황에 신속한 대처가 가능한 생체신호 감지 의류의 필요성을 크게 대두시키고 있다. 한편, 한국의 노령화(Korea National Statistics Office, 2006) 속도는 전 세계적으로 유래를 볼 수 없을 정도로 상승세가 높아 향후 노인의 건강 및 다양한 노인 활동인구에 대한 건강관리가 사회적 문제로 대두될 것으로 예측되고 있으며, 노인성 만성질환자의 관리 및 노인 재택환자의 지속적 관리를 위한 휴대용 헬스케어(portable health care) 제품의 수요(Kim, 2009)가 증가할 것으로 전망되고 있다. 이러한 사회 환경의 변화는 일상생활에서 요구되는 의류 성능, 즉 착용성(wearability), 기능성(functionability), 내구성(durability), 보존성(maintainability), 편리성(usability in field) 등이 그대로 유지되는 생체정보 측정용 기능 의류의 요구를 강제하고 있다. 국내외의 ‘생체신호 감지용 의류 제품’의 개발사례를 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 국외에서 상용화된 ‘생체신호 감지용 의류 제품’들을 살펴보면(Coyle et al., 2007), TextronicsTM은 NuMetrex 브랜드에서 심박수를 측정할 수 있는 의류를 2005년 4월에 출시하였으며, Hassonjee and Armitage(2007)는 2007년 2월에 심전도, 근전도, 호흡 등을 모니터링 할 수 있는 심전도 측정 셔츠(Cadio-shirts)를 출시하였다고 보고하였다. Numetrex의 ECG shirts는 니트(knit)로 제작되었으며, 전도성 실을 이용한 편직이 수행되어 별도의 봉제가 이루어지지 않아 인체와 의복의 접촉면이 매우 자연스러운 장점이 있으며, 니트 직물의 특성인 인체를 자연스럽게 커버하고 자연스런 압박을 주는 특성을 갖도록 구성되었다. Adidas사는 Polar Electro와 협력하여 전도성 직물 전극을 셔츠 내에 삽입하여 심박수를 측정할 수 있는 제품을 전 세계 상설 매장에 내놓았으며, Adidas-Polar는 다양한 직물 센서를 개

발하였는데, 초기의 비탄성 전도성 직물 센서에서 나아가 전도성 탄성사를 이용한 탄성 센서를 제작한 후, 이를 탄성 의복에 접착하여 센서로 활용하고 있다. 이러한 방법은 탄성 직물에 센서를 접착(welding)하여 국소 부위의 탄성력을 축소하고, 인체에 의복이 착용되었을 때, 의복압이 자연스럽게 증가되도록 하였다. 아디다스사와 폴라는 스트립형, 패치형, 의복형 등 다양한 스타일의 심전도 측정 용품을 개발하여 소비자의 사용의도 및 사용 상황에 따라 다양한 심전도 측정이 가능한 제품을 판매하고 있다. 이 외 국외의 생체신호 감지를 위한 연구를 살펴보면, Linz et al.(2008)은 자수형(embroidery) 전도성 센싱 방법을 체계화하여 동작 분석(Motion Capture system)과 개인 모니터링 시스템(Personal Monitoring system)에 대한 연구를 수행하고 있으며, Rienzo et al.(2006)은 무중력 비행 상태 및 고산 지대 주거자에게 조끼형의 바이오 셔츠를 착용시켜 외부 상황에 따른 생체정보 획득 기술을 개발하고, 나아가 군사용 및 의료용 생체신호 감지 의복 개발에 박차를 가하고 있다.

<Fig. 1>은 스카이 다이빙 시 고속낙하 상태의 피험자들이 어떠한 심전도(ECG)를 보이는지 측정된 것으로, 의복 착용자의 다양한 심전도 변화를 보여주고 있다. 한

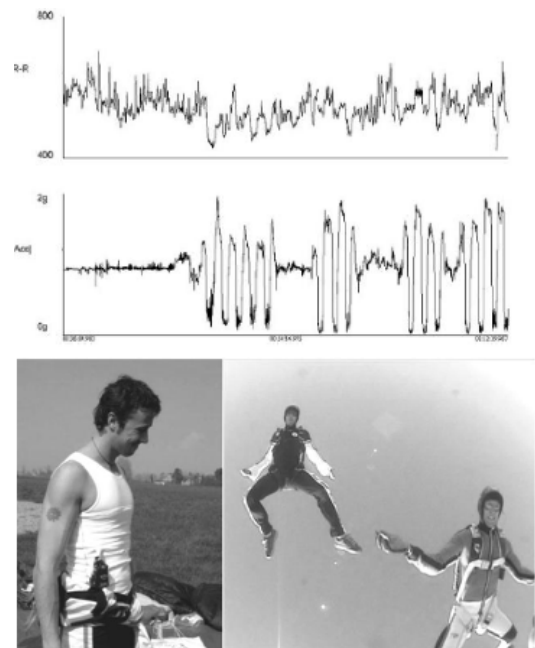


Fig. 1. Magic shirts and ECG data in an aerial acrobatics situation. From Rienzo et al. (2006). p. 2223, 2225.

편, 국내의 연구를 살펴보면, Kim et al.(2010)은 심전도와 호흡 측정이 가능한 모바일 헬스케어 의류 시스템 연구에서 심전도와 호흡을 측정하기 위해 의복 내에 세계의 나노웹 센서(nanoweb sensor)를 부착하여 생체정보가 체크되도록 모바일 헬스케어 의류를 개발하였다. 이 연구는 센서와 데이터 전송처리 시스템 등 비교적 상용화 이전까지의 연구개발을 수행하였으나 의복 자체의 착용성(wearability)과 밀착성(fitting), 동작 잡음(motion artifact)에 대한 내용은 그 주요 연구주제가 아님으로 간과된 측면이 없지 않았다. Cho et al.(2010)은 생체신호 측정을 위한 기능성 의류의 디자인 연구에서 기존의 생체측정 의복 연구가 인체의 움직임에 고려하지 않고 수행된 측면을 지적하고, 착용자의 독립성과 활동성을 유지하면서 동작 잡음의 문제를 해결하고자 동작에 의한 진동의 위치 이동을 최소화하고 동작 잡음을 감소시킬 수 있는 최적의 생체신호 센싱 스마트 의류의 디자인 모형을 제시하였다. 이 연구에서는 의복 제작을 탄성 소재(폴리우레탄 8%)로 하였는데 충분한 압박, 즉 센서와 인체와의 밀착효과를 증강하고자 고무 밴드를 십자 절개선 부위에 보강하여 사용하였으나, 안정적인 생체정보를 측정하는데 있어 인체와 센서와의 안정적 밀착력이 중요함을 지적하였으나 이를 체계적으로 연구하는데 한계가 있었다. Cho et al.(2007)은 의복 소재의 신축성에 따라 심전도 신호 검출 성능과 착용 성능을 평가하고 직물 기반 심전도 의복을 위한 최적 범위를 제안하였다. 스판텍스 함유율이 0%, 5%, 8% 동일 때, 즉 소재의 신축성에 따라 착용자의 착의 만족감, 동작 용이성, 전반적 쾌적감 등을 평가하였는데, 주관적 평가에서는 스판텍스 5% 소재가 착용성이 우수하였으며, 심전도 신호 검출 측면에서는 8%의 소재가 우수하다고 보고하였다. Jeong et al. (2009)은 20대 남성의 체표면 분석을 통해 심전도 검출이 가능한 일체형 의복을 설계하고 제작된 시제품의 착의평가를 수행하였는데, 동작 시 직물 센서가 닿는 가슴 부위의 변화가 크게 나타난다고 보고하였으며, 가슴 벨트를 부착하여 국소 의복압 증강과 국소 근육 지지를 수행하여 운동 후 쾌적감을 상승시켰다고 보고하였다. 이 외에도 정보처리 융급상황 감지를 위한 e-Health 시스템 구현에 관한 연구(Shin et al., 2004)와 생체신호 측정용 스마트 의복 연구(Lee, 2006; Moon et al., 2007; Park et al., 2007) 등이 수행되었으나 실제 상용화의 단계에는 이르지 못하고 있는 실정이다. Jeong et al. (2010)은 휴대용 심전도 기기를 이용하여 직물 전극형 밀착 의복 개

발에서 피험자 1인에게 24시간 동안 휴대용 심전도기를 부착하여 심전도를 측정하였을 때 심전도 측정이 정상시 안정적으로 이루어졌으며, 착용감도 우수하다고 보고하였으나 동작 시에는 심전도 측정이 어려웠다고 보고하였다. 그러나 피험자가 성인 남성 1인에 의해 수행되어 밀착 의복에 대한 착의평가에 한계가 있었으며, 밀착성에 대한 구체적인 평가가 수행되지 못하였다. 이에 본 연구에서는 체계적인 의복 개발을 위해 의복을 단계별로 축소함과 아울러 다수의 피험자에게 정자세와 동작 시, 동작 후 회복 시의 심전도를 측정하고, 축소율이 다양한 의복에 대한 착의평가를 수행하여 심전도 측정이 유리한 최적 패턴 축소율을 알아보고자 하였다.

이에 본 연구의 세부 목적은 다음과 같다.

첫째, 선행연구에서 제안된 생체정보 획득용 밀착 의복 패턴(Jeong et al., 2010)을 기본 패턴으로 활용하여 이를 단계별로 축소하여 생체신호를 측정함에 있어 어느 정도 의복을 축소하였을 때 심전도 측정이 유리한가를 알아보고자 한다.

둘째, 축소율이 다른 밀착 의복의 주관적 착용감 평가 및 인체 착의 시의 의복압 등을 고찰하여 심전도 측정이 용이하며 착용감이 좋은 패턴 축소율을 제안하고자 한다.

II. 연구방법

1. 심전도 측정용 밀착 의복의 축소율 적용 및 직물 센서 위치 선정

연구에 사용된 원단은 82% Nylon, 18% Polyurethane의 jersey였으며, 인라인스케이트복, 잠수복, 스케이트복 등 밀착 의복 제작에 주로 사용되는 원단이었다. 원단의 신장률은 Ziegert and Keil(1988)이 제안한 ASTM D2594의 방법으로 측정하였으며, 본 실험에서 사용한 원단의 신장률은 식서방향 18%, 푸서방향 32%였다. 실험 의복은 선행연구(Jeong et al., 2010)에서 제안한 밀착 패턴을 활용하였으며, 가슴 부위 센서 위치에 더하여 가슴아래 부위인, 상복부에 센서 위치를 추가하였다. 이는 가슴 부위가 심장과는 위치적으로 더 가까우나 가슴 형태는 사람마다, 체형마다 다양한 반면, 상복부는 대체로 그 형태가 동글고 안정적이어서 심전도를 보다 안정적으로 얻을 것으로 기대하였기 때문이다. 또한 원단 신장률을 고려한 패턴 축소 시 가슴 부위 센서는 가슴 형

태에 의해 쉽게 들뜰 것으로 예측되어 가슴 부위와 가슴 아래 부위에 센서를 삽입한 후 예비실험을 통해 센서 위치를 확정하고자 하였다. <Fig. 2>를 보면, 앞판에 위치가 다른 직물 센서를 볼 수 있는데, 가슴둘레선 부위에 있는 b센서, c센서(가슴 부위 센서)와 가슴아래, 즉 상복부 상에 있는 e센서, f센서(가슴아래 센서)로 나뉘어 있다. 예비실험을 통해 축소율이 커질수록 가슴 부위 센서는 흉골 형태에 의해 밀착이 잘 이뤄지지 않았으며, 가슴아래 센서(e센서, f센서)는 비교적 잘 밀착되어, 본 실험은 가슴아래 센서를 통해 심전도를 측정하였다. 즉, 체형 등의 변수를 제거하기 위해서는 센서의 위치를 가슴아래, 즉 상복부에 위치하는 것이 보다 유리함을 예

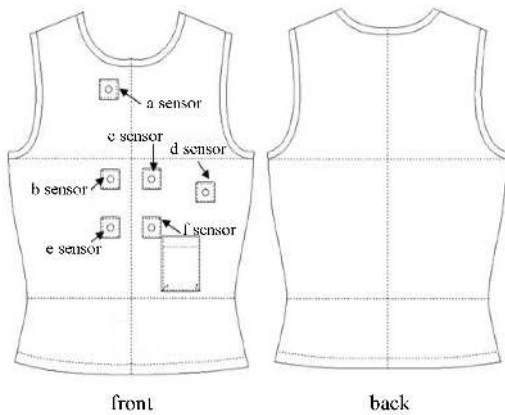


Fig. 2. Pattern making for the tight-fitting upper clothing and six locations of the textile sensor to monitor ECG.

비실험을 통해 확인하였다.

제안된 밀착 의복의 기본 사이즈와 축소율은 <Table 1>과 같다. 실험 의복이 인체에 밀착될수록 심전도 측정이 유리한지를 알아보려고 가로방향 축소율을 50%, 60%, 70%로 증가하여 4종류의 실험 의복을 제작하였다. 이때 가로방향만 단계적으로 축소율을 부가하고 세로방향의 축소율을 별도로 부가하지 않은 것은, Jeong (2006b)의 밀착 바디 슈트 연구에서 기능성 밀착의인 경우 세로방향에서는 50%의 축소율이 적당하다고 보고 하였으며, 본 실험과 같이 밀단이 열려있는 의복인 경우 추가적인 세로방향 축소율은 착용 안정성에 무리가 있을 것으로 판단되어 세로방향의 축소는 최대 50%로 하였다.

가로방향 축소율에 따른 실험 의복의 치수변형은 <Table 2>와 같다.

2. 밀착의복을 이용한 심전도 및 의복압 측정

심전도 측정 실험은 다음과 같이 진행하였다. 피험자는 실험실에 입실하여 10분간 안정을 취한 후 실험의복을 착용하였다. 정자세 상태에서 심전도를 2분간 측정하였으며, 상체를 좌우로 돌리는 동작을 수행하면서 2분간 심전도를 측정하고, 다시 정자세로 앉아 동작 후 회복시기의 심전도를 2분간 측정하였다. 심전도 측정은 20대 초반 4인에게 수행하였으며, 신체특징은 신장 174.8cm(±1.71cm), 몸무게 64.5kg(±3.3kg), 가슴둘레 93.3cm(±1.2cm), 허리둘레 77.3cm(±4.5cm)였다. 심전도 측정기기는 iWorx 214 Data Recorder(CB Science, USA)였으며, 심전도 분

Table 1. Basic pattern size for the upper tight-fitting clothing and reduction rates depending on % stretch of experimental fabric

Korean men size in their 20s of the 5 th Size Korea anthropometric measurements	Size (cm)	Stretch of experimental fabric (%)	Reduction rate (%)	Amount of reduction (cm)	Size of pattern making (cm)
1/2 neck circumference (37)	18.5	32	40	2.4	16.1
1/2 chest circumference (95)	47.5	32	40	6.1	41.4
1/2 waist circumference (78)	39.0	32	40	5.0	34.0
1/2 hip circumference (95)	47.5	32	40	6.1	41.4
Back length (43.8)	43.8	32	40	5.6	38.2
1 unit (stature 7.4)	23.5	18	50	2.1	21.4
Waist back length (stature 1/7.4×1.8)	42.3	18	50	3.8	38.5
Body rise (stature1/7.4-1)	22.5	18	50	2.0	20.5

Stature: 173.8≒174.0

From Jeong et al. (2010). p. 119.

Table 2. Size of experimental clothing depending on a weft reduction rate of 40%, 50%, 60%, and 70%

Experimental clothing	Korean men size in their 20s of 5 th Size Korea anthropometric measurements	Size (cm)	Weft stretch of experimental fabric (%)	Weft reduction rate	Amount of reduction (cm)	Size of pattern making (cm)
A clothing (weft reduction rate 40%)	1/2 neck circumference (37)	18.5	0.32	0.4	2.4	16.1
	1/2 chest circumference (95)	47.5	0.32	0.4	6.1	41.4
	1/2 waist circumference (78)	39.0	0.32	0.4	5.0	34.0
	1/2 hip circumference (95)	47.5	0.32	0.4	6.1	41.4
	Back length (43.8)	43.8	0.32	0.4	5.6	38.2
B clothing (weft reduction rate 50%)	1/2 neck circumference (37)	18.5	0.32	0.5	3.0	15.5
	1/2 chest circumference (95)	47.5	0.32	0.5	7.6	39.9
	1/2 waist circumference (78)	39.0	0.32	0.5	6.2	32.8
	1/2 hip circumference (95)	47.5	0.32	0.5	7.6	39.9
	Back length (40.2)	43.8	0.32	0.5	7.0	36.8
C clothing (weft reduction rate 60%)	1/2 neck circumference (37)	18.5	0.32	0.6	3.6	14.9
	1/2 chest circumference (95)	47.5	0.32	0.6	9.1	38.4
	1/2 waist circumference (78)	39.0	0.32	0.6	7.5	31.5
	1/2 hip circumference (95)	47.5	0.32	0.6	9.1	38.4
	Back length (40.2)	43.8	0.32	0.6	8.4	35.4
D clothing (weft reduction rate 70%)	1/2 neck circumference (37)	18.5	0.32	0.7	4.1	14.4
	1/2 chest circumference (95)	47.5	0.32	0.7	10.6	36.9
	1/2 waist circumference (78)	39.0	0.32	0.7	8.7	30.3
	1/2 hip circumference (95)	47.5	0.32	0.7	10.6	36.9
	Back length (40.2)	43.8	0.32	0.7	9.8	34.0

**Fig. 3. Developed experimental clothing to measure ECG data and ECG instrument.**

석 프로그램은 LabScribe2의 버전 2.045였다. 제작된 실험 의복과 기기의 모양, 의복 착용 시의 상태는 <Fig. 3>과 같다.

또한 본 실험에서는 가로방향 패턴 축소에 따라 의복 압이 어떻게 변화하는지 알아보려고 직물 센서 위치에서 의복압을 측정하였다. 측정 장비는 공기 주입식 의복

압 센서 AMI 3037-2(AMI Techno, Co, Ltd, Korea)였으며, 피험자 착의 시와 드레스 폼(YA5, new bletas men's: KIIYA CO., LTD) 상에서의 의복압을 측정하여 비교하였다.

3. 심전도 측정용 밀착 의복의 주관적 착의평가

주관적 착의실험에 참여한 남성 피험자는 모두 8인으로 <Table 3>과 같은 신체특징을 보였다. 신장은 175.0cm (± 1.4 cm), 몸무게 65.7kg(± 3.9 kg), 가슴둘레 93.7cm(± 2.1 cm), 허리둘레 76.4m(± 3.1 cm), 엉덩이둘레 94.7cm(± 3.41 m)였다.

본 착의실험에 참가한 피험자는 제6차 한국인 인체 치수조사 자료(Korean Agency for Technology and Standards, 2012)와 비교하였을 때, 신장은 1.5cm 크나 몸무게와 가슴둘레, 허리둘레는 3.5kg, 0.3cm, 2.3cm 적고, 엉덩이둘레는 1.4cm 컸다. 주관적 착의실험은 4인이 연

Table 3. Characteristics of subjects who evaluate wear sensations

	N	Minimum value (cm)	Maximum value (cm)	Mean (cm)	S.D (cm)	Data of 6 th Size Korea (cm)	Difference (cm)
Age	8	20	25	21.8	2.1		
Stature	8	173	177	175.0	1.4	173.5 (±5.1)	+1.5
Weight (Kg)	8	60	72	65.7	3.9	69.2 (±8.9)	-3.5
Chest circumference	8	91	98	93.7	2.1	94.0 (±5.7)	-0.3
Waist circumference	8	72	81	76.4	3.1	78.7 (±7.0)	-2.3
Hip circumference	8	90	100	94.7	3.41	93.3 (±5.2)	+1.4

속 4벌의 의복을 4회 반복 착용한 데이터(16회)와 심전도 측정을 수행한 4인이 각 의복에 1회 착용하였을 때의 주관적 평가 데이터(4회)를 모아 분석하였다. 착의평가 항목은 맞음새(4항목), 착용 쾌적감과 감각(5항목), 압박감(6항목) 등 총 15항목을 평가하였다. 평가는 7점 척도(1점: 매우 그렇지 않다, 7점: 매우 그렇다)로 하였으며, 착의 후 몸통돌리기와 같은 간단한 동작을 수행한 후 평가를 수행하였다. 결과분석은 SPSS 17.0 프로그램을 사용하여 각 문항에 대한 평균값과 표준편차, 분산분석을 수행하였다.

III. 연구결과

1. 패턴 축소에 따른 패턴 변형 및 패턴 면적 변화 고찰

기본 실험 의복은 원단의 신장률을 고려하여 가로 40%, 세로 50%의 축소를 적용하여 구성되었으며, 패턴은 가로방향의 축소가 적용되어 <Fig. 4>와 같이 가로방향만 일정한 양으로 축소되었다.

<Table 4>는 가로방향으로 40%, 50%, 60%, 70%로 축소된 패턴의 앞뒤판 면적과 총 면적을 비교한 데이터이다.

각 패턴은 가로방향 축소에 따라 <Table 4>와 같은 면적 변화를 보였는데, A의복(가로 축소율, 40%; 세로 축소율 50%)인 경우 3255.51cm², B의복(50% 축소)인 경우 3137.53cm², C의복(60% 축소)인 경우 3019.54cm², D의복(70% 축소)인 경우 2901.72cm²로 면적이 축소에 따라 변화하였다. 20대 초반 한국 남성의 사이즈를 원단의 신장률을 고려하여 축소한 A의복을 100%이라고 가정한다면, B의복, C의복, D의복은 96%, 93%, 89%만큼 축소되었다.

2. 패턴 축소가 다른 밀착 의복의 압력 측정 결과 고찰

패턴 축소가 다른 밀착 의복의 압력 측정 결과는 <Fig. 5>와 같다. 6개의 직물 센서 중 ECG신호를 얻어내는 센서는 가슴위 센서 b, c와 가슴아래 센서 e, f로(a와 d는 심전도 측정 시 보조 센서임), 의복압 분석은 가슴위 센서(b, c)와 가슴아래 센서(e, f)를 중심으로 비교하였다. <Fig. 5(a)>는 인체 상에서 6곳의 의복압을 보여주는데, 동일 의복임에도 가슴위 센서(b센서, c센서)

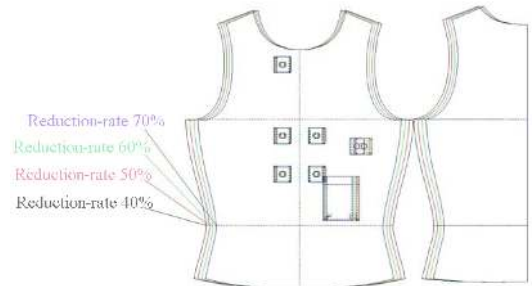


Fig. 4. Final four reduced patterns depending on a weft reduction rate of 40%, 50%, 60%, and 70%.

Table 4. Comparison of the area among four patterns depending on a weft reduction rate of 40%, 50%, 60%, and 70%

Experimental clothing	Front area	Back area	Total area	Reduction rate (%)
A clothing	1590.83	1664.68	3255.51	100
B clothing	1533.19	1604.34	3137.53	96
C clothing	1475.53	1544.01	3019.54	93
D clothing	1417.98	1483.74	2901.72	89

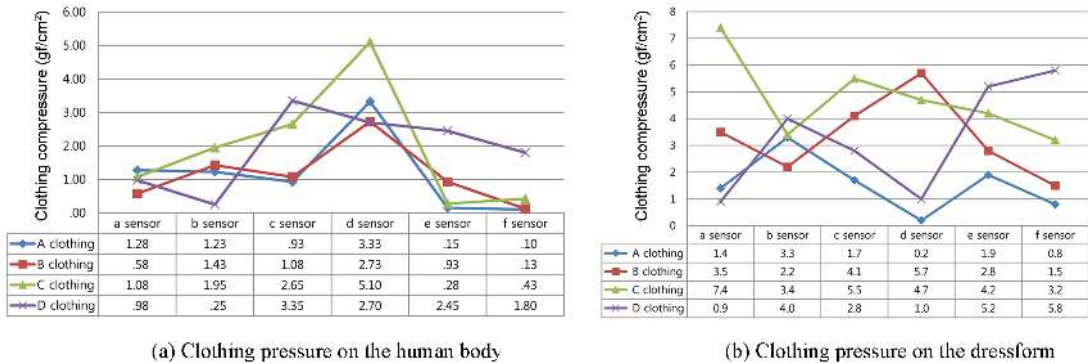


Fig. 5. Clothing pressure of the four experimental clothing items on the six fabric sensors.

와 가슴아래 센서(e센서, f센서)의 의복압이 크게 다를 수 있다.

가슴위 센서인 b와 c센서는 D의복을 제외하고는 가슴아래 센서인 e센서와 f센서보다 의복압이 높게 나타났다. 그러나 드레스폼 상에서 측정된 의복압을 살펴보면, <Fig. 5(b)>와 같이 A의복과 B의복에서는 가슴위 센서의 의복압이 높고, C의복과 D의복에서는 대체로 가슴아래 센서의 의복압이 높았다. 또한 바디 상에서 가슴아래 센서는 패턴 축소율에 따라 규칙적인 의복압 증가가 발생하나, 가슴위 센서는 의복압 변화가 불규칙적이었다. 이는 가슴 부위의 형태에 의해 의복이 축소될수록 가슴 사이에 들뜸이 발생하여 의복압이 불규칙적으로 형성되는 것으로 판단된다. 특히 인체 상에서 가슴위 센서와 가슴아래 센서의 의복압을 비교하면, 가슴아래 센서가 대체로 의복압이 낮고, 주관적 평가에서 가슴위 센서보다 안정적이라는 예비시험결과를 고려해 볼 때, 심전도 측정용 의복에서는 가슴아래, 즉 상복부 상의 센서(e, f)를 사용하는 것이 유리할 것이라 예측된다. 또한 D의복인 경우 가슴아래 센서의 의복압이 e센서에서 2.45gf/cm², f센서에서 1.80gf/cm²로 바디 상에서의 5.2gf/cm²(e센서), 5.8gf/cm²(f센서)와 비교하여 절반 이하의 의복압을 보여 인체에 크게 무리가 가지 않는 정도의 압박임을 알 수 있었다. 이는 Jeong(2006a)의 3차원 인체정보를 이용한 밀착 바디슈트 패턴 개발에서 평균압력이 2.53gf/cm²(줄임양: 세로길이(7%), 가로길이(12%); 면적 줄임: 21%)인 의복이 쾌적하다고 한 연구결과를 고려할 때, A, B, C, D의 모든 실험 의복이 적당한 의복압을 보임을 알 수 있었다. 그러나 인체에서 측정된 e, f센서의 의복압은 A, B, C의복에서 1gf/cm² 이하의 의복압을 보인 반면, D의복에서는 평균 2gf/cm² 이상의 압박을 보여 축소율을 일정하게 조

절하여도 의복압 변화는 불규칙적임을 알 수 있었다.

3. 패턴 축소율이 다른 밀착 의복의 주관적 착의 평가

패턴 축소율이 다른 밀착 의복의 주관적 착의 평가 결과는 <Table 5>와 같다.

먼저 가슴 부위가 잘 밀착된다고 착 달라붙는다는 평가언어에서는 모든 의복이 대체로 그렇다(전체 의복 평균: 6.53)고 응답하였으며, 움직임에 따라 편안히 밀착된다는 항목에서는 모든 의복이 다소 그렇다(전체 의복 평균: 5.65)고 응답하였다. 센서 부위가 잘 밀착된다, 전체적으로 압박감이 있다, 의복이 고른 압박감을 주고 있다, 가슴 부위 압박감에 대한 평가 항목에서는 A의복(40% 축소율)을 제외한 B(50% 축소율), C(60% 축소율), D의복(70% 축소율)에서 다소 그렇다고 응답하였다. 착용 쾌적감이 좋다는 평가에서는 A의복이 다소 그렇다와 가까운 4.88로 가장 좋았으며, D의복이 다소 그렇지 않다고 가까운 3.42로 가장 착용감이 좋지 않다고 평가되었다. 의복이 답답하다는 항목에서는 D의복이 다소 그렇다(5.29)로 평가되었으며, 또한 D의복은 의복 착용이 어렵다(4.5)고 평가하였다. 본 실험에서 사용된 센서 부위(전도성 직물에 의해 구성됨)에 대한 질문에서는 대체로 센서가 신경 쓰이지 않는다(전체 의복 평균: 2.58)고 평가하였으며, 움직임 때 의복이 걸도는가에 대한 질문에서는 대체로 그렇지 않다(전체 의복 평균: 1.97)고 응답하였다. 센서 부위 압박감이 적당한지에 대한 평가에서는 D의복이 다소 그렇다(5점, 전체 의복 평균: 4.73)고 응답하였다.

패턴 축소율과 주관적 착의평가 항목 간 분산분석을

Table 5. Subjective evaluation of wear sensation depending on the four experimental clothing items

Experimental clothing	A clothing		B clothing		C clothing		D clothing		Mean of total clothing	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
Well fitted at chest part	6.25	0.74	6.50	0.66	6.58	0.58	6.79	0.51	6.53	0.65
Comfortable fit when moving	5.58	0.72	5.75	0.61	5.83	0.64	5.42	1.35	5.65	0.88
Clings wells to the body	5.71	1.00	6.17	0.64	6.29	0.55	6.67	0.48	6.21	0.77
Separately filling between body and cloth when moving	2.58	1.59	1.88	0.80	1.79	0.59	1.63	0.58	1.97	1.03
Overall comfort of wear sensation	4.88	0.80	4.50	0.93	4.29	1.23	3.42	1.18	4.27	1.17
Difficultness of wearing	2.92	1.28	3.54	1.38	3.71	1.33	4.50	1.59	3.67	1.49
Contacts well with the sensors	4.75	0.79	5.04	0.69	5.21	0.72	5.63	0.92	5.16	0.84
Suffocating or too tight	3.38	1.58	3.88	1.51	4.33	1.27	5.29	1.33	4.22	1.58
Nervous about the sensors	2.42	1.18	2.46	1.10	2.58	1.06	2.88	1.39	2.58	1.18
Overall compression	4.88	0.74	5.25	0.61	5.50	0.66	5.88	0.61	5.38	0.74
Equally wear compression	4.79	0.93	5.29	0.62	5.46	0.72	5.79	1.06	5.33	0.91
Discomfort of wear sensation because of compression	3.29	1.88	3.71	1.65	3.96	1.81	4.54	2.08	3.88	1.89
Compression of shoulder part	3.46	1.41	3.92	1.77	4.04	1.78	4.58	2.00	4.00	1.77
Compression of chest part	4.58	1.02	5.04	1.00	5.25	0.68	5.67	0.82	5.14	0.96
Proper compression on the sensors	4.42	1.02	4.79	1.02	4.71	0.95	5.00	1.02	4.73	1.01

7 point scale (out of 7)

실시한 결과는 <Table 6>과 같다. 가슴 부위가 잘 밀착된다는 항목(D^a, B^{ab}, C^{ab}, A^b)과 착 달라붙는다는 항목에서(D^a, C^{ab}, B^b, A^c)는 D의복이 가장 좋은 평가를 받았다. 착용 쾌적감이 좋다는 항목에서는 A의복, B의복, C의복이 D의복에 비해 좋다고 평가(A^a, B^a, C^a, D^b)되었으며, 센서 부위가 잘 밀착된다는 항목에서는 패턴축소율이 70%인 D의복(D^a, C^{ab}, B^b, A^b)이 좋은 평가를 받았다. D의복은 전체적으로 압박감(D^a, C^{ab}, B^{bc}, A^c)이 있고, 의복이 고른 압박감(D^a, C^a, B^a, A^b)을 주고 있으며, 가슴 부위 압박감(D^a, C^{ab}, B^{bc}, A^c)이 높다고 하였으나, 의복 착용이 어렵(D^a, C^{ab}, B^b, A^b)고, 의복이 답답하다(D^a, C^b, B^{bc}, A^c)고 평가되었다. 그러나 움직임에 따라 편안히 밀착된다, 센서 부위가 신경 쓰인다, 특정 부위 압박이 심해 불편하다, 어깨 부위 압박감, 센서 부위 압박감이 적당하다 등의 평가 항목에서는 실험 의복 간 차이가 없었다. 주관적 착용 평가를 종합하여보면, D의복은 비교적 착용감이 낮고, 착용이 어렵다고 평가하였으나 밀착성이 뛰어나다고 응답하여, 심전도 측정 기능이 우선시되는 경우는 D의복 정도의 가로방향 축소율이 요구될 것이다. 그러나 착용감 및 전반적인 착용을 고려해본다면 B, C의복이 유리할 것으로 판단된다.

4. 패턴 축소율이 다른 밀착 의복의 동작에 따른 심전도 측정 결과

압력 실험 및 주관적 착의를 고려하여 가슴아래 센서인 e, f센서를 이용하여 의복의 축소율에 따른 심전도 측정을 수행하였다. 측정된 심전도 파형은 의료 전문가에 의해 심전도 측정 유무를 확인하였다.

<Fig. 6>은 정자세 시의 심전도 측정 결과로, 피험자 1, 2, 3은 모든 의복(A의복, B의복, C의복, D의복)에서 심전도 측정이 안정적으로 수행되었다. 그러나 피험자 4의 경우는 C의복에서만 심전도가 읽히고 나머지 A의복, B의복, D의복에서는 심전도가 측정되지 않았다. 이는 착용자의 신체특성에 따라 심전도 측정이 쉽지 않은 경우가 있음을 보여주는 사례이며, 실제 휴대용 심전도 기기나 12리드 심전도 기기로 심전도를 측정하는 경우에도 피험자의 신체특성에 따라 심전도 측정이 까다로운 경우가 있음을 고려할 때 피험자의 특성이 반영된 실험결과로 사료된다. <Fig. 7>은 동작 시의 심전도 측정 결과로, 피험자 1은 B의복, C의복, D의복에서 심전도가 측정되었으며, 피험자 2는 D의복에서만 심전도가 측정되었다.

피험자 3과 피험자 4는 모든 실험 의복에서 심전도가 측정되지 않았다. 본 실험에서 수행한 동작은 상체를 좌우로 비틀어주는, 즉 인체표면과 의복이 쉽게 비틀려 표면이 어긋나게 하는 동작이었다. 상하 동작보다 좌우 동작을 수행한 것은 의복의 밀착력을 세밀하게 관찰할 수 있을 것이라 예측하여 수행한 것으로, 본 실험을 통해 밀

착력 이외에 심전도 측정을 더욱 원활히 수행할 수 있는 세부 방법이 요구됨을 확인할 수 있었다. 즉 밀착력 증가를 위한 센서 부위의 부분 접착 실리콘 활용이나 심전도 측정을 배가하기 위한 국소 수분함유 소재의 첨가 등 심전도 데이터를 확보하기 위한 보다 치밀한 연구가 필요하겠다. 또한 의복 센서의 크기가 정자세 시와 일상적

Table 6. Statistics analysis of subjective evaluation depending on the four experimental clothing items

Experimental clothing	A clothing	B clothing	C clothing	D clothing	f value	Sig.
Subjective sensation						
Well fitted at chest part	6.25 ^b	6.50 ^{ab}	6.58 ^{ab}	6.79 ^a	3.05	0.032
Comfortable fit when moving	5.58	5.75	5.83	5.42	1.05	0.372
Clings well to the body	5.70 ^c	6.16 ^b	6.29 ^{ab}	6.66 ^a	7.74	0.000
Separately filling between body and clothing when moving	2.58 ^a	1.87 ^b	1.79 ^b	1.62 ^b	4.48	0.006
Overall comfort of wear sensation	4.87 ^a	4.50 ^a	4.29 ^a	3.41 ^b	8.33	0.000
Difficultness of wearing	2.91 ^b	3.54 ^b	3.70 ^{ab}	4.50 ^a	5.19	0.002
Well contact of the sensors	4.75 ^b	5.04 ^b	5.20 ^{ab}	5.62 ^a	5.17	0.002
Suffocating or too tight	3.37 ^c	3.87 ^{bc}	4.33 ^b	5.29 ^a	7.79	0.000
Nervous about the sensors	2.42	2.46	2.58	2.88	.73	0.539
Overall compression	4.87 ^c	5.25 ^{bc}	5.50 ^{ab}	5.87 ^a	9.84	0.000
Equally wear compression	4.79 ^b	5.29 ^a	5.45 ^a	5.79 ^a	5.74	0.001
Discomfort of wear sensation because of compression	3.29	3.71	3.96	4.54	1.89	0.136
Compression of shoulder part	3.46	3.92	4.04	4.58	1.67	0.178
Compression of chest part	4.58 ^c	5.04 ^{bc}	5.25 ^{ab}	5.66 ^a	6.17	0.001
Proper compression at the sensors	4.42	4.79	4.71	5.00	1.39	0.250

Small alphabet is the result of Duncan test, a>b>c

For convenience - A clothing represent A (followed in sequence by B, C, and D)

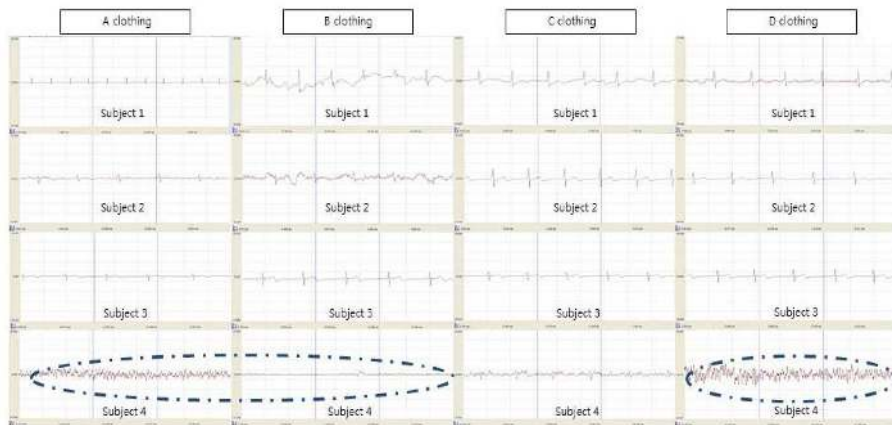


Fig. 6. Results of resting ECG depending on the four experimental clothing items.

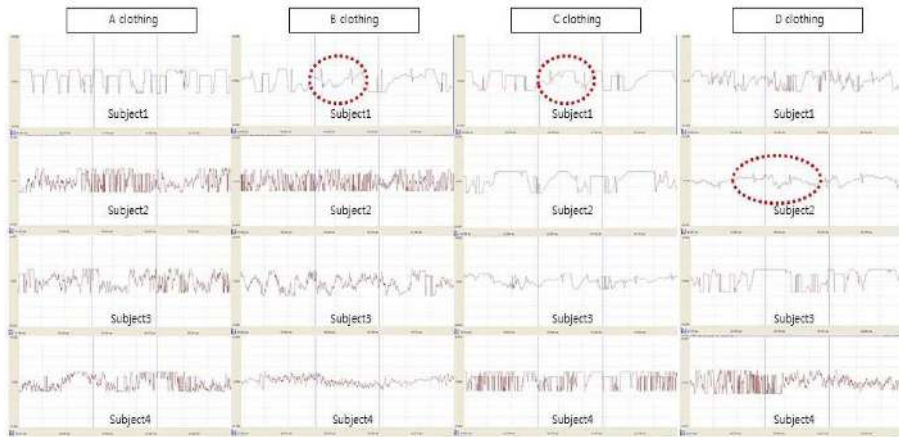


Fig. 7. Results of exercise ECG depending on the four experimental clothing items.

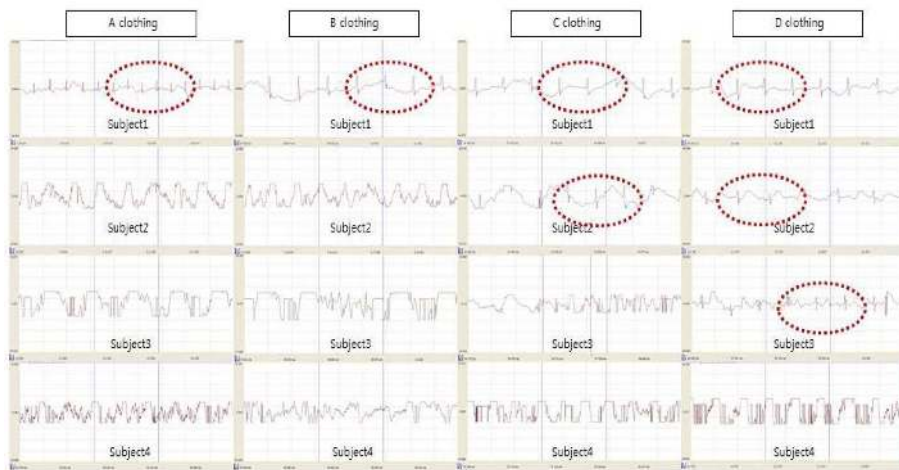


Fig. 8. Results of post-exercise ECG depending on the four experimental clothing items.

동작에서는 무리가 없으나 몸의 비틀림 등의 동작 시에는 직물 센서의 크기가 어느 정도 크기여야 적절한지도 연구되어야 할 것이다. 즉, 전도성 직물 센서의 크기가 센싱에 영향을 미치는지도 추가적으로 연구되어야 할 것이다.

동작 후 회복 시 심전도 측정 결과는 <Fig. 8>에서 보여 주고 있다. 피험자 1에서는 A, B, C, D의복에서, 피험자 2에서는 C, D의복에서, 피험자 3에서는 D의복에서 심전도가 측정되었다. 전반적으로 D의복에서 정자세 시, 동작 시, 동작 후 회복 시 심전도 파형을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 그러므로 동작이 심하지 않은 경우는 가로방향 축소율이 40% 정도에서도 심전도가 측

정되나 동작 시 및 동작 후 회복상태를 고려한다면 가로방향 축소율이 70% 이상인 패턴이 요구됨을 알 수 있었다.

IV. 결 론

본 연구는 심전도 획득 밀착 의복에 있어 의복의 단계적 축소가 생체신호 측정에 어느 정도 유리한가를 알아보고자 하였다. 또한 제작된 밀착 의복의 주관적 착의 평가와 의복압을 측정하여 기능성과 착용감이 확보된 심전도 측정 의복을 제안하고자 하였으며, 그 연구결과는 다음과 같다.

1. 본 연구에서 사용된 기본 패턴은 20대 초반 한국남성의 사이즈를 원단의 신장률을 고려하여 가로방향으로 40%, 세로방향으로 50% 축소한 패턴을 사용하였다. 선행연구에서 제안한 기본 패턴(Jeong et al., 2010)이 A의복이었으며, 이 의복(100%라 가정함)을 기준으로 B의복(가로 축소율 50%), C의복(가로 축소율 60%), D의복(가로 축소율 70%)은 96%, 93%, 89% 만큼 축소되었다. 개발된 밀착 의복은 가슴위 센서와 가슴아래 센서를 구성하여 의복압 실험을 수행한 결과, 가슴아래 센서는 인체나 바디에서 의복의 축소에 따라 의복압의 변화가 비교적 일관성이 있었으나, 가슴위 센서는 의복의 축소에 따라 일관성 없는 의복압 변화를 보여주었다. 이를 통해, 의복을 인체에 밀착시켜야 하는 심전도 측정 의복에서는 가슴 형태와 체형특징을 배제한 가슴아래인 상복부 상에서의 센싱이 유리할 것으로 제안된다.

2. 패턴 축소율이 다른 밀착 의복의 주관적 착의평가 결과를 살펴보면, D의복이 가슴 부위가 잘 밀착되고, 착달라붙는다고 평가되었다. 착용 쾌적감이 좋다는 항목에서는 A의복, B의복, C의복이 D의복에 비해 좋다고 평가(A^a, B^a, C^a, D^b)되었으며, 센서 부위가 잘 밀착된다는 항목에서는 패턴 축소율이 70%인 D의복(D^a, C^{ab}, B^b, A^b)이 좋은 평가를 받았다. D의복은 전체적으로 압박감이 있고, 의복이 고른 압박감을 주고 있으며, 가슴 부위 압박감이 높다고 하였으나, 의복 착용이 어렵고, 의복이 답답하다고 평가되었다. 주관적 착용 평가를 종합하여 보면, D의복은 비교적 착용감이 낮고, 착용이 어렵다고 평가하였으나 밀착성이 뛰어나다고 응답하여 심전도 측정 기능이 우선시 되는 경우는 D의복 정도의 가로방향 축소율(70%)이 요구되겠다.

3. 단계별로 축소된 밀착 의복의 동작에 따른 심전도 측정 결과는 다음과 같다. 정자세 시에 피험자 1, 2, 3은 모든 의복(A의복, B의복, C의복, D의복)에서 심전도 측정이 원활하였으며, 동작 시의 심전도 측정 결과에서는 피험자 1은 B의복, C의복, D의복에서 심전도가 측정되었으며, 피험자 2는 D의복에서만 심전도가 측정되었다. 동작 후 회복 시의 심전도 측정을 살펴보면, 피험자 1에서는 A, B, C, D의복에서, 피험자 2에서는 C, D의복에서, 피험자 3에서는 D의복에서 심전도가 측정됨을 알 수 있었다. 그러므로 동작이 심하지 않은 경우는 가로방향 축소율이 40% 정도에서도 무리 없이 심전도가 측정되나 동작 시 및 동작 후 회복상태를 고려한다면 70% 이상의 패턴 축소율이 반영된 밀착의복이 요구된다. 즉, 심전도 측정이라는 측면에서 보면 D의복과 같이 가로방

향 패턴 축소율이 70%일 때 인체의 동작 및 휴식 등에 상관없이 심전도를 측정할 수 있었다. 그러므로 심전도 측정 의복에서는 최소한 센싱되는 부위의 밀착력이 원단의 신축률을 고려하여 가로방향으로 70%의 패턴 축소율을 갖는 것이 유리함을 알 수 있었다.

본 연구에서 동작 시 거의 모든 의복에서 심전도 측정이 어려웠으므로, 향후 밀착력 증가를 위한 센서 부위의 부분 접착 실리콘 활용이나 심전도 측정을 배가하기 위한 국소 수분함유 소재의 첨가 등 심전도 데이터를 확보하기 위한 보다 치밀한 연구가 필요하겠다. 또한 의복 센서의 크기가 정자세 시와 일상적 동작에서는 무리가 없으나 몸의 비틀림 등의 동작 시에는 심전도를 측정하기에 적당한 크기인지도 추가로 연구하여야 할 것이다. 또한 주관적인 착용감에서 D의복이 착용감이 낮고 착용이 어렵다고 평가되었으므로 심전도 기능을 유지하면서도 착용 쾌적감을 고려하기 위한 부위별 축소율이 다른 패턴의 개발이 고려된다 하겠다. 즉 가슴부위의 부분은 가로 축소율이 70%를 유지하나 다른 부위는 40%의 패턴 축소율을 유지하거나, 기본 패턴은 40%의 패턴 축소율에 가슴 부위에 레이어를 덧대어 70%의 상복부 상의 심전도 측정 레이어를 덧대는 구조적 고려가 요구된다 하겠다.

References

- Cho, H. K., Song, H. Y., Cho, H. S., Goo, S. M., & Lee, J. H. (2010). A study on the design of functional clothing for vital sign monitoring-based on ECG sensing clothing. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 13(3), 467-474.
- Cho, J. Y., Jang, S. Y., & Cho, G. S. (2007). Effect of fabric elasticity on performance of textile-based ECG-monitoring smart wear. *Proceedings of the Korean Society for Emotion and Sensibility. Spring Conference, Korea*, 18, 39-41.
- Coyle, S., Wu, Y., Rossi, D. D., Diamond, D., Lau, K. T., & Wallace, G. (2007). Smart nanotextiles: A review of materials and applications. *MRS Bulletin*, 32(2), 434-442.
- Hassonjee, Q., & Armitage, R. (2007, June). *Commercializing health monitoring systems: Challenges and opportunities*. Paper presented at the 4th International Avantex-Symposium, Frankfurt.
- Jeong, J. H., Ryu, J. H., Cho, J. H., & Kim, H. J. (2009). The study for seamless garment design for detection of precordial leads of electrocardiography. *Proceedings of the Korean Society for Emotion and Sensibility, Fall Conference*,

- Korea*, 20, 202–205.
- Jeong, Y. H. (2006a). 2D pattern development of tight-fitting bodysuit from 3D body scan data for comfortable pressure sensation. *Korean Journal of Human Ecology*, 15(3), 481–490.
- Jeong, Y. H. (2006b). Pattern development of tight-fitting pants for men using measurement of Size Korea 2004. *Korean Journal of Human Ecology*, 15(5), 791–802.
- Jeong, Y. H., Kim, S. H., & Yang, Y. M. (2010). Development of tight-fitting garments with a portable ECG monitor to measure vital signs. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 34(1), 112–125.
- Kim, J. D., Kim, K. J., Chung, G. S., Lee, J. H., Ahn, J. H., & Lee, S. G. (2010). The mobile health-care garment system for measurement of cardiorespiratory signal. *The KIPS Transactions: Part A*, 17-A(3), 145–152.
- Kim, S. H. (2009). 유헤스를 위한 생체신호 모니터링 기술 [Vital sign information monitoring technology for u-healthcare]. *Information and Communications Magazine*, 26(8), 3–7.
- Korea National Statistics Office. (2006). *Population Projections for Korea: 2005-2050 based on the 2005 census*. Seoul: Author.
- Korean Agency for Technology and Standards. (2012). 제6차 한국인 인체치수조사 사업보고서 [The 6th anthropometric survey of Korea]. Gwachun: Author.
- Lee, H. Y. (2006). Evaluation of wear efficiency and subjective wear sensation according to the structures of smart clothing for the measurement of vital sign. *Korean Journal of Human Ecology*, 15(6), 1037–1047.
- Linz, T., Vieroth, R., Dils, C., Koch, M., Braun, T., Becker, K. F., Kallmayer, C., & Hong, S. M. (2008). Embroidered interconnections and encapsulation for electronics in textiles for wearable electronics applications. *Advances in Science and Technology*, 60, 85–94.
- Moon, H. S., Cho, H. S., Park, S. H., Lee, J. H., Cha, K. C., Shin, S. Y., & Jung, H. I. (2007). An exploratory study on the development of a healthcare smart clothing for measurement of body composition. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 10(3), 383–391.
- Park, H., Hong, K., Kim, S. H., & Shin, S. S. (2007). Development of the practical garment apparatus to measure vital sign of ECG for u-health care. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 31(2), 292–299.
- Rienzo, D. M., Rizzo, F., Meriggi, P., Bordoni, B., Barmbillia, G., Ferratini, M., & Castiglioni, P. (2006). Applications of a textile-based wearable system for vital signs monitoring. *Proceedings of Engineering in Medicine and Biology Societythe, 28th Annual International Conference of the IEEE, USA*, 2223–2226.
- Shin, S. C., Rye, C. Y., Kang, J. H., Nam, S. H., Son, Y., Lim, T. G., Lee, J. W., Park, D. G., Kim, S. H., & Kim, Y. T. (2004). Realization of an e-health system to perceive emergency situations. *Proceedings of Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Spring Conference, Korea*, 31(1B), 322–324.
- Ziegert, B., & Keil, G. (1988). Stretch fabric interaction with action wearables: Defining a body contouring pattern system. *Clothing and Textiles Research Journal*, 6(4), 54–64.