

사용자 경험 중심의 섬유일체형 온도조절 스마트재킷 개발과 착용성 평가

김사름¹⁾ · 노정심^{2)†} · 이은영³⁾

¹⁾에스원텍스타일

²⁾상명대학교 의류학과

³⁾조선대학교 IT융합신기술연구센터

Development and Wearability Evaluation of All-Fabric Integrated Smart Jacket for a Temperature-regulating System Based on User Experience Design

Sareum Kim¹⁾, Jung-Sim Roh^{2)†}, and Eun Young Lee³⁾

¹⁾S one Textile Company; Seoul, Korea

²⁾Dept. of Clothing & Textiles, Sangmyung University; Seoul, Korea

³⁾Chosun University IT Fusion Tech. Research Center; Gwangju, Korea

Abstract : This study aims to develop an all-fabric integrated smart jacket in order to create a temperature-regulating system based on a user experience design. For this research, previous research technologies of a textile switch interface and a temperature-regulating system were utilized and a unifying technology for the all-fabric integrated smart jacket was developed which can provide the appropriate temperature environments to the human body. A self-heating textile was applied at the areas of the back and hood in the final tested jacket, and an embroidery circuit was developed in the form of a rectangle in the back and in both ears of the hood, taking into account the pattern of the jacket part where it was applied and the embroidery production method. The textile switch interface was designed in a three-layer structure: an embroidery circuit line in a conductive yarn, an interval material, and a conductive sensing material, and it was made to work with the input and output sensors through the multiple input method. After the all-fabric integrated smart jacket was produced according to the pattern, all of the textile band lines for transmission were gathered and connected with a miniature module for controlling temperature and then integrated into the inside of the left chest pocket of the jacket. After the users put on this jacket, they were asked to assess the wearing satisfaction. Most of them reported a very low level of irritation and discomfort and said that the jacket was as comfortable as everyday clothing.

Key words : user experience design(사용자 경험 디자인), all-fabric integration(섬유일체형), textile switch interface(텍스타일 스위치 인터페이스), electrically heated clothing(발열 의류), smart clothing(스마트웨어)

1. 서 론

모든 스마트 제품의 목표는 사용자가 더 쉽고, 더 안전하고, 더 편안하게 살 수 있도록 하는 데 있다. 웨어러블 스마트웨어 시스템(Wearable smart clothing system)은 텍스타일과 패션 디자인과 전자분야가 결합된 기술로, 사용자의 환경이나 상태를 모니터링하여 사용자에게 가장 편안하고 적합한 환경을 제공하기 위해 발전되어 왔다. 개인의 생체신호를 시각화하여 즉

각적인 확인을 가능하게 하거나 의료적으로 위급한 상황에서 요구되는 적극적이고 능동적인 도움을 주는 등(Linz et al., 2006) 스마트웨어 시스템은 사용자들의 새로운 요구에 맞게 활용될 수 있도록 헬스케어, 의료, 보호, 안전, 레저 등의 다양한 분야에서 활발한 개발이 이루어지고 있다(Axisa et al., 2005; Curone et al., 2010; Di Rienzo et al., 2005; Lymberis, 2011; Paradiso et al., 2005; Vallozzi et al., 2010).

스마트웨어 시스템은 일반적으로 센서(Sensor), 액추에이터(Actuator), 그리고 구동(controller)시스템으로 구성된다. 스마트웨어 시스템이 사용자에게 좋은 경험을 제공하는 제품으로 발전되기 위해서는 우선 착용에 불편함이 없고 사용에 있어 내구성을 갖추어야 한다. 이를 위해 최근에는 센서와 액추에이터 시스템을 전기도성 섬유로 제작하여 섬유 일체화(All-fabric integration)하는 방향으로 연구들이 진행되고 있다(Kirstein, 2013).

최근 스포츠 레저 인구 증가와 더불어 지구 날씨 환경 변화

†Corresponding author; Jung-Sim Roh
Tel. +82-2-781-7527, Fax. +82-2-2287-0103
E-mail: jungsimroh@smu.ac.kr

본 논문은 석사학위 청구논문의 일부가 포함됨.

© 2016 (by) the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

에 따른 한파와 폭염 등에 대비하여 적절한 의복온도환경을 지속적으로 제공할 수 있는 의류에 대한 필요성이 확대되고 있다. 이에 흡습발열소재, PCM(Phase Change Materials), 재귀반사소재, SMP(Shape Memory Polymer) 등을 사용하여 열손실 최소화를 통해 보온성을 높이는 의류에서부터, 보다 적극적으로 전기 공급을 통해 열을 생산하는 스마트 발열의류에 대한 관심이 높아지고 있다(Kim, 2015). 현재 발열 스마트웨어는 탄소 섬유나 금속선을 가진 피복전선 형태의 선상발열체나 전도성 물질을 이용한 면상발열체 등이 상용화되고 있다. 그러나 아직까지는 발열을 위한 전체 통합 시스템이 섬유의 형태로 일체화되고 있지 못하기 때문에 착용감이 떨어지는 한계가 있어 섬유일체형 전기발열 의류의 개발이 보다 적극적으로 요구되고 있는 실정이다.

발열 의류에 관한 선행연구로 Kim and Kim(2015)의 의류용 발열 성능 평가에 관한 연구, 시판 발열 의류의 성능평가에 관한 Lee et al.(2015), Lee and Jeong(2010) 등의 연구, 스마트웨어의 의복 구성적 관점에서 연구한 보온 기능성 스마트 파운데이션(Hwang and Lee, 2012; Hwang and Lee, 2013), 그리고 Cho and Cho(2015)의 스마트의류를 위한 적정 발열 위치에 관한 연구 등이 있다. 이같이 발열 스마트웨어와 관련된 선행 연구가 시판의류나 개발복의 발열 성능 평가나 의복 착용 편의성에 관련한 연구가 주를 이루는 것도 착용 편의성과 관련한 사용자의 요구와 연결된다고 볼 수 있다.

그러나, Information & Communication Technology(ICT) 및 전기전자 기술과 텍스타일 기술의 융합과 관련하여 다양하고 높은 수준의 기술적 발전을 이루어 왔음에도 불구하고, 기능 위주의 스마트웨어는 아직 일반 사용자들에게 너무 어렵고 멀게 느껴진다. 사용자에게는 스마트한 제품의 복잡한 기능을 사용하는 것이 단순하고 쉽고 자연스러워야하기 때문이다. 따라서 웨어러블 스마트웨어 시스템은 사용자의 경험을 만족시킬

수 있는 디자인 개발이 무엇보다도 중요하다.

이에 본 연구에서는 사용자 경험 디자인에 중점을 두고 텍스타일 스위치 인터페이스로 조절하는 섬유일체형(All-fabric integration)의 온도조절 스마트 재킷에 대해 연구하고자 한다. 아웃도어 활동 시에 착용 편의성을 위해 섬유일체형 발열 시스템을 적용하였고, 별도의 기능제어 장치를 꺼내서 사용하지 않아도 누구든지 쉽고 자연스럽게 시스템과 소통할 수 있도록 하기 위해 텍스타일 스위치 인터페이스를 적용하였다. 이를 위해 텍스타일 터치 센서(Roh, 2014)와 섬유일체형의 온도조절 시스템(Roh & Kim, 2016)의 선행 연구 기술을 응용하고 섬유일체화 통합 기술을 이용하여, 인체에 쾌적한 온도환경을 제공해 줄 수 있는 사용자 경험 중심 섬유일체형 온도조절 스마트재킷을 개발하였다. 또한 개발한 섬유일체형 온도조절 스마트재킷에 사용된 발열 텍스타일, 전송용 섬유밴드, 그리고 텍스타일 스위치에 대한 세탁 내구성 평가를 실시하였다. 최종적으로 개발된 스마트 재킷에 대해 전반적인 착용성 평가를 실시하였다.

2. 연구 방법

2.1. 섬유일체형 온도조절 스마트재킷 설계

본 연구에서는 섬유일체형 온도조절 스마트웨어 디자인을 개발하고자 선행연구(Roh, 2014; Roh & Kim, 2016)에서 개발된 텍스타일 스위치 기술을 응용하여 발열 텍스타일(Self-heating textile)을 부착할 부위와 온도조절 시스템, 텍스타일 스위치의 위치를 선정하였다. 발열 텍스타일은 재킷에서 온도조절이 필요한 부위 선정에 대한 30명의 질의응답 결과를 토대로 적용 부위를 선정하였다. 각각의 발열 텍스타일의 적용 부위에 따라 3가지 디자인의 아웃도어 재킷을 설계하였다. 또한 사용자의 착용감, 활동성, 기능성을 향상시킬 수 있는 전송용 섬유밴드 네트워크 경로를 설계하여 시스템을 통합시켰다.

온도조절 스마트재킷의 발열 텍스타일은 스마트 텍스타일 전공 박사, 아웃도어 의류제품 기획 실무자, 그리고 웨어러블 시스템 개발자로 구성된 전문가들의 브레인스토밍을 통해 적용 부위를 선정하고, 상의에서 온도조절이 필요한 부위 선정에 대해 응답자 30명의 질의 결과를 토대로 전문가들의 의견을 종합하여 발열 텍스타일 부위를 선정하였다. 또한 발열텍스타일이 온도조절 스마트웨어에 적용될 부위 선정 후, 자수 제작방식과 적용 부위의 패턴을 고려해 자수회로를 디자인 전개하였다.

텍스타일 스위치는 접촉이 없을 때에는 신호가 들어오지 않고 외부의 힘이 가해짐에 따라, 접촉이 발생했을 때에만 신호를 감지하도록 설계되었으며, 버튼 개수는 입출력 장치로 사용되는 스마트의류 시스템의 요구와 용도에 따라 지정하였다. 적용부위는 조작이 용이한 위치를 선정하여 통합하였다.

전송용 섬유밴드는 텍스타일 스위치와 발열 텍스타일을 컨트롤러에 연결하기 위해 설계되었으며, 온도조절 스마트재킷의 섬유일체화를 위해 일반 전선 와이어보다 훨씬 가볍고 유연하며 사용자의 착용감을 고려하여 제작하였다. 또한 신체의 움직임

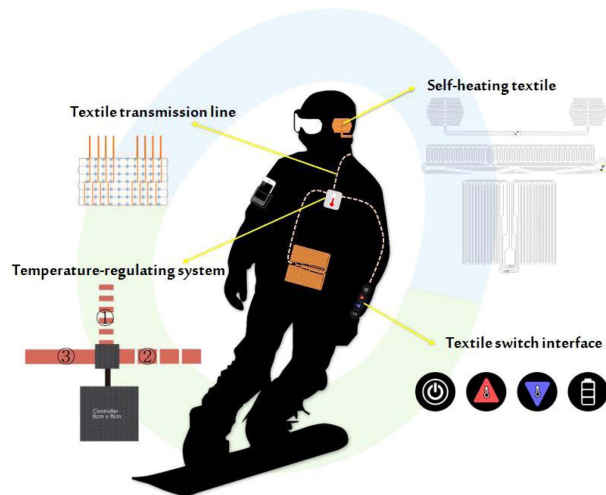


Fig. 1. All-fabric integrated smart clothing system for temperature-regulating systems.

입을 고려해 장력이 가해질 경우에 단선되는 것을 방지하기 위해 장력 완충 조직을 개발하였다.

각각의 발열 텍스타일과 텍스타일 스위치, 온도조절 시스템의 연결 경로가 최적의 상태가 될 수 있도록 시스템들을 연결한 후 스마트의류 프로토타입을 제작하였다. 통합한 시스템을 선정된 부위에 위치시킨 후 설계한 작업 공정에 따라 섬유일체형 온도조절 스마트재킷의 3가지 디자인의 프로토타입을 제작하였다. 이 중에서 연구 목적에 가장 부합하는 온도조절 스마트재킷을 최종 실험복으로 선정하였다.

2.2. 내구성 평가

본 연구에서는 개발한 섬유일체형 온도조절 스마트재킷에 사용된 발열 텍스타일, 전송용 섬유밴드, 그리고 텍스타일 스위치에 대한 세탁 내구성 평가를 실시하였다. KS K ISO 6330(섬유시험에 대한 가정세탁과 건조과정) 기준으로 20회 반복 테스트를 실시하였다. 텍스타일 스위치의 경우 전도성 원단(Shieldex[®])의 금속피막 보존을 위해 표준세제 대신에 중성세제를 사용하였다.

발열 텍스타일과 전송용 섬유밴드의 경우에는 저저항측정기(Milliohmeter 4338A, Agilent)를 사용하여 세탁 전과 후 시료의 저항을 측정하여 비교하였다. 텍스타일 스위치의 세탁 내구성 평가는 텍스타일 스위치 동작성능 평가를 통해 검증하였다. 텍스타일 스위치의 객관적인 센싱 성능을 평가하기 위해 일정한 압력을 설정하여 반복적으로 테스트할 수 있는 손가락 터치 테스터(Finger touch tester)를 개발하였다. 4개의 마그네틱 솔레노이드(DS-08AS12V)에 2mm 두께의 합성고무를 부착하여 손가락과 유사한 형태로 만들었으며, 가변저항으로 마그네틱 솔레노이드 손가락이 누르는 압력의 세기를 조절할 수 있다. 센싱 성능 측정은 설정된 힘으로 텍스타일 터치 센서의 버튼을 눌렀을 때 I/O 신호를 감지하고, 7-segment LED를 사용하여 만든 디스플레이부에 성공한 횟수를 누적 숫자로 나타낸다. 자연스럽게 누르는 압력세기(100gF)에서 각 스위치 버튼에 대해 100회 작동 테스트를 실시하였다.

2.3. 착용성 평가 및 자료 분석

본 연구에서는 개발한 섬유일체형 온도조절 스마트재킷 3가지 프로토타입 중에서 가장 적합하다고 판단된 프로토타입을 최종 실험복으로 선정하고 이에 대한 착용성 평가를 실시하였다. 개발한 섬유일체형 온도조절 스마트재킷의 심리적, 물리적 착용 만족도를 평가하기 위해 평가지는 웨어러블 컴퓨터 분야에서 대표적으로 사용되는 Knight et al.(2002)이 제안한 웨어러블 컴퓨팅 시스템의 편안함 평가 척도(Comfort Rating Scale)를 사용하였다. 평가 항목은 감정(Emotion), 부착성(Attachment), 유해성(Harm), 인지적 변화(Perceived change), 동작성(Movement), 불안감(Anxiety)에 대한 6가지 항목으로 구성되었다. 모든 질의 문항은 부정적인 의미를 지닌 문장으로 구성하였으며, 각 항목들은 21점의 리커트 척도로 평가하였다.

착용성 평가는 2015년 3월에서 10월까지 이루어졌으며 평가에 대한 이해도를 높이기 위해 의류학 혹은 인터페이스 디자인 전공자들로 피험자를 한정시켰다. 피험자 43명(남성: 22명, 여성: 21명)은 개발된 섬유일체형 온도조절 스마트재킷 실험복을 30분 이상 착용한 뒤, 감정, 부착성, 유해성, 인지적 변화, 동작성, 불안감의 측면에서 얼마만큼 만족하는지에 대한 문항을 피험자 스스로 평가하였다. 착용성 평가 자료 분석은 SPSS 22.0 for Windows를 사용하였으며, 각 문항에 대한 평가 점수의 평균 및 표준편차를 통해서 각 평가항목에 대한 편안함을 분석하였다.

3. 결과 및 논의

3.1. 섬유일체형 온도조절 스마트재킷 디자인

3.1.1. 소재 및 치수 설계

본 연구의 실험복의 겉감은 Nylon 100%, PU소재를 접착한 Nylon 100%, 안감으로 Polyester 100% 우븐원단과 Polyester 100% 메쉬(Mesh) 소재를 사용하였다. 소매입구는 립단(1×2)

Table 1. Textile material of smart jacket (garment, self-heating textile, textile switch interface, textile band for transmission)

Item	Materials(I.D)	Specifications
Garment	Shell fabric 1	Nylon 100%, weight: 113g/m ²
	Shell fabric 2	Nylon 100%, weight: 153g/m ²
	Lining	Polyester 100%, weight: 75g/m ²
	Lining (Mesh 1)	Polyester 100%, weight: 89g/m ²
Self-heating textile	Lining (Mesh 2)	Polyester 100%, weight: 209g/m ²
	Conductive yarn[1]	PU-Cu: Polyester = 50.3:49.7 Linear density; 634 denier Resistance; 0.0510 Ω/cm
Textile switch interface	Base fabric (Woven fabric)	Cotton 100%, weight: 134g/m ²
	Conductive yarn[2]	Ag-Cu: Polyester = 54.5:45.5 Linear density; 570 denier Resistance; 0.049Ω/cm
	Conductive fabric (Shieldex [®] Kassel, 118g/m ²)	Metallized nylon woven fabric surface resistance: 0.03Ω/sqr
Textile band for transmission	Spacer fabric (Mesh fabric)	Nylon 100%, weight: 10g/m ² , Openness: 9mm ²
	Insulation fabric (Woven fabric)	Nylon 100%, weight: 38g/m ²
	Base fabric (Woven fabric)	Cotton 100%, weight: 134g/m ²
Textile band for transmission	Conductive yarn[3]	PU-Cu: Polyester = 57:49.7 Linear density; 549 denier Resistance; 0.051Ω/cm
	Nylon yarn	Linear density; 150 denier

From Kim, 2015; Roh, 2014; Roh & Kim, 2016

처리하였다. 후드에는 스트링(String)과 벨크로(Velcro)를 사용하여 제작하였다. 전반적인 디자인은 아웃도어 업체에서 흔히 사용되는 아웃도어 자켓을 바탕으로 M사이즈로 제작하였으며, 외부의 추위를 막기 위해 앞 중심의 여밈은 플랩과 방수지퍼로 처리하고 소매는 Lycra 소재에 벨크로를 사용하여 이중 여밈을 하였다.

3.1.2. 발열 텍스타일의 위치 및 디자인 설계

발열 텍스타일은 전문가들의 브레인스토밍을 통해 하나의 의류에 대해 최대 두 부위에 적용하기로 결정하였다. 재킷에서 온도조절이 필요한 부위 선정을 위해 응답자 30명의 질의응답 결과를 활용하였다. 응답 부위는 등 18명, 복부 15명, 뒷목 9명, 가슴과 후드 각 5명, 어깨와 허리 각 3명, 엉덩이와 팔 각 1명으로 나타났으며, 이 결과를 토대로 전문가들은 사용자가 추위에 약한 부위와, 의복 구성 및 연결 네트워크의 원리를 고려하여 최종적으로 복부, 등, 뒷목둘레, 그리고 후드의 양쪽 귀 부위를 발열 텍스타일을 적용할 부위로 결정하였다. 최종적으로 선정된 복부, 등, 뒷목둘레, 그리고 후드의 양쪽 귀 부위를 위해 발열 텍스타일을 적용 부위의 패턴과 자수 제작방식을 고려하여 각 부위별로 다음과 같이 발열용 자수회로를 전개하였다(Table 1). 이처럼 섬유일체형 온도조절 스마트재킷의 발열용 자수회로를 제작하기 위해 자수 방식을 이용한 이유는 최종 의류 제작 단계에서 다양한 부위에 여러 가지 디자인으로 쉽게 전개가 가능하기 때문이다.

발열 자수의 전압과 전류는 시스템을 안정적으로 작동시키기 위해 전압 7.4V에서 전류 2~2.5A 정도가 흐를 수 있도록 3.4Ω의 저항을 갖도록 제작되었다. 이를 위해 선행연구(Roh & Kim, 2016)의 결과에 의거하여 발열용 전도성사를 이용하여 2.5mm 스티치의 1600mm 자수선 네 개가 병렬로 연결되는 구조를 사용하였다. 전체적으로 발열자수의 적용 면적이 약 120cm² 가 되도록 하여 온도조절 시스템을 통해 공급되는 전력에 대해 다양한 부위에서 발열 정도가 균형을 유지할 수 있도록 하였다.

복부와 등의 발열 자수는 발열용 자수회로가 12cm×10cm의

직사각형 안에 골고루 분포하도록 디자인하였다. 모듈레용 발열용 자수회로는 칼라 스탠딩 부분에 뒷목중심을 중심으로 위치시켰으며 31cm×4cm의 직사각형 형태로 자수회로가 고르게 분포하도록 하고, 전송용 섬유밴드와는 직사각형의 끝에서 연결될 수 있도록 디자인하였다. 후드의 양쪽 옆면 부위에는 8cm×8cm 정도의 등근 형태 면적에 자수회로가 고르게 분포하도록 하였으며 후드의 아래쪽에서 전송용 섬유밴드와 연결될 수 있도록 디자인하였다.

총 3가지 타입의 프로토타입이 제작하였으며, 등과 복부에 발열 텍스타일이 적용된 아웃도어 재킷, 등과 후드 복부에 발열 텍스타일이 적용된 아웃도어 재킷, 뒷목과 복부에 발열 텍스타일 적용된 아웃도어 재킷을 디자인 설계하였다. 이 중에서 전문가들에게 발열 텍스타일의 적용 부위가 기능성과 디자인 측면에서 가장 높이 평가받고, 일반 아웃도어의 디자인 형태와 가장 유사한 등과 후드에 발열 텍스타일이 적용된 아웃도어 재킷을 실험복으로 선정하였다.

3.1.3. 텍스타일 스위치 설계

섬유일체형 온도조절 스마트재킷을 위한 텍스타일 스위치는 다중입력센싱방식(Multi-point sensing)으로 설계되었다(Fig. 3). 다중입력방식의 텍스타일 스위치는 각 스위치 버튼이 터치되지

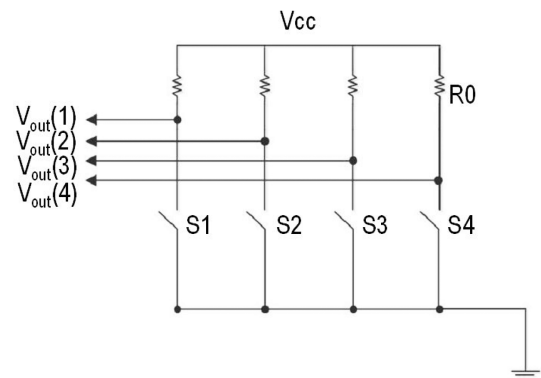


Fig. 3. Multi-points sensing circuit diagram.

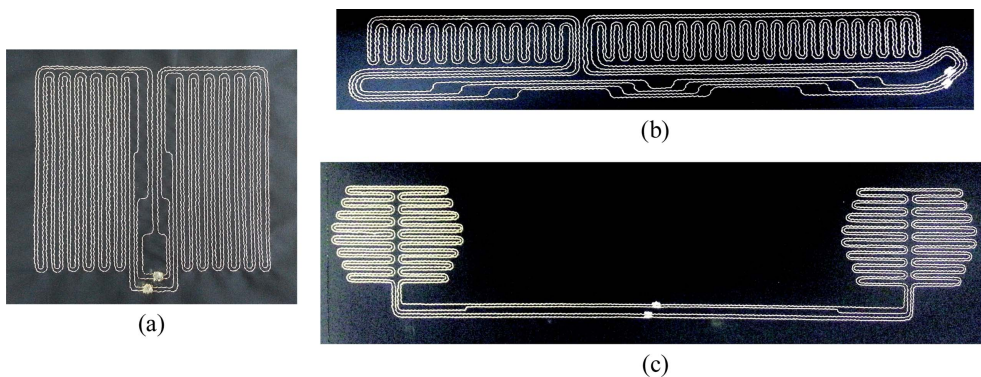


Fig. 2. Design and fabrication of heating embroideries. Position: (a) Abdomen and back (b) Neck circumference (c) Hood.

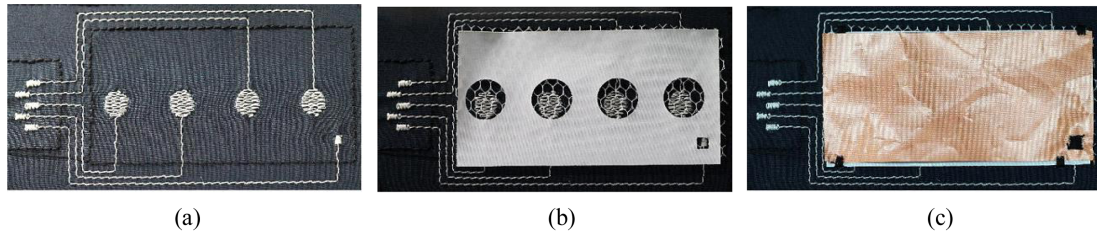


Fig. 4. Process of textile switch interface production. (a) Base fabric with embroidery circuit, (b) Mesh layer and insulation layer fabric, (c) Conductive sensing layer fabric.

않을 때에는 마이콤(Micom)에 모든 입력이 Low 상태이고 버튼을 터치했을 때 눌러진 버튼부가 High로 입력되어 신호를 감지하고 눌러진 버튼에 설정된 기능을 수행하게 된다. 이 방법은 각 스위치 버튼이 직접 마이콤으로 연결되어야 하므로 스위치 버튼의 수가 증가하는 만큼 많은 연결선이 필요하지만 터치하지 않을 때에는 전류소비가 없기 때문에 에너지 효율이 높다는 장점이 있다(Kim, 2015). 따라서 본 연구에서는 에너지효율성을 높이기 위해 섬유일체형 온도조절 스마트의류에 적용할 유선 인터페이스로 다중입력방식의 텍스타일 스위치로 설계하였다(Fig. 3). 즉, 텍스타일 스위치는 접촉이 없을 때에는 신호가 들어오지 않고 외부의 힘이 가해져 접촉이 발생했을 때에만 신호를 감지하도록 설계되었으며, 버튼은 입력력 장치로 사용되는 스마트의류 시스템의 요구와 용도에 따라 전원, 온도 조절(상, 하), 배터리 확인을 하는 총 4개의 버튼으로 구성되었다.

텍스타일 스위치는 전도성사로 자수 회로가 설계된 베이스 원단(Base fabric with embroidery circuit), 메쉬층(Mesh layer)과 절연층(Insulation layer)으로 구성된 간격 원단, 그리고 전도성 센싱 원단(Conductive sensing fabric)의 3층 레이어로 구성되어 있다.

텍스타일 스위치의 자수 회로선을 제작하기 위해 센싱용 전도성사(Roh, 2014)를 사용하여 컴퓨터 가계자수기(Tajima TFM) 위에서 2.5mm 러닝 스티치로 베이스 원단(Base fabric)에 자수하였다. 회로선을 자수한 후 차례로 메쉬 원단, 원형의 터치 부분을 제거한 나일론 원단을 엮고, 맨 위에 전도성 원단

을 덮는 순으로 제작하였다(Fig. 4).

3.1.4. 전송용 섬유밴드의 설계

텍스타일 스위치와 발열 텍스타일을 컨트롤러에 연결하기 위해서는 일반 전선 와이어보다 훨씬 가볍고 유연하고 내구성이 좋은 텍스타일 전송선이 필요하다. 본 연구에서는 선로 저항으로 인한 에너지 손실을 최소화하기 위해 전송용 전도성사[3] 5가닥을 모아서 하나의 전송선을 되도록 구성하였고, 이러한 전송선 여덟 개가 하나의 전송용 섬유밴드를 구성하도록 하였다. 여덟 개의 전송선은 각각 따로 사용할 수도 있으며, 필요에 따라 통합하여 사용할 수도 있다.

신호를 전송하는 전도성사를 보호하기 위해 나일론 DTY (Draw textured yarn)를 사용하여 유연하고 신축성을 갖도록 하였다. 또한 길이 방향으로 일정 이상의 장력이 가해질 경우 전도성사가 단선되는 것을 방지하기 위해 지그재그 형태의 장력 완충 조직을 개발하여 15개이지로 편직하였다(Fig. 5). 이는 신체의 움직임에 의해 발생하는 장력에 대응할 수 있으며, 인체에 유연하고 부드러운 촉감을 가지게 한다(Kim, 2015). 완성된 전송용 섬유밴드는 폭 17mm, 두께 1.8mm의 유연하고 가벼운 밴드 형태로 제작하여 원하는 길이만큼 잘라서 사용할 수 있다. CO₂ 레이저 커팅기(K2 laser system)를 사용하여 전송용 섬유밴드의 폴리에스터와 폴리우레탄 코팅 부분을 제거할 수 있으며, 남겨진 전도성사의 금속부분은 발열 자수회로나 텍스타일 스위치에 솔더링(Soldering)으로 연결된다. 내구성과 방수



Fig. 5. Textile band for transmission: (a) textile band after skinning by using CO₂ laser system (b) soldered interconnection between textile switch and textile band.

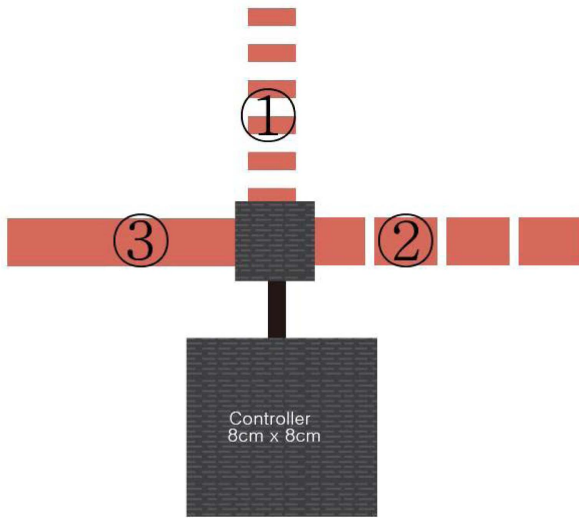


Fig. 6. Integration part of three textile bands (① and ② bands from the self-heating textiles in back and hood, ③ band from a textile switch).

성을 위해 실리콘과 절연 테이프로 얇게 이중 실링 처리하였다 (Fig. 5)(Kim, 2015).

최종적으로 모든 동작 단위들은 전송용 섬유밴드로 연결하였으며, 소매에 위치한 텍스타일 스위치와 등과 후드의 양쪽 귀에 위치하도록 설계한 발열섬유에서 컨트롤러로 들어오는 세선의 접합부를 제작하여 컨트롤러의 크기를 줄이고 범용성을 부여하였다(Fig. 6).

3.1.5. 섬유일체형 온도조절 스마트 재킷 통합 설계

최종 섬유일체형 스마트 재킷에서 발열 텍스타일은 등과 후드의 양쪽 귀에 위치하도록 설계하였다(Fig. 7). 제작된 텍스타일 스위치 인터페이스는 왼쪽 하완에 위치시켜 사용자가 조작

이 필요할 때에 왼팔을 굽히고 오른손을 이용하여 즉각적으로 조절할 수 있도록 하였다. 온도조절 시스템은 발열 텍스타일과 텍스타일 스위치가 모두 연결되어야 하는 중심적인 역할을 하는 제어 시스템으로 중심부인 앞판 왼쪽 가슴의 내부 포켓에 위치하여 모든 시스템의 연결이 자연스럽게 쉽도록 하였다. 또한, 전력을 공급하는 7.4V의 리튬폴리머 배터리를 보관하는 컨트롤러 케이스를 보관할 수 있는 공간(7.5cm×7.5cm)로 두었으며, 세탁이나 배터리 충전을 위해 재킷과 분리가 용이하게 설계하였다. 온도조절 시스템은 듀티비(duty ratio, $D=\tau/T$, pulse duration(τ) and the period(T) of a rectangular waveform)를 조절하는 방식으로 상($D=1$), 중($D=0.8$), 하($D=0.6$)의 세 가지 온도수준으로 제어가 가능하게 하였다. 텍스타일 스위치 인터페이스는 사용자가 조작하기 쉽고 온도조절 시스템에 연결이 쉽도록 왼쪽 팔의 아래 부분으로 위치를 선정하였다. 전송용 섬유밴드는 인체의 움직임을 방해하지 않도록 통합되도록 설계하였다(Fig. 8).

발열 텍스타일과 텍스타일 스위치에 전송용 섬유밴드를 연결을 위해 발열 텍스타일과 텍스타일 스위치를 적용될 부위에서 앞가슴의 내부 포켓에 위치한 온도조절 시스템까지의 길이를 측정하여 연결한다. 전송용 섬유밴드는 솔더링으로 간단하게 연결하였고, 연결 부위는 착용자가 거부감을 느끼지 않고 방수가 되도록 최대한 얇게 실리콘으로 코팅하여 통합하였다.

발열 텍스타일과 텍스타일 스위치의 보호를 위해 전송용 섬유밴드가 연결된 발열 텍스타일과 텍스타일 스위치는 의류에 적용되기 전 내구성과 내마모성을 위해 얇은 경편 메쉬 소재를 TPU hot melting 필름으로 양면을 모두 보호 처리하였다. 또한 보호 처리된 발열 텍스타일과 텍스타일 스위치는 해당 부위의 안감 패턴에 부착하고 발열이 되는 부분이 사람의 피부에 닿도록 안감의 뒷면에 부착하였다. 전송용 섬유밴드는 대부분 안감과 걸감 사이에 위치하지만, 후드와 몸판이 분리되어 사이에 전

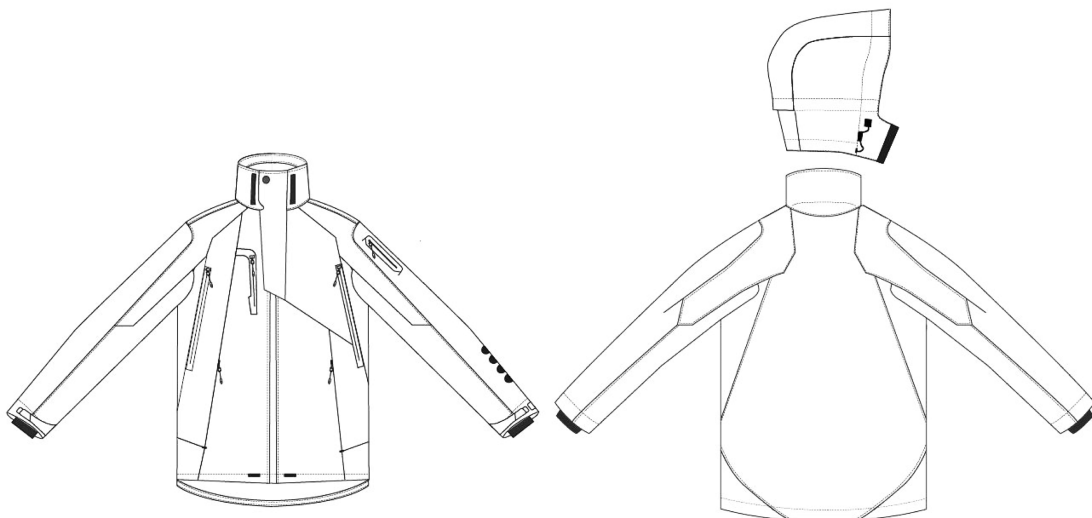


Fig. 7. Technical sketch of smart jacket for temperature-regulating systems.

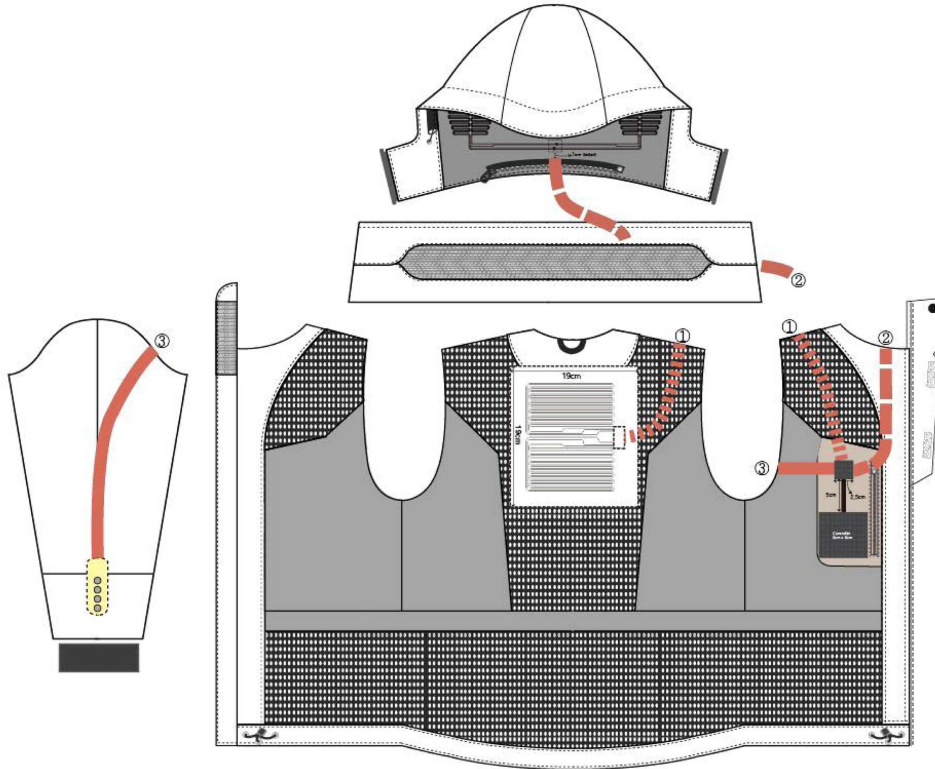


Fig. 8. Planar figure of smart jacket for temperature-regulating systems.

송용 섬유밴드는 겉으로 드러나게 되어 외부의 물리적 영향을 줄이고 내구성 및 디자인 향상을 위해 겉감과 동일 원단으로 짜서 처리하였다. 패턴에 맞게 옷을 완성한 후, 재킷의 왼쪽 가슴 내부 포켓에 모든 전송용 섬유밴드를 모으고 소형 온도조절 시스템 모듈에 연결하고 통합한다. 또한 텍스타일 스위치는 버튼의 이미지를 디자인하여 전사나염으로 프린팅 처리하였다.

3.2. 내구성 평가 결과

발열 텍스타일은 세탁 전과 20회 세탁(KS K ISO 6330) 후에 사용된 시료들의 저항을 측정하여 비교한 결과 모든 시료에서 저항에 차이가 없었다(Table 2). 전송용 섬유밴드의 경우도 세탁 전과 20회 세탁 후에 대해 사용된 시료에 있는 전송선 각각의 저항을 측정하여 비교한 결과 모든 전송선에서 저항의 차이가 없었다(Table 3). 따라서 발열 텍스타일과 전송용 섬유밴드는 20회 세탁 후에도 안정적인 전기적 성능을 유지할 수 있다.

텍스타일 스위치의 세탁 내구성 평가를 위해 자체 개발한 손가락 터치 테스터(Finger touch tester)를 이용하여 보통 누르는 압력세기(100gF)에서 4개 텍스타일 스위치 버튼 각각 1000회 반복 테스트를 실시한 결과 100% 성공하였다. Fig. 9는 사용된 손가락 터치 테스터가 텍스타일 스위치 버튼 4개를 순차적으로 누르면서 실험하고 있는 모습을 보여주고 있다.

Table 2. Comparison of resistance between before washing and after washing of self-heating textile

Sample no.	Before washing (Ω)	After washing (Ω)	Difference of resistance (Ω)
1	2.920	2.958	0.038
2	2.971	2.978	0.007
3	2.953	2.971	0.018
4	2.960	2.972	0.012
5	2.905	2.904	-0.001

3.3. 착용성 평가 결과

개발된 스마트제킷 특성상 개발된 인터페이스와 분리하여 평가항목을 설정할 수 없기 때문에 착용성 평가는 사용자의 라이프스타일을 고려하여 작성된 가상의 행동 시나리오에 따라 텍스타일 스위치를 사용하게 한 후, 각 문항에 있어서 만족도를 21점 척도(0점 매우 그렇지 않다, 20점 매우 그렇다)로 평가하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다.

Knight et al.(2006)는 웨어러블 컴퓨터의 착용성 평가에서 편안함(comfort)에 대해 Low(0-4), Moderate(5-8), Large(9-12), Very Large(13-16), Extreme(17-20)과 같이 다섯 단계의 구간으로 나누어 평가하였다. 전체 평가 항목의 평균점수는 4.21로 전반적인 착용 쾌적성에 대한 불편함에 대한 정도는

Table 3. Comparison of resistance between before washing and after washing of textile band for transmission

Sample no.	Resistance (Ω)	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	Line6	Line7	Line8
1	Before washing	0.235	0.230	0.234	0.212	0.229	0.236	0.230	0.216
	After washing	0.226	0.225	0.218	0.207	0.249	0.215	0.212	0.226
	Difference	-0.009	-0.005	-0.016	-0.005	0.02	-0.021	-0.018	0.01
2	Before washing	0.220	0.233	0.233	0.219	0.227	0.224	0.222	0.221
	After washing	0.255	0.201	0.224	0.203	0.197	0.224	0.251	0.215
	Difference	0.035	-0.032	-0.009	-0.016	-0.03	0	0.029	-0.006
3	Before washing	0.215	0.214	0.235	0.215	0.223	0.235	0.227	0.219
	After washing	0.207	0.244	0.227	0.221	0.248	0.212	0.214	0.210
	Difference	-0.008	0.03	-0.008	0.006	0.025	-0.023	-0.013	-0.009
4	Before washing	0.233	0.238	0.239	0.234	0.227	0.240	0.234	0.233
	After washing	0.194	0.235	0.261	0.200	0.252	0.228	0.255	0.220
	Difference	-0.039	-0.003	0.022	-0.034	0.025	-0.012	0.021	-0.013
5	Before washing	0.236	0.223	0.229	0.218	0.237	0.227	0.231	0.224
	After washing	0.244	0.265	0.208	0.215	0.237	0.239	0.220	0.204
	Difference	0.008	0.042	-0.021	-0.003	0	0.012	-0.011	-0.02

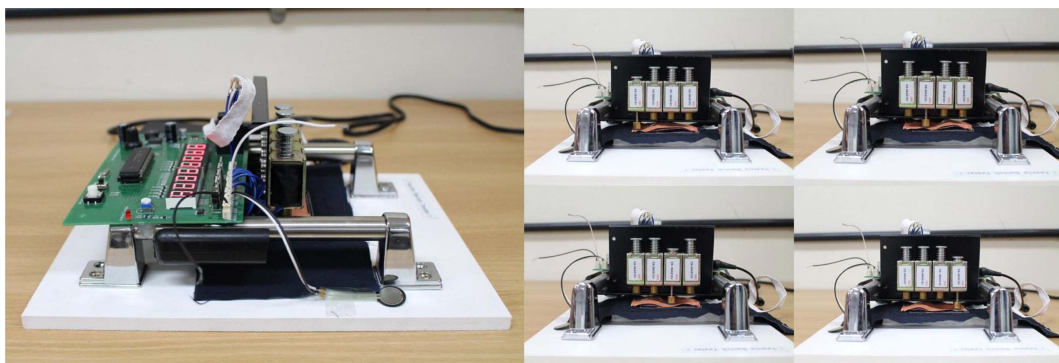


Fig. 9. Photographs of the finger touch tester and touch sensing test process.

Table 4. Comfort assessment results

(N=43)

	List of evaluation	Mean(SD)
Emotion	I am worried about how I look when I wear this wearable smart clothing system. I feel tense or on edge because I am wearing it.	5.56(5.804)
Attachment	I can feel the wearable smart clothing system on my body. I can feel it moving.	5.51(4.983)
Harm	The wearable smart clothing system is causing me some harm. It is painful to wear.	1.95(2.878)
Perceived change	Wearing the wearable smart clothing system makes me feel physically different. I feel strange wearing it.	3.53(4.322)
Movement	The wearable smart clothing system affects the way I move. It inhibits or restricts my movement.	3.88(3.493)
Anxiety	I do not feel secure wearing the wearable smart clothing system.	4.84(4.624)

Low 수준에 해당하였다. 즉, 사용자가 섬유일체형 온도조절 스마트의류를 착용했을 때 신체적, 정서적으로 대체로 편안함을 느끼는 것으로 나타났다. Table 4에서 보는 바와 같이, 유해성 1.95, 인지적 변화 3.53, 동작성은 3.88, 불안감 4.84로 불편함의 정도가 Low 수준에 해당하는 것으로 나타났으며, 감정

5.56, 부착성 5.51의 항목에서는 Moderate 수준에 해당하는 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 실험복이 기존의 온도조절 스마트의류와 달리 시스템의 대부분을 섬유로 제작하여 기존복에서 느끼는 불편함과 이질감을 느끼는 수준이 낮으며 대체로 일상복과 같은 착용감을 느낄 수 있는 것으로 보인다(Fig. 10).

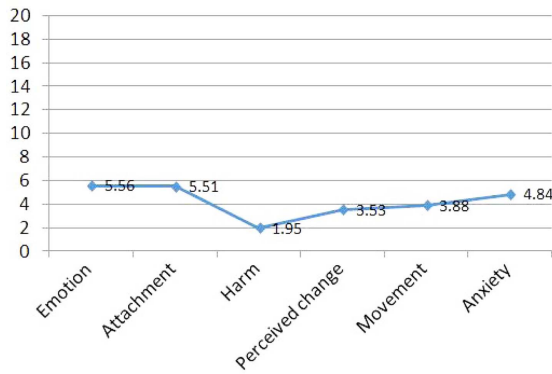


Fig. 10. Wearing satisfaction assessment(N=43).

이는 개발된 섬유일체형 온도조절 스마트 제킷이 편안함에 있어 전반적으로 적합한 것으로 확인된다.

4. 결 론

본 연구에서는 사용자 경험 디자인에 중점을 두고 착용과 활용 편의성을 생각하여 텍스타일 스위치로 조절하는 섬유일체형의 온도조절 스마트 제킷을 개발하고자 하였다. 이를 위해 텍스타일 터치 센서와 섬유일체형의 온도조절 시스템의 선행 연구 기술을 활용해 섬유일체화 통합 기술을 개발하여 인체에 쾌적한 온도환경을 제공해 줄 수 있는 섬유일체형 온도조절 제킷을 개발하였다. 내구성 평가를 위해 개발한 섬유일체형 온도조절 스마트제킷에 사용된 발열 텍스타일, 전송용 섬유밴드, 그리고 텍스타일 스위치에 대한 세탁 내구성 평가를 실시하였고, 실험복에 대한 착용성 평가를 통해 적합성을 검증하였다. 본 연구에서 제안한 섬유일체형 온도조절 제킷의 설계 및 내구성, 착용성 평가 결과는 다음과 같다.

4.1. 섬유일체형 온도조절 스마트제킷 설계

첫째, 제킷의 모든 온도조절 시스템은 100% 섬유소재를 사

용하였다. 발열용 전도성사를 이용하여 자수한 원단을 사용하였다. 텍스타일 스위치 인터페이스는 전도성사 자수 회로, 간격 원단, 그리고 전도성 센싱 원단의 다층구조로 섬유화하여 제작하였다. 통합 설계를 위한 전송용 섬유밴드는 신호전송용 전도성사와 이를 보호하기 위한 나일론 DTY를 사용하여 제작하였다. 이처럼 온도조절 시스템을 섬유소재로 대체함으로써 착용자들에게 착용감을 높이도록 하였다.

둘째, 온도조절 스마트제킷의 걸감은 강도와 편의성을 갖춘 아웃도어 제킷의 특징을 고려해 Nylon 100%과 PU소재를 접착한 Nylon 100%, 안감에는 Polyester 100%와 Polyester 100% 메쉬 소재를 사용하였다.

셋째, 최종 실험복에 발열 텍스타일은 등과 후드에 적용하였으며, 적용할 부위의 패턴과 자수 제작방식을 고려하여 등에는 사각형의 형태로 후드에는 양쪽 귀 부위에 발열용 전도성사의 자수회로를 전개하였다. 등 발열 텍스타일은 등판 상부의 걸감과 안감 사이에 위치하며, 전송용 섬유밴드는 왼쪽 어깨를 경유하여 앞판 왼쪽 가슴의 포켓 위로 연결하였다. 후드 발열 텍스타일은 패턴에서 양쪽 귀 부위에 자수회로를 전개하고 전송용 섬유밴드는 목뒤중심에서 나와 칼라 왼쪽 위치에 삽입되어 앞 중심을 따라 내려오다가 온도조절 시스템의 오른쪽 부분으로 연결하였다.

넷째, 텍스타일 스위치 인터페이스는 터치하지 않을 때 전류 소비가 없어 적은 에너지로 장시간 사용할 수 있고, 접촉이 발생했을 때에만 신호를 감지하는 장점을 가진 다중입력 방식으로 설계하였다. 텍스타일 스위치의 버튼은 이용자들의 편의성을 고려해 전원, 온도 조절(상, 하), 배터리 확인을 위한 총 4개의 버튼으로 구성하여 왼쪽 소매 아래 부분에 통합시켰다.

다섯째, 텍스타일 스위치와 발열 텍스타일을 컨트롤러에 연결하기 위해 사용되는 전송용 섬유밴드는 가볍고 유연하고 강도가 좋으며, 가벼운 밴드 형태로 제작하여 원하는 길이만큼 잘라서 사용할 수 있도록 설계하였다. 이는 인체에 유연하고 부드러운 촉감을 제공할 수 있다.

여섯째, 프로토타입의 제킷의 소매에 위치한 텍스타일 스위



Fig. 11. Picture of tested smart jacket.

치와 등과 후드의 양쪽 귀에 위치하도록 설계한 발열섬유에서 컨트롤러로 들어오는 세 선의 집합부를 제작하여 컨트롤러의 크기를 줄이고 범용성을 부여하였다. 또한 왼쪽 가슴 내부 포켓에 모든 전송용 섬유밴드를 모으고 소형 온도조절 시스템 모듈에 연결하고 통합하여 설계하였다. 이를 통해 기존의 스마트 재킷과 달리 발열 텍스타일, 텍스타일 스위치, 그리고 전송선 모두 섬유일체화된 인체에 유연하고 부드러운 촉감을 제공하는 온도조절 스마트재킷을 개발하였다.

4.2. 내구성 평가

발열 텍스타일과 전송용 섬유밴드는 세탁 전과 20회 세탁 후에 사용된 모든 시료에서 저항에 차이가 없었고, 발열 텍스타일과 전송용 섬유밴드는 20회 세탁 후에도 안정적인 전기적 성능을 유지할 수 있는 것으로 나타났다. 텍스타일 스위치의 세탁 내구성 평가는 20회 세탁 후에 텍스타일 스위치 동작성능 평가를 통해 검증하였는데, 보통 누르는 압력세기(100gF)에서 4개 텍스타일 스위치 버튼 각각 1000회 반복 테스트를 실시한 결과 100% 성공하는 것으로 나타났다.

4.3. 착용성 평가

본 연구에서는 개발된 스마트 재킷을 위한 스마트웨어의 편안함에 대한 착용성 평가가 이루어졌다. 의류학과 인터페이스 디자인 전공자들로 한정된 피험자들은 총 6가지의 평가항목 가운데 유해성, 인지적 변화, 동작성, 불안감 측면에서는 불편함의 정도가 Low 수준에 해당하는 것으로 나타났으며, 감정, 부착성 측면에서는 Moderate 수준에 해당하는 것으로 나타났다. 이는 실험복이 기존 온도조절 스마트의류와 달리 섬유일체형으로 시스템과 발열 부위 모두 제작하여 인체가 느끼는 불편함과 이질감을 느끼는 수준이 낮으며, 대체적으로 일상복과 같은 착용감을 느껴 전체적으로 그 적합성이 확인되었다.

본 연구에서는 앞서 진행된 착용성 평가에 있어 개발된 실험복의 절대적인 적합성을 평가하여 보다 정확한 판단을 위해 기존의 온도조절 스마트의류와의 비교 평가가 이루어지지 못한 한계점이 있다. 또한 웨어러블 스마트웨어 시스템에 관한 정밀한 평가를 위해 온도조절 시스템에 대한 평가도 필요하다. 특히 섬유일체형 온도조절 스마트재킷은 사용자 편의를 위해 개발된 모바일 앱과 텍스타일 스위치 인터페이스들에 대한 사용자 평가가 향후 이루어져야 할 것으로 사료된다. 현재 온도조절 스마트재킷에 대한 연구는 계속적으로 이루어지고 있으며 보다 사용자의 편의를 위해 많은 연구들이 진행되고 있다. 실제 소비자들이 입기 편한 사용자 경험을 중심으로 설계된 스마트 텍스타일 시스템의 통합과 의류에 대한 지속적인 후속연구가 이루어지고 발전된다면, 소비자들을 위한 온도조절 스마트 의류 시장의 성장 발전과 유용함을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015037064).

References

- Axisa, F., Schmitt, P. M., Gehin, C., Delhomme, G., McAdams, E., & Dittmar, A. (2005). Flexible technologies and smart clothing for citizen medicine, home healthcare, and disease prevention. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 9(3), 325-336. doi:10.1109/TITB.2005.854505
- Cho, H. K., & Cho, S. W. (2015). Optimal heating location for developing the heating smart clothing based on thermal response of body. *Journal of the Korean Society for Emotion and Sensibility*, 18(3), 93-106. doi:10.14695/KJSOS.2015.18.3.93
- Curone, D., Secco, E. L., Tognetti, A., Loriga, G., Dudnik, G., Risatti, M., Whyte, R., Bonfiglio, A., & Magenes, G. (2010). Smart garments for emergency operators: The ProeTEX project. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 14(3), 694-701. doi:10.1109/TITB.2010.2045003
- Di Rienzo, M., Rizzo, F., Parati, G., Brambilla, G., Ferratini, M., & Castiglioni, P. (2005). MagIC system: A new textile-based wearable device for biological signal monitoring. Applicability in daily life and clinical setting. *In Engineering in Medicine and Biology Society, 27th Annual International Conference*, pp. 7167-7169. doi:10.1109/IEMBS.2005.1616161
- Hwang, Y. M., & Lee, J. R. (2013). Development and evaluation of smart foundation with heating devices. *Fashion & Textile Research Journal*, 15(2), 231-239. doi:10.5805/SFTI.2013.15.2.231
- Hwang, Y. M., & Lee, J. R. (2012). Prototype of smart foundation with heating devices. *Fashion & Textile Research Journal*, 14(4), 588-596. doi:10.5805/KSCI.2012.14.4.588
- Kim, H. A., & Kim, S. J. (2010). Heat generation characteristics of emotional and intelligent ZrC imbedded garment through thermal manikin measurement. *Journal of the Korean Society for Emotion and Sensibility*, 18(3), 17-24. doi:10.14695/KJSOS.2015.18.3.17
- Kim, S. (2015). *All-fabric temperature regulation smart clothing for interacting user with the textile switches and the mobile App*. Unpublished master's thesis, Sangmyung University, Seoul.
- Kirstein, T. (2013). The future of smart-textiles development: new enabling technologies, commercialization and market trends. *Multidisciplinary know-how for smart-textiles developers*, 1-26. doi:10.1533/9780857093530.1
- Knight, J. F., Baber, C., Schwirtz, A., & Bristow, H. W. (2002, October). The Comfort Assessment of Wearable Computers. In *International Symposium on Wearable Computers (Vol. 2, pp. 65-74)*. doi:10.1109/ISWC.2002.1167220
- Knight, J. F., Deen-Williams, D., Arvanitis, T. N., Baber, C., Sotiropoulos, S., Anastopoulou, S., & Gargalagos, M. (2006, October). Assessing the wearability of wearable computers. *In Wearable Computers, 2006 10th IEEE International Symposium*, pp. 75-82. doi:10.1109/ISWC.2006.286347

- Lee, H. H., Lee, Y. R., Kim, J. E., Kim, S., & Lee, J. Y. (2015). Evaluation of thermoregulatory properties of thermal underwear named as 'heating underwear' using thermal manikin and human performance test. *Fashion & Textile Research Journal*, 17(4), 657-665. doi:10.5805/SFTI.2015.17.4.657
- Lee, H. Y., & Jeong, Y. H. (2010). Evaluation for the heating performance of the heated clothing on market. *Fashion & Textile Research Journal*, 12(6), 843-850. doi:10.5805/KSCI.2010.12.6.843
- Linz, T., Kallmayer, C., Aschenbrenner, R., & Reichl, H. (2006, April). Fully untegrated EKG shirt based on embroidered electrical interconnections with conductive yarn and miniaturized flexible electronics. In *Wearable and Implantable Body Sensor Networks, 2006. BSN 2006. International Workshop*, pp. 23-26. doi:10.1109/BSN.2006.26
- Lymberis, A. (2011, August). Wearable smart systems: from technologies to integrated systems. In *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE*, pp. 3503-3506. doi:10.1109/IEMBS.2011.6090946.
- Paradiso, R., Loriga, G., Taccini, N., Gemignani, A., & Ghelarducci, B. (2005). WEALTHY-a wearable healthcare system: new frontier on e-textile. *Journal of Telecommunications and Information Technology*, 105-113.
- Roh, J. S. (2014). Textile touch sensors for wearable and ubiquitous interfaces. *Textile Research Journal*, 84(7), 739-750. doi:10.1177/0040517513503733
- Roh, J. S., & Kim, S. (2016). All-fabric intelligent temperature regulation system for smart clothing applications. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 27(9), 1165-1175. doi:10.1177/1045389X15585901
- Vallozzi, L., Van Torre, P., Hertleer, C., Rogier, H., Moeneclaey, M., & Verhaevert, J. (2010). Wireless communication for firefighters using dual-polarized textile antennas integrated in their garment. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 58(4), 1357-1368. doi:10.1109/TAP.2010.2041168

(Received 11 April 2016; 1st Revised 21 April 2016;
2nd Revised 9 May 2016; Accepted 20 May 2016)