한국패션디자인학회지 제22권 4호
Journal of Fashion Design
Vol.22 No.4 (2022) pp.151-169
http://dx.doi.org/10.18652/2022.22.4.10

사용자 참여형 텍스타일 회로도를 접목한 전도성 패브릭 개발 방법의 제안

황 예 림 · 김 현 진 · 김 혜 림+
숙명여자대학교 의류학과 석사과정
숙명여자대학교 의류학과 박사수료
숙명여자대학교 의류학과 교수+

요 약

현재 웨어러블 스마트 디바이스는 시계, 안경 등과 같은 형태로 소비자들에게 친숙하게 인식되고 있다. 이러한 액세서리 기반의 웨어러블 스마트 디바이스 시장은 앞으로 의류 기반 형태로 점차 확장될 것으로 예측된다. 의류 기반 웨어러블 스마트 디바이스의 핵심 기술 중 하나는 전도성 원사로, 이를 활용한 스마트 의류 및 텍스타일 제품의 개발은 꾸준히 이루어지고 있으나, 현재 많은 소비자들에게 대중화되지는 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 텍스타일 회로도를 접목한 전도성 패브릭을 사용자가 직접 디자인 및 제작에 참여할 수 있는 DIY(Do It Yourself)제품의 형태로 개발하여 비전문가도 쉽게 전도성 패브릭을 제작할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. DIY제품의 개발은 사용자가 직접 커스터마이징한 자신만의 상품을 구매할 수 있다는 점에서, 개성과 취향이 뚜렷하고 이를 드러낼 수 있는 소비를 지향하는 MZ세대가 주 소비층으로 떠오름에 따라 그 수요가 증가하고 있다. 텍스타일 분야에서도 이러한 맞춤형 패션 트렌드와 텍스타일의 수공예적 특성, 직접 작품을 제작함으로써 성취감을 느끼고자 하는 취미 트렌드를 접목하여 사용자 참여형 디자인을 적용한 상품 및 서비스의 판매가 증가하고 있다. 그러나 기존의 스마트 의류에서의 사용자 참여형 디자인은 사용자가 직접 아두이노, 릴리패드와 같은 메인보드에 코딩을 해야 하므로 기본적인 코딩 지식이 없는 사용자는 제작에 참여하기가 어렵고, 전자 부품의 탈부착이 쉽지 않아 세탁이 어렵다는 단점이 있다. 따라서, 본 연구는 코딩 및 텍스타일 분야에 전문적인 지식이 없는 일반 사용자들도 쉽게 접근할 수 있는, 사용자 참여형 텍스타일 회로도를 접목한 전도성 패브릭 개발 방법을 다음과 같이 제안하였다. 첫째, 태피스트리의 기본 직조 방법을 활용하여 일반 사용자들이 쉽게 원하는 디자인으로 전도성 패브릭을 제작하는 방법을 제안하였다. 둘째, 코딩 기법이 불필요한 기초 전자회로도를 활용한 디자인 모식도를 제안하고, 전도성 실을 이용해서 직물 내부에 전자회로의 기능을 하는 텍스타일 회로도를 구현하는 방법을 제안하였다. 셋째, 태피스트리의 루프 파일 기법과 전도성 실을 활용하여 직물 내부에 스위치를 구현할 수 있는 방법을 제안하였다. 또한, 금속 스냅 단추 및 핀 LED 전구 등을 활용하여 전자 부품의 자유로운 탈부착이 가능한 전도성 패브릭 제작 방법을 제안하였다. 넷째, 전도성 패브릭의 다양한 응용 디자인과 용도를 제안하고, 시제품을 제작하였다.

주제어 : 시용자 참여형 디자인, 태피스트리, E-textile, 전도성 패브릭, 텍스타일 회로도

이이 논문 또는 저서는 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019S1A5A2A03047376).
+교신저자: 김혜림, khyerim@sookmyung.ac.kr
접수일: 2022년 9월 7일, 수정논문접수일: 2022년 10월 14일, 게재확정일: 2022년 11월 29일

Ⅰ. 서 론

소비자들의 개인 맞춤형 제품에 대한 수요 증가 및 디지털 기술의 발달로 인하여 사용자 참여형 디자인에 대한 관심이 증가하고 있다(Lee et al., 2017). 특히, 자신만의 라이프스타일(lifestyle)과 취향을 확고하게 내세우는 MZ세대가 소비 주축으로 떠오르면서, 개인의 취향을 반영한 맞춤형 패션이 각광을 받고 있다(Lee, 2020). 구찌(Gucci)의 DIY(Do It Yourself), 루이 비통(Louis Vuitton)의 런어웨이 커스터마이징 시스템(runaway customizing system) 등, 하이엔드 브랜드(high-end brands)에서도 이러한 개인 맞춤형 패션에 주목하였으며, 아디다스(Adidas)는 마이아디다스(MiAdidas)를 통해 개인 맞춤형 신발 생산 시스템을 구축하였다(Kim, 2019b). 실제로 빅데이터(big data)와 AI(Artificial Intelligence) 기술의 발달은 이러한 맞춤형 서비스의 효율적인 제공을 가능하게 하며, 패션 뷰티 영역에서의 IT (Information Technology) 기술 접목을 통한 개인 맞춤형 서비스 시장은 더욱 확대될 전망이다(Park, 2022). 사용자 참여형 디자인은 맞춤형 패션의 가장 핵심적인 특성을 관통하는 디자인적 개념으로, 사용자가 제품의 디자인과 생산 과정에 직접 참여하는 적극적인 유형의 디자인 방식이다(Byun et al., 2006). 사용자 참여형 디자인은 디자인 및 기능적 측면에서 사용자의 요구를 정확하게 반영하여 생산하기 때문에 사용자의 개성 및 정체성 발현의 수단으로도 활용될 뿐만 아니라 (Kim et al., 2021), 기존의 섬유 패션 산업에서 발생하는 대량의 재고물품 및 재고로 인한 비용을 줄이고, 폐기물을 절감할 수 있어(Damodaran, 1996) 지속가능한 생산 방법이라고 볼 수 있다.

이러한 사용자 참여형 디자인은 스마트 의류 분야에서도 활발히 연구되고 있다. 특히 스마트 의류 분야에서는 소비자들이 IT 기술을 직접 활용하여 개인의 요구에 맞게 사용자 맞춤형 기능 및 멀티 기능을 갖춘 스마트 의류 제작에 흥미를 느끼는 것으로 보고되었다(An & Lim, 2020). 그러나 기존의 사용자 참여형 스마트 의류 제품은 아두이노(Arduino), 릴리패드(Lilypad) 등의 메인보드(mainboard)에 사용자가 직접 코딩(coding)을 해야 하므로(An & Lim, 2020; Ko, 2017), 코딩에 관한 기초 지식이 부족하거나 전자기기의 사용이 능숙하지 못한 사용자는 제작에 참여하기 어렵다.

이러한 단점을 보완하기 위해 본 연구에서는 기초 전자회로도를 텍스타일에 직접 접목한 텍스타일 회로도를 제안하고, 코딩이 필요 없는 비교적 간편한 방법으로 사용자 참여형 전도성 패브릭(fabric)을 직물 형태로 제작하고자 한다. 본 연구에서 제안한 텍스타일 회로도는 전구, 전지 등이 전선으로 연결되어 있는 기존의 전자회로도에서 전선을 전도성 실로 대체하고, 회로도를 텍스타일 구조 내부에서 구현한 직물회로도를 의미한다. 텍스타일 회로도를 구현하는 방법은 전도성 실을 이용하여 제직 또는 편직을 통해 직물 또는 편성물로 구성하는 방법, 원단 위에 전도성 물질을 프린팅(printing)하는 방법, 전도성 원사를 자수 기법으로 원단 위에 구성하는 방법 등으로 구분된다 (Park, 2014). 그 중 프린팅 및 자수 기법으로 스마트 텍스타일을 제작하는 연구는 다수 보고되었으나(Jung & Lee, 2018; Kim et al., 2016; Lee & Kim, 2020; Park & Kim, 2019;) 제직 또는 편직을 통한 스마트 텍스타일 제품 개발에 관한 연구는 비교적 많지 않다(Cho et al., 2015; Lee et al., 2020). 기존의 직물 또는 편성물 텍스타일 회로도는 종광 직기, 편물기와 같은 전문성이 요구되는 장비를 사용하여 제작되므로 사용자의 숙련된 기술이 요구되며, 관련 장비의 설치 공간이 필요하기 때문에 초보자가 손쉽게 텍스타일을 제작하기에는 다소 어렵다(Byun et al., 2006).

따라서 본 연구의 목적은 사용자가 손쉽게 제작이 가능하도록, 전도성 실과 태피스트리(tapestry)를

활용한 전도성 패브릭 디자인 및 제작법을 제안하고자 한다. 태피스트리는 프레임 직기(frame loom)로, 종광직기에 비하여 사용이 간편하고, 비교적 쉽게 문양을 표현할 수 있어 전문적인 기술이 없는 초보자도 접근이 용이하다. 또한 태피스트리 틀의 크기도 다양하고, 좁은 공간에서도 탁자 위에 올려놓고 사용할 수 있어 장비 설치를 위한 추가적인 공간이 필요하지 않다. 따라서, 본 연구의 궁극적인 목표는 다양한 태피스트리 기본 기법을 활용한 전도성 패브릭의 응용 디자인을 제시하고, 용도 제안 및 시제품을 함께 제안하고자 한다.

Ⅱ. 연구 방법

본 연구에서는 직물 형태의 사용자 참여형 전도성 패브릭을 제작하기 위한 텍스타일 회로도를 제안하고, 태피스트리를 활용하여 사용자가 원하는 도안이나 형태로 응용이 가능하도록 다양한 전도성 패브릭 디자인 및 제작법을 제안하고자 한다. 이를 위한 연구 방법은 다음과 같다.

첫째, 본 연구의 이론적 배경으로 사용자 참여형 디자인을 반영한 개인 맞춤형 패션 트렌드에 대해 분석하고, 태피스트리를 통한 섬유 예술과 텍스타일 분야의 수공예적 특성, 텍스타일 회로도가 접목된 스마트 텍스타일 개발 사례에 대해 조사한다.

둘째, 사용자 참여형 전도성 패브릭 제작에 필요한 재료인 프레임 직기, 종이 스틱, 버터플라이 등 태피스트리에 대하여 조사하고, 전도성 패브릭의 구성요소를 분석한다.

셋째, 태피스트리 기법을 이용한 제직의 개념과 기본 조직 구성 방법에 대해 조사하고, 전도성 실을 사용한 텍스타일 회로도 제작 방법을 제안한다. 또한, 사용자가 본 연구에서 제안한 제작 방법을 응용하여 다양한 전도성 패브릭을 제작할 수 있도록 파일 기법을 활용한 스위치를 접목해 응용성과 활용성을 확대한다. 더 나아가, 제작한 전도성 패브릭의 전기전도도 측정을 통해 성능을 확인하고, 세탁 영향 평가를 진행하여 본 연구에서 제작한 전도성 패브릭이 세탁 후에도 성능을 유지하는지를 확인하고자 한다.

넷째, 본 연구에서 제안한 텍스타일 회로도를 바탕으로 한 시제품을 제작하여 텍스타일 회로도의 적용 가능성 및 제작된 전도성 패브릭의 용도를 제안하고자 한다.

1. 전기전도도 평가

사용자 참여형 전도성 패브릭의 면저항은 면저항 측정기(CMT-SR1000N; Chang Min Tech)를 사용하여 four-point probe 법으로 측정하였다. 각 전도성 패브릭의 면저항은 5개 이상의 서로 다른 지점에서 측정 후, 그 평균값을 사용하였다. 전도성 패브릭의 전기전도도는 다음의 계산식 (1)을 사용하여 계산하였다.

$$\sigma = \frac{1}{(R \times d)} \quad \cdots\cdots (1)$$

계산식 (1)에서 σ은 전기전도도(S/cm), R은 면저항(Ω•cm), 그리고 d는 전도성 패브릭의 두께(cm)를 의미한다.

2. 세탁 영향 평가

사용자 참여형 전도성 패브릭의 세탁 영향 평가는 Kim et al.(2020)의 시험방법을 일부 변형하여 측정하였다. 진탕 항온 수조(BS-21; JEIO TECH Co.)를 사용하여 110rpm의 속도로 25℃의 온도에서 30분간 세탁을 1회 세탁으로 하였으며, 총 3회 반복 세탁하였다. 세탁한 전도성 패브릭은 40℃에서 24시간 건조하여 four-point probe 법으로 전기전도도를 측정하였으며, 세탁 전과 비교하여 3회

반복 세탁 후의 전기전도도 유지율은 계산식 (2)를 사용하여 계산하였다.

$$\text{세탁후전기전도유지율}(\%) = \frac{(R - R_0)}{R_0} \quad \cdots\cdots (2)$$

계산식 (2)에서 R은 3회 반복 세탁 후의 전기전도도(S/cm), R_0은 세탁 전의 전기전도도(S/cm)를 의미한다.

Ⅲ. 이론적 배경

1. 사용자 참여형 디자인이 반영된 개인 맞춤형 패션 트렌드

현대인들에게 있어서의 패션은 단순히 입는 의복의 개념에서 벗어나, 자신을 표현하는 하나의 아이덴티티(identity)로 나타나고 있다(“Fashion and IT”, 2021). 소비자 개개인의 취향을 반영한 제품의 개발에 대한 인식이 커지면서, 패션 뷰티 업계에서는 다양한 커스터마이징(customizing) 전략이 등장하고 있다(Lee, 2020). 이러한 맞춤형 패션 비즈니스 모델(fashion business model)은 크게 데이터 분석을 통한 개인 맞춤형 제품 제작과 소비자가 제작에 직접 참여하는 DIY 제품으로 분류할 수 있다.

먼저, ICT (Information & Communication Technology) 기술을 활용하여 개인 맞춤형 제품을 제공하는 패션 비즈니스 모델은 데이터와 AI 분석을 기반으로 한 고도의 큐레이션(curation) 기술을 통해 고객과 제품 간의 매칭의 정확도를 높여, 소비자에게 적합한 제품을 선별하여 제공하는 서비스 방식이다(Bae, 2022). 미국의 스티치 픽스(Stitch Fix)는 데이터 분석과 인공지능을 활용한 의류 쇼핑몰로, 고객들의 개인별 요구를 파악하기 위해 신체 치수, 패션 관련 라이프 스타일의 상세 항목에 대한 데이터를 수집하고, 이를 기반으로 개인이 선호하는 스타일의 의류제품을 추천한다(Heo, 2021). 국내 스포츠 브랜드인 프로스펙스(Pro-Specs)의 스마트 핏(Smart Fit)은 스캐너를 통해 소비자의 발 사이즈를 세밀하게 측정하여 자사의 제품 중 가장 적합한 사이즈의 상품을 추천해주는 개인 맞춤형 서비스를 제공하고 있다(Park, 2022).

다음으로, 소비자가 직접 제작에 참여하는 DIY 서비스의 경우에는 기본적으로 제공되는 제품의 소재, 디테일, 색상 등을 소비자가 직접 커스터마이징 할 수 있는 형태로 이루어진다. 구찌는 ‘구찌 DIY’를 통해 지갑, 가방, 니트웨어(knitwear)의 3가지 카테고리에서 DIY 서비스를 제공하고 있으며, 주된 커스터마이징은 기존 제품에 소비자가 원하는 이니셜을 추가하고, 이니셜 부분의 소재 및 컬러를 직접 선택할 수 있다. 나이키(Nike)의 ‘나이키 바이 유(Nike By You)’시리즈는 소비자가 기존의 이스케이프 런 2.0(Escape Run 2.0), 에어 맥스 90(Air Max 90), 와플 원(Waffle One), 에어 맥스 97(Air Max 97), 에어 포스 원(Air Force One) 제품의 세부적인 구성 요소별 색상과 소재를 커스터마이징할 수 있어, 자신의 개성과 취향에 맞는 세상에 하나뿐인 상품을 직접 만들어 구입할 수 있다. LF(LG Fashion)의 관계사 트라이본즈(Tribons)의 셔츠스펙터(Shirtspector)는 빅데이터를 바탕으로 분석한 한국인의 체형을 기준으로 소비자에게 최적화된 사이즈를 추천하고, 소비자가 원단, 칼라, 커프스 등 8개의 디테일 옵션을 개인의 취향에 맞게 직접 선택하여 본인만의 셔츠 아이덴티티를 만들 수 있는 개인 맞춤형 서비스를 제공하고 있다.

이처럼 개인 맞춤형 의류 제품의 생산은 구매자의 만족도를 향상시켜 제품의 수명 주기를 연장시킬 뿐만 아니라, 대량으로 미리 만들어지는 의류의 양을 감소시켜 불필요한 재고를 줄일 수 있으므로 패션산업에서 중요하게 요구되는 지속가능성을 충족시킬 수 있다. 더 나아가, 새로운 소비세대의 요구와 발전된 IT 기술과의 접목을 통해

개인 맞춤형 패션 비즈니스 모델은 앞으로도 더욱 확장될 것이라고 예측할 수 있다.

2. 태피스트리를 통한 섬유 예술과 텍스타일 분야가 가진 수공예적 특성

독일에서 설립된 바우하우스(Bauhaus)에서의 직조 교육은 20세기의 새로운 예술 운동의 영향을 받아, 이미지 중심의 회화적인 태피스트리에서 벗어나 직물의 구조와 사용된 재료로부터 파생되는 질감에 대한 새로운 인식을 불러일으키기 시작했고, 이러한 새로운 자유는 개인의 개성과 창의력을 자극하게 되어, 직조의 새로운 가능성을 일깨우는 계기가 되었다(Park, 1990). 이후 1960년대에 이르러서는 태피스트리를 포함한 섬유 공예의 실용적인 면보다 공예적인 면이 강조되면서, 섬유에 대한 새로운 의식과 인식의 확장이 일어나 다양한 기법과 재료들의 시도가 자유롭게 이루어졌다(Kim, 2009). 현대 한국의 섬유 공예 또한 작가의 자유로운 창작력이 표현된 순수한 미적 조형성을 추구하는 예술 형태로 발전하고 있으며, 특히 오늘날의 태피스트리는 기법 등의 제작 방식이나 기술, 재료 등에 구애받지 않고 개성적인 기초 위에 주제를 표현하는 독창적인 현대미술의 한 양식으로 자리 잡고 있다(Lee et al., 2011).

국내 텍스타일 시장이 축소함에 따라, 소규모 창업을 하는 공예 기반 텍스타일 분야의 전문 인력들이 늘어나고 있으며, 특히 텍스타일과 관련된 전문지식을 기반으로, 판매를 위한 작품을 제작하거나 교육 서비스를 제공하는 공방의 창업이 증가하고 있다 (Kim et al., 2018). Kim et al.(2018)의 연구에 따르면, 이러한 텍스타일 분야의 소규모 창업 동향은 텍스타일 분야가 가진 수공예적 특성과 최근 확산되고 있는 취미 문화에 대한 트렌드를 근거로 하고 있다. 텍스타일 분야의 1인 기업을 분석한 결과 단일 품목을 판매하는 업체보다 판매와 교육을 겸하는 경우가 26%로 나타났으며, 사업 유형별로 분류하였을 때는 취미 생활 및 참여 디자인이 39%로 가장 높게 나타났다(Kim et al., 2018). 이처럼 텍스타일 분야에서도 디자인 및 제작 과정에 사용자가 직접 참여하고, 개인의 취향에 맞는 제품의 제작을 통해 만족감을 얻으려는 소비 트렌드를 인지하여 텍스타일의 수공예적 특성을 바탕으로 공방, 원 데이 클래스(one-day class), 워크샵과 같은 교육 아이템을 활용한 1인 기업과 공방이 증가하고 있다.

3. 텍스타일 회로도가 접목된 스마트 텍스타일 개발 사례 분석

IT 기술의 대중화의 영향으로 현대 섬유 미술과 디지털 기술의 발전의 융합이 이루어져 하이 테크놀로지(high-technology)와 텍스타일 디자인의 접목을 시도한 스마트 텍스타일(smart textile)의 개발이 이루어지기 시작하였다(Kim & Chung, 2013). 또한, Song(2018)의 연구에 따르면, 전자제품의 한 부분처럼 전도성을 가지는 전자 섬유(E-textile)가 직물-의류 일체형 웨어러블 스마트 제품에 주요하게 적용되고 있으며, 섬유에 전자 재료를 접목시킨 전도성 실, 착용감을 향상시킨 섬유 트랜지스터 및 센서, 섬유 디스플레이 등의 형태로 전자 섬유의 연구개발이 이루어지고 있다. 스마트 텍스타일(smart textile)은 이러한 전자 섬유의 발전된 형태로, 섬유의 특성과 전기적 특성을 동시에 가지고 있으며, 섬유, 실, 직물 등의 단계에서 전자 소자, 회로, 센서 등을 개발한 것이다(Park, 2014; Quinn, 2010). 스마트 텍스타일의 인터랙티브(interactive)에 사용되는 재료는 주로 LED 조명, 스위치, 센서, 전도성 사 등이 있다(Kim & Jung, 2013).

Kim(2019a)의 연구에 따르면, E-textile은 텍스타일 구성 유형에 따라 직물 조직, 표면처리, 의복디테일과 입체 구조로 분류할 수 있다. 이중에서 텍

스타일 회로도의 구현은 주로 위빙(weaving), 니팅(knitting) 기법을 포함한 직물 조직 유형과 프린팅, 자수, 스티치(stitch) 기법을 포함한 표면처리 유형에서 나타난다. 먼저, 직조 기법을 활용해 전자회로를 직물 내부에 삽입한 사례로는 스튜디오 섭텔라(Khoshneviss et al., 2013)의 Handwoven White LED Display가 있다. 위 작품은 텍스타일 회로도를 구성하는 전도성 실과 LED array, 센서(sensor)를 위빙과정에서 직물 조직과 함께 직조하여 직물에 완벽하게 통합되도록 디자인한 전도성 패브릭이다(Pailes-Friedman, R., 2016). 니팅 기법을 활용해 텍스타일 내부에 스위치를 구현한 사례로는 디자인 리서치 랩(Design Research Lab)의 UHCI(Universal Home Control Interfaces) 프로젝트에서 발표한 Cushion pressure sensors의 니팅 버전이 있다. 턱 스티치(tuck-Stitch) 니팅 기법을 활용해서 2개의 서로 떨어진 면을 만들 때 전도성 실을 함께 니팅하여 분리된 3차원 표면을 형성하고, 윗면과 아랫면의 전도성 실이 겹치는 지점을 눌렀을 때 스위치가 닫혀 전류가 흐르도록 하는 스위치 회로도를 니트 조직 내부에 구현하였다. 다음으로, 전도성 잉크를 사용하여 직물 위에 전자회로도를 프린팅하는 기법을 통해 텍스타일 회로도를 구현한 사례로는 Rachel Freire의 Second Skin 프로젝트, Sophia Brueckner와 합작한 Embodisuit 프로젝트가 있다. 두 작품 모두 스트레치성이 있는 전도성 잉크를 구성한 회로도에 맞게 직물 위에 프린팅한 후, 패턴 작업 및 봉제를 통해 신체와 최적화된 전도성 패브릭을 활용한 의복 프로토타입(prototype)을 제작하였다 (Freire et al., 2017). Grant(2010)는 자수 및 스티치를 통해 직물 위에 회로도를 통합하여 음성 녹음 및 재생이 가능한 Secret keeper gloves를 제작하였다. 손의 제스처(gesture)에 따라 컨트롤이 가능하도록 녹음기, 스피커, LED, 센서 및 스위치를 연결하는 회로도를 구상하고, 전도성 실을 활용한 자수와 스티치 기법으로 이를 장갑 위에 구현하였다.

Ⅳ. 텍스타일 회로도를 적용한 사용자 참여형 전도성 패브릭 개발

1. 전도성 패브릭 개발을 위한 태피스트리 기법 및 스마트 텍스타일 재료

1) 태피스트리 재료

본 연구에서는 태피스트리를 직조하기 위한 기본적인 재료로서 프레임 직기, 북, 면사 및 모사를 사용하였으며, 정교하고 세밀한 표현을 가능하게 하는 보조적인 재료로 종이 스틱, 버터플라이, 수직 바늘을 함께 사용하였다(Figure 1). 프레임 직기는 사각형의 나무틀 상하단에 경사를 걸어 고정시키고 위사만을 이용하여 직물을 제직하는 간단한 방법의 직기로(Seo, 2019), 본 연구에서는 못에 경사를 걸어 사용하는 태피스트리 못 프레임 직기를 사용하였으며, 직기의 크기는 36cm × 43cm 사이즈이다. 본 연구에서는 경사로 시판 경사 전용 18합 면사를 사용하였으며, 위사로는 패브릭 내부에 전자회로도가 구현된 모습을 보여주기 위해 평면적이고 일관된 질감을 표현할 수 있는 18합 면사를 다양한 색상으로 사용하였다. 수직 바늘은 위사를 짜 올리다가 여백이 좁아 버터플라이나 북을 사용하여 제직하기 어려울 경우, 또는 세밀한 작업이 필요할 때 사용하는 도구로, 본 연구에서는 패브릭 내부에 회로도를 구성하는 과정에서 전도성 실을 경사를 따라 위사 아래에 감추기 위해 사용하였다. 또한, 본 연구에서 경사는 1인치당 경사

Figure 1. 태피스트리 재료: (A) 프레임 직기; (B) 종이 스틱; (C) 버터플라이; (D) 북; (E); 수직바늘; (F) 면사 및 모사; (G) 가위.
Photographed by the author. (June 16, 2022).

Table 1. 전도성 패브릭 개발을 위한 태피스트리 재료 및 세부사항.

재료	세부사항
프레임 직기	못에 경사를 걸어 사용하는 태피스트리 틀 36cm 43cm 판매처: 민들레공방handmade (https://smartstore.naver.com/kettenblume)
경사	경사 전용 실 면사 BASIC 18합 No.351 (90m) Cotton 100% Weight 80±3g/90m 굵기: 약 1.5mm 판매처: Weaving Shop (https://www.weavingshop.co.kr/index.html)
위사	면사 18합 (90m) Cotton 100% Weight 80±3g/90m 판매처: Weaving Shop (https://www.weavingshop.co.kr/index.html)
	Hera Wool Luxury Yarn (모사) Pure Wool 85%. A/A 15% Weight 453g/110m 판매처: 제일모직
수직 바늘	재질: 금속 사이즈: 7cm 판매처: 민들레공방handmade (https://smartstore.naver.com/kettenblume)

12올을 사용하고 위사로 18합 면사를 활용하였으므로, 경사의 장력과 위사의 밀도를 고려하여 수직 바늘은 약 7cm 사이즈를 사용하였다.

2) 스마트 텍스타일 재료

본 연구에서는 세탁이 가능한 전도성 패브릭을 구현하기 위해, 스마트 텍스타일 재료로 많이 사용되고 있는 전도성 실, 3V 코인셀 배터리, 금속 스냅 단추를 사용하였다. 또한, LED 전구를 활용하여 패브릭 내부의 회로도의 작동여부를 확인하고 장식성을 더하였다(Figure 2). 본 연구에서 사용된 전도성 실은 시판 스테인리스 전도성 실을 사용하였으며, 1 inch(2.45 cm) 에 0.83Ω의 저항을 가진다. 본 연구에서는 3mm 사이즈의 2핀 LED를 사용하였다. 2핀 LED 전구는 사용자 참여형 전도성 패브릭 제작에 적합한 발광 다이오드로, 길고 가느다란 핀이 있어 전도성 패브릭 위에 효과적으로 고정할 수 있으며, 세탁을 위해 LED 전구를 반복하여 탈부착하더라도 전도성 패브릭이 손상되지 않는다는 장점이 있다. 또한 본 연구에서는 릴리패드 코인셀 배터리 홀더에 CR2032 코인셀 배터리를 장착하였고, 배터리 홀더에 있는 4개의 연결지점(+극 2개, -극 2개) 중 2개를 전도성 패브릭 내부에 삽입된 회로도의 양극에 연결하여 휴대용 전원으로 사용하였다. 본 연구에서 사용된 CR2032 코인셀 배터리는 저전력 프로세서를 동작시키거나 LED 깜박이기 등의 간단한 회로를 구현하기에 적합하다. 또한, 본 연구에서는 사용자 참여형 전도성 패브릭에 배터리 홀더를 쉽게 탈부착할 수 있도록 하기 위해 금속 스냅 단추를 사용하였다. 금속 스냅 단추는 배터리 홀더의 +극과 -극, 그리고 전도성 패브릭 내부에 삽입된 회로도의 양극에 각각 연결하여 탈부착이 가능하도록 하였다.

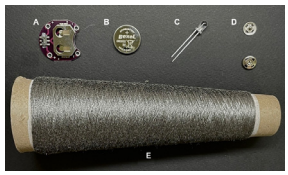


Figure 2. 스마트 텍스타일 재료: (A) 릴리패드 코인셀 배터리 홀더; (B) CR2032 3V 코인셀 배터리; (C) 3mm 2핀 LED; (D) 금속 스냅단추; (E); 전도성 실.

Table 2. 전도성 패브릭 개발을 위한 스마트 텍스타일 재료 및 세부사항.

재료	세부사항
전도성 실	Stainless Medium Conductive Thread-3 ply 굵기: 0.25mm 1 inch / 0.83Ω 제조사: adafruit
LED	Cool White 3mm LED 정격전압: DC 3.0~3.2V 정격전류: 20mA 밝기: 6000~8000mcd 제조사: OEM
배터리	Lithium Coin cell battery 재료(Chemical): Lithium 전압(Voltage): 3.0V 용량(Capacity): 225mAh 사이즈(Size): CR2032 직경(Diameter): 20mm 무게(Weight): 3.0g
배터리 홀더	LilyPad Coin Cell Battery Holder – CR2032 정격 배터리: CR2032 코인셀 배터리 사이즈: 20mm 제조사: Sparkfun

3) 태피스트리를 활용한 기본 조직 구성 방법

본 연구에서는 전도성 패브릭 제작 시, 평직 및 평직을 응용한 슬리트, 사선, 파일 기법과, 능직을 응용한 수막 기법을 활용하였다.

(1) 평직 및 평직의 응용

평직은 경사와 위사를 한 줄씩 교차하여 위빙하는 기법으로, 태피스트리의 가장 기본적인 방법이다(Figure 3 (A)). 본 연구에서는 평직 기법을 주로 사용하였으며, 밀도를 치밀하게 제직하였다. 평직 응용 기법으로, 슬리트(Figure 3 (B)), 사선(Figure 3 (C)), 파일(Figure 3 (D)) 기법을 활용하여 문양을 표현할 수 있다

파일 기법은 평직을 응용한 기법으로, 막대에 위사를 둥글게 감아 루프를 만들어준 후 경사 2줄에 위사를 한 번씩 통과시켜 위빙한다(Figure 3 (D)). 막대를 사용하여 루프를 만들지 않는 경우, 위사로 경사 2줄을 위사로 감싸듯이 루프를 만든 후 동일한 경사 2줄을 루프를 고정시킨다는 느낌으로 단단하게 묶듯이 감아준다. 파일 기법으로 위빙한 후에는 반드시 그 위에 평직을 1단 위빙하여 루프 파일 조직이 움직이지 않도록 고정시킨다. 본 연구에서는 루프 파일 형태를 스위치로 구현하기 위해 사용하였다.

(2) 능직의 응용

수막은 2올 이상의 경사 위에 위사가 통과하는 능직의 응용기법으로, 선과 면의 부분적 강조와 표면의 질감을 변화시키기 위해 사용하는 기법이다. 수막은 직물의 부피감이 증가함에 따라 시각적 변화와 장식적 효과를 줄 수 있다(Figure 3 (E)) (Seo, 2019). 본 연구에서는 텍스타일 회로도를 표면에서 완전히 감추거나, 루프 파일 사이의 공간을 만들기 위해 수막 기법을 사용하였다.

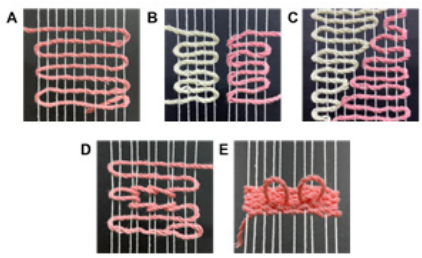


Figure 3. 태피스트리의 기본 조직: (A) 가로선; (B) 슬리트; (C) 사선; (D) 파일; (E); 수막.
Photographed by the author. (June 18, 2022).

2. 텍스타일 회로도 제안

1) 스위치가 없는 텍스타일 회로도

텍스타일 회로도 구성에 앞서, 직렬 및 병렬회로도로 전도성 패브릭을 제작하고 디자인적 의미를 분석하였다. <Figure 4 (A)>는 건전지 1개에 전구 1개가 연결된 단순한 형태의 직렬 회로도이며, <Figure 4 (B)>는 전도성 실이 위사와 함께 제직된 전도성 패브릭이다. 제시된 전도성 패브릭은 전체가 전도성을 띄는 소재로, 전선을 대체하는 역할만을 하기 때문에 디자인적 측면에서는 의미가 없다.

또한, 직렬 회로는 LED 개수와 위치에 따른 전력의 순차적 분산으로 인한 밝기의 불균형의 문제가 발생할 수 있다. 이와 달리, 병렬 회로는 각각의 전구가 독립적으로 작동하므로 각 LED의 밝기가 일정한 장점이 있다. 또한, 직렬 회로는 전지, LED, 전선이 하나로 연결되어 있으므로, 직렬 연결된 LED들 중 하나의 LED라도 작동하지 않으면 나머지 LED에도 불이 켜지지 않는다는 단점이 있다(Korea Educational Broadcasting System[EBS], 2020). 따라서 본 연구는 LED 등을 전도성 패브릭에 적용 시, 병렬 회로를 활용하였다.

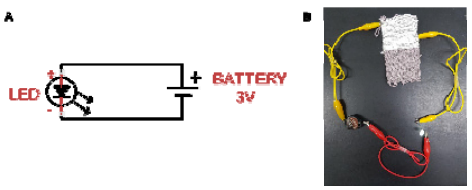


Figure 4. (A) 직렬 회로도; (B) 경·위사에 전도성 실을 사용한 전도성 패브릭.
Photographed by the author. (June 16, 2022).

<Figure 5 (B)>의 전도성 패브릭은 건전지 1개에 전구 2개가 연결된 병렬회로도(Figure 5 (A))를 전도성 실을 사용하여 직물에 그대로 구현한 것으로, 회로가 직물 위에 바로 적용되어 있기 때문에 전도성 실과 스위치가 직물 표면에 노출되는 단점이 있다. 따라서, 회로도를 직물 및 편성물에 적용할 경우, 텍스타일 내부에 회로도를 삽입할 때, 보다 다양한 외관을 가진 전도성 패브릭을 제작할 수 있다.

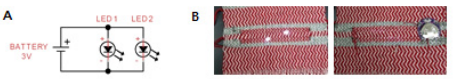


Figure 5. (A) 병렬회로도; (B) 4 종광직기로 제직된 우븐 패브릭.
Photographed by the author. (June 16, 2022).

따라서 본 연구에서는 텍스타일 회로도를 텍스타일 내부에 전도성 실을 사용하여 유연한 형태의 전기회로도를 구현한 것으로 정의하고, 이러한 텍스타일 회로도가 삽입된 직물을 전도성 패브릭으로 정의한다. 또한, 본 연구에서는 사용자가 전도성 패브릭 제작 시, 텍스타일 회로도의 작동 원리 및 제작 방법을 직관적으로 이해할 수 있도록 텍스타일 회로도를 디자인 모식도 형태로 제안하고, 이를 적용한 샘플과 시제품을 제작하였다.

본 연구에서는 텍스타일 내부에 적용할 수 있는 텍스타일 회로도의 디자인 모식도를 제시하였다. 본 연구에서 제안한 텍스타일 회로도는 <Figure 6 (A)>와 같이 전지 1개에 전구 3개가 병렬로 연결된 구조로 구성하였다.

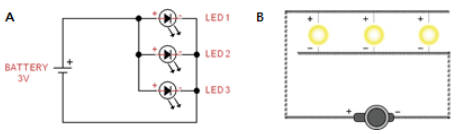


Figure 6. (A) 스위치가 없는 텍스타일 회로도; (B) 스위치가 없는 텍스타일 회로도가 구현된 전도성 패브릭의 디자인 모식도.
Captured by the author. (June 20, 2022).

2) 스위치가 있는 텍스타일 회로도

본 연구에서 사용자가 원하는 다양한 디자인의 사용자 참여형 전도성 패브릭을 제작할 수 있도록 루프 파일 스위치를 적용한 텍스타일 회로도를

제안한 결과는 <Figure 7 (B)>와 같다. <Figure 7 (A)>는 전지 1개에 전구 3개가 연결된 형태의 회로도로, 태피스트리의 파일 기법을 활용해 만든 스위치를 직물 내부에 삽입할 수 있는 디자인이다.

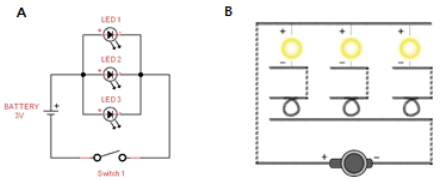


Figure 7. (A) 스위치가 있는 텍스타일 회로도; (B) 스위치가 있는 텍스타일 회로도가 구현된 전도성 패브릭의 디자인 모식도.
Captured by the author. (June 20, 2022).

3. 사용자 참여형 전도성 패브릭 프로토타입 개발

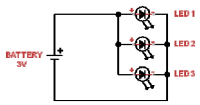
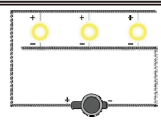
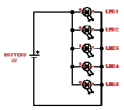
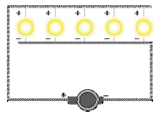
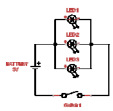
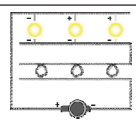
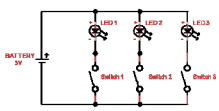
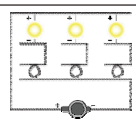
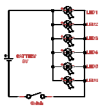
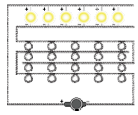
1) 사용자 참여형 전도성 패브릭 프로토타입의 전기회로도 및 디자인 모식도

본 연구에서 제안한 텍스타일 회로도를 적용하여, 사용자가 다양한 방식으로 응용할 수 있는 사용자 참여형 전도성 패브릭 프로토타입 5종을 제작한 결과는 <Table 3>과 같다.

3L과 5L은 스위치가 없는 텍스타일 회로도로, 두 회로도 사이에는 전구의 개수에만 차이가 있다. 따라서, 3L과 5L은 제작 난이도가 비교적 낮은 단순한 디자인이므로 사용자가 손쉽게 구현해 낼 수 있다.

3L-1S, 3L-3S, 6L-1S는 스위치가 있는 텍스타일 회로도로, 전도성 실로 만든 루프 파일 형태의 스위치가 추가된 디자인을 제안하였다. 3L-1S는 3개의 LED 전구와 1개의 단일 스위치를 삽입한 텍스타일 회로도이다. 이를 바탕으로, LED 전구 3개의 (-)극이 모두 하나의 전도성 실에 연결되어 있고, 이 전도성 실을 끊지 않은 상태에서 둥글게 말아 파일 스위치를 제작하는 형태의 디자인 모식도를 제안한다. 전도성 실로 만든 파일 스위치 하단에는 면사와 같은 비전도성 실로 평직을 위빙하여

Table 3. 사용자 참여형 전도성 패브릭 프로토타입의 전기회로도 및 디자인 모식도.

샘플명	LED 개수	스위치 개수	회로도	디자인 모식도
3L	3개	-		
5L	5개	-		
3L-1S	3개	1 single switch		
3L-3S	3개	3 single switches (connected in parallel)		
6L-1S	6개	1 single switch		

Captured by the author. (June 22, 2022).

스위치가 접촉하지 않을 경우, 전기가 통하지 않도록 약간의 공간을 남겨 주었다. 하단에는 전지의 (-)극과 연결된 전도성 실로 평직을 1줄 위빙하여 전도성 실로 만든 파일 스위치와 접촉할 수 있는 부분을 디자인하였다. 위 디자인 모식도에서 3개의 파일 스위치는 동일한 전도성 실로 만들었기 때문에 단일 스위치의 역할을 하게 된다. 따라서, 1개의 루프 파일이라도 하단에 평직으로 1줄 제직된 전도성 실과 접촉하게 되면 전지의 (-)극과 LED 전구의 (-)극이 연결되어 3개의 LED 전구에 모두 불이 들어오게 되는 형태의 디자인이다.

3L-3S는 3L-1S의 응용으로, 3개의 개별 스위치를 병렬로 연결한 텍스타일 회로도이다. 또한, 이와 함께 전도성 실로 제작한 3개의 파일 스위치가 각각의 LED 전구의 개별 스위치의 역할을 하는 디자인 모식도를 함께 제안하였다. 각각의 LED 전구의 (-)극에 연결된 전도성 실로 파일 스위치를 만들어 개별 스위치를 구현하였으며, 하단에는 전지의 (-)극과 연결된 전도성 실을 끊지 않고 연속적으로 평직을 1줄 위빙하였다. 위 디자인 모식도에 따르면, 1개의 파일 스위치가 평직으로 1줄 위빙한 전도성 실과 접촉할 경우, 전지의 (-)극과 해당 루프 파일 스위치와 연결된 LED 전구의 (-)극이 연결이 되어 불이 들어오게 된다.

6L-1S는 하나의 단일 스위치가 삽입된 3L-1S를 응용하여, 여러 개의 루프 파일 스위치가 하나의 단일 스위치의 역할을 하는 회로이다. 위 디자인 모식도에 따르면, 각각의 파일 스위치가 상단 또는 하단에 위치한 다른 파일 스위치와 접촉했을 때, 전지의 (-)극이 LED 전구의 (-)극과 연결되어 LED 전구에 불이 들어오는 디자인이다. 전지의 (-)극과 연결되는 전도성 실을 평직이 아닌 동일한 루프 파일 기법으로 위빙하고, 상단과 하단에 위치한 한 쌍의 파일 스위치가 하나의 단일 스위치 역할을 한다는 점을 고려하였을 때, 더욱 유연한 형태의 스위치를 전도성 패브릭 내부에 삽입할 수 있어 심미성이 향상될 수 있다.

2) 사용자 참여형 전도성 패브릭 프로토타입의 제작

본 연구에서는 5종의 디자인 모식도를 바탕으로 한 프로토타입을 다음과 같이 제작하였다.

(1) 스위치가 없는 텍스타일 회로도 적용 - 3개의 LED 전구를 사용한 디자인

태피스트리 기법을 활용한 위빙과정에서 전도성 실을 활용하여 직물 내부에 전자회로도를 구현하고, 3개의 LED 전구를 부착한 전도성 패브릭 프로토타입을 제작하였다.

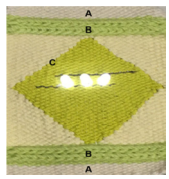


Figure 8. 3L 프로토타입: (A) 가로선(평직)기법; (B) 수막기법; (C) 사선기법.
Photographed by the author. (June 22, 2022).

디자인 모식도와 실제 만들어진 프로토타입을 이해하기 쉽도록, 위 전도성 패브릭의 뒷면과 디자인 모식도를 비교한 그림은 다음과 같다(Figure 9).

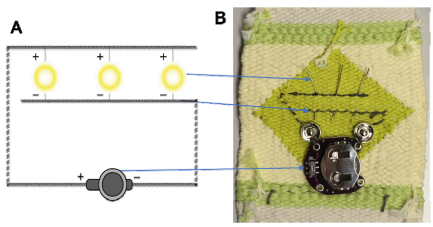


Figure 9. 3L 프로토타입: (A) 전도성 패브릭의 디자인 모식도; (B) 전도성 패브릭의 뒷면.
Photographed by the author. (June 22, 2022).

위 전도성 패브릭 프로토타입에서는 가로선, 수막, 사선 기법을 사용하여 장식적인 효과를 주었다. 비전도성 섬유인 면사 또는 모사의 경우, 위빙 시 사용자가 다양한 기법을 활용하여 원하는 디자인을 구현할 수 있다. 전도성 실의 경우, 섬유의

외부가 비전도성 물질로 덮여 있지 않으므로, 내부에 회로도를 삽입할 때는 (+)극에 연결된 전도성 실과 (-)극에 연결된 전도성 실이 서로 직접적으로 겹치지 않도록 주의해야 한다. 또한 전도성 패브릭에 삽입하는 전도성 실은 연결된 상태로 사용되어야 한다. 이 과정에서 전도성 실이 직물 외부에 부사(floating yarn)의 형태로 길게 노출되면 마찰에 의해 금속 코팅이 손상되거나, 실이 끊어질 수 있으므로, 이를 직물 내부에 안정적으로 고정하는 것이 필요하다. 이를 위하여, 전도성 실은 <Figure 9 (A)>의 디자인 모식도와 같이 삽입하였다. 점선 부분은 전도성 실을 부사의 형태로 표면에 노출하는 것이 아닌, 경사 옆에 나란히 배열함으로써, 경사 한 올과 전도성 실 한 올이 마치 한 올의 경사처럼 위빙되도록 하였다. 그 결과 <Figure 9 (A)>의 점선으로 표시된 부분의 전도성 실은 전도성 패브릭의 표면으로 노출되지 않고 직물 내부에 완전히 삽입되었다 (Figure 9 (B)).

사용된 3mm 2핀 LED 전구의 (+)극과 (-)극은 얇은 핀으로 이루어져 있으므로, 전도성 실로 위빙한 부분에 끼워 넣으면 쉽게 전류가 통하게 된다. 이때 LED 전구의 고정력과 원활한 전류의 흐름을 위해서 LED 전구의 핀을 꽂을 부분은 전도성 실을 사용하여 밀도 있게 평직으로 위빙해야 한다. 위 전도성 패브릭 샘플의 경우, 배터리 홀더의 스위치로만 on/off가 가능한 형태로, 배터리 홀더의 스위치를 on 하면 LED 전구가 light on 상태가 된다(Figure 8).

(2) 스위치가 없는 텍스타일 회로도 적용 - 5개의 LED 전구를 사용한 디자인

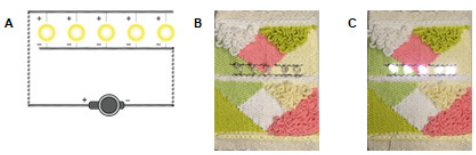


Figure 10. 5L 프로토타입: (A) 전도성 패브릭의 디자인 모식도; (B) 전도성 패브릭(switch off); (C) 전도성 패브릭(switch on).
Photographed by the author. (June 22, 2022).

위와 동일한 방법으로 5개의 LED 전구를 부착한 전도성 패브릭 프로토타입을 제작하였다. 가로선, 수막, 사선, 파일 기법을 사용하여 다양한 장식적인 효과를 주었으며, 5개의 LED 전구를 부착하였다(Figure 10). 이처럼 사용자는 본 연구에서 제안한 기본적인 디자인 모식도와 회로도를 바탕으로, 태피스트리 기법, 부착한 LED 전구의 개수, 위치 등을 조정하여 쉽고 간단하게 본인이 구상한 전도성 패브릭 디자인을 직접 구현할 수 있다.

(3) 스위치가 있는 텍스타일 회로도 적용 - 단일 스위치를 사용한 디자인

전도성 실을 활용하여 직물 내부에 전자회로도를 구현하고, 파일 기법을 활용하여 루프 형태의 스위치를 삽입한 전도성 패브릭 프로토타입을 제작하였다(Figure 11).

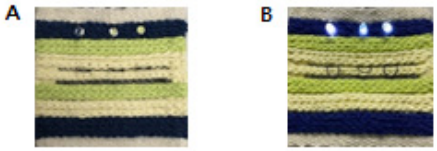


Figure 11. 3L-1S 프로토타입: (A) 전도성 패브릭(switch off); (B) 전도성 패브릭(switch on).
Photographed by the author. (June 22, 2022).

위 전도성 패브릭은 전도성 실로 만든 루프 파일을 눌러 하단의 전도성 실로 위빙한 평직단과 맞닿게 하면 LED 전구에 불이 들어오고(Figure 11 (B)), 루프 파일과 전도성 실로 위빙한 평직단이 접촉하지 않으면 LED 전구의 불이 꺼지도록 제작하였다(Figure 11 (A)).

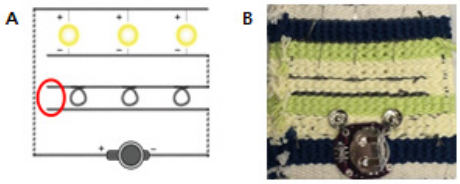


Figure 12. 3L-1S 프로토타입: (A) 3L-1S 샘플의 디자인 모식도; (B) 3L-1S 샘플의 뒷면.
Photographed by the author. (June 22, 2022).

전도성 실로 만든 루프 파일을 삽입한 전도성 패브릭은 배터리 홀더의 스위치가 on 상태에서도, 루프와 평직으로 위빙한 부분이 접촉되지 않으면 LED 전구는 off 상태를 유지한다. 디자인 모식도를 확인하면, LED 전구의 (-)극과 전지의 (-)극을 연결하는 전도성 실이 연속적으로 이어져 있지 않고 끊어져 있는 부분을 볼 수 있다(Figure 12 (A)). LED 전구의 (-)극과 연결되어 있는 전도성 실로 만든 루프와 전지의 (-)극과 연결되어 있는 전도성 실로 만든 평직단이 맞닿으면 전류가 흐르게 되면서 LED 전구에 불이 들어오게 된다. 이처럼 전류가 흐르는 전도성 실의 중간을 끊어 스위치를 삽입할 수 있도록 회로를 구성하고, 파일 기법에서 나타나는 루프 파일에 스위치의 기능을 부여하여 스위치를 구현하였다. 전도성 실은 금속을 아주 얇은 섬유 형태로 만들어 실처럼 꼬아 놓은 스테인리스 스틸 섬유로, 강직한 성질을 가지고 있다. 전도성 실을 사용하여 루프 형태를 만들고, 그 위를 조밀하게 평직으로 위빙하여 <Figure 11 (A)>에서처럼 루프 파일이 서있는 형태로 구현하였다. 또한, 루프 파일과 전도성 실로 위빙한 평직단 사이에 비전도성 섬유인 면사 또는 모사를 활용하여 위빙하여 서로 떨어져 있도록 디자인하였다. 이렇게 구성하는 이유는 스위치 역할을 하는 루프 파일이 하단의 전도성 실로 위빙한 평직단에 쉽게 닿지 못하도록 하기 위해서이다.

(4) 스위치가 있는 텍스타일 회로도 적용 - 단일 스위치를 사용한 디자인의 응용

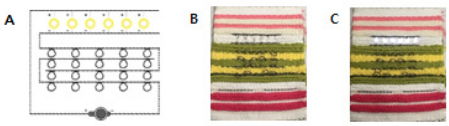


Figure 13. 6L-1S 프로토타입: (A) 6L-1S의 디자인 모식도; (B) 6L-1S 샘플 (switch off); (C) 6L-1S 샘플 (switch on).
Photographed by the author. (June 22, 2022).

<Figure 13>은 LED 전구 6개와 루프 단일 스위치로 구성된 전도성 패브릭의 프로토타입이다. 위 프로토타입에서는 LED 전구의 (-)극에 연결된 전도성 실로만 루프 파일 구성하지 않고, 기존에 평직으로 위빙한 전지의 (-)극에 연결된 전도성 실 또한 파일직으로 위빙하여 루프 파일 형태로 스위치를 구현하였다. 상단과 하단의 루프 한 쌍이 하나의 스위치 역할을 하게 되므로 총 15개의 스위치가 삽입되었으며, 이 중 한 쌍의 루프 파일이라도 맞닿게 되면 LED 전구 6개는 모두 Light on 상태가 된다 (Figure 13 (C)). 상단과 하단의 스위치 형태가 모두 루프 파일 형태로 구현되면 결과적으로 스위치 간의 접촉점이 많아져, 작은 터치나 미세한 스침에도 더 민감하게 반응한다. 이처럼 본 연구에서 제안한 디자인 모식도를 바탕으로 사용자는 루프 파일 스위치의 개수, 밀집도 등을 변경하여 개인의 디자인적 의도에 맞게 전도성 패브릭을 구현할 수 있다.

(5) 스위치가 있는 텍스타일 회로도 적용 - 개별 스위치를 사용한 디자인

전도성 성 실과 파일 기법을 활용하여 각 루프 파일 스위치가 LED 전구 1개에 개별적으로 연결된 스위치 형태를 제안한다(Figure 15).

위 전도성 패브릭에서는 각각의 LED 전구의 하단에 있는 루프 파일 스위치를 통해 해당 LED 전구를 on/off 할 수 있다(Figure 14). 이는 단일 루프 스위치가 삽입된 전도성 패브릭의 디자인 모식도를 응용한 것으로, 작동 원리는 같지만 작은 스위치를 만들어 각각의 LED 전구의 (-)극과 연결하였다.

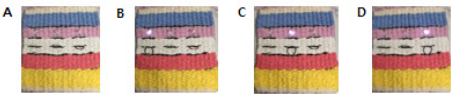


Figure 14. 3L-3S 프로토타입: (A) 전도성 패브릭(switch off); (B) 전도성 패브릭(switch 1 on); (C) 전도성 패브릭 (switch 2 on); (D) 전도성 패브릭(switch 3 on).

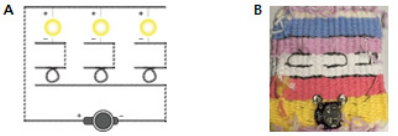
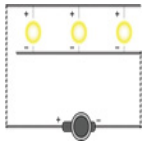
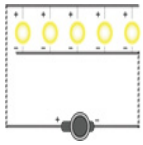
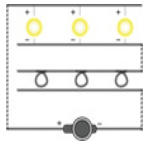
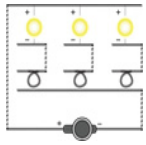
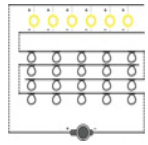


Figure 15. 3L-3S 프로토타입: (A) 전도성 패브릭의 디자인 모식도; (B) 전도성 패브릭의 뒷면.
Photographed by the author. (June 22, 2022).

Table 4. 사용자 참여형 전도성 패브릭 프로토타입.

프로토타입	스위치가 없는 텍스타일 회로도 적용		스위치가 있는 텍스타일 회로도 적용		
	3L	5L	3L-1S	3L-3S	6L-1S
디자인 모식도					
사용된 기법	가로선(평직), 수막(능직), 사선(평직)	가로선(평직), 수막(능직), 파일(평직), 사선(평직)	가로선(평직), 수막(능직), 파일(평직)	가로선(평직), 파일(평직)	가로선(평직), 수막(능직), 파일(평직)
앞면 스위치 on					
앞면 스위치 off					
뒷면					

Captured by the author. (June 22, 2022).

4. 사용자 참여형 전도성 패브릭의 전기전도도 평가

본 연구에서 제작한 5종의 전도성 패브릭 프로토타입의 전기전도도 측정 결과는 <Table 5>와 같다. 측정 결과, 5L과 6L-1S의 전기전도도가 3L, 3L-1S, 3L-3S와 비교하여 우수한 것으로 확인되었다.

전도성 패브릭의 전기전도도는 연결되어 있는 전구의 개수 및 전도성 실을 몇 겹으로 겹쳐 사용하였는지에 따라 영향을 받는 것으로 사료된다. 5L과 6L-1S에 연결된 전구의 개수는 각각 5개와 6개로, 3L, 3L-1S, 3L-3S에 비해 많은 수의 전구가 연결되어 있고, 여러 개의 전구를 연결하기 위하여 여러 겹의 전도성 실을 겹쳐서 사용해야 한다. 전도성 실을 여러 겹으로 겹쳐서 사용하는 것은 곧 여러 겹의 전선을 겹쳐 사용하는 것과 같으며, 전도성 패브릭의 표면 저항을 감소시키는 역할을 한다(Ouyang & Chappell, 2008). 따라서 본 논문에서 제작한 5L와 6L-1S는 상대적으로 낮은 표면 저항을 갖게 되며, 이로 인해 우수한 전기전도도를 갖는 것으로 예상된다.

또한 이론적으로, 병렬로 연결된 전구의 개수가 증가하면 저항이 감소하고, 전기전도도는 향상된다. 따라서, 전구 5개를 사용한 5L의 전기전도도가 전구 3개를 사용한 3L에 비하여 우수하였으며, 스위치가 추가된 경우에도 전구 개수가 증가한 6L-1S의 전기전도도가 3L-1S, 3L-3S에 비하여 높은 것을 확인하였다. 삽입된 스위치는 회로도 내

에서 저항으로 작용하기 때문에, 동일하게 3개의 전구를 사용한 3L, 3L-1S, 3L-3S의 전기전도도 비교 시, 스위치가 없는 3L의 전기전도도가 가장 우수하였다.

따라서, 본 연구에서는 전구의 개수, 연결 방법, 스위치의 개수 등이 전도성 패브릭의 전기전도도에 영향을 미침을 확인하였다. 그러나 전도성 패브릭의 전기전도도 측정 결과에서는 수치상의 차이가 있는 것으로 확인되었으나, 육안으로 관찰했을 때 각 전도성 패브릭의 성능 및 LED 전구의 밝기는 유사하였으며 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다.

5. 사용자 참여형 전도성 패브릭의 세탁 영향 평가

전도성 패브릭 프로토타입의 세탁 영향 평가 결과, 육안으로 관찰 시 전도성 패브릭의 성능 및 LED 밝기는 동일하였으나 세탁 후 모든 프로토타입에서 전기전도도가 감소한 것으로 나타났다 (Table 5). 이는 세탁 과정에서 전도성 패브릭 표면에 마찰이 가해지고, 그로 인해 <Figure 16>과 같이 전도성 실의 표면의 금속 성분이 미세하게 탈락하는 현상이 발생하기 때문이다. 이러한 경향은 Varnaite and Katunskis(2009)의 선행연구 결과와 일치한다. 5개의 프로토타입 중, 세탁 후 전기전도도 변화가 가장 적은 것은 3L-1S 프로토타입으로 확인되었다. 3L-1S는 회로 주변을 면사를 사용한 수

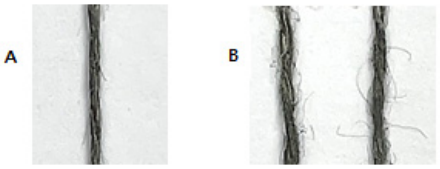


Figure 16. 세탁 영향 평가 전후 전도성 실의 표면: (A) 세탁 전 전도성 실의 표면; (B) 세탁 후 전도성 실의 표면.
Photographed by the author. (November 3, 2022).

막 기법으로 위빙하여 전도성 실이 표면에 거의 노출되지 않는 디자인으로, 이로 인해 전기전도도 변화가 가장 적게 나타난 것으로 추정된다.

세탁 전의 전기전도도가 가장 우수하였던 5L과 6L-1S는 세탁 후에 전기전도도가 각각 81.8%, 77.4% 감소하였다. 그러나 육안으로 관찰 시, 두 샘플에 연결된 LED 전구의 밝기 등에서 유의미한 차이가 나타나지는 않았다. 5L의 세탁 후 전기전도도 저하의 원인은, 제작 과정에서 다양한 위빙 기법이 사용됨에 따라 조직 구조가 3L-1S와 비교하여 상대적으로 치밀하지 않고, 이로 인해 세탁 후 전도성 실의 금속 성분이 쉽게 탈락되었을 것으로 예상된다. 또한 6L-1S의 경우, 전도성 실이 표면에 비교적 많이 노출되어 있는 디자인이므로 전도성 실의 금속 성분이 쉽게 탈락될 수 있기 때문에 전기전도도가 저하된 것으로 판단된다.

6. 사용자 참여형 전도성 패브릭의 시제품 제작

Table 5. 사용자 참여형 전도성 패브릭 프로토타입의 전기전도도(S/cm).

샘플	전기전도도 (S/cm)	
	세탁 전	세탁 후
3L	138.53	62.87
5L	280.94	50.91
3L-1S	50.97	48.63
3L-3S	84.78	54.50
6L-1S	263.72	59.44

Captured by the author. (June 30, 2022).

Figure 17. 크로세 기법으로 제작한 티 코스터.
From "Farmhouse style coasters". (n.d.). https://www.thepaintedhinge.com

Figure 18. 우븐 기법으로 제작한 티 코스터.
From "Choose your color". (n.d.). https://www.etsy.com

Figure 19. 패치워크 기법으로 제작한 티 코스터.
From "Mini quilt coffee". (n.d.). https://www.etsy.com

Figure 20. Square LED Coaster.
From "Smokey cocktail". (n.d.) https://www.smokeycocktail.in/

Figure 21. 사용자 참여형 전도성 패브릭 기법을 활용한 LED 티 코스터 시제품.
Photographed by the author. (June 28, 2022).

기존의 패브릭 티 코스터(tea-coaster)는 크로세(crochet) 기법, 우븐(woven) 기법, 패치워크(patchwork) 기법 등을 통해 만들어진다(Figure 17, 18, 19). 현재 시중에 판매되고 있는 LED 불빛이 들어오는 티 코스터는 패브릭이 아닌 크리스탈 또는 플라스틱 판넬 형태로 제작되고 있으며, 그 중 대부분이 배터리의 교체가 불가능하다(Figure 20). 따라서 기존의 LED 티 코스터의 단점인 일회성을 해결하기 위해, 본 연구에서는 사용자 참여형 전도성 패브릭을 사용한 LED 티 코스터 시제품을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 LED 티 코스터 시제품은 배터리 교체가 가능하고, 배터리 홀더 및 LED 전구의 탈부착이 가능하므로, 다회용으로 사용할 수 있는 지속가능한 제품이다.

LED 티 코스터 시제품 제작 시, 파일 스위치를 적용한 텍스타일 응용 회로도를 사용하였으며, 90mm × 90mm, 100mm × 100mm, 110mm × 110mm의 다양한 크기로 제작하였다(Figure 21). LED 티 코스터의 중앙에는 파일 스위치를 만들었으며, 상단에는 LED 전구를 1개 부착하였다. LED 전구의 (-)극과 연결된 스위치 및 전지의 (-)극에 연결된 전도성 실 모두 파일 기법을 사용하여 루프 파일 형태로 제작하였다. 상단과 하단의 스위치가 모두 루프 파일 형태로 구현되면 스위치 간의 접촉점이 많아져, 결과적으로 작은 터치나 미세한 스침에도 민감하게 반응하는 일종의 센서 역할을 하게 된다. 따라서, LED 티 코스터의 파일 스위치는 한 쌍의 루프 파일 형태로 제작하여, 스위치 위에 잔을 올려 두었을 때 파일 스위치가 서로 자연스럽게 접촉하면서 LED 전구에 불이 들어오도록 제작하였다.

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 사용자 참여형 전도성 패브릭을 제작하기 위한 텍스타일 회로도를 제안하고, 태피스트리를 활용하여 5개의 디자인 및 제작법을 제시하였다. 이를 위해, 본 연구에서는 태피스트리의 기본 테크닉인 가로선, 파일, 사선 기법 등을 사용하였으며, 특히 파일 기법은 텍스타일 응용 회로도에서 루프 형태의 스위치 제작에 활용되었다. 연구 과정을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 사용자가 직접 디자인과 제작에 참여하는

개인 맞춤형 제품에 대한 소비 트렌드의 확산에 따라, 텍스타일 분야의 전문지식이 없는 사용자들도 쉽게 전도성 패브릭을 만들어볼 수 있도록 태피스트리 기법을 사용한 제작 방법을 제안하였다.

둘째, 텍스타일 기초 회로도와 응용 회로도를 함께 제안하고, 이를 직물 내부에 적용한 프로토타입을 제작함으로써, 본 연구에서 제안한 텍스타일 회로도를 바탕으로 사용자들이 원하는 디자인을 태피스트리로 다양하게 구현할 수 있음을 보여주었다. 특히 직물 내부에 전도성 실이 가진 전기적 특성과 섬유의 특성을 최대로 활용한 루프 파일 스위치를 삽입하여 유연하고 심미성이 있는 전도성 패브릭을 개발하였다.

셋째, 본 연구의 전도성 패브릭 제작방법을 바탕으로 루프 파일 스위치의 유연함을 극대화하여 센서처럼 구현한 LED 티 코스터를 시제품으로 제작함으로써 전도성 패브릭의 활용성 및 용도를 제안하였다. 또한, 본 연구에서 제작한 전도성 패브릭은 전도성 실을 외부에 최소한으로 노출시켜 디자인을 해치지 않고 텍스타일 회로도를 직물 내부에 완전히 통합할 수 있는 방법과, 일반 사용자들도 쉽게 제작에 참여할 수 있도록 하는 제작 방법을 제안하였다는 것에 의의가 있다. 또한, LED 전구 및 배터리를 탈부착할 수 있도록 설계하고, 세탁 전후의 전기전도도의 변화를 측정하여 내구성을 확인함으로써 다회성 전도성 패브릭을 제작했다는 점에서 의의가 있다.

본 연구에서 제작한 전도성 패브릭은 육안으로 관찰 시 LED 밝기 및 세탁 후 성능의 차이는 확인되지 않았다. 그러나 면저항 측정기를 이용한 전기전도도 측정 결과, 전도성 패브릭의 디자인, 전구 개수, 스위치 개수, 세탁 여부 등에 따른 전도성의 차이가 확인되었다. 따라서, 후속 연구에서는 본 연구에서 제안된 디자인 기법을 바탕으로 전도성 패브릭의 제작 조건에 따른 전기전도도의 변화에 대한 연구를 진행하여, 향후 실용적인 전도성 패브릭 제품 개발의 기초 자료로 활용되기를 기대한다.

References

An, M.-H., & Lim, H.-S. (2020). Designing user participation smart photonic clothing prototype using arduino. *Fashion & Textile Research Journal*, *22*(1), 55-65. doi:10.5805/SFTI.2020.22.1.55

Bae, J. C. (2022, April 18). "오직 당신만을 위한 옷" 초개인화 제품이 뜬다 ["Clothes only for you." Super personalized products are coming up]. *hankyung.com*. Retrieved July 18, 2022, from https://www.hankyung.com/economy/article/202204184591l

Byun, J. H., Seo, J. H., Pan, Y. H., & Lee, T. S. (2006). Participatory design prototyping for developing product user interaction. *Journal of Digital Design*, *6*(2), 25-34.

Cho, H. S., Park, S. H., Kang, D. H., Lee, K. H., Kang, S. J., Han, B. R., Oh, J. H., Lee, H. D., Lee, J. H., & Lee, J. W. (2015). Performance evaluation of fabric sensors for movement-monitoring smart clothing: Based on the experiment on a dummy. *Science of Emotion & Sensibility*, *18*(4), 25-34. doi:10.14695/KJSOS.2015.18.4.25

Choose your color handwoven coaster set. (n.d.). *etsy.com*. Retrieved July 19, 2022, from https://www.etsy.com/listing/113620997/choose-your-color-handwoven-coaster-set?ga_order=most_relevant&ga_search_type=all&ga_view_type=gallery&ga_search_query=coaster+woven&ref=sr_gallery-1-41&sts=1&organic_search_click=1

Damodaran, L. (1996). User involvement in the systems design process-a practical guide for users. *Behaviour & Information Technology, 15*(6), 363-377. doi:10.1080/014492996120049

Farmhouse style coasters free crochet pattern. (n.d.). *The Painted Hinge*. Retrieved July 18, 2022, from https://www.thepaintedhinge.com/2016/02/26/farmhouse-style-coasters-free-crochet-pattern/

Freire, R., Honnet, C., & Strohmeier, P. (2017). Second skin: An exploration of eTextile stretch circuits on the body. *Proceedings of the Eleventh International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, Yokohama,* 653-658.

Grant, M. (2010). Project: Secret keeper. Retrieved July 18, 2022, form https://www.meggrant.com/secretkeeper.php

Heo, M. D. (2021, March 24). "당신에게 어울리는 옷은…" AI 품은 패션 큐레이션 기업 '스티치 픽스' ["The clothes that look good on you.." Stitch Fix, a fashion curation company that embraces AI]. *asiae.co.kr*. Retrieved July 18, 2022, from https://cm.asiae.co.kr/article/2021031714014365477

Jung, I., & Lee, S. (2018). Durability evaluation of stainless steel conductive yarn under various sewing method by repeated strain and abrasion test. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, 42*(3), 474-485. doi:10.5850/JKSCT.20

18.42.3.474

Khoshneviss, H., Hewitt, D., Jan, E., Gotowka, S., & Majidi, S. (2013). Handwoven white LED display & hand-embroidered white touchpad box. *Studio subTela*. Retrieved July 18, 2022, from https://subtela.hexagram.ca/handwomen-white-led-display-hand-embroidered-white-touchpad-box/

Kim, B. M. (2019a). Analysis of types and case study on E-Textile as fashion textile. *Design Convergence Study, 18*(3), 15-32. doi:10.31678/SDC.76.2

Kim, E. Y. (2019b, May 1). 옷깃 바꾸고, 주머니빼고…'나만의 옷' 주문한다 ['Ordering my own clothes' by change the collar and take out the pockets]. *biz.chosun.com*. Retrieved July 18, 2022, from https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2019/04/30/2019043001999.html

Kim, H., Lim, H. S., & Kim, H. R. (2021). User participatory coding design of smart fashion accessories using MakeCode. *Journal of Fashion Design, 21*(4), 21-36. doi:10.18652/2021.21.4.2

Kim, J., & Chung, K. (2013). A study on smart textiles in contemporary fiber Art. *Journal of Basic Design & Art, 14*(1), 125-135.

Kim, J. Y., Han, W. M., & Kim, S. M. (2018). The analysis of the small business startup cases in the textile field. *Journal of Korea Design Forum, 23*(4), 129-138. doi: 10.21326/ksdt.2018.23.4.011

Kim, S. R., Roh, J. S., & Lee, E. Y. (2016). Development and wearability evaluation of all-fabric integrated smart jacket for a temperature-regulating system based on user experience design. *Fashion & Textile Research Journal*, *18*(3), 363-373. doi:10.5805/SFTI.2016.18.3.363

Kim, S. W. (2009). A study on transformation and expansion of contemporary fiver art immanent woven forms. *The Journal of the Korea Society of Art & Design*, *12*(2), 1-21.

Ko, J. (2017). Smart safety hat for elderly pedestrians. *Journal of Korea Multimedia Society, 20*(8), 1387-1394. doi:10.9717/kmms.2017.20.8.13

Korea educational broadcasting system. (2020). *EBS 초등 기본서 만점왕 과학 6-2* [EBS Elementary School Basic Book Perfect Score Science 6-2]. Seoul: Educational Broadcasting System.

Lee, D. C. (2020, March 23). 패션•뷰티업계, 커스터마이징으로 MZ세대 잡는다 [Fashion and beauty industry targets MZ generation through customization]. *tnnews.co.kr*. Retrieved July 18, 2022, from http://tnnews.co.kr/archives/47626

Lee, E.-K., & Kim, Y.-H. (2020). A study on the development of fabric electronics' customized smart bag using computer embroidery. *Journal of the Korea Convergence Society, 11*(7), 105-112. doi:10.15207/JKCS.2020.11.7.105

Lee, J. H., Lee, E. H., Cho, H. S., Yang, E. K., & Kho, J. M. (2017). A case study for participatory fashion design using generative design methodology. *Journal of the Korean Society of Costume*, *67*(4), 58-70. doi:10.7233/2017.67.4.058

Lee, J., Hwang, S., & Jin, S. (2011). A study and development of interactive tapestry based on Arduino technology. *Journal of Basic Design & Art*, *12*(5), 423-433.

Lee, S., Choi, Y., Cha, G., Sung, M., Bae, J., & Choi, Y. (2020). Knitted data glove system for finger motion classification. *Journal of Korea Robotics Society, 15*(3), 240-247. doi:10.7746/jkros.2020.15.3.240

Mini quilt coffee or tea mug rugs snack mat patchwork placemats coasters set of 3. (n.d.). *etsy.com*. Retrieved July 19, 2022, from https://www.etsy.com/listing/268635935/mini-quilt-coffee-or-tea-mug-rugs-snack?ga_order=most_relevant&ga_search_type=all&ga_view_type=gallery&ga_search_query=patchwork+coaster&ref=sr_gallery-4-27&organic_search_click=1

Ouyang, Y., & Chappell, W. J. (2008). High frequency properties of electro-textiles for wearable antenna applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 56*(2), 381-389. doi:10.1109/TAP.2007.915435

Pailes-Friedman, R. (2016). *Smart textiles for designers: Inventing the future of fabrics*. London: Laurence King Publishing.

Park, H. J. (2022, January 18). 패션•뷰티도 '비스포크'…AI•빅데이터로 개인별 맞춤 서비스[Fashion and beauty are also 'Bispoke' service with AI and Big Data, which are customized for individuals]. *etnews.com*. Retrieved July 18, 2022, from https://www.etnews.com/20220118000209

Park, H. W. (2014). R&D trend for e-textile. *Fashion Information and Technology*, *11*(-), 11-19

Park, J. H., & Kim, J. Y. (2019). The development of fitted sports wear for safety and protection using conductive yarn embroidery. *Journal of Fashion Business*, *23*(2), 156-169. doi:10.12940/jfb.2019.23.2.156

Park, N. S. (1990). Modern transformation of wall hanging. *상명대학교 논문집, 25*(-), 443-465.

Quinn, B. (2010). *Textile futures, fashion, design and technology*. New York: Berg.

Seo, D. H. (2019). *A study on effective fiber art education program using tapestry technique*. Unpublishsed master's thesis, Chosun University, Gwangju.

Song, H. Y. (2018). Study on the tendency of interest of wearable textile products according to college students' fashion life style. *Journal of Fashion Business, 22*(1), 41-55. doi:10.12940/jfb.2018.22.1.41

Smokey cocktail. (n.d.). The fancy square LED coaster introduction. *Medium*. Retrieved July 19, 2022, from https://medium.com/@smokeyindia/the-fancy-square-led-coaster-introduction-1e8815851abc

Varnaite, S., & Katunskis, J. (2009). Influence of washing on the electric charge decay of fabrics with conductive yarns. *Fibers and Textiles in Eastern Europe, 17*(5), 69-75.

Vierne, P., & Heinzel, T. (2014). Cushion pressure sensors. *drlab.org*. Retrieved July 18, 2022, from https://www.drlab.org/project/cushion-pressure-sensors/

패션, IT를 입고 날개를 달다 [Fashion, wear IT and wear wings]. (2021, January 8). *yozm.wishket.com*. Retrieved July 18, 2022, from https://yozm.wishket.com/magazine/detail/319/

Developing a Method for Conductive Fabric with User-Participatory Textile Circuit Diagrams

Hwang, Yerim · Kim, Hyunjin · Kim, Hye Rim[+]

Master's Course, Dept. of Clothing and Textiles, Sookmyung Women's University
Ph.D. Candidate, Dept. of Clothing and Textiles, Sookmyung Women's University
Professor, Dept. of Clothing and Textiles, Sookmyung Women's University[+]

Abstract

Accessory-based wearable smart device market is expected to expand into clothing-based forms in the future. The development of smart clothing and smart textile products using E-Textile is steadily being carried out, but it has not been popularized by many consumers. Therefore, this study proposes a method that allows non-experts to easily access E-Textile by developing conductive fabrics incorporating textile circuit diagrams in the form of DIY (Do It Yourself) products that users can directly participate in design and production. In the field of textile, sales of products and services that can implement user-participating designs are increasing by combining customized fashion trend and handicraft characteristics of textile, along with the rising of MZ generation pursuing the consumption to show their individuality. The existing user-participating design in smart clothing has the disadvantage of being difficult for users without basic coding knowledge to participate in production. Another disadvantage of the existing smart clothing is washing, because it is hard to attach and detach electronic components. Therefore, in this work, we proposed methods for developing a conductive fabric incorporating user-participating textile circuit diagrams that can be easily accessed even by ordinary users who do not have expertise in coding and textile fields. First, we proposed a simple method of fabricating conductive fabrics by utilizing the basic weaving method of tapestries. Second, we proposed a method to implement a textile circuit into a textile using conductive yarn by utilizing basic electronic circuit diagram that does not require coding techniques. Third, we proposed a method for implementing a switch inside the fabric by utilizing tapestry's loop file weaving technique and conductive yarn. In addition, we proposed a method for fabricating a conductive fabric that can be washed repeatedly with a design that allows free attachment and detachment of electronic components using metal snap buttons and pin LED bulbs. Finally, we proposed various applications of conductive fabrics and produced prototypes.

Key words : user participatory design, tapestry, E-textile, conductive fabric, textile circuit diagram