

아두이노를 활용한 사용자 참여형 스마트 포토닉 의류 프로토타입 설계

안미화 · 임호선[†]

숙명여자대학교 의류학과

Designing User Participation Smart Photonic Clothing Prototype Using Arduino

Mi-hwa An and Ho-sun Lim[†]

Dept. of Clothing and Textiles, Sookmyung Women's University, Seoul, Korea

Abstract : Smart photonic clothing integrates light emitting technology inside and outside of the garment and integrates it as a fashion product. It expresses digital color that radiates light outside the body that expands the functionality of the clothing as well as makes new and various attempts visually. It is also gradually expanding into a new area of fashion. LED, one of the digital color output devices, is a light emitting device that is suitable for presenting consumer customized designs in that the patterns and colors of clothes can be modified as desired by utilizing computer technology such as program coding. LED technology that can realize various digital colors is actively applied in various industrial design fields, but there are few previous studies on smart clothes using LED color in Korean fashion fields. Therefore, this study develops a prototype of a customized LED smart photonic garment that allows the user to directly participate in the color implementation of clothing and select a digital color suitable for the desired function. The LED module was designed to be detachable from clothing and made using a 256-pixel LED matrix. Various coding patterns of the LED were designed using the coding change of Arduino program.

Key words: smart photonic clothes (스마트 포토닉 의류), LED fashion (LED 패션), LED luminescence (LED 발광기술), user participation fashion (사용자 참여형 패션), customized fashion (소비자 맞춤형 패션)

1. 서 론

신체에 부착 가능한 컴퓨터기술에서 출발한 웨어러블 제품들은 IT기술의 발달에 힘입어 소형화·경량화되면서 세계 각국에서 다양한 기능과 형태로 판매되고 있다. 그 중에서 가장 많이 상용화된 제품군은 손목에 착용하는 스마트 밴드 및 시계 제품으로 2017년 기준 전체 웨어러블 제품 판매 비중의 94% 이상을 차지하며 대중에게 가장 친숙한 웨어러블 제품으로 자리 잡고 있다. 그에 비해 의복형태의 스마트 의류는 특정 분야나 직업군을 위한 용도로 제한되어 개발된 경우가 많아 대중화 단계 진입 전으로 볼 수 있으며 판매 비중도 2.6%로 매우 낮은 시장점유율을 차지하고 있다(Ministry of SMEs and Startups, 2018). 그러나 미국의 리서치사 Tractica에 따르면 2024년 스마트 의류의 시장점유율은 4조원 이상, 연평균 성장률은 50%가 넘을 것으로 전망되어 여러 제품군 중 스마트 의류의 성장 잠재력이 가장 클 것으로 예상되고 있으며 최근 들어 국외 패션 브랜드와 피트니스 브랜드가 기존 브랜드의 확장전략으로 IT기업과의 협업을 통해 일상생활에서 착용 가능한 다양한 기능과 디자인의 의류제품을 출시함에 따라 앞으로 다양한 종류의 일상생활용 스마트 의류가 개발될 것으로 기대되고 있다(Kim, 2017). 한편 국내 시장의 경우 고부가가치 상품으로서의 스마트 의류에 대한 관심이 높아지고 고품격 진입에 따른 건강관리 스마트 의류에 대한 수요가 증가함에 따라 레저·스포츠 패션 기업의 헬스케어형 패션상품의 상용화가 가장 많이 이루어지고 있으나 기술력과 생산기반이 선진국에 비해 취약하여 실제적인 상용화 수준은 기대에 미치지 못하고 있다(Ministry of SMEs and Startups, 2018). 또한 아직까지 국내에서 상용화된 스마트 의류는 대부분 특수기능성 의복의 성격이 강하며 일반 소비자를 대상으로 하는 대중친화적인 제품의 개발 및 연구는 미비한 실정이다. 따라서 스마트 의류의 낮은 시장점유율에 관한 대안 탐색과 소비자층의 확대를 위한 노력의 필요성을 바탕으로 일반 소비자의 다양한 요구에 부합하는 대중적인 스마트 의류의 개발이 필요하다.

스마트 의류에 관한 국내 소비자의 선호도 및 수용특성에 관한 연구에 따르면 일반 소비자들은 기능적으로는 스마트폰과 중복되는 기능에 대해 매력을 덜 느끼고 단순한 기능 보다는 개인의 요구에 맞게 IT기술을 직접 활용하여 다양하게 체험할

[†]Corresponding author; Ho-sun Lim

Tel. +82-2-2077-7121, Fax. +82-2-2077-7324

E-mail: lhs@sm.ac.kr

© 2020 (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.

수 있는 ‘사용자 맞춤형 기능’과 ‘멀티기능’에 더 흥미를 느끼는 것으로 나타났다. 디자인적 요소로는 ‘패션성’과 ‘심미성’을 중요하게 생각하며 자신의 기분이나 상황 또는 옷차림에 따라 다양하게 변화하여 코디할 수 있는 제품을 선호한다(Heo, 2019; Ju, 2018; Kang, 2015). 스마트 폰과 함께 활용이 가능하고 손목에 가볍게 차는 편리한 기능으로 대중화에 진입한 스마트 시계가 최근에는 일반 시계와 똑같은 디자인을 추구하는 패션성으로 다양한 대중화 전략을 구사하는 바와 같이 패션이 지니는 기본 가치를 해치지 않는 범위 내에서 완성도 높은 기능을 첨가하는 것이 중요하다고 할 수 있다(Kim & Kim, 2018a). 즉 스마트 의류의 대중화를 위해서는 세분화된 소비자의 요구를 충족시킬 수 있는 ‘사용자 맞춤형 기능’, ‘멀티기능성’과 ‘패션성’을 가미한 디자인의 개발이 필요하다.

스마트 포토닉 의류는 의복에 포함된 디지털 기기를 통해 빛을 발산시키는 형태의 모든 의류를 통칭하는 것으로(Lee, 2008) 의복의 외관이 빛이라는 물질에 의해 왜곡·변형·확장됨으로써 시각적인 즐거움을 부여하고 시야확보를 통한 안전보호 기능을 가지며 의복을 관찰하는 제3자와의 상호작용이 가능한 멀티기능성을 지닌 스마트 의류이다. 스마트 포토닉 의류를 개발하기 위한 연구로 국외에서는 영국의 패션브랜드 CuteCircuit를 비롯하여 다수의 디자이너와 공학전문가 간의 기술협업으로 센서와 발광기술을 활용한 다양한 디자인과 기능의 스마트 포토닉 제품의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 국내에서도 스포츠 브랜드와 대학을 중심으로 LED, 광섬유, EL 등의 발광소자를 이용한 디자인 연구 및 제품 개발이 이루어져 왔으나(Park et al., 2009) 학계의 선행연구는 광섬유 및 EL기술을 이용한 디자인 및 프로토타입 연구(Kim et al., 2012; Lee, 2008; Lee & Lee, 2011; Lee & Lee, 2017; Lyeo, 2015; Park, 2007; Park et al., 2009; Shin & Lee, 2013), 디지털 컬러 색채 및 발광효과에 관한 연구(Yang et al., 2013), 빛을 이용한 감성디자인 연구(Jung & Geum, 2008; Kim & Yoo, 2011) 등 주로 발광기술에 관한 이론 및 사례연구와 특정상황에 부합하는 단일기능성 제품 개발연구가 주류를 이루어 스마트 포토닉 의류를 착용하는 사용자 맞춤형의 멀티기능을 갖춘 제품에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 스마트 의류는 소비자가 필요로 하는 기능적인 측면에서 실용성이 충분히 반영되어야만 소비자의 만족감을 충족시킬 수 있음에도 불구하고(Ahn et al., 2017) 선행연구를 통해 개발되거나 제품으로 상용화된 스마트 포토닉 의류 제품들은 특수한 상황에 맞도록 한정된 기능에 국한되어 있어 개개인의 다양한 요구를 반영하기에는 한계점이 있다.

따라서 본 연구에서는 스마트 포토닉 의류를 보다 대중적인 패션으로 확장시켜 넓은 소비층을 확보하기 위하여 일상생활과의 조화를 고려한 디자인을 반영하고 소비자 개개인이 일상생활에서 원하는 기능을 맞춤형으로 충족할 수 있도록 하는 사용자 참여형 스마트 포토닉 의류의 프로토타입을 개발하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구는 아두이노 프로그램을 활용하여 사용자가 직접 LED패턴을 디자인할 수 있는 사용자 참여형 스마트 포토닉 의류를 개발하기 위한 프로토타입 제작 연구로 연구방법은 다음과 같다.

첫째, 이론적 배경으로 사용자 참여형 패션디자인의 실제 적용사례와 스마트 포토닉 의류에 적용하는 기술을 분석하고 스마트 포토닉 의류의 기능에 따른 개발사례를 조사하였다. 2000년 이후의 연구논문 및 국내외 인터넷 사이트를 토대로 스마트 의류의 대중화를 위한 노력과 시도가 돋보이는 자료를 중심으로 정리하였다.

둘째, 스마트 포토닉 의류의 일상복으로서의 사용가능성을 높이기 위해 착용자의 의도에 따라 발광기술을 선택적으로 사용할 수 있도록 의류에 부착하는 LED모듈의 결합·분리가 가능한 패턴을 설계하고 이를 적용한 프로토타입을 제작한다. 프로토타입 제작 순서는 LED모듈 구성요소 분석, LED모듈 제작, 스마트 포토닉 의류 프로토타입 완성 순으로 진행하였다. LED모듈의 구성요소인 광원 및 메인보드는 착용자가 발광패턴을 변경할 수 있는 소프트웨어 프로그램과 호환이 가능한 제품으로 선정하고 착용 시 의복과의 조화와 편안함을 고려해 가볍고 유연한 소재를 선택하였다. LED모듈 제작을 위해 광원과 메인보드를 작동하기 위한 회로도를 구상하고 입출력 단자에 맞게 전선을 솔더링(Soldering)으로 연결하여 완성한 뒤 LED 출력 테스트를 거쳐 완성한다. LED모듈을 의복에 탈부착 할 수 있는 패턴을 디자인하고 재단 및 봉제하여 스마트 포토닉 의류의 프로토타입을 완성한다.

셋째, 스마트 포토닉 의류의 사용자 참여형 패션제품으로서의 가능성을 제시하고자 대중화된 소프트웨어 프로그램 아두이노(Arduino)의 코딩 변경을 이용하여 다양한 메시지의 LED패턴을 제시함으로써 사용자 참여형 디자인 프로세스를 제안한다. LED패턴 출력은 PC와 완성된 LED모듈을 연결한 후 아두이노 프로그램을 실행하여 환경설정·편집·컴파일·업로드 과정을 거쳐 실행한다. LED패턴을 사용자가 원하는 메시지로 변경하기 위하여 메인헤드에 업로드한 코딩명령어 중 텍스트 메시지를 변경할 수 있는 변수와 텍스트 컬러를 변경할 수 있는 변수를 각각 수정하여 코딩명령어를 재업로드하는 과정을 거쳐 다양한 텍스트와 컬러의 패턴을 출력한다.

3. 이론적 배경

3.1. 디지털 환경과 생산적소비자

미래학자 앨빈 토플러는 저서 <제3의 물결>을 통해서 21세기에 소비와 생산의 경계가 사라질 것을 예견하며 생산자인 ‘Producer’와 소비자인 ‘Consumer’의 합성어인 생산적소비자 ‘프로슈머(Prosumer)’를 최초로 언급하였다(Kim & Choi, 2009). 디지털 환경의 발달로 디지털 매체의 적용범위가 인간의 삶 전

반으로 확대되고 지식의 공유와 재생산이 활발하게 일어나면서 소비자는 수동적인 제품사용자에서 스스로 제품에 관한 아이디어와 개선사항을 반영하는 적극적 제품생산자로서의 역할을 하는 프로슈머의 역할도 할 수 있게 된 것이다(Hwang, 2007). 실제로 여러 제조분야에서 소비자가 제품의 디자인 및 시스템 설계과정에 직접 참여하는 참여적 디자인이 확대되고 있으며 그 적용범주는 제품을 비롯한 지식정보산업과 서비스 정책분야로까지 확대되고 있다. 소비자의 적극적 생산 체제는 제품의 개발 단계에서부터 생산과 유통, 판매에까지 사용자가 참여할 수 있는 개방형 생산 체제로의 변화를 촉구하며 디지털 기술을 기반으로 생산자와 소비자가 상호 작용 가능한 보다 효과적인 생산방식으로 변모해 갈 것이다(Lee et al., 2017).

3.2. 사용자 참여형 패션디자인

패션분야에서의 사용자 참여형 디자인은 개인 맞춤형 디자인에 대한 수요증가와 디지털 기술의 진화를 바탕으로 패션업체와 소프트웨어 업체 간의 협업으로 제작된 디자인 소프트웨어를 통한 참여사태가 점차 증가하는 추세이다. 소프트웨어를 통한 사용자의 패션디자인 참여를 확장하기 위해 디자이너는 완성형이 아닌 알고리즘을 기반으로 확장과 변형이 가능한 개방형 구조의 디자인 툴을 제시하고, 툴의 개발과정 중에도 소비자와 직접 의사소통하여 패션제품에 사용자의 의도를 적극적으로 반영할 수 있어야 한다. 또한 디자이너는 패션 완성품 제작방식에 대한 사용자 이해도를 높이기 위해 제작순서를 매뉴얼화 하거나 생산라인과 소비자를 연결하는 등 전반적인 디자인 과정을 매니지먼트 하는 역할도 하여야 할 것이다(Lee et al., 2017).

실제로 사용자 참여형 패션디자인을 실현한 사례를 살펴보면 대부분 온라인 플랫폼을 통해 상호작용형 디자인 소프트웨어를 개방함으로써 사용자 주도형의 디자인 툴을 제시하고 있다. 소프트웨어의 디자인 툴은 간단하고 직관적인 제어방식으로 이루어져 소비자는 단순한 마우스 조작만으로 의복의 외부 형태를 가변적으로 조정하거나 색채나 패턴 등의 표피적 외관을 디자인할 수 있으며 디자인에 따른 결과물의 형태를 즉각적으로 확인함으로써 실시간으로 디자인 수정과 변형작업을 할

수 있다. 의복의 외부형태는 닥트선, 절개선, 실루엣의 변형에 따라 다양한 형태로 디자인할 수 있으며 표피적 외관은 프린트 패턴, 조직 패턴, LED패턴 등의 배열을 자신이 원하는 방식으로 선택함으로써 개인맞춤형 디자인 설계가 가능하다.

인터랙티브 디자이너 Mary Huang이 개발한 앱 Continuum의 D.dress는 입체패턴 드레스 제작을 위해 고안된 커스터마이징(맞춤형 주문제작) 프로그램으로 디자인 분야의 전문지식이 없는 사용자도 디자인 툴을 이용해 자신이 원하는 패턴을 무한히 변형해가며 드레스를 디자인할 수 있다. 사용자가 앱의 2D화면에서 인체 일러스트의 체형 선에 맞추어 마우스를 드래그하면 그 방향과 범위를 소프트웨어가 자동으로 수치화하여 세분화된 삼각패턴의 스케치로 변환한 뒤 3D 화면에서 완성형태의 입체패턴 드레스 이미지를 보여준다. 완성된 입체패턴은 절단된 형태의 패턴으로 파일화 되어 무료 다운로드가 가능하고 소비자가 원할 경우 실제 완성된 드레스를 구입할 수도 있다(Fig. 1).

구글이 제공하는 코드수업 ‘Made w/code’는 비주얼 프로그래밍 에디터를 사용하여 LED dress를 다양한 패턴으로 시각화하는 체험을 제공하는데, 참여자는 프로그램화된 개별 블록을 마우스로 이동하는 간단한 조작으로 드레스의 표피에 가시화되는 LED패턴의 종류·개수·이동방향·속도 등을 제어할 수 있다. 블록을 이동함과 동시에 화면에 LED패턴이 자동 생성되어 나타나므로 사용자는 자신이 원하는 LED형태를 즉각적으로 확인할 수 있고 원하는 형태가 나올 때까지 변형과 수정이 가능하다(Fig. 2).

국내 커스터마이징 서비스 업체인 ‘마플(Marpple)’은 홈리빙용품, 액세서리, 패션아이템 등을 소비자가 직접 디자인할 수 있는 툴을 제공하고 완성된 디자인의 제품을 생산·판매한다. 맞춤형 의류를 디자인하기 위해 소비자는 기본적으로 의복의 종류·색상·사이즈·스타일·가격·핏·두께 등 세부정보를 선택하고 커스텀 툴을 이용해 의복에 프린트할 텍스트나 이미지를 직접 업로드하거나 제공된 이미지 샘플 중에서 선택하여 의복에 배치하는 방식으로 디자인을 변경할 수 있다. 개성과 나만의 디자인을 선호하는 소비자층을 타겟으로 국내에서 좋은 반응을 얻으며 최근 해외고객을 위한 글로벌 사이트도 개설하여 운영 중이다(Fig. 3).

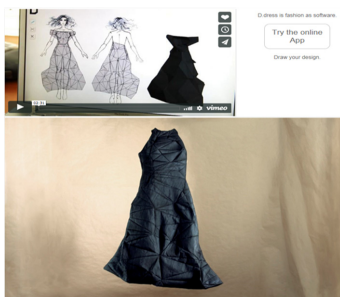


Fig. 1. Continuum D.dress.
<http://www.continuumfashion.com>.

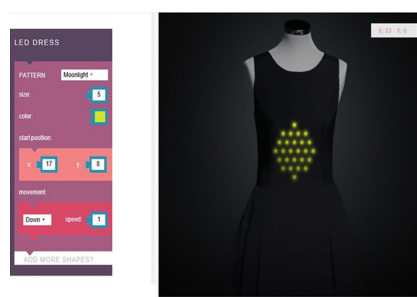


Fig. 2. Made w/ code.
<https://www.madewithcode.com>.



Fig. 3. Marpple.
<https://www.marpple.com>.

3.3. 스마트 포토닉 의류

3.3.1. 스마트 포토닉 의류 개념 및 기술

스마트 포토닉 의류는 의복에 부착 및 내장된 발광체와 표시장치가 의복의 색채를 디지털 컬러로 표현하는 신개념의 의류로서(Lee, 2008) 발광적용기술과 응용방식에 따라 다양하고 유동적인 설계가 가능하다. 디지털 기술에 의해 제어되는 디지털 컬러는 빛의 혼합량과 전압에 따라 여러 종류의 색상과 조도(빛의 양)로 구현할 수 있으며 가시적 효과를 위한 발광 외에도 주위 환경이나 신체 움직임에 반응하는 센서를 통해 디지털 컬러를 제어함으로써 착용자의 상황이나 감성을 나타낼 수도 있다.

빛 발광을 통한 디지털 컬러를 구현하기 위해서는 기본적으로 컬러의 색상을 결정·제어하는 데이터 입력장치(Input), 컬러를 외부에 표시하는 디지털 컬러 출력장치(Output), 전력을 공급하는 전원장치(Power)가 필요하다. 착용자의 환경이나 신체 정보를 디지털 컬러로 변환하기 위해서는 환경정보를 수신하는 감지센서장치(Detection sensor)와 감지된 정보를 디지털화하여 전송하는 네트워크장치(Network)가 추가로 요구된다. 스마트 포토닉 의류의 핵심기술인 디지털 컬러 출력장치는 빛을 내는 발광소자와 발광원리에 따라 LED, 광섬유, 전자 발광 디스플레이(ELD)로 분류할 수 있다.

LED(Light Emitting Diode)는 전압을 통해 빛이 발광하는 반도체소자로 그 자체가 빛을 내는 광원의 역할을 하며 사용되는 재료에 따라 자외선·가시광선·적외선 영역까지 발광이 가능하여(LED, 2019) RGB(Red, Green, Blue)삼원색을 기본으로 빛의 혼합도에 따라 다채로운 색상으로 표현할 수 있다. LED를 활용한 점멸 기구는 크기와 종류, 설계된 프로그램에 따라 다양한 시각적 효과의 연출이 가능해 건축물, 인테리어, 생활소품에 이르기까지 여러 분야에서 활용되고 있으며 의류제품에 LED를 부착하면 밝은 빛으로 인한 가시효과가 뛰어나고 다양한 패턴의 컬러변경을 적용할 수 있어 의복에 다양한 미적·기능적 요소를 가미할 수 있다.

광섬유(Optical fiber)는 유리 또는 플라스틱 유전체를 길게 늘려 만든 섬유로 한쪽 단면에 들어온 빛이 조직 내·외부 물질의 굴절률 차이를 통해 다른 쪽 단면까지 통과하며 빛이 전달되는 원리로 발광하는 광전달 매체이다(Lee & Lee, 2011). 광섬유 직물이 발광기능을 가지려면 광원이 되는 LED와 커넥터, 제어장치, 전원장치 등의 기기가 필요하며 최근 스마트 포토닉 의류 분야에서 광섬유와 LED를 연결해 직물표면 전체가 발광하도록 하는 기술이 개발되어 상용화 단계에 이르렀다(Shin & Lee, 2013). 광섬유 원단은 부드럽고 유연한 특징이 있어 인테리어 상품이나 의류에 적용하면 사용감의 증대와 착용편리성을 기대할 수 있다(Park, 2007).

전자 발광 디스플레이(Electroluminescent Displays, ELD)는 2개 층의 도체 사이에 갈륨비소와 같은 광성 물질을 주입한 평판 디스플레이의 하나로 광성 물질에 전류나 강한 전기장을 가하면 빛을 방출하는 원리를 이용한 것이다(Electroluminescent

Displays, 2019). ELD는 전류에 의해 물리적으로 발광하기 때문에 먼 전체적으로 고르고 균일한 밝기를 나타내고 휘도(단위 면적 당 밝기)가 높다. 또한 접을 수 있을 정도로 얇고 세탁이 가능하기 때문에 산악용이나 스포츠의류 등 오염된 환경에 자주 노출되는 의복에 적용하면 안전사고 예방효과와 더불어 내구성을 보장할 수 있는 장점이 있다(Park, 2007).

3.3.2. 스마트 포토닉 의류의 기능

스마트 포토닉 의류의 기능은 사용자의 편의성을 기준으로 시야확보 기능을 통하여 위험요소를 예방할 수 있는 안전보호 기능, 시각적 유희와 의미 있는 메시지 전달과 스토리 구현을 통한 즐거움을 제공하는 엔터테인먼트 기능, 착용자와 제3자 간의 상호작용을 통한 감성적 유대감을 형성하는 커뮤니케이션 기능으로 분류할 수 있다.

(1) 안전보호 기능의 스마트 포토닉 의류

스마트 포토닉 의류를 통해 빛의 형태로 나타나는 디지털 컬러는 외부로 드러나는 가시효과가 뛰어나기 때문에 착용자는 조명이 없는 어두운 환경에서도 의복을 입을 상태나 신체의 움직임, 앞으로 진행하고자 하는 방향등을 외부에 알림으로써 위험으로부터 신체를 보호하고 활동의 안전성을 확보할 수 있다.

패션 디자이너 윌리 보그너(Willy Bogner)는 2007년 동계 올림픽 유치를 위한 행사에서 미래의 안전의류에 대한 제안으로 조명 제조업체 오스람(Osram)과 협업하여 제작한 태양열 조명으로 빛나는 스키복을 선보였다. 오스람의 박막기술이 접목된 미니멀한 크기의 LED모듈은 스키복의 가슴과 등, 소매부분에 선 형태로 장착되어 반짝이는 조명효과를 통해 가시거리를 확장시켜 스키복 착용자의 안전보호 기능을 한다(Fig. 4).

국내 이명수 디자인 연구소에서 2010년에 출시한 자일백(SEIL BAG)은 자전거 이용자가 야외활동 시 안전하게 운전할 수 있도록 방향지시 기능을 수행하는 LED모듈을 가방의 전면부에 장착한 패션아이템이다. 무선배터리와 LED모듈을 가방에 장착하고 무선컨트롤러를 통해 방향지시와 정지신호, 간단한 텍스트와 이모티콘 등 다양한 신호를 설정할 수 있도록 함으로써 운전자의 주위에 즉각적이고 명확하며 구체적인 신호전달이 가



Fig. 4. Ski suits with solar-powered lights by Willy Bogner. <https://www.dezeen.com>.



Fig. 5. SEIL BAG
<http://www.leemyungsu.com>.

능한 라이더용 배낭이다(Fig. 5).

(2) 엔터테인먼트 기능의 스마트 포토닉 의류

스마트 포토닉 의류의 발광체는 패턴설계에 따라 원하는 텍스트나 이미지를 표현하는 것이 가능하기 때문에 패션제품의 시각적 자극에 민감한 젊은 세대들이 흥미를 가지고 재미있게 활용할 수 있도록 디자인한 엔터테인먼트 기능의 제품 개발이 활발하게 이루어지고 있다(Park, 2007). 빛을 통해 연출되는 디지털 컬러는 빛 자체가 주는 물리적인 따뜻한 느낌을 통해 감성적인 자극제가 되고 방향성을 지니고 흐르는 듯한 유연하고 다양한 움직임의 연출을 통해 시각적인 즐거움을 배가시키며 디자이너의 의도에 따라 의복에 다양한 메시지와 스토리를 담아낼 수도 있다.

이탈리아 발광원단 개발사 Lumigram社は 광섬유 원단을 이용한 빛나는 신데렐라 드레스를 제작하여 동화 속 판타지를 실현시켜 줄 수 있는 환상적인 코스튬 플레이를 재현하였다(Fig. 6). 애니메이션을 재현한 듯 드라마틱하게 연출된 드레스의 실루엣은 발광하는 은은한 블루 컬러의 빛과 조화를 이루며 상상 속 캐릭터를 현실화하는 힘을 부여한다.

스마트 의류 분야에서 주목하고 있는 영국브랜드 CuteCircuit은 2004년 설립 이래 지속적으로 공학 분야 전문가들과 협업하여 패션아이템에 다양한 전자공학기술 분야의 접목을 시도하며 세계적인 패션쇼와 행사를 통해 스마트 포토닉 의류를 선보이



Fig. 6. Luminous fiber optics long dress by lumigram.
<https://lumigram.com>.



Fig. 7. CuteCircuit Iminiskirt.
<http://cutecircuit.com>.

고 있다(Kim & Kim, 2018b). LED판을 스커트 위에 부착한 CuteCircuit Iminiskirt는 디자이너의 개성과 독창성을 살릴 수 있는 다양한 패턴을 디지털 컬러로 제시하고 나아가 스커트 착용자가 무선통신을 이용해 발광이미지를 제어할 수 있도록 설계되어 사용자로 하여금 시각적인 즐거움과 함께 창작하는 사고를 통한 지적흥미를 충족시킨다(Fig. 7).

(3) 커뮤니케이션 기능의 스마트 포토닉 의류

환경적 요소를 감지할 수 있는 다양한 센서를 결합한 스마트 포토닉 의류는 센서를 통해 주변 환경에 감지하여 반응하기도 하고 사용자의 의도에 따른 이미지와 텍스트로 변화시킬 수 있어 착용자뿐만 아니라 빛을 인지하는 모든 대상에게 시각적·감성적·사고적 반응을 유도하는 상호작용을 한다. 상호작용은 독립 변화와 움직임이 유기적으로 연결되어 서로 영향을 끼치는 상태를 의미하는 것으로 스마트 포토닉 의류의 착용자 뿐만 아니라 관찰자인 제3자에게도 시각적, 감정적 영향을 미쳐 의복의 기능적 영역이 확장됨을 의미한다.

CuteCircuit이 2012년에 개발한 Twitter dress에는 모바일 네트워크 송수신장치가 연결되어 있어 누구라도 원하는 메시지를 해시태그 #tweetthedress로 보내면 드레스에 결합된 LED를 통해 드레스 표면에 메시지가 나타난다(Fig. 8). 대중들이 만들어낸 메시지가 의복의 일부가 되어 다른 사람들과의 의사소통수단이 됨으로써 의복의 역할이 인간사이의 정서적 교감의 역할을 수행



Fig. 8. Cutecircuit twitter dress.
<http://cutecircuit.com>.

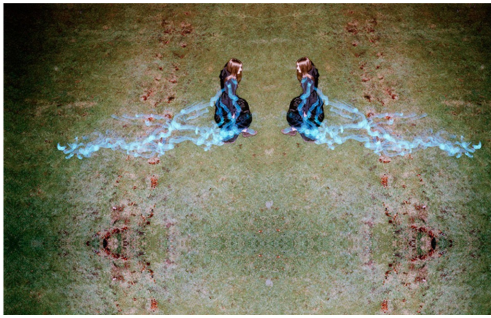


Fig. 9. Cutecircuit kinetic dress.
<http://cutecircuit.com>.

하는 매개체로 확장되었다고 할 수 있다(Kim & Kim, 2018b).

CuteCircuit이 2014년에 개발한 Kinetic dress는 착용자의 심리를 표현한 것으로 움직임 때마다 위치와 동작에 관한 정보를 센서를 통해 받아들이고 이를 디지털화하여 발광하는 패턴을 변화시킨다(Fig. 9). 이를 통해 착용자의 심리상태를 제3자인 관찰자에게 전달하고 반응하는 작용을 도와준다(Kim & Kim, 2018b). 빛은 발광하는 자체로 자신을 나타내는 의미를 부여하고 아울러 주변에 전달되면서 관찰자의 주관에 따라 새로운 의미로 전달되어 대상을 상징화할 수 있는 기능을 한다(Kim & Yoo, 2011).

4. 결과 및 논의

4.1. 스마트 포토닉 의류 프로토타입 제작

본 연구에서는 아두이노의 코딩설계 프로그램을 활용하여 착용자가 외부에 나타내고자 하는 이미지나 메시지를 LED패턴으로 표현할 수 있는 사용자 참여형 스마트 포토닉 의류의 프로토타입을 제작하고자 한다.

LED는 스스로 빛을 발하는 물리적인 기능성과 컬러를 표현하는 디자인적 요소를 모두 갖춘 광원으로 다양한 산업디자인 분야에서 감성조명으로서 각광받고 있으며 패턴을 설계하는 방식에 따라 다이내믹한 컬러와 이미지를 자유롭게 연출할 수 있어 LED를 패션아이템에 접목하면 새롭고 독창적인 디자인과 빛을 이용한 감성표현 소재로 활용이 가능하다(Kim & Yoo,

2011). 의복에 적용할 수 있는 얇고 가벼운 형태의 LED패널에 컬러제어시스템인 컨트롤러와 전원장치를 부착한 모듈형태를 구상하고 사용자가 이동 중에도 LED의 전원기능을 자유롭게 제어할 수 있도록 손이 닿는 위치에 on/off 스위치를 부가적으로 설계하였다. 또한 일상복으로서 사용가능성을 높이기 위해 기기를 사용하지 않을 때에는 LED모듈을 의복에서 분리할 수 있도록 탈부착형 디자인으로 구상하였다.

4.1.1. LED모듈 구성요소

의복에 적용하는 LED발광모듈을 구현하기 위해 필요한 입·출력 및 전원장치는 아두이노(Arduino) 프로그램, FLORA 전자 플랫폼, LED매트릭스, 리튬배터리로 구성되며 각 요소별 세부사항은 아래와 같다(Table 1).

(1) 프로그래밍 소프트웨어 아두이노 IDE(Integrated Development Environment, 통합개발환경)

아두이노 IDE(통합개발환경)은 마이크로컨트롤러(Microcontroller) 보드를 기반으로 하여 물리적인 외부환경을 센서를 통해 감지하고 제어하는 디지털 장치를 만들 수 있는 소프트웨어 개발 프로그램으로 코딩명령어의 변형을 통해 다양한 LED 발광모듈의 이미지를 만들 수 있다(Arduino, 2019).

(2) 입력장치 FLORA

오픈 소스 하드웨어 제작업체 Adafruit의 FLORA는 다양한 기능을 갖춘 라운드형의 웨어러블 전자 플랫폼으로 아두이노 프로그램과 호환하는 마이크로컨트롤러 기능을 갖추고 있다. 플랫폼에 내장된 usb 연결단자를 통해 컴퓨터에 직접 연결하여 아두이노 프로그램을 구동할 수 있고 FLORA의 전원 시스템은 256개의 LED로 구성된 neopixel matrix의 제어와 전원을 쉽게 제어하도록 설계 되었다.

(3) 출력장치 LED neopixel matrix

256개의 초고휘도 LED가 부착되어있으며 가벼운 힘으로 구부릴 수 있을 정도로 유연하고 얇은 LED매트릭스는 마이크로 컨트롤러 핀을 사용하여 컬러를 제어하고 메시지를 스크롤하거나 작은 이미지 등을 구현할 수 있으며 소재의 가벼움과 유연

Table 1. Technical details of LED module components

Parts	Components	Technical details
Data control	Arduino software IDE	· Runs on Windows, Macintosh OSX, and Linux operating systems
Input	FLORA	· Dimensions: 4.5 cm round x 0.7 cm thick · Weight: 4.7 g
Output	LED neopixel matrix	· Neopixel RGB LED 256pcs (32 × 8) · Size: 32 cm × 8 cm × 0.2 cm · Weight (with IDC cables): 63 g
Power	Lithium battery	· Weight: 52 g · Size: 5.1 cm × 6.5 cm × 0.8 cm · Output: 2500 mAh at 3.7V nominal

성은 스마트 의류에 탈부착하여 선택적으로 사용할 수 있는 프로토타입에 적합하다.

(4) 전원장치 Lithium battery

얇고 가벼우면서 강력한 것이 특징인 리튬이온 폴리머배터리는 완전 충전 시 4.2V에서 3.7V까지 다양한 출력이 가능하며 배터리의 총 용량은 약 10 Wh, 2500 mAh로 광원인 LED 매트릭스의 적정 조도를 위해 권장되는 용량이다.

4.1.2. LED모듈 제작

LED의 컬러 제어를 위한 데이터 송수신을 위해 입력장치(input)인 FLORA와 출력장치(Output)인 LED매트릭스의 연결 회로를 설계한 후 전선을 연결단자에 맞추어 솔더링(Soldering)하여 연결한다. 이두이노 코딩프로그램의 명령어를 송신하는 핀인 FLORA의 데이터 입력단자 #12와 명령어에 따라 이미지를 출력하는 LED매트릭스의 출력단자인 DIN을 연결한다. FLORA와 LED매트릭스의 전원연결을 위해 배터리의 +극 역할을 하는 VBATT와 5V를 연결해주고, 배터리의 -극 역할을 하는 GND(Ground, 접지)끼리 연결해준다. 무선 전원공급을 위한 리튬배터리는 FLORA의 배터리커넥터에 연결하고, 전원제어장치인 on/off 스위치는 착용상태에서도 사용자의 필요에 따라 켜거나 끄는 등 조작이 가능하도록 연결선을 만들어 FLORA의 on/off 단자와 연결하여 완성한다(Table 2).

4.1.3. 스마트 포토닉 의류 프로토타입 완성

스마트 포토닉 의류 아이템은 대중적이고 일상적으로 착용 가능한 의복을 컨셉으로 가벼운 착용감과 모듈탈부착의 편의성,

일상복과의 조화, LED 발광효과의 기능성을 고려하여 평상복에 겹쳐 입을 수 있는 어깨 케이프 형식의 패턴으로 디자인하였다. 지퍼형 포켓디자인과 제원단 안감, 메쉬소재 등을 이용하여 LED모듈을 결합하고 분리하는 것이 용이하도록 설계 및 봉제하여 프로토타입을 완성하였다.

LED모듈의 발광부위는 관찰자가 원거리에서도 용이하게 파악할 수 있도록 가시성이 높은 앞가슴 부위로 선정하였으며 32 cm × 8 cm 크기의 LED매트릭스 모듈을 탈·부착할 수 있도록 33 cm × 10 cm 크기의 직사각형의 지퍼형 포켓 형태를 디자인 하였다. 포켓 내부에 들어가는 LED모듈의 부피감과 수납공간을 고려하여 일반적인 패치포켓(겉에서 덧붙인 주머니형태)과 같이 포켓용 원단을 겹으로 덧대는 형태가 아닌 베스트 앞

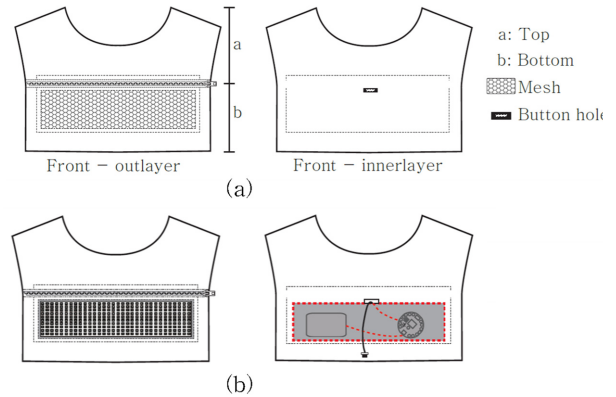


Fig. 10. Schematic of the prototype; (a) separation of LED module, (b) combination of LED module.

Table 2. LED module circuit connection

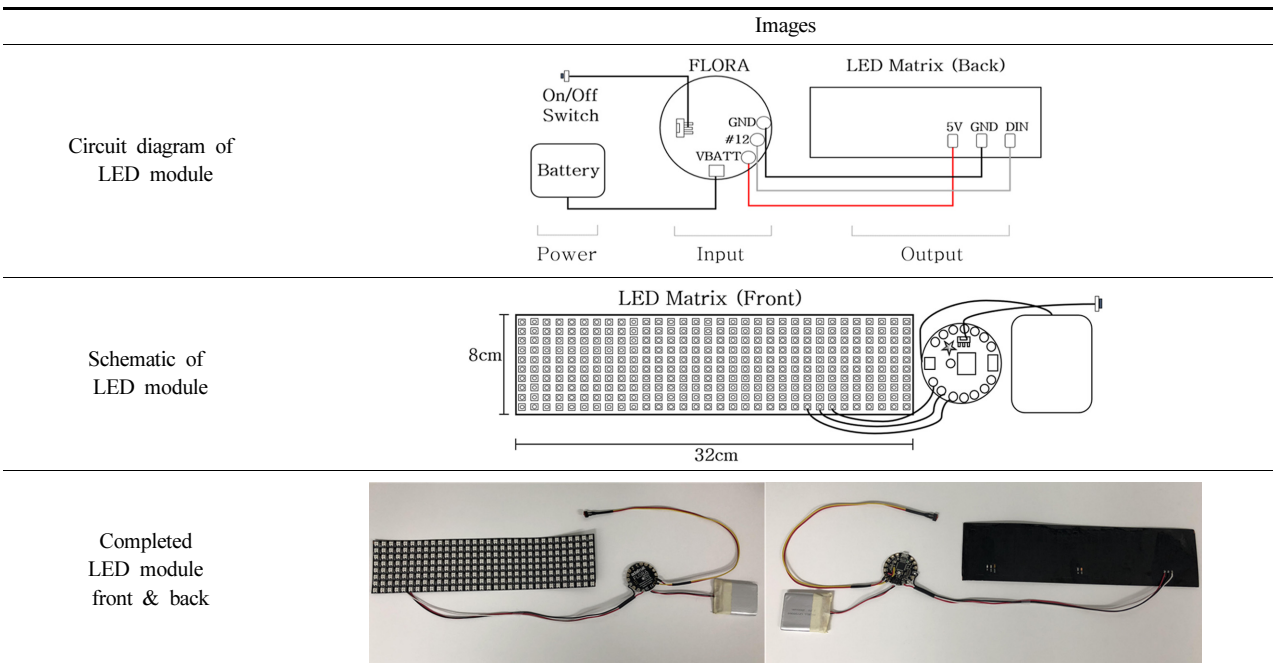






Table 3. Prototype completion

Shoulder covering cape prototype		Coordinated prototype with everyday wear	
Separation of LED module	Combination of LED module	Separation of LED module	Combination of LED module
			

판의 걸감을 상부(Top)와 하부(Bottom)로 분리하여 재단한 뒤 하부에 메쉬 소재의 포켓 걸감을 붙인 후 상부와 하부를 지퍼로 연결하는 디자인을 구상하였다. 포켓의 안감을 따로 재단하지 않고 앞판과 동일한 크기의 제원단 안감을 이너레이어 패턴으로 사용하여 걸감과 안감을 전체 외곽선을 따라 봉제함으로써 포켓 내부 공간을 만들었다. 안감(Innerlayer)에는 전원선이 연결된 on/off 스위치 크기의 단춧구멍을 만들어 전원선과 스위치를 통과하도록 하여 의류 착용 시 전원스위치가 손으로 조작하기 좋은 위치인 의복내부의 가슴선 아래에 오도록 하였다 (Fig. 10).

완성된 어깨 케이프 스타일의 프로토타입은 착용자의 의도에 따라 다양하게 레이어드하여 일상복에 자유롭게 코딩 할 수 있고 발광기능을 사용하지 않고자 할 때는 전원스위치를 끄거나 지퍼형 포켓에서 LED모듈을 분리할 수 있다(Table 3).

4.2. 스마트 포토닉 의류 LED패턴 디자인

4.2.1. 사용자 참여형 LED패턴설계 프로세스

의류 착용자가 직접 LED의 패턴디자인 과정에 참여할 수 있기 위해서는 코딩명령어 입력을 이용하여 출력장치에 표시되는 이미지를 제어할 수 있도록 하는 LED패턴설계 과정이 필

요하다. 완성된 스마트 포토닉 의류 프로토타입의 LED모듈은 아두이노 IDE의 환경설정·편집·컴파일·업로드 과정을 통해 사용자가 원하는 패턴의 코딩명령어를 메인헤드에 업로드 하여 LED패턴으로 출력할 수 있으며 출력패턴을 변경하고자 할 때에도 명령어를 편집하여 업로드하면 빠르고 쉽게 이미지를 교체할 수 있다.

LED의 패턴설계를 위한 준비과정으로 완성된 LED모듈의 메인헤드 FLORA를 usb케이블을 통해 PC와 연결하고 아두이노 IDE를 실행시킨 후 메인헤드로 코딩을 전송할 수 있는 환경을 설정하기 위해 툴 메뉴에서 보드를 Adafruit flora로 설정하고 포트번호를 연결된 usb번호로 변경한다. 패턴설계는 스케치 창에 출력하고자 하는 패턴에 따른 코딩을 입력한 후 코딩의 오류를 검사하는 컴파일과 코딩을 전송하는 업로드 과정을 거치면 LED패턴의 출력이 실행된다(Fig. 11). 패턴의 형태를 결정짓는 과정인 명령어를 프로그램에 입력하는 코딩(Coding)작업이 곧 사용자 스스로 디자인에 참여하여 패턴을 생성하는 역할을 하는 것으로 사용자는 의복을 착용하는 상황별로 원하는 기능에 맞추어 다양한 이미지의 패턴을 구현할 수 있다. 즉, 사용자 스스로 코딩변경을 통해 스마트 포토닉 의류의 패턴디자인이 가능할 수 있는 것이다.

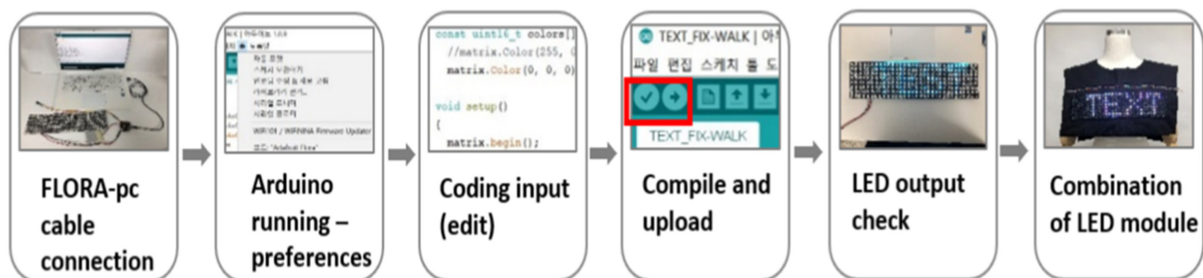


Fig. 11. LED pattern design and output process by user.

4.2.2. 데이터 코딩변경을 통한 LED 텍스트 디자인 설계

코딩을 통해 생성 가능한 LED모듈의 텍스트메시지는 자신이 원하는 내용을 주변에 즉각적으로 나타낼 수 있는 수단으로서 코딩변경을 통해 사용자가 활동하는 시간과 장소 등의 여러 상황에 부합하는 다양한 메시지를 표현할 수 있다.

(1) 코딩설계

LED모듈 구동을 위한 아두이노 코딩설계는 기본적으로 입력장치인 FLORA와 출력장치인 LED매트릭스 구동을 위한 라이브러리, 입력단자, 출력 핀 등을 설정해주는 부분(Device setting)이 필요하며 텍스트 패턴을 출력하기 위해서는 메시지 입력부분(Text message input)과 컬러설정 부분(Text color setting)이 필요하다. 이중에서 텍스트 메시지와 컬러설정 부분은 사용자의 요구에 따라 쉽게 수정할 수 있는 명령어로서 해당부분의 코딩은 텍스트 입력을 이용하여 각각의 코딩변수(패턴 변화를 주기위한 코딩명령어)를 재설정해줌으로써 이미지의 변화가 가능하다.

(2) 텍스트 메시지 변경

텍스트 메시지는 키보드의 문자입력으로 직접 지정할 수 있으며 직접적인 코딩변수는 “matrix.print(F(“TEXT”));” 부분의 “ ”

```
void loop() {
  matrix.fillScreen(0);
  matrix.setCursor(0, 0);
  matrix.print(F("TEXT"));
  if(--x < -36) {
    x = matrix.width();
    if(++pass >= 1) pass = 0;
    matrix.setTextColor(colors[pass]);
  }
  matrix.show();
}
```

Fig. 12. Coding data for text message input part.



Fig. 13. Text coding change output.

안의 명령어로 해당부분에 원하는 메시지를 입력하면 그대로 LED에 나타나는 출력패턴이 된다(Fig. 12).

야간에 외부활동 시 가시성확보가 필요한 상황에서 보행 또는 달리는 중이거나 자전거를 타고 있음을 표시할 수도 있고 음악공연이나 페스티벌과 같이 다수의 사람들과 음악과 분위기를 즐기는 오픈된 장소에서는 자신의 기분이나 공유하고 싶은 메시지를 다양한 문구로 변경할 수 있다(Fig. 13).

(3) 텍스트 컬러 변경

의복의 컬러는 디자인의 감성적 측면에서 가장 많은 영향을 끼치는 디자인 요소로서 의복의 전체이미지를 결정하는 주요 요소이다. LED를 통해 표현되는 컬러는 빛이라는 요소에 의해 구현되므로 보다 가시적이면서도 따뜻한 감성까지 표현이 가능하며 코딩변수 설정을 통해 소비자 스스로 원하는 컬러를 착용자의 기분과 상황에 따라 자유롭게 변경이 가능하다. 텍스트 컬러의 코딩변수는 “const uint16_t colors[] = {matrix.Color(255, 0, 0)};” 부분으로 ()안의 세 좌표의 값을 변형함에 따라 컬러의 종류는 무한하게 변형이 가능하다(Fig. 14).

LED의 기본컬러인 Red(255, 0, 0), Green(0, 255, 0), Blue(0, 0, 255)는 각각 세 좌표로 이루어진 코딩 값에 의해 표현되며 각 좌표 값의 자리수(x, y, z)와 숫자(0~255)는 고유 색을 나타내게 된다. 하나의 컬러는 각각 세 좌표 값이 나타내는 컬러의 혼합색이 표현되므로 세 좌표 값의 자리순서를 각 2개씩 섞으면 빛의 혼합에 의해 중간색으로 표현되고 이는 각각 Magenta(255, 0, 255), Yellow(255, 255, 0), Aqua(0, 255, 255) 등의 좌표 값으로 설정할 수 있다(Fig. 15).

```
const uint16_t colors[] = {
  matrix.Color(255, 0, 0), matrix.Color(0, 0, 0) ;
}
```

Fig. 14. Coding data for text color setting part.



Fig. 15. Text color coding change output.

5. 결 론

스마트 의류는 디지털 기기의 발전과 더불어 다양한 형태와 컨셉의 디자인으로 구현되고 있다. 패션제품에 IT 기술을 접목하는 것은 디지털 기술의 편의성을 확장한다는 의미와 더불어 디지털 기술을 몸에 착용하고 일상생활을 영위한다는 점에서 의복의 기능성을 확장해준다는 점에서 의미가 있다. 따라서 스마트 의류의 기능성을 극대화 하고 일상생활에서도 사용할 수 있는 실용적인 제품을 기획하기 위해서는 착용성과 심미성을 함께 고려하여 디지털 기기가 갖는 외형적 위화감과 부피감을 최소화 하고 디지털 기기의 단일기능성 보다는 다양한 상황에서 필요에 따라 소비자 스스로 제어하고 응용할 수 있는 멀티화된 기능성의 속성을 활용하는 디자인설계가 필요하다.

본 연구에서는 다양한 형태로 패턴설계가 가능한 아두이노 프로그램을 활용한 LED모듈 부착형 스마트 포토닉 의류의 프로토타입의 설계 및 제작을 통해 스마트의류의 기능을 소비자의 니즈에 따라 개별화 하는 사용자 참여형 제품의 개발을 목적으로 하였다.

연구결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 이론적 배경으로 패션아이템에서 응용되는 사용자의 디자인 참여 사례와 스마트 포토닉 의류의 기술별, 기능별 개발사례를 분석하였다.

둘째, 아두이노 프로그램을 기반으로 패턴설계 및 출력이 가능한 LED매트릭스와 의복에 적용이 용이한 가벼운 소재의 스마트 디바이스를 이용하여 스마트 포토닉 의류에 탈부착이 가능한 LED모듈을 설계 및 제작하였다.

셋째, 스마트 포토닉 의류의 일상복으로서 사용가능성을 높이기 위하여 다른 의복과 코디가 용이한 어깨 케이프형의 패턴을 설계하고 LED모듈을 의복에서 분리할 수 있는 탈·부착형 디자인을 구상하였다.

넷째, 소비자가 일상생활에서 요구하는 다양한 기능에 부합하는 맞춤형 LED패턴을 제시하고자 사용자의 상황과 디자인 의도에 따라 외부에 표시되는 디지털 컬러의 패턴을 제어할 수 있도록 아두이노 코딩프로그램을 통해 다양한 메시지와 컬러의 텍스트패턴을 설계 및 변경하였다.

본 연구의 의의는 기존 스마트 의류의 한정적인 기능성과 특수성으로 인해 대중에 패션 아이템으로서의 인식이 부족한 한계점이 있음을 인지하고 스마트 포토닉 의류의 대중화와 실용화에 기초자료가 되기 위한 프로토타입을 설계하고 제작하였다는 점에 있다. 또한 일반의복의 경우 소비자가 구매하여 착용하고 디자인 평가단계를 거쳐 선호디자인을 재구매하는 소모적인 구조의 소비패턴이었다면 개발한 스마트 포토닉 의류는 구매와 착용 이후에 소비자 스스로 참여를 통한 디자인 변형이 가능함으로써 패션아이템의 재디자인(Re-design)과 재생산(Re-creative)이 이루어져 재구매하지 않아도 디자인의 변형이 가능한 지속가능한 디자인으로서 의의가 있다.

본 연구의 한계점은 코딩 변경을 통한 이미지 변경이 간단

한 텍스트이미지에 대한 개발만 이루어져 보다 다양한 이미지의 디자인으로 변경 및 응용이 필요할 것으로 보이며, 아두이노 코딩프로그램을 통한 디자인 변형과정이 일반소비자에게 접근성과 인지적인 면에서 제한이 있을 수 있다는 점이다.

따라서 향후 연구에서는 소비자가 보다 쉽게 멀티기능을 활용할 수 있도록 간소화된 디자인 프로그램이나 어플리케이션을 개발하고 더불어 체계적으로 정립된 설계변경 매뉴얼을 제공하는 틀을 제시하기 위한 연구가 필요할 것으로 보인다. 이를 통해 패션분야에서도 소비자와 디자이너와의 경계를 허물고 IT공학 기술자들과도 기술정보를 공유할 수 있는 공유 생산체계를 마련하여 소비자가 곧 생산자가 되는 프로슈머 시대에 적합한 스마트 의류 디자인프로세스가 정립되는 계기가 되기를 기대한다.

감사의 글

이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019S1A5A2A03047376).

References

- Ahn, Y. S., Han, J. M., & Kang, H. S. (2017). A study on the development of fashion sensibility scale - Focused on wrist wearable device -. *Journal of Communication Design*, 59, 400-412.
- 'Arduino'. (2019). *doopedia*. Retrieved August 1, 2019, from <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=2835912&cid=40942&categoryId=32828>
- 'Continuum dress'. (2019). *Continuumfashion*. Retrieved May 10, 2019, from <http://www.continuumfashion.com/D.php>
- 'Cutecircuit Iminiskitr'. (2019). *Cutecircuit*. Retrieved June 22, 2019, from <http://cutecircuit.com/miniskirt/>
- 'Cutecircuit kinetic dress'. (2019). *Cutecircuit*. Retrieved June 28, 2019, from <http://cutecircuit.com/kinetic-dress/>
- 'Cutecircuit twitter dress'. (2019). *Cutecircuit*. Retrieved August 12, 2019, from <http://cutecircuit.com/media/media-twitter-dress/>
- 'Electroluminescent display'. (2019). *Wikipedia*. Retrieved July 10, 2019, from https://en.wikipedia.org/wiki/Electroluminescent_display
- Heo, S. Y. (2019). *A study on design strategies to improve brand competitiveness of smart clothing: Focusing on the change of consumers' perception through PESTEL analysis and consumer research*. Unpublished master's thesis, Ewha Womans University, Seoul.
- Hwang, S. W. (2007). *The skirt design studies of the times of prosumers*. Unpublished master's thesis, Ewha Womens University, Seoul.
- Ju, N. A. (2018). *Consumer resistance to innovation: Focused on smart clothing*. Unpublished doctoral dissertation, Hanyang University, Seoul.
- Jung, H., & Geum, K. S. (2008). A study on the type of light in fashion design. *Journal of the Korean Society of Costume*, 58(2), 120-133.
- Kang, M. J. (2015). *Design guideline for healthcare smart sensing clothing based on consumer acceptance and characteristics*. Unpublished master's thesis, Yonsei University, Seoul.
- Kim, D. P. (2017, September 27). 구글-리바이스 스마트의류 출

- 시와 동향분석 [Google-Levise Smart clothing launch and trend analysis]. *ITnews*. Retrieved October 2, 2019, from <http://www.itnews.or.kr/?p=23623>
- Kim, E. J., & Yoo, Y. S. (2011). A study on the method to apply LED to fashion design and its expression characteristic. *Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association*, 13(3), 15-29.
- Kim, J. H., & Kim, Y. K. (2018a). A study on the strategy of smart wearable fashion brand convergence extension. *Koresa Science & Art Forum*, 35, 109-120. doi:10.17548/ksaf.2018.09.30.109
- Kim, J. H., & Kim, Y. S. (2018b). Application types and meanings of fashion engineering in fashion brand CuteCircuit. *Fashion & Textile Research Journal*, 20(3), 245-256. doi:10.5805/SFTI.2018.20.3.24
- Kim, K. R., & Choi, G. H. (2009). *Popular Culture Dictionary*. Seoul: hyunsilbook.
- Kim, N. H., Yang, J. H., Hong, S. K., Hong, S. I., & Lee, J. H. (2012). A suggestion of guideline for designing of logo type for apparel products based on the technology of flexible plastic optical fiber. *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 15(4), 469-476.
- 'LED'. (2019). *Wikipedia*. Retrieved July 7, 2019, from https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B0%9C%EA%B4%91_%EB%8B%A4%EC%9D%B4%EC%98%A4%EB%93%9C
- Lee, H. K. (2008). *A study on the design of smart photonic clothing based on inorganic EL technology*. Unpublished master's thesis, Yonsei University, Seoul.
- Lee, H. S., & Lee, J. J. (2017). A study on convergence fashion design applied wearable technology - Focused on the expression of the light and transformation -. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 41(4), 709-721. doi:10.5850/JKSCT.2017.41.4.709
- 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/jksc.2017.67.4.058
- Lee, Y. J., & Lee, J. H. (2011). A study on the implementation of digital color clothing - Focusing on the digital color clothing using plastic optic fiber -. *Journal of Korean Society of Color Studies*, 25(3), 27-35. doi:10.17289/jkscs.25.3.201108.27
- 'Luminous fiber optics long dress by Lumigram'. (2019). *Lumigram*. Retrieved June 22, 2019, from <https://lumigram.com/it/>
- Lyeo, H. G. (2015). A study on the development of traffic safety supplies through light-emitting character - Focusing on the jacket design of the bike user -. *Korean Society of Basic Design & Art*, 16(2), 297-309.
- 'Made w/code'. (2019). *Madedwithcode*. Retrieved May 20, 2019, from <https://www.madedwithcode.com/projects/fashion>
- 'Marpple'. (2019). *Marpple*. Retrieved May 28, 2019, <https://www.marpple.com/kr/>
- Ministry of SMEs and Startups. (2018). *중소기업기술로드맵 2018-2020 -웨어러블-* [Technology Roadmap for SME 2018-2020 -wearable-]. *TIPA*. Retrieved October 1, 2019, from <http://smroadmap.smtech.go.kr/0301>
- Park, H. Y. (2007). *A study on a design prototype of the smart clothing for entertainment based on optical fiber and LED technology*. Unpublished master's thesis, Yonsei University, Seoul.
- Park, S. J., Park, S. H., & Lee, J. H. (2009). A study on the modular design of smart photonic sports clothing based on optical fiber technology. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 12(4), 393-402.
- 'SEIL BAG'. (2019). *Leemyungsu Design*. Retrieved July 22, 2019, from <http://www.leemyungsu.com/>
- Shin, H. Y., & Lee, J. H. (2013). A study on the logo design for clothing in application of the flexible optical fiber with three-colors of LED light source. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 37(4), 482-490. doi:10.5850/jksct.2013.37.4.482
- 'Ski suits with solar-powered lights by Willy Bogner'. (2007, November 28). *dezeen*. Retrieved May 28, 2019, from <https://www.dezeen.com/2007/11/28/ski-suits-with-solar-powered-lights-by-willy-bogner/>
- Yang, J. H., Park, S. H., Cho, H. S., & Lee, J. H. (2013). A study of luminescence effects of POF-woven fabric display by method of weaving. *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 16(4), 517-526. doi:10.14695/KJSOS.2013.16.4.517

(Received 16 September, 2019; 1st Revised 30 December, 2019;
2nd Revised 14 October, 2019, Accepted 25 October, 2019)