

## 센서모듈-전극-회로가 일체화된 스마트 피트니스웨어 제작 연구

김리라 · 유병하<sup>†</sup>

수원여자대학교 패션디자인과 조교수  
(주)신티에스 디자인연구소 소장<sup>†</sup>

### A Study on the Production of Smart fitness wear with Integrated Sensor module-Electrode-Circuit

Rira Kim · Byeongha Ryu<sup>†</sup>

Assistant Professor, Dept. of Fashion Design, Suwon Women's University  
Director, Design R&D Center, Shin Textile Solutions Co., Ltd.<sup>†</sup>  
(2024.6.16 접수; 2024.7.30 수정; 2024.8.29 채택)

#### Abstract

The aim of this study is to develop smart fitness wear by designing and producing a prototype with integrated sensor modules, electrodes, and circuits. The research process was carried out in the following steps: 1) Selecting the positions of the sensors and electrodes based on preliminary research and exercise analysis, 2) Designing and creating patterns of smart fitness wear, 3) Designing the circuit diagram of smart fitness wear, 4) Producing the prototype, and 5) Evaluating wearability. The study reached the following key conclusions. First, the optimal placement of sensor modules and electrodes. Second, the functional design of the smart fitness wear. Third, improvements based on the usability evaluation. These research findings are expected to make a significant contribution to the future development of the fashion industry incorporating IT. The smart fitness wear developed in this study demonstrates the potential for integrating IT with the fashion industry. This product has the potential to be utilized not only in sportswear but also in various healthcare fields, enhancing user experience through personalized health management and tailored feedback.

*Key Words:* Smart Clothing (스마트의류), Smart Wear (스마트웨어), Smart Fitness Wear (스마트 피트니스 웨어), Smart Fitness Wear (디바이스 결합형), Combined Device Fitness Wear (피트니스 웨어)

#### I. 서론

최근 몇 년 동안 코로나19로 인해 팬데믹을 겪으면서 건강한 라이프스타일에 대해 많은 사람들

의 관심이 재조명되고 있으며, 현재와 미래의 삶을 즐기고 건강을 유지하기 위한 하나의 방법으로 운동을 선택하는 사람들이 많아지고 있다. 다양한 운동 중 피트니스는 누구나 접근하기 쉽고,

<sup>†</sup>Corresponding author; Byeongha Ryu  
Tel. +82-70-4659-4345  
E-mail : bhyoo@shints.com

팬데믹으로 인해 홈트레이닝과 셀프 피트니스 붐이 불면서 유튜브나 인스타그램과 같은 SNS를 통해 손쉽게 시작할 수 있는 운동이다. 하지만 피트니스 운동 시 정확한 자세를 유지하지 않거나 제대로 된 근육을 사용하지 않으면 운동의 효과를 낮추고 운동 중 부상을 입거나 근육의 손상을 가져올 수 있다. 최근에는 건강과 체력에 대한 소비자의 관심도가 높아짐에 따라 피트니스 활동을 보다 효과적으로 수행할 수 있도록 의복을 통해 사용자의 심박, 호흡, 체온 등의 생체 신호뿐만 아니라 운동량, 근활성도 및 근발란스 등을 실시간으로 모니터링할 수 있는 근전도 측정 디바이스 및 의류 등의 스마트 웨어러블 제품이 개발되고 있다(이소정 외, 2023). 미국 시장조사업체 ‘마켓.US(Market.US)’에 따르면, 운동에 대한 관심이 증가함에 따라 글로벌 스포츠웨어 시장은 2032년 462조를 넘어 현재보다 약 2배 커질 것으로 예상하고 있다. 특히 글로벌 소비자 구매력 증가와 함께 심박수를 모니터링하는 티셔츠, 체온을 조절하고 혈액순환을 돕는 스타킹 등 다양한 기술 개발이 스포츠웨어 시장을 확대할 전망이다(민은주, 2023). 피트니스 운동의 경우 근육의 활성도를 확인하는 것 또한 중요한데, 이를 위해서는 전극이 직접 피부에 닿아야 하고 측정하고자 하는 위치의 근육 부위에 부착되어야 정확한 수치를 얻을 수 있다. 하지만 사용자가 근육별 전극의 부착 위치에 대한 정보가 없는 경우 정확한 신호 측정이 어려울 수 있으므로 각 근육의 정확한 위치에 근전도 측정 디바이스를 부착할 수 있는 결합형 스마트의류의 개발이 필요하다(이소정 외, 2023).

지금까지 스마트웨어 제작 관련 연구로는 근전도 디바이스 결합형 스마트의류를 개발해 성능을 평가한 연구(이소정 외, 2023), 동작센싱 스마트 레깅스 프로토타입 개발 연구(황진희 외, 2022), 스마트 의류 디자인 최적화를 위한 다양한 전극 크기와 의류 압력에서 섬유 기반 전극을 사용한 EMG 연구(Siyeon Kim et al., 2022), 웨어러블 운동 퍼포먼스 시스템의 표면 근전도 측정의 타당성 및 신뢰성 연구(Lynn et al., 2018) 등이 있다. 선행연구들은 대부분 한 종류의 센서 부착 연구나 부분적인 소재 연구들로 이루어져있으나, 피트니스 운동을 위한 센서모듈과 전극, 회로를 연결한 일체형 스마트웨어 디자인 및 전체적인 제작

프로세스에 관한 연구는 부족한 실정이다. 스마트웨어의 개발을 위해서는 호흡, 심박, 체온, 동작 등의 생체 신호를 획득할 수 있는 센서 기술, 신호를 처리하는 기기부, 연결선, 이를 통합하는 제작 기술, 인터페이스 디자인 기술 등 융합적인 연구 개발이 필요하다. 뿐만 아니라 내구성, 착용감, 세탁성을 향상시키기 위한 연구가 필요하며 사용자의 편의성과 안전성에 관한 검증, 심미적 디자인에 관한 고려가 이루어져야 한다(황진희 외, 2022). 따라서 본 연구에서는 근육의 활성도 측정 및 운동 동작 분류가 가능한 센서모듈과 전극의 위치 선정에 포함하여, 센서모듈-전극-회로가 일체화된 스마트 피트니스웨어의 개발을 목적으로 한다. 본 연구는 센서모듈과 회로 설계를 기반으로 한 프로토타입을 제작하고 사용성 평가를 통해 스마트 피트니스웨어의 실용적 적용 가능성을 검증하고, 스마트웨어 제품 개발 및 헬스케어 산업에 기여할 수 있는 기초 데이터를 제공하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 미래 패션산업의 IT 융합을 촉진하고, 다양한 분야에서 활용 가능한 스마트웨어 솔루션을 제안하고자 한다.

## II. 이론적 고찰

### 1. 스마트 피트니스웨어의 정의

스마트웨어란, ICT와 첨단 섬유소재·기술이 융합된 고기능성 의류로 생체 신호 감지, 발열·온도 조절, 데이터 전송, 스마트폰 제어 등 다양한 기능을 수행한다(박수진, 2019). 이주현(2004)은 스마트웨어란 신 섬유 기술과 최신 디지털 테크닉을 바탕으로 미래의 일상생활에 요구되는 다양한 디지털 디바이스와 그 기능을 의복에 융합시킨 새로운 형태의 의류라고 했다. 박현희, 노미진(2011)은 센서 기반 스마트웨어는 생체 신호 측정이 가능한 디바이스 및 센서를 의복 내에 내장 시킴으로써 착용자의 혈압, 맥박, 호흡, 그리고 체온과 같은 기본적인 생체 신호 등을 측정할 수 있는 의류를 가리킨다고 했다. 스마트웨어는 신호를 감지하고 정보를 처리하여 반응하는 상호작용을 할 수 있는 새로운 의복으로 정의되며, 다양한

형태로 전달될 수 있는 환경 자극에 대해 통제되거나 계획된 방식으로 반응할 수 있는 기능이 포함되어 있다(이재경 외, 2021). 한편, 피트니스웨어는 액티브 스포츠웨어의 한 종류로(이형숙 외, 2003) 헬스, 퍼스널 트레이닝 운동, 요가, 유산소 운동 등 건강한 육체를 만들고 신체 기능을 강화하는 운동을 할 때 착용하는 의류이다(김리라, 주미영, 2019). 운동 시 착용하는 의상이므로 장시간 착용에도 쾌적함, 습한 속진, 방수, 발열, 자외선 차단 등 기능성을 갖춰야 한다(이인성 외, 2006). 고강도 피트니스웨어는 인체에 밀착되게 제작되어 근육을 단단히 지지하여 부상을 방지해주고 활동 시 안정감을 주면서도 움직임 방해하지 않고 필요 부위만을 압박하여 근육의 피로 또한 감소시켜주는 것이 특징이라 할 수 있다(김채림, 후보림, 2022).

따라서 스마트 피트니스웨어는 일반적인 피트니스웨어와는 달리, 첨단 기술을 접목한 의류로 볼 수 있으며, 센서를 활용해 심박수 및 운동량뿐만 아니라 근육활성도 및 부위별 운동 동작 또 자세 센싱 등의 생체 신호 정보를 제공해 주는 고기능성 의류로 컴프레션 웨어의 디자인이 제안된다(정찬웅 외, 2017).

## 2. 스마트 피트니스웨어의 동향 분석

현재 개발되고 있는 건강관리, 스포츠를 위한 스마트웨어들은 피트니스, 요가, 런닝 등 다양한 운동을 하면서 변화하는 호흡, 체온, 맥박, 혈압, 움직임 등과 같은 생체신호를 측정하고 헬스정보를 획득하여 해당 데이터를 스마트폰으로 실시간으로 전달하고 전용 어플리케이션을 이용해 분석하여 운동량 정보를 제공하거나 자세를 코칭하여 운동 효과를 향상시키는 등의 서비스를 제공하기 위해 개발되고 있다(황진희 외, 2022). <표 1>은 현재 판매 중이며, 의류에 센서가 내장되어있거나 혹은 탈부착이 가능한 글로벌 스마트 피트니스웨어 브랜드를 위주로 분석한 것으로 측정 항목, 센서모듈의 유형, 센서의 위치를 조사하였다. 각각의 스마트웨어의 특징은 다음과 같다.

Athos(미국)은 근육 활동 측정과 동작 추적 기술을 결합해 착용자의 상태를 모니터링하여 운동을 효과적으로 할 수 있도록 돕는다. 좌우의 밸런

스를 측정하고 실시간 모니터링을 통해 운동선수의 근육이 어떻게 작동하는지 정확히 확인한 다음 이를 시각적 신호로 사용하여 신경근 연결을 촉진하는 데 도움을 준다. AiQ Smart Clothing(대만)의 Bioman+는 인체의 전기적 활동을 포착하기 위한 전도성 섬유 기반 직물 전극과 의류에 부착된 모듈에 전기 신호를 전달하는 전도성 실로 구성되어있다. 조끼, 티셔츠, 스포츠 브라, 다양한 사용자 시나리오에 적합한 5가지 유형의 전극 구조, 다양한 압축 수준을 갖춘 3가지 직물 변형 등으로 제공되며 상황에 따라 다양한 색상과 스타일로 디자인할 수 있다. Hexoskin(캐나다)은 섬유 센서를 통해 성인 남성과 여성뿐만 아니라 아동용 스마트웨어도 제공하고 있다. Hexoskin Smart Garments는 직물 내장 센서를 통해 48시간 동안 5가지 활력 징후에 대한 최첨단 실시간 생체 인식 모니터링을 제공한다. 호흡 센서, 맥박 산소 측정기 및 피부 온도 센서가 모두 하나의 세탁 가능한 의류에 내장되어 있어 ECG, 혈중 산소 수준, 호흡, 피부 온도 및 활동을 지속적으로 모니터링할 수 있다. Myontec(핀란드)은 훈련 중에 근육에 어떤 일이 일어나는지 확인할 수 있는 포괄적인 무선 도구로 설계되어있어서 어떤 근육 그룹이나 근육이 올바른 활성화 순서로 제대로 작동하는지 또는 해로울 수 있거나 부상으로 이어질 수 있는 불균형이 있는지 추적할 수 있다. Playertek(호주)는 Catapult사의 스마트웨어 브랜드로 호주 스포츠 협회와 협동 연구 센터의 파트너십을 통해 2006년 멜버른에서 설립되었다. 미국 프로미식축구 리그(NFL), 영국 프리미어리그(EPL), 미국 프로야구 리그(MLB), 캐나다 하키 리그(NHL), 호주 풋볼 프로 리그(AFL) 및 기타 3,800개 이상의 다양한 스포츠팀과 협력하고 있다. GPS와 LPS를 활용해 심박수와 관성 데이터를 수집하는 백터 프로 기기는 선수가 입는 조끼 형태로 제공되며, 이를 통해 부상 예방과 부상을 당한 선수의 회복을 빠르게 도와준다. 더불어 스마트폰과 스마트워치를 통해 실시간으로 선수의 상태를 모니터링하는 기능도 갖추고 있다(유영환, 2023). Prevayl(영국)은 심박수, 호흡수부터 체온, 몸 움직임까지 특허를 받은 센서가 초당 1,000개의 데이터 포인트로 시중의 다른 어떤 웨어러블보다 더 많은 데이터를 처리한다. 최대 10일의 배터리 수명을 가지고 있으며

〈표 1〉 글로벌 스마트 피트니스웨어 분석

브랜드	이미지	측정 항목	센서모듈 유형	센서 위치
Athos (미국)	 <p>〈그림 1〉 Athos</p> <p><a href="https://www.liveathos.com/shop">https://www.liveathos.com/shop</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 근활성도</li> <li>· 심박수</li> <li>· 호흡 패턴</li> <li>· 움직임 및 자세</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EMG 센서</li> <li>· 심박수 센서(ECG 또는 광혈류 측정)</li> <li>· 가속도계 및 자이로스코프</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상의: 팔, 가슴, 복부 등 주요 근육 그룹에 센서가 배치</li> <li>· 하의: 대퇴부, 둔부 등 다리 근육 그룹에 배치</li> </ul>
AiQ Smart Clothing (대만)	 <p>〈그림 2〉 Bioman+</p> <p><a href="https://www.aiqsmartclothing.com/product-service/">https://www.aiqsmartclothing.com/product-service/</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 심박수</li> <li>· 호흡 패턴</li> <li>· 체온</li> <li>· 활동수준: 걸음수, 이동거리, 칼로리 소모등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· ECG 센서</li> <li>· 호흡 센서</li> <li>· 온도 센서</li> <li>· 가속도계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상의: 가슴 부위에 ECG 센서 배치, 체온 센서와 호흡 센서도 상의에 통합되어 있음</li> <li>· 하의: 가속도계 센서가 다리 부위에 배치</li> </ul>
Hexoskin (캐나다)	 <p>〈그림 3〉</p> <p><a href="http://www.hexoskin.com">www.hexoskin.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 심박수</li> <li>· 호흡 패턴</li> <li>· 활동량</li> <li>· 수면 데이터</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· ECG 센서</li> <li>· 호흡 센서</li> <li>· 가속도계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상의: 가슴 부위에 ECG 센서와 호흡 센서가 통합</li> <li>· 전체 몸: 다양한 센서가 통합되어 사용자의 신체 전반의 데이터를 수집할 수 있도록 설계됨</li> </ul>
Myontec (핀란드)	 <p>〈그림 4〉</p> <p><a href="https://www.myontec.com/product-page/mbody-3-kit-upper-body">https://www.myontec.com/product-page/mbody-3-kit-upper-body</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 근육 활성도</li> <li>· 심박수</li> <li>· 운동 강도</li> <li>· 움직임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EMG 센서</li> <li>· 심박수 센서</li> <li>· 가속도계 센서</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 하의: 다리 근육(대퇴근, 장경인대 등) 부위에 EMG 센서가 배치</li> <li>· 상의: 상체 근육 활동을 모니터링하기 위해 가슴 부위에 EMG 센서가 포함</li> </ul>
Playertek (호주)	 <p>〈그림 5〉 CATAPULT VECTOR S7</p> <p><a href="https://www.catapult.com/solutions/vector-pro">https://www.catapult.com/solutions/vector-pro</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 위치 추적</li> <li>· 속도 및 가속도</li> <li>· 거리</li> <li>· 심박수</li> <li>· 신체적 부하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· GPS 센서</li> <li>· 가속도계 센서</li> <li>· 심박수 센서</li> <li>· 자이로스코프</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 조끼 및 셔츠: GPS 및 가속도계는 상체의 중앙 부분에 위치, 심박수 센서는 일반적으로 가슴 부위에 위치</li> </ul>
Prevay (영국)	 <p>〈그림 6〉 Women's SmartWear</p> <p><a href="https://shop.prevayl.com/collection/smartwear-training-packs">https://shop.prevayl.com/collection/smartwear-training-packs</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 심박수</li> <li>· 체온</li> <li>· 호흡 패턴</li> <li>· 활동량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· ECG 센서</li> <li>· 온도 센서</li> <li>· 호흡 센서</li> <li>· 가속도계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상의: 가슴 부위에 ECG 센서와 호흡 센서, 체온 센서가 배치</li> <li>· 하의: 가속도계 배치</li> </ul>

〈표 1〉 글로벌 스마트 피트니스웨어 분석

브랜드	이미지	측정 항목	센서모듈 유형	센서 위치
Sensoria (미국)	 〈그림 7〉 Sensoria CORE PAIR <a href="https://store.sensoriafitness.com/sensoria-core-pair/">https://store.sensoriafitness.com/sensoria-core-pair/</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 걸음걸이 분석</li> <li>· 소모 칼로리</li> <li>· 속도 및 거리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 압력 센서</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 스마트 양말: Sensoria의 대표적인 제품으로, 압력 센서가 바닥에 위치</li> <li>· 신발: 스마트 인솔(깔창) 형태로 센서가 통합</li> </ul>
	 〈그림 8〉 SPORTS BRA + HRM <a href="https://store.sensoriafitness.com/sports-bra-hrm">https://store.sensoriafitness.com/sports-bra-hrm</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 심박수</li> <li>· 소모 칼로리</li> <li>· 속도 및 거리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 심박수 센서</li> <li>· 가속도계</li> <li>· GPS 센서</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상의: 심박수 센서가 가슴 부위에 위치</li> </ul>
Nadi-X (미국)	 〈그림 9〉 Wearable X <a href="https://www.wearablex.com/pages/how-it-works">https://www.wearablex.com/pages/how-it-works</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자세교정</li> <li>· 움직임 분석</li> <li>· 진동 알림</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가속도계</li> <li>· 자이로스코프</li> <li>· 압력 센서</li> <li>· 진동 모듈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 하의: 팬츠 허벅지 부분에 가속도계와 자이로스코프가 통합</li> </ul>
Whoop (미국)	 〈그림 10〉 Whoop Body <a href="https://shop.whoop.com/en-us/products/black-mens-speed-tight/?sku=925-05-00-0-4">https://shop.whoop.com/en-us/products/black-mens-speed-tight/?sku=925-05-00-0-4</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 심박수</li> <li>· 수면데이터</li> <li>· 심박수 변동성 (HRV)</li> <li>· 회복상태</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 광혈류 측정 (PPG) 센서</li> <li>· 가속도계</li> <li>· 자이로스코프</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상의: 겨드랑이 아래 가슴선과 교차점</li> <li>· 팬츠 허벅지 옆쪽 또는 허리밴드 안쪽</li> </ul>

GPS와 LPS를 활용해 심박수와 관성 데이터를 수집하고 모든 데이터는 앱을 통해 실시간으로 전달된다. 이를 활용해 부상 예방과 부상을 당한 선수의 회복을 도우며, 원격 실시간 모니터링이 가능해 활동 후 데이터는 시간이 지남에 따라 안전한 플랫폼에 저장된다. Sensoria(미국)의 양말에는 독점적인 100% 직물 센서가 내장되어 있다. 걸음 수 계산, 속도, 칼로리, 고도 및 거리 추적에서 뛰어난 정확도를 제공할 뿐만 아니라 그 이상으로 케이던스, 발 착지 기술 및 걸을 때 생성되는 충격 점수를 추적한다. 이를 통해 부상을 입기 쉬운

달리기 스타일(뒤꿈치 타격, 공 타격 등)을 식별하는 데 도움을 주고 모바일 앱을 활용하여 오디오 신호를 통해 실시간으로 지도한다. 가상 신발장을 사용하면 결과를 비교하고 8,000개 이상의 운동화 모델 데이터베이스와 신발을 비교할 수도 있다. 티셔츠와 스포츠 브라에는 심박수를 알려주는 센서를 탈착할 수 있으며, 스마트 디바이스인 POLAR H7 및 GARMIN PREMIUM과 호환이 가능하다. Nadi-X(미국)의 Wearable X는 요가를 위한 스마트웨어로 바지에는 30가지의 다양한 요가 자세를 취하는 데 도움이 되는 5개의 센서가 내장

되어 있어 착용자가 자세를 취하면 센서가 특정 방식으로 진동하여 엉덩이, 무릎 또는 발목을 조정하는 방법을 알려준다. 대부분의 웨어러블 피트니스 제품과 달리 NadiX는 걸음 수, 칼로리 또는 심박수에 대한 피드백을 수집하지 않는다(Sara Ashley O'Brien, 2017). Whoop(미국)의 Whoop Body는 레깅스, 티셔츠, 브라, 팬티 등 의류의 지정된 포켓 안에 디바이스를 넣어 생체 신호를 측정한다. 수면, 긴장, 회복, 스트레스 및 건강 생체 인식을 24시간 추적하는 웨어러블 제품으로 다른 운동 분석 스마트웨어와는 다르게 소모 칼로리나 거리 등을 측정하지 않고 심박수만을 통해 신체의 회복과 스트레스 지수를 측정한다.

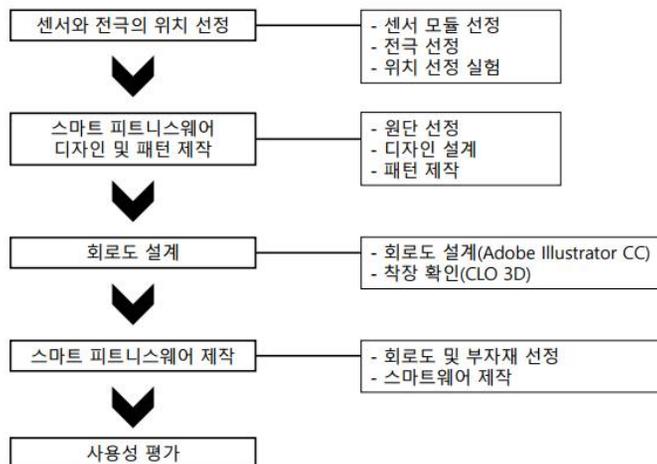
글로벌 스마트 피트니스웨어 9개의 브랜드들을 조사한 결과, 브랜드마다 측정하는 항목과 센서모듈, 센서의 위치는 달랐으나, 다음의 공통점을 발견할 수 있었다. 첫째, 측정 항목에서 대부분의 스마트웨어 브랜드는 심박수, 활동량, 운동 강도와 같은 기본적인 피트니스 관련 데이터를 측정하고 있었다. 이들은 사용자에게 운동 성과와 건강 상태를 모니터링할 수 있는 데이터를 제공한다. 둘째, 센서모듈의 측면에서 광혈류 측정(PPG), ECG, 가속도계, 자이로스코프와 같은 센서를 활용하여 심박수, 움직임, 자세 등의 다양한 생체 신호를 감지하며, 이러한 센서들은 사용자에게 실시간 데이터를 제공하는 데 중요한 역할을 한다. 셋째, 건강과 피트니스 모니터링 측면에서 모든 브랜드는 건강 관리와 운동 성과 향상을 목

표로 하며, 이를 위해 수집된 데이터를 분석하여 사용자의 피트니스 목표 달성에 기여한다. 넷째, 웨어러블 기술의 측면에서 스마트웨어는 사용자의 일상 생활 속에서 쉽게 착용할 수 있도록 설계되었으며, 대부분의 제품은 티셔츠, 팬츠, 브라, 양말 등 다양한 형태로 제공됨을 알 수 있었다. 따라서 이러한 공통점을 기반으로 앞으로의 스마트웨어는 통합된 생체 신호 모니터링, 사용자 편의성 증대, 데이터의 정확도 및 안정성 강화, 실시간 피드백 및 코칭 외에도 배터리 수명 연장 및 에너지 효율 개선 등이 이루어져야 할 것이다.

### Ⅲ. 연구방법

#### 1. 스마트 피트니스웨어 프로토타입 개발

스마트 피트니스웨어 프로토타입 개발을 위해 <그림 11>과 같은 프로세스로 진행하였다. 첫째, 센서모듈과 전극의 종류를 선정하고 운동 분석 실험을 통해 센서와 전극의 위치를 정한다. 둘째, 센서와 전극의 위치를 고려해 스마트 피트니스웨어를 디자인하고 패턴을 제작한다. 셋째, CLO 3D 및 Adobe Illustrator를 활용해 회로도설계를 하고 3D 아바타의 착장 상태의 센서와 전극, 회로도를 확인한다. 넷째, 실제 스마트 피트니스웨어를 제작한다. 마지막으로 사용성 평가를 진행한다.



<그림 11> 연구 프로세스

## 2. 사용성 평가

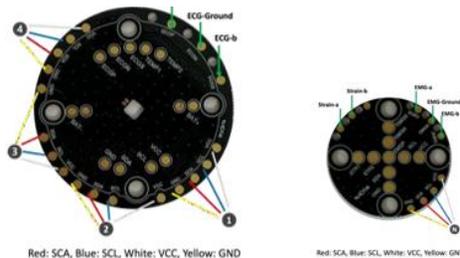
사용성 평가는 피트니스 운동 전문가 입회 하에 20-40대 남성 20명을 대상으로 2023년 9월 5일과 11월 10일 이틀에 걸쳐 실시하였다. 피험자들은 전문가 지도하에 스마트 피트니스웨어를 착용하고 <표 2>와 같이 운동 프로토콜을 진행한 후, 설문을 실시하였다. 평가 항목 및 문항은 배성현 외(2020)의 선행연구를 참고해 디자인만족도(5문항), 착용편의성(4문항), 활동편의성(3문항), 안전성(3문항), 관리편의성(3문항), 스마트웨어 서비스 만족도(4문항)으로 분류하여 작성하였으며 5점 리커트척도로 평가하였다.

<표 2> 사용성 평가 프로토콜 및 실험

프로토콜	· 덤벨 헤머 킵(상체) - 덤벨 데드리프트(하체) - 오버그립 랫풀다운(상체) - 레그 익스텐션(하체) · 덤벨 이용 및 웨이트 기기를 이용한 상/하체 운동을 각각 1set(10회) 시행			
운동 시행				

<표 3> 센서모듈의 유형 및 특성

센서모듈	IMU	ECG	Temperature	EMG
Station 모듈	○	○	○	-
Satellite 모듈	○	-	-	○



<그림 12> Station 모듈(좌)과 Satellite 모듈(우)

## IV. 연구 결과

### 1. 스마트 피트니스웨어 프로토타입 개발

#### 1) 센서와 전극의 위치 선정

센서모듈은 (주)CA네트웍스에서 제작했으며 Station 모듈과 Satellite 모듈 두 가지로 나누어져 있다. Station 모듈은 IMU, ECG, Temperature 3가지 센서가 내장되어 있으며, 각각의 Satellite 모듈에서 보내는 신호를 받아 어플리케이션으로 보내는 역할을 한다. Satellite 모듈은 IMU, EMG 2가지 센서가 내장되어 있으며 Station 모듈로 신호를 보낸다(<표 3>). 각각 센서모듈의 형태와 모식도는 <그림 12>와 같다. <그림 13>은 3D 프린팅으로



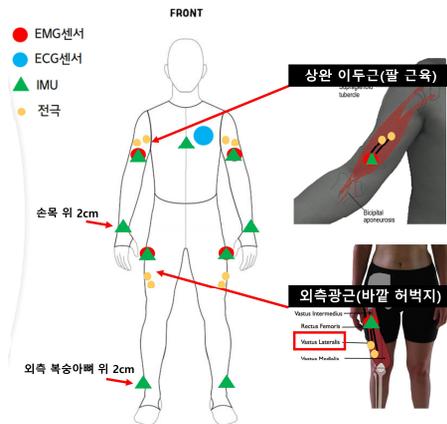
<그림 13> Station 모듈(좌)과 Satellite 모듈(우)의 케이스 목업



<그림 14> 의류의 안(좌)과 겉(우)



<그림 15> 실험 프로토콜(출처: 국민대학교 운동분석연구실)



<그림 16> 센서모듈과 전극의 위치(출처: 국민대학교 운동분석연구실)

제작한 센서모듈의 케이스 목업 이미지이다.

전극은 (주)소프트로닉스에서 개발한 섬유 전극으로 <그림 14>와 같이 의류 회로와의 커넥팅이 필요한 단자만 노출된 패키징을 개발해 본 연구에 활용하였다.

스마트 피트니스웨어의 센서와 전극의 위치 선정은 국민대학교 운동분석연구실에서 진행하였으며, 시판 중인 IMU센서(Xsense Dot)을 활용해 센서와 전극의 위치를 선정하였다. 본 연구에서 피트니스 주요 동작은 피트니스 5대 운동인 스쿼트

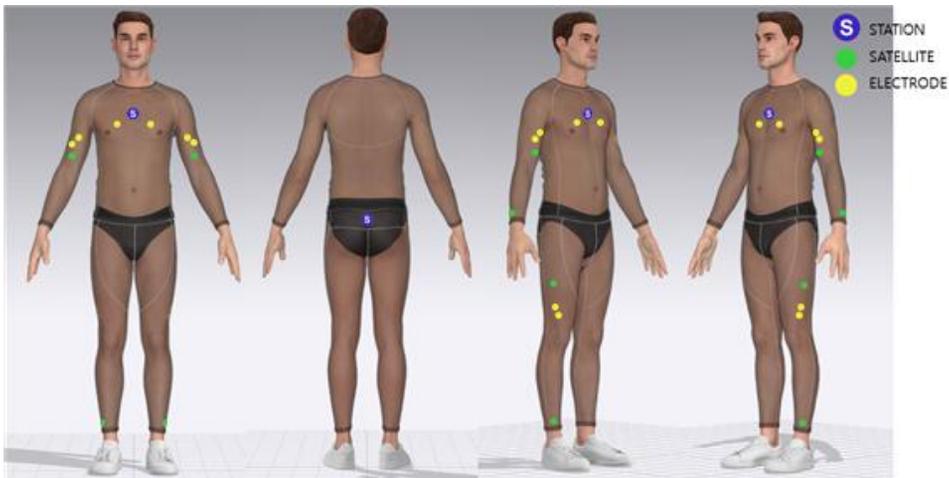
(하체 운동), 데드리프트(전신 운동), 벤치프레스(가슴 운동), 랫풀다운(등 운동), 숄더프레스(어깨 운동) 5가지로 정하고 실험을 실시하였다. 도출 파라미터는 동작 수행 횟수이며, 실험 프로토콜은 <그림 15>와 같다. 실험한 피트니스 5대 운동은 IMU 센서를 사용해 합 가속도를 이용하여 동작의 횟수를 찾아낼 수 있었으며, 최대한 적은 수의 센서를 활용하는 것이 효율적이라고 판단하여 <그림 16>과 같이 상의 5군데, 하의 5군데를 선정하였다. 심박수 측정을 위한 ECG 센서는 Station 모

둘 하나로 측정이 가능하므로 가슴 가운데로 선정하였으며, 근활성도와 동작 횟수 측정을 위해 Satellite 모듈은 팔뚝의 상완이두근 상과 손목에서 2cm 올라 온 부분에 위치한다. Station 모듈은 뒤쪽 허리 중간에 위치하며, 근활성도와 동작 횟수 측정을 위해 Satellite 모듈은 대퇴직근 상과 외측 복숭아뼈 2cm 위에 위치한다. 전극은 근육 선상에 위치해야 근활성도를 측정할 수 있다. 조하경 & 조상우(2016)의 선행연구를 바탕으로 심박수 측정을 위해 왼쪽 심장 부분과 대칭되는 오른쪽 가슴에 위치하도록 하였으며, 팔과 다리 근육 활성도 측정을 위해 상완이두근 선상과 대퇴직근 선상에 위치하도록 하였다. <그림 17>은 패턴 위에 정확하게 위치시키기 위해 CLO 3D로 그 위치를 한번 더 재확인한 것이다.

2) 스마트 피트니스웨어 디자인 및 패턴 개발

피트니스 운동 시 전문가들은 컴프레션 웨어를 착용하는데, 컴프레션 웨어는 피부에 안정적으로

밀착되어 혈류와 근육 산소공급을 촉진시켜 운동 효과를 극대화시키고 원활한 움직임과 완벽한 착용감을 제공해 운동 시 최상의 컨디션을 만들어 줄 수 있도록 도와준다(이정화 외, 2015). 정찬웅 외(2017)의 선행 연구에서도 스마트 피트니스웨어는 생체신호 센싱 정확도를 높이기 위해 컴프레션 웨어의 형태로 디자인되는 것이 바람직하다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 스마트 피트니스웨어 제작을 위한 원단으로 PA 73%, SPANDEX 27%의 혼용률을 가지고 있으며, 세탁견뢰도가 4-5급이며, 디바이스의 무게(3g)에도 견딜 수 있는 소재로 결정하였다. 앞서 선정한 센서와 전극의 위치에 따라 스마트 피트니스웨어는 상의의 센서와 전극의 위치를 고려하여 디자인하였다. 상의는 어깨와 소매를 봉제선 없이 하나로 연결한 라글란 소매로 디자인하여 팔을 움직이는 운동시 활동성을 주었으며, 뒷판은 심미성과 통기성 있는 메쉬 소재의 사용이 가능하도록 요크를 넣어주었다. 하의는 슬림해 보일수있게 허벅지 부분에 세로의 절개를 넣어주었는데, Satellite 센서



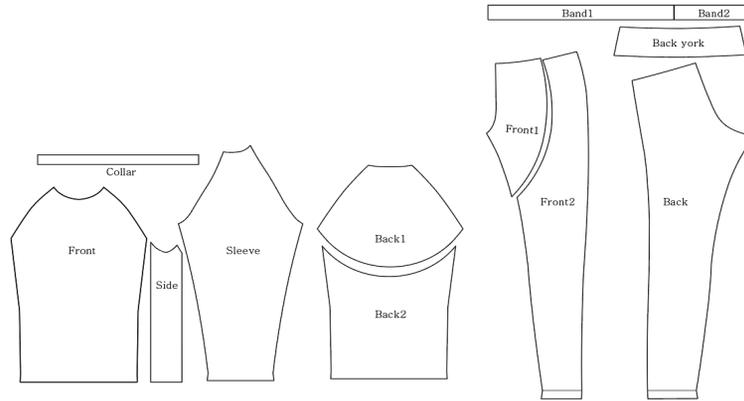
<그림 17> 스마트 피트니스웨어의 센서와 전극의 위치 선정



<그림 18> 도식화 디자인(좌: 상의, 우: 하의)

모듈과 전극의 위치를 고려해 디자인했다. 하의 뒷판 중심에는 Station 모듈의 부착 용이성을 위해 허리 부분에 요크를 넣어주었다(그림 18). 완성된 디자인을 바탕으로 <그림 19>와 같이 패턴을

제작하였으며, 스펙 차트는 아래 <표 4>, <표 5>와 같다.



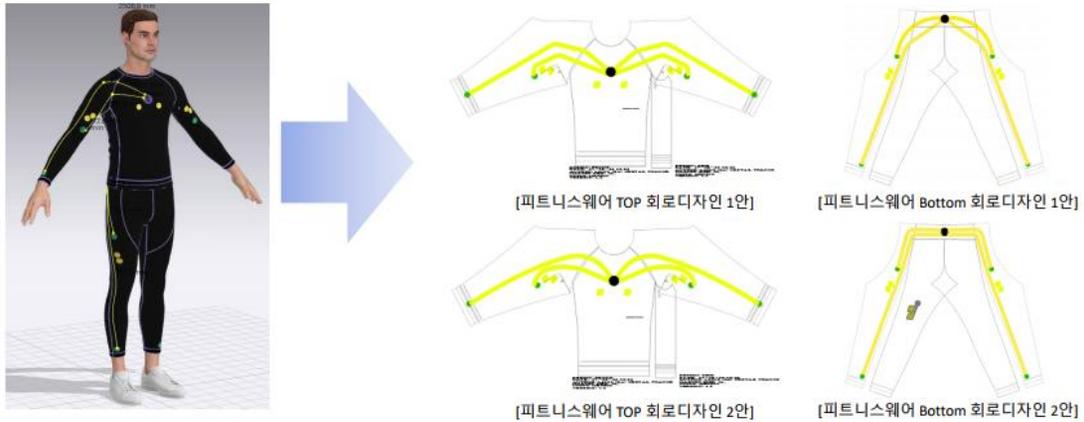
<그림 19> 스마트 피트니스웨어 패턴 제작

<표 4> 상의 스펙 차트

Position	L SIZE(cm)
1/2 CHEST	47
1/2 WAIST	35
1/2 BOTTOM (RELAXED)	36
CENTER FRONT LENGTH	54
WIDTH OF THE NECK	16
DEPTH OF THE NECK	8
YOKE OF SHOULDER	6
WIDTH OF RIB	1,5
WIDTH OF THE SHOULDER (BACK)	45
CBL(CENTER BACK TO BOTTOM HEM)	59
SLEEVE LENGTH(MEASURE FROM BACK COLLAR BOTTOM CENTER TO CUFF)	68
1/2 UPPER ARMHOLE WIDTH	16,5
1/2 CUFF	12,5
LENGTH OF YOKE	27,5

<표 5> 하의 스펙 차트

Position	L SIZE(cm)
1/2 WAIST (RELAXED)	32,50
1/2 HIP	41,00
1/2 THIGH (UNDER CROTCH 3cm)	25,00
1/2 KNEE	16,50
1/2 KALF	14,50
1/2 BOTTOM WIDTH	11,00
INSEAM	72,00
FRONT - WAIST BAND WIDTH	4,00
BACK - WAIST BAND WIDTH	4,00
FRONT RISE (INCLUDE WAIST BAND)	24,00
BACK RISE (INCLUDE WAIST BAND)	40,50



〈그림 20〉 스마트 피트니스웨어 회로로 디자인

3) 회로도 설계

스마트 피트니스웨어 제작 전 〈그림 20〉과 같이 CLO 3D 프로그램을 활용해 1차 회로도틀을 디자인하였다. 회로도 설계는 Adobe Illustrator CC 프로그램을 사용해 실제 크기의 2D 패턴 상에 센서모듈과 전극의 부착 위치, 센서 케이스의 사이즈, 회로의 두께와 너비를 고려해 최적의 회로도를 디자인하고 최종 1안과 2안으로 제시하였다. 회로도 디자인은 황진희 외(2022)의 선행연구를 바탕으로 다음과 같은 점을 고려하였다. 첫째, 착용자가 운동을 할 때 불편하지 않아야 한다. 둘째, 전극과 센서모듈을 위를 지나가지 않아야 한다. 셋째, 심미성과 제작 효율성을 위해 최대한 최단거리를 이루어야한다. 따라서 상의는 가슴의 Station이 손목의 Satellite와 팔뚝의 Satellite 두 개 모두와 연결되고 센서모듈과 전극을 지나가지 않도록 디자인했다. 겨드랑이에 가깝게 회로가 지나가는 것이 최단거리이지만, 운동 시 착용자의 움직임에 거슬림이 없어야하므로 어깨쪽으로 회로가 지나가도록 디자인했다. 하의는 착용자가 앉아서 운동할 때 불편하지 않도록 엉덩이 가운데와 허벅지 뒤편을 지나가지 않도록 최대한 옆선 부분으로 회로도가 지나가도록 디자인했다. 레이저 커팅기를 활용해 웰딩 필름을 1안과 2안의 도안대로 자르고 실제 재단물에 올려 확인한 결과, 상의는 2안, 하의는 1안이 채택되었다. 그 이유는 첫째, 웨빙한 회로의 두께와 경도로 인해 회로가 각지게 꺾일 시 저항을 받아 신호에 노이즈가 많을 수 있

기 때문이며, 둘째, 사용자가 착용시 회로가 부착된 부분으로 인해 불편함이 없어야하기 때문에 부착이 용이한 안으로 선정하였다.

4) 스마트 피트니스웨어 제작

스마트 피트니스웨어 제작 과정은 〈표 6〉과 같이 먼저 센서모듈과 연결되는 섬유 전극의 아트워크를 디자인하고 레이저 커팅을 한 후, 원단에 베이스 레이어링 작업을 한다. 다음으로 센서모듈이 부착될 부분에 보호 레이어링 작업을 해준다. 회로 인터커넥팅을 위한 웰딩 작업의 용이성을 위해 스마트 피트니스웨어의 회로가 지나가는 부분만 먼저 부분 봉제 후 인터커넥팅 작업을 한다. 완전 봉제 후 베이스 보드를 부착하고 Pogo Pin을 연결한다. 마지막으로 센서모듈을 부착한다.

웰딩필름은 부착용과 절연용 두 가지로 SEALON사의 것으로 선정하였으며, 웰딩의 조건은 130℃ × 10sec Heating, 10sec Cooling으로 실험하였다. 센서모듈과 연결되는 회로는 다이택연구원에서 제작한 것으로 주석 도금한 연동선 8가닥을 도체(Conductor)로 정하고 절연체 코팅이 되어 있는 편평한 스트립 형태 및 원형으로 웨빙(Webbing)하여 신축성을 주었다(그림 21). 내구성과 전기전도도 안정성 및 신축성, 회로 끝단의 절연체 코팅, 피복 제거 용이성, 솔더링으로 PCB 인쇄 회로 보드와 상호연결 등을 고려하여 제작하였다. 스마트 피트니스웨어 제작을 위해 사용된 원단과 웰딩필름 및 회로의 스펙은 아래의

〈표 7〉과 같다. 봉제는 오드램프 특수 봉제 기법을 사용하였는데, 그 이유는 오드램프 봉제는 원단과 원단과 피부에 쓸림 현상을 줄여주며 착용감 및 활동성 등이 다른 봉제 방법과 달리 우수하

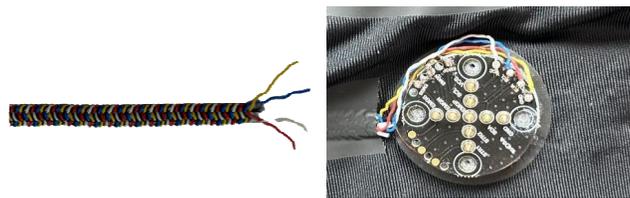
여 동작센싱과 인체 활동을 고려한 스마트 웨어에 적합하기 때문이다(황진희 외, 2022). 〈그림 22〉와 같이 회로 인터커넥팅 과정을 거쳐 완전 봉제 후 센서모듈 탈부착이 가능한 베이스를 연

〈표 6〉 스마트 피트니스웨어 제작 과정

1. Artwork & Cutting	2. Base Layering	3. Electrode Welding	4. Protect Layering	5. Pre-Sewing
Satellite & Station Signal 및 Power		Satellite-Station	Module Base Pogo Pin 연결	Station&Satellite Module 연결
6. Interconnecting	7. Sewing	8. Base Soldering	9. Base Module Finish	10. Module Connecting

〈표 7〉 스마트 피트니스웨어 원부자재 스펙

분류	아이템명	소재	비고
원단	SP-9000N	PA 73%, SPANDEX 27% Black	폭 60inch
웰딩필름	부착용	SEALON 5376-1	Polyuretane 두께 0.10mm
	절연용	SEALON 5376-2	Silicone 두께 0.15mm
회로	W-AWG32	절연체 코팅이 된 주석 도금	외경 0.54mm



〈그림 21〉 회로(좌)와 솔더링(우) 이미지



〈그림 22〉 회로 인터커넥팅 과정



〈그림 23〉 스마트 피트니스웨어 프로토타입(왼쪽부터 앞, 뒤, 옆(좌), 옆(우))

〈표 8〉 피험자 정보

구분	나이		키		가슴둘레		허리둘레	
	평균	표준편차	평균(cm)	표준편차	평균(cm)	표준편차	평균(cm)	표준편차
남성 (n=20)	27.85	3.99	174.4	5.13	100.75	7.18	79	4.46

결해 완성하였으며 저항 측정을 통해 회로도의 인터커넥팅을 확인하였다. 제작된 스마트 피트니스웨어는 키 176cm, 83kg(L size)의 남성에게 입혀 센서와 전극의 위치를 확인하였다(그림 23).

## 2. 사용성 평가

사용성 평가는 20-40대 남성 20명을 대상으로 실시하였으며, 피트니스 운동 전문가 입회 하에 운동 프로토콜을 실시한 후, 설문조사를 진행하였다. 리커트 평가 척도(5단계)를 사용해 디자인만족도, 착용편의성, 활용편의성, 활동편의성, 안전성, 관리편의성, 스마트웨어 서비스만족도로 분류하여 5점 리커트척도로 평가하였으며, 모든 문항에서 평균 4.15이상의 점수가 나왔다(표 9). 실험에 사용된 피험자 수가 제한적이어서 통계적으로 유의미하지 않지만, 스마트의류의 프로토타입 개발에 관한 선행연구에서도 소수 피험자가 착용평가를 진행하고 착용 후 인터뷰 등을 통해 진행한 연구사례를 참고해 결과를 해석하였다(황진희 외, 2022). 피험자의 나이와 신체적 특징은 〈표 8〉과 같으며, 스마트 피트니스웨어의 사이즈는 상의 L, 하의는 L, XL로 준비하였다.

디자인만족도는 스마트웨어 및 디바이스의 컬

러와 디자인, 스마트웨어의 촉감과 신축성에 대해 묻는 문항으로 구성되어있으며, 설문결과 평균 4.15 이상을 받았다. 착용편의성은 스마트웨어를 착용했을 시 착용감, 밀착성, 기기의 무게에 대한 문항으로 구성되어 있으며 평균 4.25이상의 점수를 받았다. 활동편의성은 바로 선 자세, 양팔을 위로 들어올리기, 운동 프로토콜(덤벨 헤머 컬(상체) - 덤벨 데드리프트(하체) - 오버그립 랫풀다운(상체) - 레그 익스텐션(하체))을 진행하고 편의성 점수에 대해 물어보았다. 바로 선 동작 4.4보다 움직임이 있을 때가 4.6으로 높게 나왔는데 이는 패턴과 회로도 설계 및 부착이 인체의 움직임에 편하도록 잘 제작되었고 신축성이 좋은 소재의 사용이 영향을 미친 것으로 본다. 다음으로 안전성에 대한 문항에서는 안전하다고 생각된다는 문항이 평균 4.5를 받았는데, 이는 스마트웨어 디자인은 일반 옷과 비슷하게 디자인하는 것이 소비자들의 위험지각을 낮추는데 도움을 준다는 강경현, 진현정(2008)과 황진희 외2인(2022)의 연구의 결과와 같이 평소 피트니스 운동 시 입는 컴프레션 웨어의 디자인이 편하고 안전하게 느끼게 해 준 것으로 보인다. 관리의 편의성은 세탁과 관리, 보관의 용이성, 시스템의 안정성에 대한 문항으로 구성되어있으며, 평균 4.4이상을 받았다. 스마트

〈표 9〉 사용성 평가항목 및 결과

		평가항목	점수
디자인만족도	색상	현재 착용한 스마트웨어 및 디바이스 컬러가 적절하다.	4.4
	소재	현재 착용한 스마트웨어 소재의 입었을 때 느낌과 촉감이 만족스럽다.	4.15
		현재 착용한 스마트웨어 소재가 운동시 불편함 없이 신축성이 좋다.	4.35
	디자인	현재 착용한 스마트웨어 의류의 외관이 만족스럽다.	4.25
현재 착용한 스마트웨어 의류의 디바이스 부착 부위가 외관상 자연스럽다.		4.2	
착용편의성	현재 착용한 스마트웨어 착용시 전체적인 착용감이 좋다.		4.41
	센서 및 모듈 커넥팅 부위가 착용시에 불편함이 느껴지지 않는다.		4.33
	의류 착용시 신체 부위별로 밀착성/압박감이 적당하다.		4.25
	의류 착용시 기기로 인한 긴장감/무게감이 없다.		4.75
활동편의성	바로 선 자세(전반적)		4.4
	양팔을 위로 180도 들어올리기(거드랑이, 소매길이)		4.6
	프로토콜 동작		4.6
안전성	착용한 스마트웨어가 인체에 안전하다고 생각한다.		4.5
	모듈이 외부 충격에 대해 안전하다고 생각한다.		4.33
	모듈의 오작동이 걱정되지 않는다.		4.5
관리편의성	세탁 및 관리가 쉬울 것 같다.		4.41
	기기와 의복 구성에 있어 시스템이 안정성을 가진다고 생각한다.		4.5
	의복 보관 시 공간을 차지하는 정도가 작다.		4.5
스마트웨어 서비스 만족도	이 스마트웨어는 꼭 필요한 의복이라고 생각한다.		4.25
	스마트웨어 착용으로 획득하는 정보가 만족스럽다.		4.5
	스마트웨어를 입지 않았을 때보다 건강관리를 더 효율적으로 할 수 있을 것 같다.		4.5
	스마트웨어를 입고 있으면 긴요한 순간에 도움을 받을 수 있을 것 같다.		4.66

웨어서비스 만족도는 스마트웨어의 필요성, 스마트웨어를 통한 정보의 만족성 및 건강관리의 효율성 등에 대한 문항으로 구성되어있다. 필요성에 대한 문항이 4.25, 건강관리의 효율성과 긴요한 순간에 도움을 받을 수 있을 것 같다는 문항에서는 4.5이상으로 나와 스마트웨어에 대해 긍정적으로 생각하고 있음을 알 수 있었다. 그 외 기타 의견으로는 “발목 안쪽에 센서가 있으면 더 좋을 것 같다.”, “가능하다면 땀 배출량을 확인할 수 있는 기능도 있으면 좋겠다.”, “사이즈가 조금 더 다양화되었으면 좋겠다.”, “현재 제품 소재의 경우 신축성은 좋으나 땀을 흡수하고 배출하는 기능이 일반 면티셔츠보다는 아쉬울 것 같다.”, “근육이 펌핑되는 정도를 온도로 체크하는 경우도 있으므로 운동 부위의 발열량을 체크하는 기능이 생기면 좋을 것 같다.”라는 의견이 있었다.

## V. 결론

본 연구는 스마트 피트니스웨어의 개발을 목표로 하여, 센서모듈과 전극, 회로가 일체화된 스마트 피트니스웨어 프로토타입을 설계하고 제작하였다. 본 연구는 팬데믹 상황에서 증가한 피트니스에 대한 관심과 함께 운동의 정확한 수행과 부상 예방의 중요성이 대두됨에 따라, 사용자에게 실시간으로 정확한 생체 신호와 운동 데이터를 제공할 수 있는 고성능성 스마트웨어를 개발하는데 중점을 두었으며, 연구 과정에서 다음과 같은 주요 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 센서모듈 및 전극의 최적 위치 선정이다. 다양한 피트니스 동작을 고려하여, 센서모듈과 전극의 위치를 최적화함으로써 근육 활성도, 심박수, 상체기울기 등의 정확한 생체 데이터를 수집할 수 있기 때문이다. 특히, 센서와 전극의 정확한 위치 선정은 데이터의 정확도와 신뢰성을 높이는 데 중요한 요소로 작용한다. 이는 황진희 외(2022)의 연구에서 활동에 방해가 되지 않으면서 센서의 기능을 극대화할 수 있는 위치의 선정이 연구되어야 한다는 내용과 부합한다.

둘째, 스마트 피트니스웨어의 기능적 설계이다. 디자인 및 패턴 제작 과정에서 센서와 전극의 위치를 고려하여 절개선을 설정하고, 컴프레션 웨어의 특징을 살려 사용자에게 최상의 착용감을 제공하였다. 또한, 회로 설계 시 사용자의 움직임에 불편함이 없도록 최적의 경로를 선택하여 웰딩을 진행하였으며, 이를 사용성 평가를 통해 확인하였다.

셋째, 사용성 평가를 통한 개선 방안이다. 추후 연구에서는 본 연구의 사용성 평가 결과와 사용자 피드백을 토대로 운동부위 발열량이나 땀 배출량 측정이 가능한 추가 센서에 대한 논의, 땀 배출 기능이 강화된 소재의 교체, 사용자 평가시 사이즈의 다양화 등이 고려되어야 한다.

본 연구에서 개발한 스마트 피트니스웨어는 IT 기술과 패션 산업의 융합 가능성을 보여주었다. 이러한 제품은 스포츠웨어뿐만 아니라 다양한 헬스케어 분야에서 활용될 수 있는 잠재력을 지니고 있으며, 개인화된 건강 관리와 맞춤형 피드백 제공을 통해 사용자 경험을 향상시킬 수 있다. 또한 센서모듈-전극-회로가 일체화된 스마트 피트니스웨어의 개발 과정을 체계적으로 제시함으로써, 스마트웨어 제품 개발과 헬스케어 산업을 위한 기초 데이터를 제공하였다. 이러한 연구 결과는 향후 IT를 접목한 미래 패션산업의 발전에 중요한 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 추가 연구로는 스마트 피트니스웨어의 성능 향상과 다양한 운동 환경에서의 실용성을 검증하는 것이 필요하며, 이를 통해 더 많은 사용자에게 유용한 솔루션을 제공할 수 있을 것이다. 또한 이 연구를 바탕으로 다양한 운동 유형에 따른 스마트웨어의 센서모듈과 전극 위치 연구가 가능할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

강경영, 진현정. (2008). 스마트 의류의 지각된 위험과 제품혁신성 평가에 관한 연구, *한국의류산업학회지*, 10(5), 618-624.

김리라, 주미영. (2019). 여성 피트니스웨어 색채 분석 -2017 SS시즌을 중심으로-. *패션비즈니스*, 23(2), 110-123.

김채림, 주보림. (2022). 3D CLO를 활용한 여성 피트니스웨어 디자인 개발. *한국패션디자인학*

*회지*, 22(4), 135-149.

민은주. (2023.04.17). 글로벌 스포츠웨어 시장, 2032년 462조 넘는다. *한국섬유신문*. 자료검색일 2023.08.01, 자료출처 <http://www.ktnews.com/news/articleView.html?idxno=128134>

박서연, 이주현. (2017). 콘텐츠 연동형 스마트 i-피트니스웨어의 디자인 기획 방향 연구. *한국디자인문화학회지*, 23(4), 399-413.

박수진. (2019). 국내외 스마트 의류 개발 및 상용화 동향. *Weekly KDB Report*, 4-7.

박현희, 노미진. (2011). 스마트의류 제품속성이 초기신뢰와 구매의도에 미치는 영향: 센서기반 스마트의류를 중심으로. *대한가정학회지*, 49(6), 13-22.

배성현, 신종규, 허인석, 김상호. (2020). 산업용 상지 웨어러블 로봇에 대한 정성적 사용성 평가 가이드라인 연구. *대한인간공학학회지*, 39(2), 129-141.

유영환. (2023.10.31). 호주 스마트 웨어러블 시장, 건강과 스포츠 기능에 주목. *KOTRA*. 자료검색일 2024.04.17, 자료출처 [https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE\\_NO=3&MENU\\_ID=180&CONTENTS\\_NO=1&bbsGbn=243&bbsSn=243&pNttSn=207142](https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE_NO=3&MENU_ID=180&CONTENTS_NO=1&bbsGbn=243&bbsSn=243&pNttSn=207142)

이소정, 김혜림, 정원영. (2023). 웨어러블 근전도 디바이스 결합형 스마트의류 개발 및 성능평가. *한국의류산업학회지*, 25(2), 210-220.

이인성, 이상영, 김태희. (2006). 국내 스포츠 캐주얼웨어의 디자인 특성과 트렌드 경향 분석-액티브 스포츠 웨어와의 비교 분석에 기초하여-. *한국의상디자인학회지*, 8(1), 25-36.

이재경, 추호정, 김하정. (2021). 스마트 의류의 제품 사례 연구-스마트 의류 특허출원 기술을 중심으로-. *한국의류학회지*, 45(1), 28-45.

이정화, 전정일, 최경미. (2015). 인체 근육 위치에 기초한 40대 남성을 위한 컴프레션 웨어 상의 개발. *한국의류학회지*, 39(2), 271-286.

이주현. (2004). 일상생활용 디지털 의류. *섬유기술과 산업*, 8(1), 11-18.

이형숙, 송병호, 김옥경. (2003). *스포츠웨어 생산*. 서울: 교학연구사.

정찬용, 곽용후, 박서연, 이주현. (2017). 퍼스널

- 트레이닝 효과 향상을 위한 스마트 피트니스웨어의 상품기획 및 디자인 방향 연구. *감성과학*, 20(3), 97-108.
- 조하경, 조상우. (2016). 셀프 피트니스 의류 개발을 위한 근전도 센싱 위치 연구. *한국의류산업학회지*, 18(6), 755-765.
- 황진희, 지승현, 김선희. (2022). 동작센싱 스마트 레깅스 프로토타입 개발. *한국의류산업학회지*, 24(6), 694-706.
- Athos. 자료검색일 2024.02.13, 자료출처 [www.liveathos.com](http://www.liveathos.com)
- AiQ Smart Clothing. 자료검색일 2024.02.13, 자료출처 [www.aiqsmartclothing.com](http://www.aiqsmartclothing.com)
- Hexoskin. 자료검색일 2024.02.13, 자료출처 [www.hexoskin.com](http://www.hexoskin.com)
- Lynn, S. K., Watkins, C. M., Wong, M. A., Balfany, K., & Feeney, D. F. (2018). Validity and reliability of surface electromyography measurements from a wearable athlete performance system. *Journal of Sports Science & Medicine*, 17(2), 205-215.
- Myontec. 자료검색일 2024.02.13, 자료출처 [www.myontec.com](http://www.myontec.com)
- Playertek. 자료검색일 2024.02.13, 자료출처 [www.playertek.com](http://www.playertek.com)
- Prevay. 자료검색일 2024.02.13, 자료출처 <https://shop.prevayl.com>
- Sara Ashley O'Brien. (2017.06.09). These \$300 yoga pants are powered by machine learning. *CNN business*. 자료검색일 2024.05.01, 자료출처 <https://money.cnn.com/2017/06/09/technology/gadgets/nadix-wearable-yoga-pants/index.html>
- Sensoria. 자료검색일 2024.02.13, 자료출처 [www.sensoriafitness.com](http://www.sensoriafitness.com)
- Siyeon Kim, Sojung Lee & Wonyoung Jeong (2022). EMG Measurement with Textile-Based Electrodes in Different Electrode Sizes and Clothing Pressures for Smart Clothing Design Optimization, *Polymers*, 12(10), 2406.
- Nadi-X. 자료검색일 2024.02.13, 자료출처 [www.wearablex.com](http://www.wearablex.com)
- Whoop. 자료검색일 2024.02.13, 자료출처 <https://www.whoop.com/us/en/>