

점진적 컴프레션 및 유연면상발열을 통한 혈액순환 개선 여성 레깅스 프로토타입 개발 및 평가

황진희^{*} · 이윤아[†] · 지승현^{**} · 김선희^{***†}

인천대학교 뷰티산업학과 박사과정 · 인천대학교 뷰티산업학과 박사과정[†]
(주)엠셀^{**} · 인천대학교 패션산업학과 교수^{***†}

Development and evaluation of women's leggings prototype for improvement of blood circulation through flexible heating surface and gradual compression

Jin Hee Hwang · Yun Ah Lee^{*} · Seung Hyun Jee^{**} · Sun Hee Kim^{***†}

Ph. D. Candidate, Dept. of Department of Cosmetic Science & Management, Incheon National University

Ph. D. Candidate, Dept. of Department of Cosmetic Science & Management, Incheon National University

Mcell Co., Ltd.^{**} · Professor, Department of Fashion Industry, Incheon National University^{***†}

(2023. 7. 21 접수; 2023. 8. 23 수정; 2023. 8. 29 채택)

Abstract

Blood circulation is one of the most important life support functions of our body. It is essential to maintain healthy blood circulation as problems with blood circulation can lead to numerous diseases and serious complications. This study developed women's leggings with gradual compression and soft surface heating functions to improve blood circulation, and evaluated their performance and wearability. A silicon print pattern was developed to provide gradual compression, and a flexible heating surface coated with MWCNT (multi-walled carbon nanotube) conductive ink was fabricated for comfort and thermal effect. For the design, incision lines and materials were applied in consideration of aesthetic aspects, and design lines and colors were altered using a 3D program. The developed leggings showed that blood circulation can be improved when gradual compression and heating functions are simultaneously applied. Results were confirmed through measurements of clothing pressure, blood flow, and surface temperature. In the subjective wearability evaluation, it was confirmed that wearers felt gradual pressure, and they showed high satisfaction with wearability and design.

Key Words: Blood circulation(혈액순환), Compression leggings(컴프레션 레깅스), Flexible heating surface(유연면상발열), Clothing pressure(의복압), Blood flow(혈류량)

I. 서론

혈액 순환은 우리 몸의 중요한 생명 유지 기능 중 하나로 혈액 순환에 문제가 생기면 다양한 질병

병과 심각한 합병증을 일으킬 수 있기 때문에 건강한 혈액 순환을 유지하는 것이 매우 중요하다. 이에 따라 혈액 순환을 향상시켜주는 컴프레션 의류의 수요가 증가하고 있다. 컴프레션 웨어는

[†] Corresponding author ; Sun Hee Kim

Tel. +82-32-835-8037

E-mail : shkim001@inu.ac.kr

스트레치 소재를 이용하여 심장에서 가장 먼 발목에서부터 균일한 압력을 가하거나 다리에 점진적인 압력을 가하는 방식으로 작용하는 기능성 의류이다. 이는 혈액 순환을 개선하고 지지력을 제공하며 근육 회복을 촉진하는 목적을 가지고 있다(박지혜, 천종숙, 2013). 관련 시장이 성장하는 가운데 'QY리서치(QYResearch)'에 분석에 따르면, 아시아태평양의 스포츠용 컴프레션 의류 시장 규모는 2022년에 4억 1,359만 달러에 달하며, 예측 기간 중(2023-2029년) 11.58%의 CAGR로 성장하며, 2029년까지 8억 7,267만 달러에 달할 것으로 예측하였다. 혈액 순환을 돕는 또 다른 기능성 의류로는 발열의류를 들 수 있다. 발열의류는 특수소재와 장치를 이용하여 열을 발생시켜 신체기능을 정상적으로 유지시키는데 도움을 주며 혈액순환에 도움이 되는 것으로 알려져 있다(이병홍, 이주은, 2015). 발열의류를 통해 몸이 따뜻해지면 혈관이 확장하고 근육이 이완되어 손과 발을 포함하여 말단으로의 혈류를 증가시키고 조직에 대한 산소와 영양분의 전달이 향상되어 적절한 기능과 전반적인 편안함을 촉진한다.(한의신문, 2023).

컴프레션과 발열 기능을 동시에 가진 레깅스는 입식 근로자들의 하지정맥류와 같은 혈액순환 문제 개선에 전체적인 솔루션을 제공할 수 있는 의복 조합이다. 따라서 본 연구는 하지 정맥류 등 혈액순환 장애를 가진 장시간 서서 일하는 사람들을 대상으로 혈액순환을 개선하고자 점진적 압박기능과 발열 기능을 가진 레깅스를 개발하고 성능과 착용성을 평가하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 종아리 부위에 점진적인 압박을 제공하여 정맥 펌프 기능과 혈액 순환을 개선할 수 있는 실리콘 패턴과 유연한 형태의 면상 발열 패드를 개발하였다. 연구 결과를 통해 혈액순환 개선 효과가 있음을 검증하였으며, 의복압, 혈류량, 발열 효과 등을 평가하여 착용감이 좋으면서 혈액순환에 도움이 되는 레깅스를 개발하였다. 이에 따라 기능성 의류 개발 분야에서의 활용도가 높을 것으로 기대된다.

II. 이론적 배경

1. 컴프레션 의류

컴프레션 의류(compression wear)란 체표의 면적보다 작은 원단의 면적을 신체의 특정 부위에 의도적으로 압박하여 적용함으로써 신체 기능을 향상시키는 의복을 총칭하며(이정화 외, 2015), 기능성 의류로 운동 시 근육이 떨리는 것을 잡아주고 신체의 혈액순환을 도와줌으로써 신체 보호와 신체의 기능 강화, 부상의 예방, 근육의 피로도를 보다 빠르게 회복시켜주는 효과를 준다(김미라 외, 2016).

컴프레션 의류는 예전부터 혈관 질환자들의 치료를 위해 의학적 용도로 사용되어 왔다(Lawrence & Kakkar, 1980; Mayberry et al., 1991). 그중에서 압박 방식 컴프레션 레깅스는 착용자의 다리 부위별로 다른 압박이 가해지는데 예를 들면 심장에서 가장 먼 쪽인 발목은 100%의 압력을 주고, 무릎 부위는 70%, 허벅지는 40% 순으로, 심장에 가까워질수록 점점 약하게 압력을 가해 주는 점진 압박 방식(graduated compression)의 설계로 다리 아래로 쏠리는 정맥혈류속도를 증가시켜 자연스럽게 정맥피를 심장으로 밀어 올리는 역할을 하며, 이로 인해 조직 간 세포에 체액이 축적되는 것을 방지하여 붓는 것 또한 막아준다(도윤희, 김남순, 2012).

컴프레션 의류 관련 선행연구를 살펴보면 이윤곤, 신성민(2020)의 연구에서는 컴프레션웨어를 착용하여 러닝을 할 경우, 압박강도가 운동학적 변인(근육활동, 혈액유통 등)에 미치는 영향을 조사한 연구로, 컴프레션웨어의 적절한 압박강도가 운동 성능과 효과에 미치는 영향을 고려하는 것이 중요하다고 하였다. 김남임과 이효정 (2019)의 연구에서는 시판 스포츠 컴프레션 웨어의 의복압이 혈류와 주관적 감성에 미치는 영향을 조사하였다. 결과적으로 의복압이 높아질수록 혈액순환 개선에 효과적인 것으로 나타났으나 너무 높은 의복압은 착용감을 저하시키는 것으로 나타났다. 따라서 컴프레션 웨어의 의복압을 적절히 조절하여 혈액순환 개선과 착용감을 모두 고려하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있었다.

컴프레션 레깅스 제품 사례를 살펴보면, SUMNFIT, 언더독, Wavewear, 2XU 등의 컴프레션 레깅스 제품은 근육을 압박하여 잡아주고 기능성 소재를 활용하여 흡한속건 기능을 강조하거나 테이핑 효과를 주어 무릎을 보호하는 기능을 추가하기도 하

〈표 1〉 컴프레션 레깅스 제품 사례

| Company | SUMNFIT | 언더독 | waveaear | 2XU |
|--------------|---|---|---|---|
| Image |  |  |  |  |
| | (출처: https://www.sumnfit.com) | (출처: https://smartstore.naver.co) | (출처: https://www.wavewear.kr) | (출처: https://www.2xu.kr) |
| Product name | 모스핏 컴프레션 레깅스 | 하이퍼핏 컴프레션 타이즈 | 종아리 스포츠레이핑 컴프레션 타이즈 L10 | 코어 컴프레션 타이즈 |
| Company | 센시안 | 베나엔 | 발란스핏 | 원더워크 |
| Image |  |  |  |  |
| | (출처: https://www.edkshop.com) | (출처: https://www.venaen.com) | (출처: https://www.95problem.com) | (출처: https://wonderwalk.kr) |
| Product name | 유어핏 의료용 압박 스타킹 유발 200D | 압박용 밴드 CCL-2 팬티형 트임 | 압박스타킹 허벅지 확장형 | 레이핑 종아리형 압박스타킹 |

었다. 의료용 압박 스타킹 브랜드인 센시안과 베나엔은 스타킹 디자인으로 발끝부터 허리까지 부위별 단계적 압박으로 다리 혈액 순환을 도와주도록 하였고 발란스핏과 원더워크는 국제 표준 압박 기준의 압박 규정 2단계인 23-32mmhg를 준수하여 다리에 고여 있는 혈액이 효과적으로 순환될 수 있도록 부위에 적합한 압박을 단계적으로 설계하였고 한국인의 다리 길이와 체형에 맞는 사이즈로 제작하였으며 종아리에 집중된 인체 공학적 패턴 압박 설계로 혈액 순환과 붓기 완화에 도움을 줄 수 있도록 하였다(표 1).

2. 발열 의류

발열 의류는 기능성 소재나 장치를 접목하여 의류 내에서 열을 발생시키고 유지함으로써 열적 쾌적성을 향상시키기 위해 개발되었다. 이 기술은 극한의 환경에서도 신체 기능이 정상적으로 유지될 수 있도록 한다(노의경, 윤미경, 2020). 전기에 의존하지 않는 발열 원리로 흡습발열, 광발

열, 상변이물질 등이 활용되고 있지만, 발열 온도를 조절할 수 없다는 한계를 가지고 있다. 그러나 전기적 발열 의류는 사용자의 발열 요구 시점에 민첩하게 반응할 수 있으며, 외부 온열환경과 생리적 상태에 따라 발열온도를 조절하기 용이하다는 장점을 가진다. 이러한 발열 의류는 체온을 높이고 혈관 확장을 촉진하여 혈액 순환을 개선하는 데도 도움이 된다. 체온이 상승하면 피부 표면 근처의 혈관이 확장되어 혈류가 증가하며 이렇게 증가한 혈류는 신체의 조직과 기관에 더 많은 산소와 영양분을 전달하여 하지 정맥류와 같은 혈액 순환계 질환 개선에 사용될 수 있다.

현재 전기적 발열 의류에는 전도성 섬유, 전도성 잉크 프린팅, 코팅 등을 이용하여 제작한 발열체가 주로 사용되고 있으며 발열부, 전원 및 발열 제어부가 의복 내에 함께 장착되어 발열 기능을 제공한다. 이러한 발열 특성 기반의 온도조절기능 섬유 제품은 스마트 섬유에서 가장 빠르게 상용화되며 시장이 확대되고 있는 핵심 영역 중 하나이다. 본 연구에서 제작한 발열패드에 관한 선

〈표 2〉 발열 의류 제품 사례

| Company | 아이리버 | 블랙야크 | 스킨 | K2 |
|--------------|--|---|---|---|
| Image |  |  |  |  |
| | (출처: https://www.earlyadppter.co.kr) | (출처: https://www.ktnews.com) | (출처: https://www.yna.co.kr) | (출처: https://www.k2.co.kr/) |
| Product name | 아발란치 | M인피늄 시리즈 | 스킨코어 | M-Micron |

행 연구로 Choi et al., (2021)은 다중벽 탄소 나노튜브(MWCNT)와 상업용 PTC(Positive Temperature Coefficient)로 구성된 복합 페이스트를 기반으로 PTC 가열 특성을 가진 면상 발열체(PCT-SHT)를 개발하였고 이 면상 발열체가 저전력 소비, 급속 가열, 안정적인 보온 및 높은 내구성이 필요한 기능성 보온 의류 응용 분야에 매우 적합하다는 것을 보여주는 연구를 진행하였다.

발열 의류 제품들은 기능성 의류 시장에 다양하게 출시되고 있다. 아이리버의 ‘아발란치’는 등을 따뜻하게 덥힐 수 있도록 등쪽에 발열패드를 내장한 발열 의류이고 발열 패드는 탄소섬유를 프린팅하는 방식으로 만들었으며 열선이 없으므로 의류의 착용으로 발생하는 구겨짐과 접힘에도 전기적 위험이 거의 없다. 블랙야크는 아웃도어 브랜드로 스마트폰으로 온도와 습도 조절이 가능한 ‘야크온H’ 기술이 접목된 발열 의류 ‘M인피늄시리즈’를 선보였다. 이 제품은 세탁 시 발열 섬유 부분을 따로 분리하지 않아도 되어 관리가 쉽다. 캐나다의 스타트업 ‘스킨’이 출시한 발열 의류 ‘스킨코어’는 은 소재의 특수직물을 사용하여 전력을 연결하면 최장 8시간 동안 40℃ 안팎의 열을 발생한다. 보통 발열 의류는 핸드폰 크기의 보조배터리를 사용하여 부피와 무게감으로 불편하지만, 스킨코어의 배터리는 엄지손가락 크기의 작은 사이즈로 부피와 무게감을 줄였다. 아웃도어 브랜드 K2는 탈부착형 발열 패드를 적용한 발열 의류 제품군 ‘히트360(HEAT360)’ 시리즈를 선보였다. K2 ‘히트360’ 시리즈는 2019년부터 개발한 스마트 발열 제품군으로 최대 10시간까지 발열할 수 있으

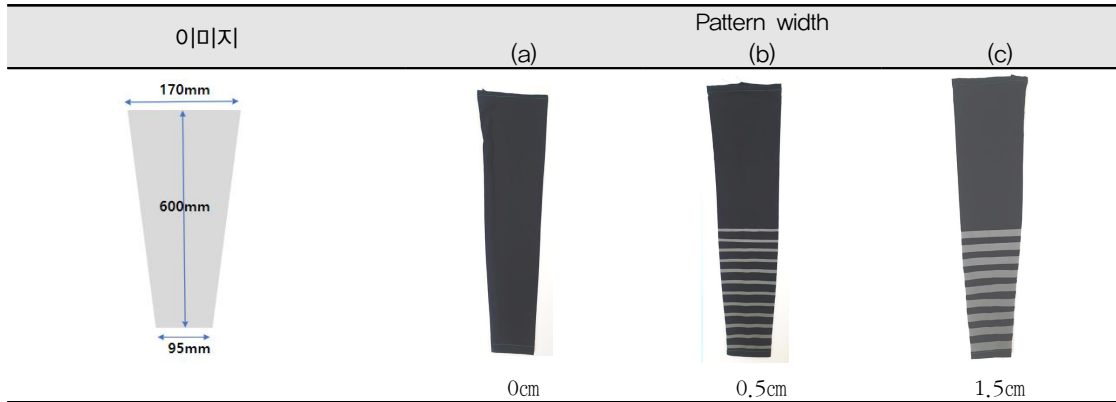
며, 40℃부터 55℃까지 4단계로 온도 조절할 수 있다. 또한 나노 인쇄기술이 접목된 충전식 발열 패드를 사용하여 스마트폰 어플리케이션을 통해 사용할 수 있으며, 원격외선이 방출돼 온열 효과가 뛰어나 지속해서 따뜻함을 유지할 수 있도록 해준다. 등판에는 상온보다 온도가 올라가면 색상이 변하는 변온 프린트와 온도 조절이 가능한 발열 패드를 적용해 열 손실을 최소화해준다. 특히 열 전도성이 높은 도전사 안감을 적용해 보온성이 우수하며, 전정기 방지로 안전성까지 확보해 안심하고 착용할 수 있다(표 2).

Ⅲ. 연구방법

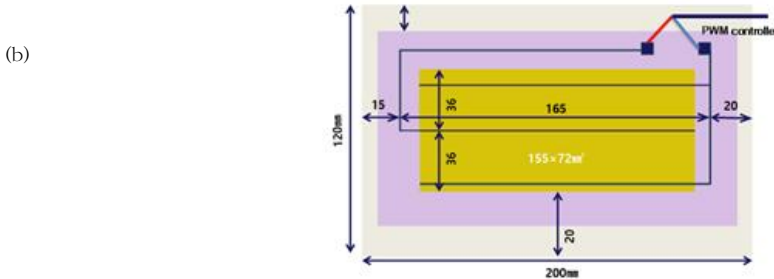
1. 프로토타입 개발

본 연구는 점진적 압박 형태의 실리콘 패턴과 유연 면상 발열 패드를 사용하여 혈액 순환을 개선하는 여성용 레깅스를 개발하고 평가하는 것을 목적으로 한다. 압박 실리콘 패턴은 종아리의 압박을 조절하여 혈액을 심장으로 원활하게 되돌리도록 설계되었으며, 발열 패드는 레깅스의 착용감을 위해 MWCNT 코팅 유연 면상 발열체를 제작하여 사용하였다. 압박 실리콘 패턴과 발열체 삽입을 고려한 디자인을 구상하여 패턴을 설계하고 3D CLO 가상 핏팅 프로그램을 통한 디자인 수정 작업을 거쳐 프로토타입을 완성하였다.

〈표 3〉 컴프레션 패턴 기능 실험



(a) 전도사를 자수하여 전극을 패턴화함 → MCNT 전도성 페이스트 스크린 프린트 → 나일론 혼용 원단 코팅



(b) 발열 패드 규격

〈그림 1〉 발열 패드의 제작 과정과 규격

1.1. 컴프레션 실리콘 패턴 제작 및 디자인

컴프레션 실리콘 패턴 제작을 위해 혈액 순환 개선을 향상시킬 수 있는 컴프레션 설계와 효과 검증을 위한 패턴 기능 실험을 수행하였다. 김현철 외(2023)의 연구에 따르면 종아리 근육의 수축은 근육 내 혈관을 압박하여 축적된 혈액이 하지에서 상지로 이동하는 것을 촉진하는 것으로 밝혀졌다. 종아리 근육을 자극하여 종아리 근육 펌프 기능(calf muscle pump)을 활성화하는 것은 하지의 순환을 개선하는데 효과적인 방법임을 알

수 있다. 따라서 본 연구에서는 종아리 부위에 점차적인 근육 압박을 할 수 있는 실리콘 패턴을 개발하고자 하였다.

실리콘 프린팅의 효과 검증과 점차적인 근육 압박 실리콘 패턴 개발을 위해 (표 3)과 같이 3가지 각기 다른 넓이 패턴으로 다리 토시 형태로 제작하였고, 사이즈는 일반적으로 많이 착용하는 레깅스 M 사이즈를 기준으로 제작하였다. 실리콘 패턴은 (표3)와 같이 (a) 패턴 없음, (b) 0.5cm 두께의 선, (c) 1.5cm 두께의 선으로 제작하였고 패턴 간의 간격은 1.5cm로 하여 의복압 측정 실험을

하였다. 일본 AMI사의 AM13037-10 장비로 측정된 의복압 측정 결과를 토대로 아킬레스 근육에서 종아리 근육까지 점진적 형태로 실리콘 패턴을 디자인하였다.

1.2. MWCNT 페이스트를 이용한 유연 면상 발열 패드 제작

발열 패드의 제작은 Choi et al.(2021)의 선행연구에서 개발한 발열 패드를 재현하여 제작하였다. 제작 과정은 전도사를 자수하여 전극을 패턴화하고 시판되는 PTC 잉크 분말과 탄소나노튜브를 기계적으로 혼합하여 스크린 인쇄용 복합 발열 페이스트를 제조하였고 이를 면 나일론 혼용 원단에 코팅하여 제작하였다(그림 1). 코팅한 이후에 보호층을 형성하는 간단한 공정으로 얇고 가볍고 유연한 원적외선 방출방식의 면상 발열 섬유를 제작하였다. 발열 패드의 제작 과정과 규격은 (그림 1) (b)와 같다.

1.3. 프로토타입 디자인 제안

컴프레션 레깅스 디자인은 기능성뿐만 아니라 심미적인 부분을 고려하여 하이 웨이스트 형태로 디자인한다. 원단은 두께와 스트레치성을 고려하여 Nylon 76% Spandex 24% 기능성 소재를 사용하였다. 컴프레션 기능성을 위해 종아리와 허벅지에 차등 압박을 적용할 수 있도록 종아리 앞쪽 정강이 부위에는 Polyester 100%의 신축성이 적은 원단을 사용하여 근육의 움직임을 잡아주고 실리콘 패턴으로 인한 최대한 압력 효과가 있도록 하였다. 이를 통해 정맥 혈류량 증가, 혈액 펌프작용과 혈액 순환 촉진 효과를 주었다. 또한 앉는 동작 시 착용감을 고려하여 무릎 아랫쪽에 절

개선을 넣어 움직임에 불편함이 없도록 디자인하였고, 안쪽 부분에 매쉬 원단을 배색 처리하여 땀을 배출할 수 있도록 디자인하였다. 발열 기능은 아랫배 앞쪽에 제작된 포켓에 MWCNT 전도성 페이스트를 이용한 유연 면상 발열 패드를 장착하여 발열 기능을 할 수 있도록 디자인하고 발열을 위한 배터리는 왼쪽 옆쪽에 포켓에 착용할 수 있도록 하며 연결선은 절개선을 따라 탈부착할 수 있도록 하였다. CAD 패턴과 3D-CLO 프로그램을 이용하여 디자인을 확인하며, 컬러 배색의 변화를 시도하여 디자인 수정 작업을 하였다.

2. 프로토타입 성능 및 착용성 평가

제작된 프로토타입의 성능은 의복압과 혈류량 측정, 표면온도 측정을 통하여 평가하고, 주관적 착용성 평가는 설문지를 이용하였다. 의복압은 일본 AMI사의 AM13037-10 장비로 측정하였고, 혈류량은 일본 ADVANCE사의 TNI-ALF21RD 장비, 표면온도는 열화상카메라(FLIR C3-X)로 측정하였다. 성능과 착용성 평가를 위하여 레깅스 착용에 익숙한 20~30대 여성을 공개 모집하였고 사이즈코리아 표준체형 범위에 해당하는 체형 중에서 KS K 0051 표준에서 M사이즈에 해당하는 피험자를 의도 표집으로 조사하여 3명의 착용자를 선정하였다(국가기술표준원, 2023). 피험자 나이, 체형분석 결과는 (표 4)와 같다.

2.1. 의복압 측정

개발한 컴프레션 레깅스의 의복압 기능성을 평가하기 위하여 시판되고 있는 컴프레션 기능이 없는 일반 레깅스와 개발한 컴프레션 레깅스의 의복압을 측정하고 비교하였다. 측정 부위는 (그

〈표 4〉 피험자 체형분석

| 항목 | A | B | C |
|------------|-----|-----|-----|
| 나이 | 22 | 21 | 33 |
| 신장(cm) | 166 | 167 | 167 |
| 몸무게(kg) | 55 | 60 | 52 |
| 허리 둘레(cm) | 73 | 73 | 64 |
| 엉덩이 둘레(cm) | 97 | 99 | 89 |
| 허벅지 둘레(cm) | 47 | 44 | 45 |
| 종아리 둘레(cm) | 35 | 38 | 35 |



〈그림 2〉 (a) 앉은 자세, (b) Compression-선 자세, (b-1) Non Compression-선 자세

림 2)와 같이 의복압에 영향을 미치는 하지의 허벅지 앞(P1), 종아리 뒤(P2), 발목 바깥쪽(P3) 세 곳에서 측정하였다. 측정 자세는 선 자세(직선 자세)와 앉은 자세에서 각각 한 번씩 1분 30초 동안 측정했다. 의복압 데이터의 분석은 측정값의 처음 15초와 마지막 15초의 데이터는 노이즈로 처리하고 1분에 대한 데이터를 t-검정을 이용하여 분석하였다.

2.2. 혈류량 측정

혈류량 측정은 의복압 측정과 같은 방식으로 측정 자세는 선 자세(직선 자세)와 앉은 자세에서 각각 한 번씩 1분 30초 동안 측정했다. 혈류량 측정은 정량적으로 컴프레션 레깅스의 기능성을 알 수 있는 변인으로 일반 레깅스와 컴프레션 레깅스의 혈류량을 측정함으로써 그 효과를 알 수 있다. 혈류량 측정에 앞서서 피험자의 체온을 측정하여 피험자의 체온이 정상 범위에 있는지 확인하였다. 측정 부위는 혈액 순환에 영향을 미치는 하지 말단인 엄지발가락 끝에 센서를 부착하여 측정하였고, 측정 시간은 의복압 측정과 동일하게 측정하였다. 혈류량 데이터의 분석은 측정값의 처음 15초와 마지막 15초의 데이터는 노이즈로 처리하고 1분에 대한 데이터를 t-검정을 이용하여

두 그룹의 평균값을 계산하여 분석하였다. (그림 2)는 실험복 착용 모습과 실험 진행 자세이다.

2.3. 표면온도와 혈류량 평가

본 연구에서 개발한 컴프레션 레깅스에 장착한 유연 면상의 발열 패드의 발열 상태를 확인하기 위해 유연 면상 발열 패드 장착 후의 피부온도와 혈류량 변화를 측정하였다. 실험의 측정은 혈류량 측정값의 차이가 가장 크게 나타난 피험자 C를 대상으로 진행되었으며, 측정 자세는 선 자세(직선 자세), 시간은 의복압 측정과 동일하게 1분 30초간 측정하였다. 온도 변화를 열화상카메라(FLIR C3-X)를 이용하여 측정하였으며 혈류량은 일본 ADVANCE사의 TNI-ALF21RD 장비로 측정하였다.

2.4. 착용성 평가

착용성 평가는 착의 후 10분간 안정을 취한 후 선 자세(직선 자세)와 앉은 자세를 3분간 시행한 후에 설문조사를 이용하여 평가를 진행하였다. 착의 평가 설계 및 착용성 평가 문항은 이정은(2020)의 선행연구를 참고하였다. 평가항목은 레깅스 착용 후 부위별 압박감에 대한 문항, 레깅스 착용 후 쾌적함에 대한 문항으로 매우 불만족 1점

~매우 만족 5점으로 5점 리커트 척도로 평가하였다. 외관의 만족도를 묻는 문항은 인터뷰를 통해 평가하였다.

CAD 패턴 설계와 3D CLO프로그램을 이용하여 착용성과 심미성을 고려하여 레깅스를 설계하고 제작하였다.

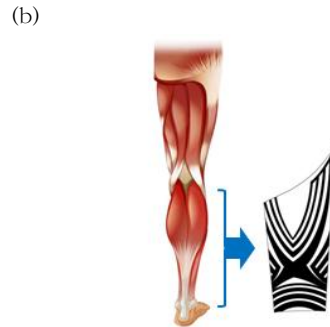
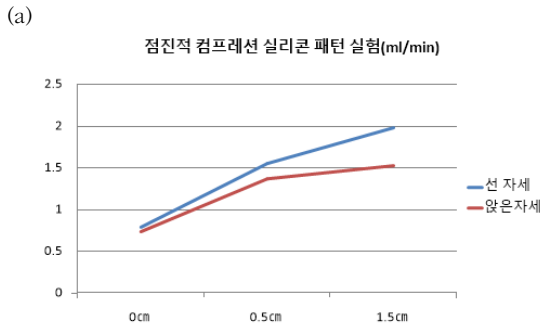
IV. 연구결과

1. 프로토타입 개발

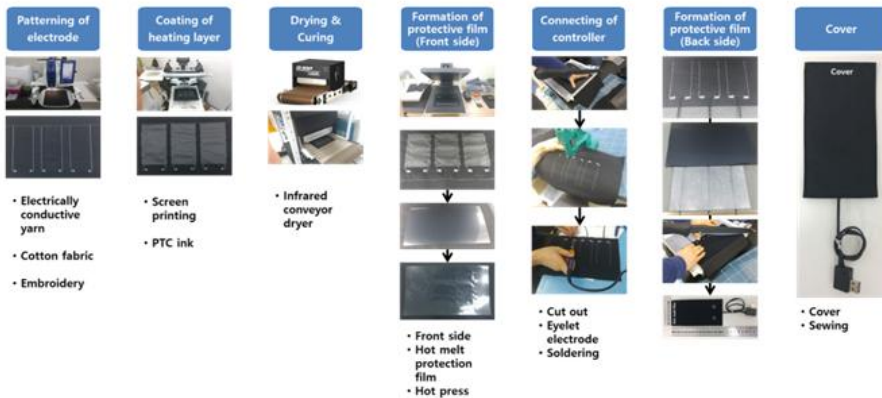
점진적 압박 실리콘 패턴과 유연 면상 발열 패드를 이용한 혈액 순환 개선 레깅스 개발을 위해서 의복압, 혈류량, 표면온도 실험을 진행하고

1.1. 컴프레션 실리콘 패턴 제작 및 디자인

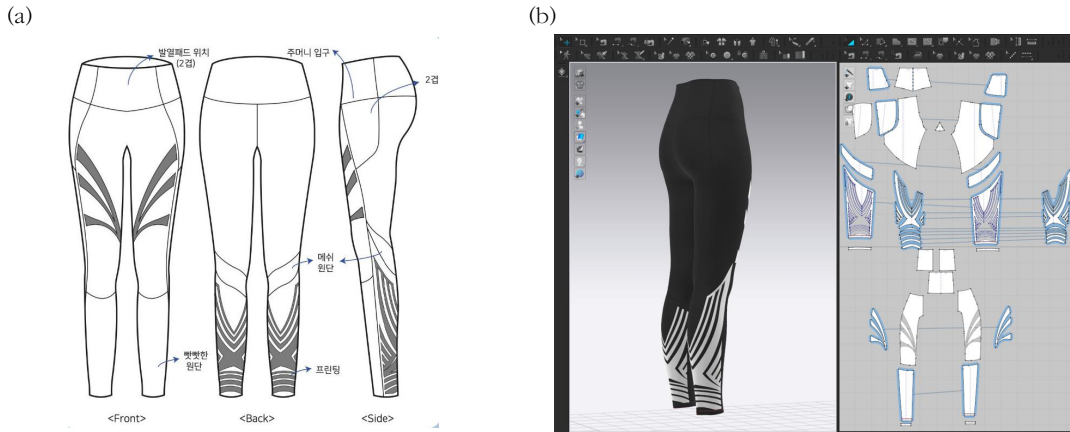
점진적인 근육 압박 실리콘 패턴 디자인은 종아리에 대한 정맥 압박이 정맥 펌프 기능을 향상시키는데 도움이 될 수 있다는 Mosti G & Partsch H(2012)의 논문을 바탕으로 종아리 부분을 압박할 수 있는 점진적인 근육 압박 실리콘 패턴 디자인을 개발하였다(그림 3).



<그림 3> (a)실리콘 패턴 넓이에 따른 종아리 압박, (b)종아리 근육 형태를 고려한 실리콘 패턴 디자인



<그림 4> MWCNT 페이스트를 이용한 유연 면상 발열 패드 제작 과정



〈그림 5〉 (a) 작업지시서, (b) 점진적 실리콘 최종 패턴 이미지



〈그림 6〉 CAD 패턴을 이용한 3D 디자인

종아리 실리콘 패턴 측정 실험 결과, (그림 3) (a)와 같이 패턴의 폭을 넓힐수록 종아리 근육에 가해지는 압력이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이 결과를 참고하여 (b)와 같이 근육의 모양을 파악하고, 실리콘 패턴을 아킬레스 근육에서 종아리 근육까지 점진적 형태로 압박할 수 있는 실리콘 패턴을 디자인하였다.

1.2. MWCNT 페이스트를 이용한 유연 면상 발열 패드 제작

발열 패드의 제작은 Choi et al., (2021)의 선행 연구에서 개발한 발열 패드를 재현하여 제작하였다. (그림 4)과 같은 제조 공정을 거쳐 제작된 유연 면상 발열 패드는 5.0 V / 2.0 A 출력 배터리 사용 시 최대 발열 온도 60℃ 이상의 성능 구현하며, 발열 면적은 155mm X 72mm = 1160 mm²로 하여 아랫배에 장착할 수 있도록 했다. 전원은 휴

대용 보조배터리로 공급하도록 하며, 배터리의 형태는 레깅스 핏에 방해되지 않도록 납작한 형태를 선택하였다.

1.3. 프로토타입 제작

컴프레션 효과와 발열 효과로 혈액 순환을 개선할 수 있는 레깅스 제작을 위해 패턴을 개발하고 (그림 5)와 같이 CAD와 3D CLO 프로그램으로 3D 이미지를 통해 디자인을 미리 확인하는 작업을 거쳐 최종 패턴을 도출하였다.

이를 바탕으로 작업지시서에 따라 실리콘 패턴을 제작하고, 열융착 방식으로 부착하였다. 봉제는 시접 없이 봉제 라인을 연결하도록 오드램프 특수 봉제 기법으로 작업하였다. 완성된 외관은 (그림 7)과 같다.



〈그림 7〉 프로토타입 여성 레깅스 완성

〈표 5〉 무 패턴과 컴프레션 패턴의 의복 압력 편차

| 신체 위치 | 레깅스 타입 | N | 의복압 편차 | | 평균 | 표준편차 |
|------------|---------------------|---|-----------|-----------|------|------|
| | | | 최솟값 (Kpa) | 최댓값 (Kpa) | | |
| 허벅지 앞 (P1) | Non pattern | 3 | 0.23 | 0.51 | 0.32 | 0.06 |
| | Compression pattern | 3 | 1.75 | 2.35 | 2.03 | 0.12 |
| 종아리 뒤 (P2) | Non pattern | 3 | 0.71 | 1.10 | 0.82 | 0.08 |
| | Compression pattern | 3 | 2.11 | 2.81 | 2.31 | 0.13 |
| 발목 바깥(P3) | Non pattern | 3 | 0.03 | 0.29 | 0.12 | 0.05 |
| | Compression pattern | 3 | 0.26 | 1.04 | 0.44 | 0.10 |

2. 프로토타입 성능 및 착용성 평가

2.1. 의복압 평가

컴프레션 레깅스의 의복압 효과를 평가하기 위해 일반 레깅스와 본 연구에서 개발한 컴프레션 레깅스의 의복압을 비교 평가하였다. 측정 부위는 혈액 순환에 영향을 미치는 허벅지 앞(P1), 종아리 뒤(P2), 발목 바깥쪽(P3) 세 곳의 의복압을 측정하였다. 노이즈를 제외한 측정값을 평균을 내어 두 레깅스의 의복압을 t-테스트로 비교한 결과 유의미한 결과를 보였다. 두 레깅스에 대한 3 지점의 의복압 측정 결과를 보면, 모든 측정 부위에서 컴프레션 레깅스가 의복압이 높아짐을 알 수 있었다. (표 5)는 Non pattern과 Compression pattern의 의복압 평균을 보여주고 있다.

부위별 의복압 평균을 살펴보면, 종아리 뒤

(2.31) 부위가 허벅지 앞(2.03)과 발목 바깥쪽(0.44)보다 높은 의복압을 보였다. 발목의 의복압이 종아리 보다 낮은 이유는 김남임과 이효정(2019)의 선행연구를 참고하여 착용감과 착용시 불편함을 고려한 디자인으로 의복압을 적정하게 조절했기 때문이다. 그러나 전체적으로는 컴프레션 효과가 있는 점진적인 형태의 실리콘 패턴이 종아리 뒤쪽을 전체적으로 감싸도록 제작되어 높은 의복압을 보임을 알 수 있었다.

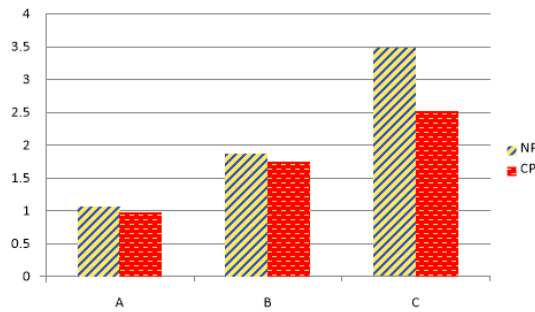
두 종류의 레깅스에 대한 3지점의 의복압 측정 결과를 살펴보면, 패턴이 없는 일반 레깅스와 비교해 허벅지 앞(P1)은 Non pattern(0.32), Compression pattern(2.03)으로 증가했으며, 종아리 뒤(P2)는 Non pattern(0.82), Compression pattern(2.31)로 의복압이 큰 폭으로 증가함을 보이고 있으며, 발목 바깥쪽(P3)은 Non pattern(0.12), Compression pattern(0.44)으로 그보다 소폭으로 증가함을 보인

〈표 6〉 실험집단 간 Flow 대한 차이

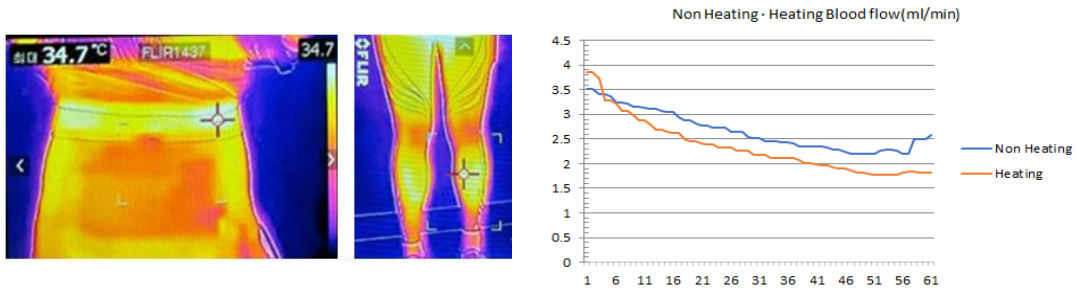
(n=3)

| | 레깅스 타입 | 혈류량 (ml/min) | | t | p |
|---|---------------------|--------------|------|--------|----------|
| | | M | SD | | |
| A | Non pattern | 1.07 | 1.07 | 11.692 | 0.000*** |
| | Compression pattern | 0.97 | 0.52 | 22.127 | 0.000*** |
| B | Non pattern | 1.57 | 1.04 | 17.744 | 0.000*** |
| | Compression pattern | 1.43 | 0.86 | 23.965 | 0.000*** |
| C | Non pattern | 3.48 | 3.89 | 10.503 | 0.000*** |
| | Compression pattern | 2.52 | 0.87 | 33.794 | 0.000*** |

* p < .05, ** p < .01, *** p < .000



〈그림 8〉 혈류량 측정 결과



〈그림 9〉 발열 패드 장착에 따른 혈류량 측정 결과

다. 이는 컴프레션 효과가 레깅스 전체에 미치고 있으며, 부위에 따라 차등 압박이 가해지고 있음을 알 수 있다. 특히 발목과 허벅지 부위보다 종아리 부위에 압력이 더 강하게 가해짐으로 종아리에 대한 높은 압축 압력이 정맥 펌프 기능을 향상시킬 수 있을 것으로 보인다.

2.2. 혈류량 평가

컴프레션 레깅스를 착용했을 때 혈류량 변화는 (표 6)와 같다. 혈류량 측정은 일반 레깅스의 혈류량에서 컴프레션 레깅스의 혈류량을 뺀 값으로 피험자에 따른 혈류량의 차이를 비교 평가하였다.

두 레깅스에 대한 t-검정 결과를 살펴보면 C 피험자가 컴프레션 의류를 착용했을 때 2.52ml/min로 가장 큰 혈류량 감소를 보였고, A, B, C 피험자 모두 컴프레션 레깅스를 착용했을 때 혈류량이 감소하였다(그림 8). 이러한 결과는 컴프레션 레깅스가 의복압으로 인해 정맥 펌프 기능을 향상시키는 데 효과적이라는 것을 보여주고 있다.

2.3. 표면온도와 혈류량 평가

컴프레션 레깅스에 유연 면상의 발열 패드를 장착 후 발열판 쾌적 온도 범위와 혈류량의 변화

〈표 7〉 착용성 평가

| | 평가 문항 | N | 최솟값 | 최댓값 | 평균 | 표준편차 |
|-----|---------------|---|-----|-----|------|-------|
| 의복압 | 허리의 압박감 | 3 | 3 | 4 | 3.67 | 0.577 |
| | 배꼽 부위의 압박감 | 3 | 3 | 4 | 3.67 | 0.577 |
| | 엉덩이 부위의 압박감 | 3 | 4 | 4 | 4.00 | 0.000 |
| | 허벅지 부위의 압박감 | 3 | 3 | 4 | 3.33 | 0.577 |
| | 무릎 부위의 압박감 | 3 | 3 | 4 | 3.67 | 0.577 |
| | 종아리 부위의 압박감 | 3 | 4 | 4 | 4.00 | 0.000 |
| 쾌적함 | 발목부위의 압박감 | 3 | 4 | 4 | 4.00 | 0.000 |
| | 허리부위가 쾌적하다. | 3 | 3 | 4 | 3.33 | 0.577 |
| | 배꼽 부위가 쾌적하다. | 3 | 3 | 4 | 3.33 | 0.577 |
| | 엉덩이 부위가 쾌적하다. | 3 | 3 | 4 | 3.33 | 0.577 |
| | 허벅지 부위가 쾌적하다. | 3 | 3 | 4 | 3.67 | 0.577 |
| | 무릎 부위가 쾌적하다. | 3 | 2 | 3 | 2.67 | 0.577 |
| 디자인 | 종아리 부위가 쾌적하다. | 3 | 4 | 5 | 4.33 | 0.577 |
| | 발목부위가 쾌적하다. | 3 | 4 | 5 | 4.33 | 0.577 |
| | 소재 | 3 | 5 | 5 | 5.00 | 0.000 |
| | 디자인 | 3 | 4 | 4 | 4.00 | 0.000 |
| | 레깅스 사이즈 | 3 | 4 | 4 | 4.00 | 0.000 |
| | 발열 패드의 포켓 디자인 | 3 | 4 | 4 | 4.00 | 0.000 |
| | 발열 패드의 위치 | 3 | 4 | 5 | 4.33 | 0.577 |
| | 내부 마감 정도 | 3 | 4 | 5 | 4.33 | 0.577 |

를 살펴본 결과 발열 패드 장착 전 3.5ml/min에서 혈류량이 2.87ml/min으로 감소한 것으로 나타났고 같은 환경(19~20°C)에서 발열 패드 장착 후 3.86ml/min에서 2.33ml/min으로 혈류량이 감소한 것으로 나타났다. 즉, (그림 9)의 결과에서 보는 것처럼 컴프레션 레깅스에 발열 패드를 장착 함으로써 하지에 머무는 혈류량이 줄어드는 것으로 보아 혈류의 흐름을 원활하게 해주는 것으로 판단된다.

3. 착용성 평가

개발된 컴프레션 레깅스 프로토타입을 착용 후 압박 효과, 착용 후 쾌적함, 외관의 만족도와 관련된 문항을 5점 리커트 척도를 사용하여 착용성 평가를 시행하였다. 대부분의 문항에서 평균 점수가 4.0 이상으로 높은 착용 만족도를 보였다. 결과가 3명의 적은 표본 규모로 통계적으로 유의미하지 않지만, 프로토타입 개발에 있어서 제한된 수의 피험자를 대상으로 착용감을 평가하고 인터뷰를 진행한 선행연구 사례를 참고한 것으로, 본 연구도 착용 후 인터뷰 등을 통하여 평가 결과를

논의하였다(Park & Lee, 2018; Hong, 2017).

압박감을 묻는 문항에서는 허벅지(3.33) > 무릎(3.67) > 종아리(4.00)로 나타나 종아리에서 가장 높은 의복압을 느끼는 것으로 나타났다. 이는 장비를 사용한 의복압 측정 결과와도 일치하며 점진적인 압박을 주어 혈액 순환에 도움을 주기 위한 설계의 목적에도 부합하는 결과이다. 착용 후 쾌적함을 묻는 문항에서는 무릎의 쾌적함이(2.67%) 낮았으며, 종아리와 발목이(4.33) 쾌적한 것으로 나타났다. 무릎 부위의 불편함은 종아리의 의복압 조절을 위하여 종아리의 앞쪽, 정강이에 스트레치가 적은 원단을 사용한 결과로 보인다. 이를 개선하기 위해서는 스트레치가 적은 원단을 정강이에 사용할 때 조금 아래로 내려 부착 위치를 조정하면 좋을 것이다.

외관의 만족도를 묻는 문항에서는 소재에 대한 만족도는 매우 높았으며 디자인에 관한 모든 문항에서도 전반적으로 4.00 이상으로 만족한 것으로 나타났다. 피험 집단이 작고, 체형이 비슷하긴 하나 체지방 정도의 차이가 있어 착용성 평가에 대한 결과가 유의미하다고 단정할 순 없지만 개발된 프로토타입이 컴프레션 효과를 느끼는 데

도움을 주는 것으로 보인다. 특히 실리콘 패턴을 장착한 종아리 부분에서 강한 압박을 느끼고 있으며, 착용감 또한 만족스러워하는 것으로 나타났다. 착용성 평가 결과는 (표 7)과 같다.

전반적인 착용감과 외관의 만족도를 묻는 인터뷰 결과를 살펴보면 아래와 같다.

- A: 처음 착용했을 때 착용하기 불편한 점이 있었으나 그만큼 종아리의 압박감이 좋다는 생각이 들었다. 발열 패드가 터나지 않아 자연스럽고 쾌적하다. 레깅스의 전체적인 디자인이나 내부 마감도 만족스럽다.
- B: 허벅지와 종아리가 너무 조여서 약간의 불편함을 느꼈다. 사이즈가 좀 컸으면 좋았을 것 같다. 그러나 아랫배가 따뜻해서 좋으며, 디자인과 재질이 마음에 들었다.
- C: 패턴 부분의 압박감이 종아리 근육을 잡아주는 느낌이 들어서 좋았다. 종아리 부위의 패턴이 예쁘고 허벅지에 있는 패턴이 날씬해 보이는 효과를 주는 것 같다.

외관의 만족도에 관한 의견을 보면 처음 착용했을 때 일반 레깅스보다는 강한 의복압에 불편함을 느끼는 것으로 보여진다. 그러나 발열 패드의 복부의 온열감과 디자인과 재질에서 만족함을 보이고 있으며, 종아리 실리콘 패턴의 근육 압박감이 좋다는 의견을 볼 수 있었다. 오랜 시간 착용했을 때 하지의 피로감이나 붓기 등을 비교해 볼 수 없었다는 한계를 지니지만 짧은 시간의 착용에도 종아리 근육을 잡아주는 느낌을 받았고 즉각적인 온열감에 대한 만족도는 높은 것을 알 수 있었다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 장시간 서서 일하는 사람들에게서 흔히 관찰되는 하지 정맥류 등 혈액 순환 장애를 효과적으로 개선하고자 점진적 감압기능과 발열 기능을 가진 여성용 레깅스를 개발하고 혈액 순

환 개선 성능과 착용성을 평가하였다. 종아리 부위에 점진적인 압박을 제공하여 정맥 펌프 기능과 혈액 순환을 개선할 수 있는 실리콘 패턴을 개발하였으며 유연한 형태의 면상 발열 패드를 제작하여 착용감이 좋으면서 온열 효과를 주어 혈액 순환에 도움이 되도록 하였다. 컴프레션 레깅스 착용 후 의복압과 혈류량을 측정하여 혈액 순환 개선 효과를 검증하였으며, 열화상카메라를 활용하여 표면온도와 혈류량 변화를 측정하여 발열 레깅스가 혈액 순환에 도움이 됨을 보여주었다.

개발된 혈액 순환 개선용 컴프레션 발열 레깅스 성능과 착용성 평가 결과는 다음과 같다. 첫째, 의복압 평가에서는 컴프레션 실리콘 패턴 레깅스가 일반 레깅스보다 전체적으로 모든 부위에서 높은 의복 압력을 보였으며, 종아리 뒤쪽이 허벅지보다 높은 압력을 가하여 점진적 압박이 가해지는 것을 확인하였다. 둘째, 혈류량 평가에서는 컴프레션 착용 후 혈류량이 감소하여 점진적 컴프레션 실리콘 패턴의 압력으로 인해 하지의 정맥 펌프 기능을 향상 시키고 있음을 확인하였다. 셋째, 발열에 의한 표면온도 상승과 함께 혈액 순환의 효과가 있음을 알 수 있었다. 넷째, 착용감 평가에서는 레깅스의 압박 효과, 착용감, 외관에 대한 만족도가 높았으며, 피험자들은 종아리 부위에서 강한 압박감을 느꼈으며 핏에 만족한다고 답하였다. 주관적 만족도에 대한 참가자들의 인터뷰를 종합해 보면, 처음에는 강한 압박감으로 인해 불편함을 느낀 사람도 있었지만, 종아리 압박감과 발열 패드가 제공하는 복부 보온성, 레깅스의 전체적인 디자인과 소재에 대해서는 만족한 것으로 나타났다.

본 연구는 유연 면상 발열과 점진적 컴프레션을 동시에 적용하여 혈액 순환을 좀 더 효율적으로 개선하는 여성 레깅스 프로토타입을 개발하고 개발된 프로토타입을 이용하여 성능과 착용성에 대한 객관적 평가 방법을 제시하고자 하였다. 이전 연구에서는 컴프레션 레깅스가 혈액순환 개선에 도움이 된다는 연구는 있었으나 점진적 컴프레션과 착용감이 개선된 유연한 면상 발열 패드를 동시에 적용하여 디자인을 개발하고 기능을 평가한 사례는 없었기 때문에 이와 같은 복합 기능의 의류를 개발하는데 유의미한 참고자료가 될 것으로 기대한다.

그러나 개발된 프로토타입 레깅스는 하나의 사이즈로 제작되었고 제한된 피험자에게 착용하였다는 한계를 지니며, 장기간 착용하는 상황에 대한 검증이 이루어지지 않았다. 본 연구의 결과를 바탕으로 후속 연구에서는 레깅스 디자인과 패턴을 개선하고 다양한 사이즈를 제작하여 보다 많은 피험자를 대상으로 종합적인 사용성 평가가 이루어져야 할 것이다. 또한 장시간 착용 후 성능과 착용성 평가가 이루어진다면 보다 개선된 디자인이 개발될 것이다. 점진적 컴프레션과 발열 기능을 가진 레깅스를 디자인하고 프로토타입을 제작하여 기능과 착용성을 평가한 본 연구가 기능성 의류 개발 디자인과 평가 분야에 도움이 되는 연구로 활용되기를 기대한다.

참고문헌

- 강동목, 이종태, 강민숙, 박성희, 엄상화, 김성준, 박봉진. (1999). 미용업 종사자들의 피부, 호흡기 및 근골격계 자각증상에 관한 유병률. *대한산업의학회지*, 11(3), 385-392.
- 강재진. (2018. 12. 28). 블랙야크, 스마트웨어 'M인 피닉 시리즈' 출시. *한국섬유신문*. 자료검색일 2023. 5. 27, 자료출처 <http://www.ktnews.com/news/articleView.html?idxno=109328>
- 고현민, 안형준. (2022). 하지정맥류의 원인 및 증상. *Journal of the Korean Medical Association/Taehan Uisa Hyophoe Chi*, 65(4).
- 구영석. (2011). 컴프레션웨어(Compression Wear)의 운동성능 및 근기능에 미치는 영향. *한국염색가공학회지*, 23(1), 60-68.
- 국가기술표준원. (2023). 사이즈코리아. 자료검색일 2023. 08. 28, 자료출처 <https://standard.go.kr/KSCI/portalindex.do>
- 김남입, 이효정. (2019). 시판 스포츠 컴프레션 웨어의 의복압이 혈류 및 주관적 감성에 미치는 영향. *한국의류산업학회지*, 21(4), 456-467
- 김미라, 김동은, 최혜선. (2016). 웨이트 트레이닝 활동을 위한 20 대 남성 컴프레션웨어 착의 실태. *한국의류학회지*, 40(5), 775-787.
- 김미라. (2016). *테이핑기법을 적용한 코어근육 압박용 컴프레션웨어 개발*. 이화여자대학교 대학원 석사학위논문.
- 김순옥. (1997). 종합병원 간호사의 교대근무와 건강 상태에 관한 연구. *간호행정학회지*, 3(1), 119-133.
- 김영옥, 구정완. (2002). 일부 종합병원 간호사에서 근골격계 자각증상과 관련 요인. *한국의 산업의학*, 41(3), 131-141.
- 김윤숙, 이병숙. (2006). 근무 중 탄력압박스타킹 착용이 간호사의 하지부종 및 통증에 미치는 효과. *간호행정학회지*, 12(3), 415-423.
- 김태규, 송민규. (2010). 압박의류 착용에 의한 신체변화 연구. *한국의류산업학회지*, 12(2), 233-239.
- 김현철, 권동현, 최정수. (2023). 하지 혈액 순환 개선을 위한 사용자 발목 가동범위 맞춤형 종아리 근육 자극 시스템의 개발. *제어로봇시스템학회 논문지*, 29(2), 113-119.
- 남유정, 정태희, 서인범, 김정환, 박승우, 노성규. (2010). 성인 여성들의 압박의류 착용이 체내지방 및 혈액지표에 미치는 영향. *한국체육교육학회지*, 15(3), 221-229.
- 노의경, 윤미경. (2020). 안마 및 발열기능의 스마트 조끼 개발과 성능 및 만족도 평가. *한국의류산업학회지*, 22(5), 676-685.
- 도월희, 김남순. (2012). 의료용 압박스타킹의 사이즈 체계에 관한 연구-한국 시장에서의 수입 의료용 압박스타킹을 중심으로. *한국 의류학회지*, 36(8), 860-874.
- 박지혜, 천종숙. (2013). 컴프레션웨어의 압박감 측정 방법 비교 연구. *복식문화연구*, 21(4), 535-545.
- 서보양. (2002). 하지의 정맥류. *대한정맥학회지*, 1(1), 3-4.
- 이기문. (2018. 11. 29). 열선 깐 벤치, 따뜻해지는 섬유, IT로 포근해지는 겨울. *조선비즈*. 자료검색일 2023. 5. 27, 자료출처 https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2018/11/29/2018112900139.html
- 이병홍, 이주은. (2015). 밴드형 발열조끼의 디자인 개발. *패션비즈니스*, 19(5), 93-109.
- 이소아. (2014. 11. 14). 아이리버 '발열 재킷' 스마트 웨어 시장에 도전. *중앙일보*. 자료검색일 2023. 5. 27, 자료출처 <https://www.joongang.co.kr/article/16419320>
- 이아람. (2021. 11. 9). K2, '히트360(HEAT360)' 스마트 발열 조끼&다운 출시. *패션포스트*. 자료검색일 2023. 5. 27, 자료출처 <https://fpost.co.kr/board/bbs/board>.

- php?bo_table=today&wr_id=7171
- 이용호, 한복순. (2001). 여행자 정맥혈전증 (Traveller's Thrombosis) 에 관한 최신 지견. *항공우주의학 회지*, 11(2), 92-98.
- 이원철, 이강숙 (1987). 판매직 및 서비스업 여성 근로자의 건강문제. *산업보건*, 1(9), 76.
- 이윤곤, 신성훈. (2020). 컴프레션웨어의 압박강도가 런닝의 운동학적 변인에 미치는 영향. *한국체육과학회지*, 29(3), 919-927.
- 이윤곤, 신성훈. (2020). 컴프레션웨어의 압박강도가 런닝의 운동학적 변인에 미치는 영향. *한국체육과학회지*, 29(3), 919-927.
- 이정은. (2020). 스트레인 센서 기반 스마트 단계 압박 레깅스 개발. 전남대학교 대학원 박사학위논문.
- 이주은, 이병홍. (2014). 발열체 탈부착형 발열조끼의 디자인 개발. *패션 비즈니스*, 18(5), 82-98.
- 이현영, 정연희. (2010). 시판 발열조끼의 주관적 착용평가. *한국생활과학회지*, 19(4), 667-674.
- 이희란, 홍경희, 이예진, 김소영. (2017). 스마트 베이스 레이어 의복의 효과적인 발열모드 설정을 위한 사용자의 자율적 가열행동 연구. *한국 의류학회지*, 41(5), 872-882.
- 정철, 임현술, 유선희. (2003). 지속적인 기립에 의한 만성 하지 정맥 부전증의 일예. *동국의학*, 10(1), 105-109.
- 조하경, 조상우. (2015). 발열 기능 스마트 의류를 위한 인체 온열반응 기반의 최적의 발열위치 연구. *감성과학*, 18(3), 93-106.
- 주혜지. (2023. 4. 7). 체온 관리 어려운 '봄', 각종 질환 노출될 위험 높아 '주의'. *한의신문*. 자료검색일 2023. 5. 27, 자료출처 https://www.akomnews.com/bbs/board.php?bo_table=news&wr_id=52846
- 최형준, 최재일, 신정엽, 고영준, 김선영. (2018). EMS를 활용한 압박의류의 착용이 등속성 근력과 근활성도에 미치는 효과. *한국체육과학회지*, 27(3), 961-971.
- 황영미, 이정란. (2013). 발열장치를 이용한 보온 기능성 스마트 파운데이션의 개발 및 평가. *한국의류산업학회지 제*, 15(2), 231-239.
- Choi, H. N., Jee, S. H., Ko, J., Kim, D. J., & Kim, S. H. (2021). Properties of surface heating textile for functional warm clothing based on a composite heating element with a positive temperature coefficient. *Nanomaterials*, 11(4), 904.
- Global Sports Compression Wear Market Report, History and Forecast 2017-2028. (2023). 자료 검색일 2023. 4. 14, 자료출처 <https://www.giikorea.co.kr>
- Lee, J., Jun, J., & Choi, K. (2015). Development of compression wear tops for men in their forties based on muscle locations. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 39(2), 271-286.
- Mosti, G., & Partsch, H. (2012). High compression pressure over the calf is more effective than graduated compression in enhancing venous pump function. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 44(3), 332-336.
- Swedborg, I. (1984). Effects of treatment with an elastic sleeve and intermittent pneumatic compression in post-mastectomy patients with lymphoedema of the arm. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*, 16(1), 35-41.