

3D 프린팅 손목보호대 사이즈 적합성 평가

Size Suitability Evaluation of 3D Printed Wrist Brace

설인환¹⁾ · 민경의²⁾ · 류다미²⁾ · 이희란^{3),*}

국립금오공과대학교 소재디자인공학과 교수¹⁾ · 국립금오공과대학교 소재디자인공학과 석사과정²⁾ ·
국립금오공과대학교 소재디자인공학과 부교수^{3),*}

Sul, In Hwan¹⁾ · Min, Gyeong-ui²⁾ · Ryu, Dami²⁾ · Lee, Heeran^{3),*}

Department of Materials Design Engineering, Kumoh National Institute of Technology^{1),2),3)}

Abstract

The main purpose of this study is to determine the suitability and wearable size range of a 3D-printed wrist brace through subjective comfort evaluations and clothing pressure measurements at the dorsum of the hand and wrist in 60 adults with a wide range of hand dimensions. Participants were categorized into three groups—below-average, average, and above-average—based on the Size Korea hand dimension ranges for women in their 20s and 30s. The analysis focused on satisfaction with perceived support and compression. Results indicated that the M-size group, corresponding to the average dimensional range, reported high satisfaction levels across most comfort-related items. Additionally, clothing pressure at both the dorsum and wrist regions remained within an appropriate range, aligning with the subjective comfort outcomes. In contrast, when hand dimensions exceeded the average range, clothing pressure increased significantly—particularly at the wrist—accompanied by a decrease in satisfaction regarding compression. Based on the combined results of subjective comfort evaluations and regression analysis of clothing pressure, the wearable size range of the wrist brace was defined as a hand circumference of 173–185 mm, a wrist circumference of 140–150 mm, and a palm length of 92–99 mm. These findings provide essential data for the size-appropriate design of wrist braces based on standard anthropometric dimensions and for evaluating the suitability of 3D-printed wearable products.

Keywords: Wrist brace, 3D printing, Size suitability, Clothing pressure, Subjective wearing evaluation

I. 서론

4차 산업혁명 시대의 산업 환경 변화와 함께 인체 형상을 기반으로 한 다양한 분야의 3D 제품 개발이 활발히 이루어지고 있다. 3D 프린팅 산업의 세계 시장 규모는 2024년 기준 약 193억 달러로 평가되었고, 향후 연평균 15% 이상

성장하여 2030년대에는 1,000억 달러 이상 확대될 것으로 전망되었다(Fortune Business Insights, 2024). 이러한 성장세와 함께 3D 제품 제작을 위한 3D 프린팅 기술은 제조 및 재료 관련 산업 분야를 넘어 헬스케어와 같은 첨단 기술 영역에서도 폭넓게 활용되고 있다(김선영, 2022). 특히 3D 프린팅 기술은 맞춤형 소량 생산이 가능하기 때

본 논문은 한국연구재단 이공분야 기초연구 사업(NRF-2022R1A2C1010072 & NRF-2023R1A2C2005376)과 (2026)년도 교육부 및 경상북도의 재원으로 경북RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)-(지역성장 혁신LAB)의 결과임(2026-rise-15-105).

본 논문은 국립금오공과대학교 생명윤리위원회의 승인을 받아 수행되었음(202304-HR-002-01).

본 논문은 2023년 한국생활과학회 하계학술대회에서 발표된 논문임.

* Corresponding author: Lee, Heeran

Tel: +82-54-478-7717, Fax: +82-54-478-7710

E-mail: heeran@kumoh.ac.kr

© 2026, Korean Association of Human Ecology. All rights reserved.

문에, 대량생산 중심의 산업 구조보다는 개인 맞춤형·소량 생산과 관련된 분야에서 지속적으로 연구, 제작이 이루어질 것으로 예상되었다(현은정, 2023). 특히, 기술 발전에 따라 생산 단계의 제조 비용이 점차 감소하고 있으며, 세계 각국 정부 또한 3D 프린팅 산업의 성장 가능성을 긍정적으로 평가하여 관련 산업 육성을 위한 정책적·재정적 지원을 확대하고 있다. 더불어 금속, 플라스틱 등 산업용 3D 프린팅 소재의 다변화가 이루어지면서 신소재 적용 가능성 역시 주목받고 있다(김도엽, 2022). 이처럼 3D 프린팅 기술의 활용 범위는 지속적으로 확대되고 있으며, 패션 분야에서도 초기의 디자인 중심의 활용을 넘어 의류 설계 및 소재 개발 등 새로운 융·복합 영역으로 그 적용 범위가 확장되고 있다(김선영, 2022; Lekeckas et al., 2023). 최근 3D 프린팅 기술의 적용으로 개인 맞춤형 제작이 이루어지면서 재활 보조기기 및 보호 장비 등 다양한 웨어러블 제품에 적용되고 있으며, 손목보호대, 엉덩이보호대, 턱킵 등과 같은 보조기기에서도 3D 프린팅 설계 적용 사례가 보고되고 있다(Alrasheedi et al., 2025; Naver shopping, 2026a, 2026b). 예를 들어, 3D 프린팅을 활용한 손목보호대는 개인의 손 형상 데이터를 기반으로 설계되어 착용 적합성과 지지 기능을 동시에 향상시키는 방향으로 개발되고 있으며(Fang et al., 2022), 이는 기존 상용 제품과 비교하여 높은 착용 만족도를 보이는 것으로 평가되고 있다. 또한 3D 프린팅 기반 손목 보조기는 경량화, 통기성 및 위생성 측면에서 기존 석고 기반 보조기 대비 우수한 특성을 가지며 실제 재활 및 치료 목적에 활용되고 있다(Alrasheedi et al., 2025). 더 나아가 3D 프린팅 기술은 헬멧, 마우스가드, 보호대 등 다양한 스포츠 보호 장비로 확장되며 실제 제품으로 판매되고 있는 사례도 증가하고 있다(MfgRobots, n.d.). 그러나 이러한 기술적 가능성에도 불구하고, 다수 사용자를 대상으로 적용 가능한 사이즈 설계 기준에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다.

최근 연구를 살펴보면 3D 프린터를 활용한 손목 부목 및 보조기기 개발 연구가 다양하게 진행되고 있다. Popescu et al.(2024)는 환자의 손 형태를 스캔한 후 TPU와 PLA 소재를 사용하여 손목 보조기를 제작하고, 착용 만족도와 손목 굴곡 각도를 통해 보조기의 기능성을 평가하였다. Zhou et al.(2024)는 PLA와 나일론을 활용하여 류마티스 관절염 환자를 위한 맞춤형 손목 부목을 설계하고 물리적·기능적 성능을 검증하였다. 또한 최현우 외(2019)는 3D 프린팅을 활용한 손목 보조기를 개발하고, 뼈와 피부에 가해지는 압력 및 보조기 내 스트레스 분포를 유한요소법을 통해 분

석하여 효용성을 검증하였다.

이와 같이 현재까지 이루어진 3D 프린팅 기반 의복 및 보호대 관련 연구들은 손목, 무릎 등 특정 신체 부위를 대상으로 한 기능성 보호대 개발에 주로 집중되어 왔으며(구다숨, 이정란, 2017; 류다미 외, 2024; 정현주 외, 2022), 재료 특성, 구조 설계, 의복압, 열전달, 충격 흡수 성능 등을 다양한 객관적 평가 방법을 통해 검증하는 연구가 주를 이루고 있다(박예은, 이선희, 2023; 박정현 외, 2022; 이옥경 외, 2023). 특히 3D 스캐너와 인체 데이터를 기반으로 한 설계 방식은 개인 맞춤형 보호대 개발에 효과적인 것으로 보고되고 있으나(Wu et al., 2022; Xiao & Kan, 2022), 대부분 평균 인체 데이터 또는 특정 개인의 데이터를 활용하여 제품이 개발되고 있다.

이로 인해 3D 프린팅 기반 맞춤형 제품은 개발 대상자에게는 높은 착용감과 기능성을 제공할 수 있으나, 다양한 체형을 포함하는 다수 사용자에게 동일한 성능과 착용 적합성을 제공할 수 있는지에 대한 한계와 의문이 지속적으로 제기되고 있다(이희란 외, 2016). 특히 보호대와 같은 착용형 제품의 경우, 사이즈 적합성은 기능성과 착용감에 직접적인 영향을 미치는 중요한 요소이다. 보호대를 부적절한 사이즈로 착용할 경우 보호 및 지지 효과가 감소할 수 있으며(박정현, 이정란, 2014), 착용자에게 생리적 부담과 불편함을 가중시켜 착용감을 저하시킬 수 있다(이효정, 이예진, 2016). 예를 들어, 큰 사이즈의 보호대를 착용할 경우 지지력이 약화되며, 작은 사이즈의 보호대를 착용할 경우 과도한 압력이 가해져 혈류 순환 장애를 초래할 수 있으며, 이는 부종이나 피로감 유발 등 인체에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Bouman et al., 2016).

보호대의 사이즈 적합성을 평가하는 방법 중 하나로 의복압 측정이 활용될 수 있다. 의복압 측정을 통해 의복이 인체에 가하는 압력 수준을 정량적으로 파악함으로써, 부적절한 압박 여부를 확인하고 적정 압력 범위 내에서의 사이즈 범위를 도출할 수 있다. 천종숙과 김옥빈(2012)은 의복압 측정을 통해 체형 보정을 위한 거들의 의복압과 신체 치수 변화 간의 관계를 검증하였으며, 이희란 외(2013)는 거들과 웨이스트니퍼 착용시의 의복압을 측정하고 이때 인체가 느끼는 적정 의복압을 제안하기도 하였다. 또한, 조신현(2019)은 맞춤형 화상환자 압박복을 대상으로 신체 부위별 의복압과 동작에 따른 의복압 변화를 분석하여 사이즈와 동작이 의복압에 미치는 영향을 규명하였다. 이처럼 의복압은 체형 및 사이즈에 따라 인체에 가해지는 정도가 달라지며, 인체에 다양한 영향을 미칠 수 있기 때문에 적절한 압

력 범위 내에서의 착용을 위해 매우 중요한 평가 요소라 할 수 있다.

한편, 체형 차이에 따른 의복 사이즈에 관한 연구는 비교적 활발히 이루어지고 있으나, 3D 프린팅 보호대의 사이즈 적합성 및 착용 가능 범위에 대한 연구는 여전히 부족한 실정이다. 이효정 외(2017)는 시판 다리 보호대의 사이즈 체계를 분석하여 그레이딩 편차를 제안하고, 한국인의 체형과 치수에 적합한 야구 다리 보호대를 개발하였다. 또한 조문주(2014)는 여자 청소년을 대상으로 브래지어 착용 실태와 신체 치수 대비 사이즈 적합성을 분석하였다. 이처럼 인체 착용형 제품의 경우 착용자의 체형에 따른 사이즈 고려가 필수적이다. 그러나 하나의 인체 데이터를 기반으로 모델링된 3D 프린팅 제품은 주로 일대일 개인 맞춤형으로 제작되기 때문에, 착용자마다 인체를 스캔하고 반복적인 모델링 과정을 거쳐 제품을 제작하는 데에는 시간적·경제적 한계가 존재한다. 이에 따라 특정 인체 데이터를 기반으로 제작된 3D 프린팅 제품이 다른 사용자에게도 적절한 착용 적합성과 기능성을 제공할 수 있는지에 대한 문제는 여전히 해결되지 않은 과제로 남아 있다. 특히 본 연구에서 개발된 3D 프린팅 손목보호대는 장시간 컴퓨터 작업 환경에서 손목의 중립 자세를 유지하고, 반복적인 손목 사용으로 인한 근골격계 부담을 완화하기 위한 목적으로 개발된 제품이다. 이러한 보호대는 일상생활 및 작업 환경에서 반복적·지속적으로 착용할 수 있어야 하므로, 단순한 맞춤 제작을 넘어 다양한 사용자에게 적용 가능한 착용 범위 제안과 그에 대한 적합성 확보가 중요하다. 일반적으로 3D 프린팅 기반 제품은 개인 맞춤형으로 제작되고 있는데, 개인의 신체 형상을 반영한 맞춤 설계가 가능하다는 장점이 있으나, 실제 활용 측면에서는 모든 사용자에게 개별 스캔 및 제작을 수행하는 데 시간적·경제적 제약이 존재한다. 따라서 특정 대표 치수를 기반으로 설계된 제품이 다양한 체형 가진 사용자에게 어느 범위까지 적합하게 적용될 수 있는지에 대한 검증이 필요하다. 또한, 설계 및 모델링 단계에서 치수가 반영되었다 하더라도, 실제 착용 시 발생하는 압박, 밀착감, 지지감 등은 개인의 신체 치수 차이에 따라 달라질 수 있으며, 이는 착용 만족도 및 기능성에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 제작 이후 다양한 체형을 대상으로 한 실증적 사이즈 적합성 평가 역시 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 형태 적합성이 특히 중요한 보호대 제품을 3D 프린팅으로 개발하였을 때의 착용 가능 사이즈 범위를 확인해 보고자 하였다. 이를 위해 선행연구에서 개발된 3D 프린팅 손목보호대를 대상으로 착용 시 의복압 측정과 주

관적 착의 평가를 실시하여 사이즈 적합성을 검증하고, 이를 바탕으로 3D 프린팅 보호대의 착용 가능 범위에 대한 가이드라인을 제안하고자 한다. 본 연구 결과는 향후 3D 프린팅 기반 보호대 및 착용형 제품의 설계 효율성을 높이고, 다수 사용자를 고려한 실용적 설계 기준을 마련하는 데 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

II. 연구 방법

1. 3D 프린팅 손목보호대 제작

본 연구에 사용된 손목보호대는 선행연구(류다미 외, 2024)를 통해 기능적으로 우수한 것으로 평가되어 손목 터널증후군 예방에 최적인 구조를 기반으로 설계하였다. 선행연구에서 손목 지지 범위 연장이 필요하다는 결과를 반영하여 본 연구에서는 보호대 길이를 위팔 중간 부분까지 오는 형태로 제작하였다. 또한, 보호대의 3D 지지대는 손등부와 손바닥부를 분리한 구조로 설계되어 손목의 지지 기능과 착용 적합성을 동시에 확보할 수 있는 구조로 구성되어 있다. 손목보호대 제작을 위해 8차 사이즈코리아(2021) 20~30대 여성의 평균 손 및 손목 치수에 해당하는 대표 피험자를 선정하였고 대표 피험자의 3차원 스캔 데이터를 활용하여 손목보호대 패턴 및 지지대 형태를 제작하였다. 측정 항목은 손두께, 손둘레, 손목너비, 손목두께, 손목둘레, 손 직선길이, 손바닥 직선길이, 손목 중심-엄지손가락 첫마디 길이, 손목 중심-새끼손가락 첫마디 길이, (팔굽힌)아래팔수평길이 등 총 10개 항목을 측정하였다. 다만 대표 피험자의 손 두께는 사이즈코리아 평균 범위보다 0.2 cm 크게 나타났으나, 본 연구에서 손목보호대의 구조를 손등부와 손바닥부로 분리하여 설계하였기 때문에 손목보호대 형태에 큰 영향을 주는 주요 치수에 비해 영향이 크지 않은 것으로 판단된다. 사이즈코리아 평균 손 사이즈와 대표 피험자 손 사이즈는 다음 <표 1>과 같다.

본 연구에 사용된 손목보호대 패턴은 대표 피험자의 손 석고에서 레플리카 방법을 통해 얻었다[그림 1 (1-3)]. 손 석고형상은 피험자가 컴퓨터 작업 시 올바른 자세(팔꿈치 90°, 아래팔은 손등과 일직선을 유지하고 손목이 꺾이지 않는 자세)를 취한 상태일 때(김영규, 2023)의 손을 제작하였다. 그 후 3D 프린팅 지지대를 제작하기 위해 석고형을 3차원 Eva 스캐너(Artec, Inc., Luxembourg)로 스캔

한 후, Geomagic Design X(3D Systems, Inc., Korea) 프로그램을 이용하여 모델링하였다. 제작된 3D 프린팅 손목보호대는 아래 [그림 1 (4)]과 같다. 지지대는 선행연구(류다미 외, 2024)를 통해 가장 우수하게 평가된 조건으로 제작되었다. 해당 선행연구에서는 3D 프린팅 지지대를 두께(0.2 cm, 0.3 cm)와 내부 채우기 밀도(10%, 30%, 50%, 100%)를 변수로 손목보호대의 착의 평가를 수행하였고 그 결과 손등, 손바닥 부위별로 최적으로 도출된 조건(손등: 두께 0.2 cm, 내부 채우기 밀도 50%, 손바닥: 두께 0.3 cm, 내부 채우기 밀도 50%)을 본 연구에 적용하였다. 이때 사용된 재료는 TPU(Thermoplastic polyurethane)

필라멘트이며 3D 프린터 장비는 Cubicon Single Plus 320C를 사용하였다. 또한, 손목보호대의 외피 재료는 두께 0.3 cm의 네오프렌 소재를 사용하였다.

2. 사이즈 적합성 평가

1) 연구대상자

사이즈 적합성 평가를 하기 위해 다양한 사이즈를 갖는 연구대상자에게 손목보호대 착의 후 주관적 착용감 평가와 의복압을 측정하였다. 연구대상자는 사이즈코리아 20~30대 여성 평균범위 사이즈 뿐 아니라 평균 외 사이즈

〈표 1〉 대표 피험자 손 사이즈

(단위: mm)

측정 항목	8차 사이즈코리아 20~30대 여성 (사이즈코리아, 2021)		대표 피험자 측정값
	평균	표준편차	
손 두께	25.5	2.4	30.0
손 둘레	182.1	9.5	180.0
손목 너비	52.8	3.2	53.0
손목 두께	35.8	2.9	37.0
손목 둘레	147.6	8.8	144.0
손 직선길이	168.6	7.2	166.0
손바닥 직선길이	96.0	4.8	97.0
손목 중심 - 엄지손가락 첫마디 길이	69.4	4.1	68.0
손목 중심 - 새끼손가락 첫마디 길이	85.4	4.5	84.0
(팔굽힌)아래팔수평길이	250.1	11.8	250.0



[그림 1] 3D 프린팅 손목보호대 패턴 및 지지대 형태

가 포함되도록 다양한 사이즈의 연구대상자 60명을 선정하였다. 연구대상자 전체 표본 수는 인체 착용 평가 연구에서 일반적으로 활용되는 수준을 고려하여 설정하였고(Hertzog, 2008), 그룹별 표본 수는 사이즈 분포에 따라 자연스럽게 구성되었다<표 2>. 그 결과 일부 그룹의 표본 수가 상대적으로 적게 나타났으나, 인체를 대상으로 한 선행연구에서는 4~10명의 소수 피험자를 활용하여 통계적 결과를 도출한 사례가 보고되었다(박소영 외, 2019; 이효정 외, 2015; Kim et al., 2015; Park & Lee, 2019).

연구대상자의 그룹은 손 항목 사이즈를 기준으로 분류하였는데, 손둘레 175.2~184.4 mm, 손목둘레 143.5~151.9 mm, 손바닥 직선길이 94.1~99.1 mm로 사이즈코리아 평균 치수 범위를 기준으로 정하였다. 3항목 모두 평균 치수 범위에 포함되는 경우 M그룹으로 정의하였고, 3항목 중 하나라도 평균 범위보다 작은 경우 S그룹으로, 한 치수라도 평균 범위보다 큰 경우 L그룹으로 나누었다. 본 연구에서의 집단 분류는 사이즈코리아 20~30대 여성의 평균 치수 범위를 기준으로 설정하였는데, 각 치수가 평균 범위에 포함되는지 여부에 따라 그룹을 구분하였다. 이는 대규모 인체 치수 데이터를 기반으로 대표 치수를 설정하고, 해당 치수를 중심으로 제품의 적용 가능 범위를 검토하는 실제 제품 설계 관점을 반영한 것이다. 따라서 본 연구의 집단 분류는 통계적 군집 분류가 아닌, 대표 치수 기반의 실용적 적용 범위 평가를 위한 기준으로 설정되었다. 그룹별 손 사이즈 평균과 표준편차, 사이즈코리아 평균 범위, 연구에 참여한 연구대상자들의 손 사이즈 최소 최대 범위는 <표 2>와 같다.

2) 주관적 착용감 평가 및 분석

주관적 착용감 평가는 연구대상자 60명을 대상으로 손목보호대를 착용한 상태에서 정해진 동작을 수행한 후 정해진 내용을 워드로 작성하는 키보드 작업 10분, 웹사이트에서 마우스 클릭 및 드래그 5분 동작 후 주관적 만족도를 조사하였다. 평가 동작은 본 연구에서 설정한 손목보

호대의 사용 목적(장시간 컴퓨터 작업 환경)을 반영하여 키보드 입력 및 마우스 사용 동작으로 구성하였으며, 해당 동작은 선행연구(류다미 외, 2024; 이남철 외, 2011)에서 제시된 손 및 손목의 대표적인 작업 동작 분석을 참고하여 본 연구목적에 맞게 수정 후 설정하였다. 평가항목은 손등, 손목, 손바닥의 지지강도를 파악하기 위한 지지정도 만족감(손등, 손목, 손바닥), 손목과 전체적인 압박 정도를 파악하기 위한 압박정도 만족감(손목 압박, 전체 압박), 지지대의 무게에 대한 만족감, 지지대의 밀착 정도에 대한 만족감, 지지대의 지지면적에 대한 만족감 총 8분항으로 구성하였다. 평가 방법은 5점 리커트 척도(1점: 매우 불만족, 3점: 보통, 5점: 매우 만족)를 사용하였다. 모든 데이터의 분석은 SPSS 24.0 statistics 프로그램을 사용하였으며, 그룹별 주관적 착용만족감에 차이가 있는지를 알아보고자 일원배치 분산 분석(One-way ANOVA)과 Duncan 사후검정(Post-hoc)을 실시하였다. 또한 손 치수와 주관적 착용 만족도 간의 관계를 보다 정밀하게 분석하고 착용 가능 사이즈 범위를 도출하기 위해, 손둘레, 손목둘레 및 손바닥 직선길이를 각각 독립변수로 하고 만족도 항목을 종속변수로 설정하여 회귀분석을 수행하였다. 이때 착용 만족도는 특정 치수 범위에서 증가 후 감소하는 비선형적 경향을 보일 것으로 판단되어 2차 회귀분석(quadratic regression)을 적용하였다. 특히 각 치수별 만족도 분포 특성을 파악하기 위해 산점도 기반 분산 분석을 함께 수행하였다.

3) 의복압 측정

손목보호대 착용 후 손목에 가해지는 압박을 측정하기 위해 의복압 실험을 진행하였다. 의복압 측정위치는 다음 [그림 2]와 같이 손등부(A점)와 손목부(B점)의 두 지점으로 정하였는데, 손등부(A점)는 제2중수골과 제3중수골 사이 중심선 상의 손등 중앙 지점으로 정하였고, 손목부(B점)는 손목을 중립 자세로 유지한 상태에서 손목 전체 둘레를 지나면서 너비의 중심 선상에 위치한 지점으로 정

<표 2> 연구대상자 손 항목 사이즈

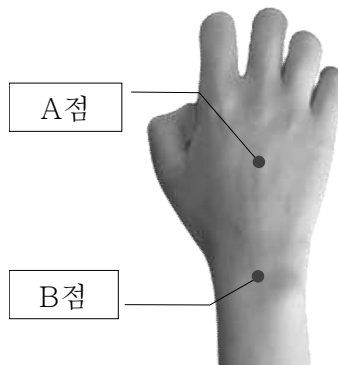
(단위: mm)

	사이즈코리아 평균 범위	S그룹(N=9)	M그룹(N=44)	L그룹(N=7)	연구대상자 사이즈(N=60)	
					평균(S.D.)	최소/최대 범위
손둘레	173~191	171.2±1.5	179.8±4.6	188.9±3.3	179.7±6.5	169.0~193.0
손목둘레	139~156	140.0±3.3	147.7±4.2	156.7±1.9	147.3±6.2	136.0~159.0
손바닥 직선길이	92~100	92.3±2.9	96.6±2.5	101.9±1.3	96.5±3.6	89.0~104.0

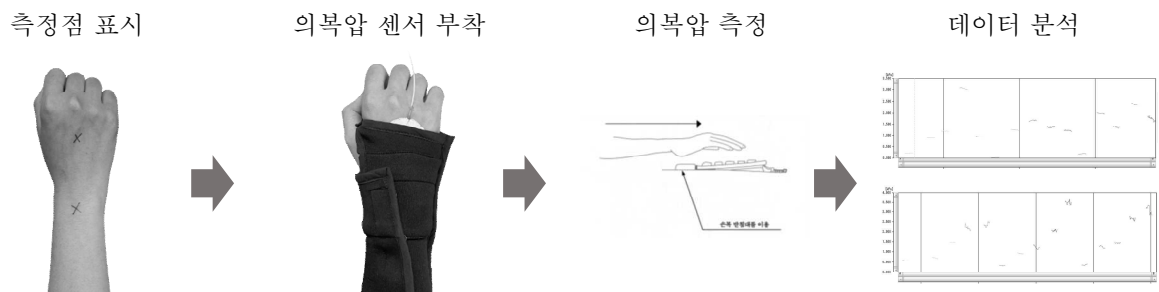
의하였다. 이때 손바닥 부분은 컴퓨터와 마우스 작업 시 지속적인 접촉으로 압력 값의 변동이 커 안정적인 의복압 측정이 어려운 특성이 있다. 또한, 손목 안쪽 부위는 보호 대와의 접촉면이 크지만, 맥박 및 혈류에 의한 미세한 압력 변화가 측정값에 영향을 미칠 수 있으므로 측정 위치에서 제외하였고, 최종적으로 비교적 안정적인 압력 측정이 가능한 손등과 손목 바깥쪽을 측정 위치로 정하였다.

의복압 측정 장비는 Air pack 센서와 Clothing pressure measurement system(MASTER UNIT AMI 3037-2, (주) 테크노스)을 사용하였다. 측정은 각 측정점에 센서를 놓은 후 손목보호대를 착용한 후 진행하였다. 이때 피험자가 컴퓨터 작업 시 올바른 자세를 유지한 상태에서 측정을 진행하였다. 의복압 측정은 시간에 따른 압력 변화의 안정성을 확보하기 위해 각 측정점에서 1분씩 총 3회 반복 측정하였으며, 측정된 데이터는 MCR-4V Software를 사용하여 분석하였다. 분석 시 1분간 측정된 데이터 중 데이터의 초기와 말기 구간을 제외한 안정 구간 10초의 데이터를 추출하여 그 평균값을 사용하였다. 또한 압력 수준에 따른 착용 가능 사이즈 범위를 도출하기 위해, 측정된 의복압이 선행연구에서 제시된 적정 의복압 범위에 해당하는지를 함께 검토하였다. 선행연구에 따르면 의복이

인체에 가하는 압력 중 약 0.5~1.5 kPa 범위에서 쾌적성과 기능성이 동시에 확보되는 것으로 보고되고 있으며(김양원, 2004; 백윤정, 최정화, 2007; 정연희, 2006), 본 연구에서는 해당 범위를 참고하여 평균값인 1.0 kPa를 중심으로 ± 0.5 kPa 범위를 기준으로 설정하였다. 다만, 본 연구에서 적용한 적정 의복압 기준은 기존 의복 및 압박 제품 관련 선행연구를 기반으로 설정한 것으로, 본 연구의 제품과 동일한 조건이 아닌 점을 고려하여 절대적 기준이 아닌 상대적 비교 기준으로 활용하였다. 따라서 본 연구에서는 손등과 손목둘레와 의복압 간의 정량적 관계를 분석하고, 적정 의복압에 해당하는 착용가능 치수를 예측하기 위하여 SPSS 24.0 statistics 프로그램을 사용하여 회귀분석을 수행하였다. 도출된 회귀식을 활용하여 적정 의복압에 해당되는 1.0 kPa과 1.5 kPa일때의 손등과 손목둘레 치수를 추정하고, 적정 의복압 기준에 해당하는 사이즈 범위를 산출함으로써 착용 가능 사이즈 범위 설정에 활용하였다. 의복압 측정 과정은 다음 [그림 3]과 같았으며, 연구대상자에게 진행된 주관적 착용감, 의복압 측정과 같은 모든 실험 과정은 생명윤리위원회의 승인을 받아 수행되었다(IRB 승인번호: 202304-HR-002-01).



[그림 2] 의복압 측정 위치



[그림 3] 의복압 실험 과정

III. 연구 결과

1. 주관적 착용감 평가 결과

개발된 손목보호대 착용 후 부위별 지지강도, 압박감, 밀착감, 지지대 면적 및 무게에 대한 주관적 착용만족도를 분석하였다. 손둘레, 손목둘레, 손바닥 직선길이를 분류된 그룹별(S, M, L) 착용 만족도의 통계적 차이를 분석한 결과는 <표 3>에서 보는 바와 같았다.

분석 결과, 손등지지강도 및 지지무게 만족도를 제외한 대부분의 항목에서 사이즈 그룹 간 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며, 전반적으로 평균 그룹인 M그룹이 가장 높은 만족도를 보이는 것을 알 수 있었다. 특히 손목지지강도, 손바닥지지강도, 손목압박정도, 전체압박정도, 지지면적 및 밀착정도 만족도에서 M그룹은 4점 이상 또는 이에 근접한 높은 만족도를 나타낸 반면, L그룹은 대부분의 항목에서 유의적으로 낮은 만족도를 보였다($p<.01$ 또는 $p<.001$). 이는 손 치수가 평균 범위 이상으로 클수록 지지 및 압박감이 증가되어 착용감이 감소됨을 알 수 있었다. 또한, 손치수가 평균범위 이하인 S그룹은 M그룹과 대부분 통계적 차이를 보이지는 않았지만 평균 착용감 평가 결과는 M그룹 평균보다 낮게 나타났다. 반면 밀착정도 만족감에서는 S그룹의 경우 3.11점(보통)으로 M그룹 평균인 4.32점(만족)보다 통계적으로 낮게 나타났다.

통계적 차이를 보이지 않은 손등지지강도 만족도는 3.9점(S그룹), 4.1점(M그룹), 4.3점(L그룹)으로 모든 그룹에서 높은 만족도를 보였으며, 지지무게에 대한 만족도 역시 4.1점(S그룹), 4.2점(M그룹), 4.7점(L그룹)으로 모든 그룹

에서 높은 만족도를 보였다. S그룹의 경우 일부 항목에서 M그룹과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나, 평균값 수준에서는 상대적으로 낮은 경향이 있었다. 이는 치수가 감소할 경우 보호대와 인체 간 밀착 및 지지 특성이 변화할 가능성을 시사하는 결과로 해석될 수 있다. 즉, 3D 프린팅을 이용한 손목보호대 개발시 평균과 유사한 대표 사이즈를 기준으로 설계가 이루어질 경우, 사이즈코리아(Size Korea) 여성 평균 손 치수 범위에 해당하는 M그룹의 경우 사이즈 측면에서 착용 적합함을 예상할 수 있었다.

더 나아가 손 항목별 치수와 주관적 만족도와의 관계를 더욱 세밀하게 분석하여 최적의 착용 사이즈 범위를 제안하기 위해, 손둘레, 손목둘레 및 손바닥길이에 따른 60명의 착용만족도 분산과 2차 회귀 곡선을 비교·분석하였다<표 4>. 이때 분석은 그룹별 착용감 평가 결과에 통계적 차이를 보인 항목을 중점으로 분석하였다. 분석 결과, 모든 만족도 항목에서 손 치수에 따라 만족도가 일정 구간까지 증가한 후 감소하는 비선형적 분포 특성이 확인되었으며, 이를 통해 손 치수와 주관적 만족도 간의 관계가 선형이 아닌 곡선적 관계임을 알 수 있었다. 즉, 평균범위에 해당하는 피험자 일수록 착용 만족도를 좋게 평가하였고 평균범위보다 치수가 클수록 만족도가 낮게 평가되었다.

치수항목별 구체적으로 살펴보면 연구대상자 손둘레에 따른 손목지지강도, 손바닥지지강도, 손목압박정도, 전체압박정도, 지지면적 및 밀착정도 만족도에서 보통인 3점 이상을 충족하는 손둘레 범위는 170.0~187.0 mm 이하로 나타났다. 또한, 만족도 4점(만족) 이상을 충족하는 손 둘레 범위는 174.0~181.8 mm로 상대적으로 좁아졌다. 특히 지지강도나 밀착도에 대한 만족 시(4점 이상) 손둘레 범위는

<표 3> 사이즈 그룹별 주관적 착용감 평가 결과

(단위: 점)

		S그룹(N=9)		M그룹(N=44)		L그룹(N=7)		F
		평균	S.D.	평균	S.D.	평균	S.D.	
지지강도 만족도	손등지지강도	3.89	0.93	4.11	0.72	4.29	0.49	.603
	손목지지강도	3.89 ^a	1.76	4.32 ^a	0.80	2.86 ^b	0.90	6.612 ^{**}
	손바닥지지강도	4.00 ^a	0.50	4.43 ^a	0.76	2.86 ^b	0.69	14.735 ^{***}
압박 만족도	손목압박정도	3.33 ^a	1.00	3.89 ^a	1.08	1.43 ^b	0.53	17.455 ^{***}
	전체압박정도	4.33 ^a	0.87	4.05 ^a	0.78	2.14 ^b	0.69	19.811 ^{***}
지지면적 만족도		3.78 ^a	1.30	4.00 ^a	0.86	2.43 ^b	0.79	8.627 ^{**}
지지무게 만족도		4.11	0.60	4.18	0.69	4.71	0.49	2.144
밀착정도 만족도		3.11 ^b	1.54	4.32 ^a	0.91	2.71 ^b	0.76	11.322 ^{***}

** $p<.01$, *** $p<.001$

Duncan a>b>c

5점 리커트척도: 1점(매우불만족), 3점(보통), 5점(매우만족)

〈표 4〉 손 항목 사이즈별 주관적 만족도 분산그래프

	손둘레 손목 지지강도	손목둘레 손목 지지강도	손바닥길이 손목 지지강도
손목 지지강도 만족도			
3점범위	~190.0 mm	136.0~156.0 mm	89.0~102.0 mm
4점범위	172.0~185.5 mm	139.6~152.6 mm	91.7~99.6 mm
손바닥 지지강도 만족도			
3점범위	~189.5 mm	~156.5 mm	~101.8 mm
4점범위	169.8~185.0 mm	136.5~152.0 mm	90.4~99.4 mm
손목 압박정도 만족도			
3점범위	169.0~187.0 mm	137.0~154.0 mm	90.0~100.7 mm
4점범위	174.0~182.3 mm	141.3~149.6 mm	93.2~97.5 mm
전체 압박정도 만족도			
3점범위	~187.2 mm	~154.6 mm	~101.0 mm
4점범위	169.0~181.8 mm	138.0~150.0 mm	91.0~98.0 mm
지지면적 만족도			
3점범위	~188.5 mm	~155.4 mm	88.5~101.4 mm
4점범위	172.0~182.0 mm	140.0~150.0 mm	92.4~98.0 mm
밀착정도 만족도			
3점범위	170.0~189.2 mm	138.0~156.0 mm	90.5~101.8 mm
4점범위	173.8~184.7 mm	141.3~152.8 mm	92.6~99.4 mm

■ 사이즈코리어 평균사이즈 범위

— 대표 피험자 사이즈

--- 만족도 3점에 해당하는 사이즈

--- 만족도 4점에 해당하는 사이즈

173.8~184.7 mm인 반면 압박 및 지지면적에 대한 만족 시 (4점 이상) 손둘레 범위는 174.0~181.8 mm으로 매우 좁게 나타났다. 즉, 손 둘레가 대표자 치수인 180.0 mm보다 약 2.0 mm이상 증가하여도 지지정도의 만족도는 우수하지만 압박에 대한 만족도는 보통이 되기 때문에 손둘레 상한값 설정이 매우 중요함을 알 수 있었다.

손목둘레의 경우, 모든 만족도 항목에서 3점(보통) 이상을 충족하는 손목둘레 범위는 138.0~154.0 mm로 나타났다. 또한, 만족도 4점(만족) 이상을 모두 충족하는 손 둘레 범위는 141.3~149.6 mm로 상대적으로 범위가 매우 좁아짐을 알 수 있었다. 특히, 손목둘레가 평균 범위를 초과할 경우 둘레치수가 커질 경우 만족도가 3점 미만으로 감소하였으며 특히 손목압박정도 및 밀착정도 만족도에서 현저히 감소하는 양상이 관찰되었다. 또한 다른 치수에 비해 손목 둘레의 경우 대표 피험자 치수인 144.0 mm보다 2.7 mm만 작아져도 손목 압박에 대한 만족도가 낮아짐을 알 수 있었다. 이를 통해 손목 부위의 국부적 압박 증가나 감소가 착용 불편감으로 직결될 수 있음을 예상해 볼 수 있었다.

손바닥길이 만족도 분석 결과, 모든 항목에서 만족도 3점 이상인 손바닥길이는 90.5~100.7 mm로 나타났으나, 만족도 4점 기준에서는 93.2~97.5 mm로 범위가 좁아졌다. 특히 압박이나 지지면적에 대한 만족도 항목의 경우에는 대표 피험자 치수인 97.0 mm보다 1.0 mm만 커져도 손목 압박에 대한 만족도를 보통으로 평가한 연구대상자가 있음을 알 수 있었다. 물론 주관적 만족도의 경우 개인적인 성향에 큰 영향을 받기 때문에 모든 연구대상자의 평가 값을 반영하는 것은 어려우나 전반적으로 살펴보았을 때, 지지강도에 대한 만족도의 경우 많은 평가자가 4점 이상으로 만족하고 있었던 반면, 압박정도나 지지면적에 대한 만족도는 사이즈가 적합하여도 3점 보통으로 평가한 연구대상자가 일부 있었음을 알 수 있었다. 이는 본 연구에서 개발된 손목보호대가 지지대 및 보호의 목적을 갖고 있기 때문에 발생된 현상으로 살펴볼 수 있다. 따라서 주관적 평가 결과가 보통(3점) 이상으로 평가된 사이즈 범위에서의 의복압 측정 값을 함께 분석하여 사이즈의 적합성을 검토하고자 하였다.

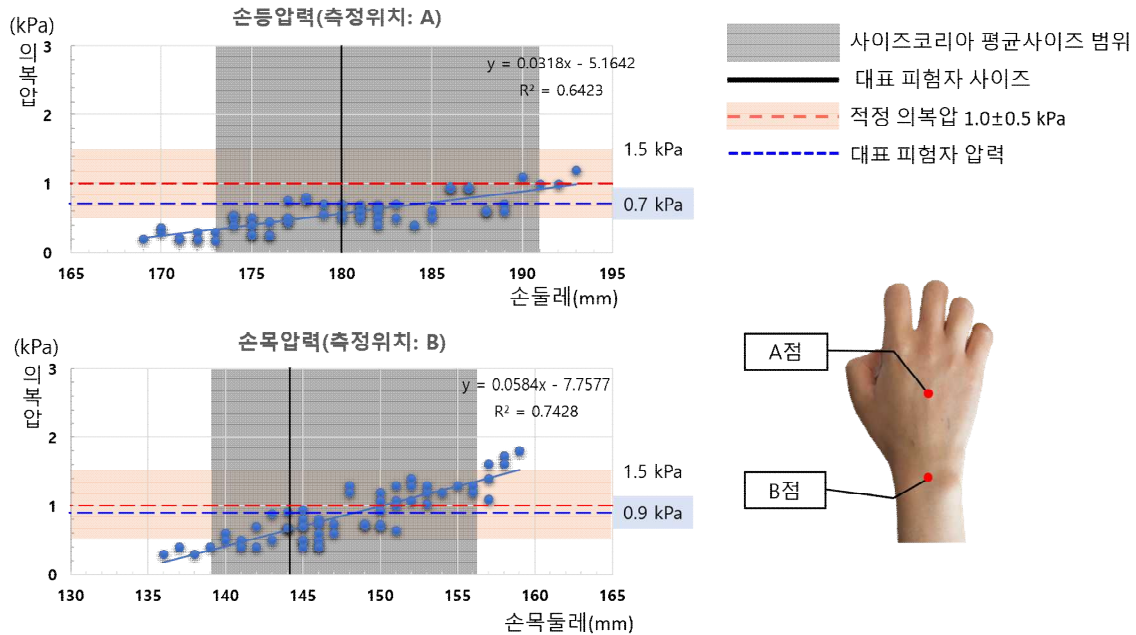
만족도 점수(3점 이상)를 기준으로 각 항목의 회귀곡선과 교차 구간을 종합한 결과, 손 항목별 보통 이상의 만족구간은 대체로 사이즈코리아 여성 평균 손 치수 범위(M그룹)와 어느정도 일치하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 사이즈 그룹별 착용감 평가에서 M그룹이 가장 높은 만족도를 보인 결과와도 일관된 경향이다. 본 연구에서 M그룹이 상

대적으로 높은 만족도를 보인 결과는 대표 치수를 기준으로 설계된 제품 특성이 반영된 결과로 해석될 수 있다. 그러나 본 연구의 목적은 특정 치수에서의 우수성을 확인하는 것이 아니라, 대표 치수를 기반으로 설계된 제품이 다양한 치수 범위의 사용자에게 어느 범위까지 적용 가능한지를 평가하는 데 있다. 종합적으로, 사이즈코리아 평균범위인면서 모든 항목의 만족도가 보통 이상으로 나타난 범위인 손둘레 약 173~187 mm, 손목둘레 약 139~154 mm, 손바닥길이 약 92~100 mm 범위가 손목보호대 착용 가능 범위로 판단된다.

2. 의복압 측정 결과

착용 적합성을 정량적으로 평가하기 위해 손등(A)과 손목(B) 부위에서 의복압을 측정하였으며, 손둘레 및 손목둘레에 따른 압력 분포 특성을 분석하였다[그림 4]. 또한, [그림 4]에 사이즈코리아 여성 평균 사이즈 범위와 대표 피험자 치수, 적정 의복압 기준(1.0 ± 0.5 kPa) 및 대표 피험자 착용시의 압력을 함께 제시하였다.

손등 부위의 의복압은 손둘레 증가에 따라 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 사이즈코리아 평균 손둘레 범위 내에서는 의복압이 대체로 0.5~1.0 kPa 수준으로 분포하였으며, 대부분의 측정값이 적정 의복압 기준(김양원, 2004; 백윤정, 최정화, 2007; 정연희, 2006)인 0.5~1.5 kPa 내에 위치하였다. 또한, 대표 피험자와 치수가 동일한 연구 대상자들이 개발된 3D 프린팅 손목보호대 착용 시 손등에서 측정한 의복압 최대값은 약 0.7 kPa로 확인되었다. 즉, 손등에서의 의복압을 살펴본 결과 손둘레가 평균 범위를 초과하는 구간에서는 일부 피험자의 의복압이 1.2 kPa로 증가하는 경향이 관찰되었으나, 이 역시 의복압 허용 한계인 1.96~3.92 kPa(백윤정, 최정화, 2007)을 넘지 않을 뿐 아니라 적정범위인 1.5 kPa 역시 넘지 않는 수준의 의복압임을 알 수 있었다. 손둘레와 손등압력의 회귀분석 결과, 설명변수인 손둘레 치수로 종속변수인 손등 부분의 압력을 통계적으로 설명할 수 있었으며($R^2=0.64$, $F=104.13$, $p<.001$), 전체 변동의 약 64%를 설명하는 높은 설명력을 보였다. 손둘레는 종속변수 손등압력에 유의한 영향 요인으로 확인되었고($\beta=0.032$, $p<.001$), 손둘레가 증가함에 따라 종속변수 값이 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, [그림 4] 손등압력 회귀식을 통해 의복압이 1.0 kPa일때와 1.5 kPa일때의 손 둘레를 예측해 보면 약 194 mm와 210 mm임을 알 수 있었다.



[그림 4] 의복압 측정 결과

손목 부위 의복압 역시 손목둘레 증가에 따라 상승하는 경향을 보였는데 그 상승 수준은 손등 부위에 비해 전반적으로 더 높은 압력 수준이었다. 그러나 사이즈코리아 평균 손목둘레 범위 내에 해당하는 연구대상자들의 손목압력은 주로 0.4~1.4 kPa 범위에 분포하였고, 대부분 적정 의복압 최대 기준인 1.5 kPa 이하를 유지하였다. 대표 피험자와 동일한 치수인 연구대상자들의 손목부분에서의 의복압 최대 값은 약 0.9 kPa로 나타나, 착용 시 과도한 압박 없이 안정적인 지지 상태가 유지될 수 있을 것으로 생각되었다. 그러나 사이즈코리아 손목둘레의 평균 범위를 초과하는 구간에서는 의복압이 빠르게 증가하여 일부 측정값이 1.5 kPa에 근접하거나 이를 초과하는 경향을 보였고 이는 손목 부위에서의 압박으로 인한 불편감이 발생될 수 있음을 예상해 볼 수 있다. 손목둘레와 손목압력의 회귀분석 결과, 회귀모형은 통계적으로 유의하였으며($F=167.47, p<.001$), 종속변수(손목압력) 변동의 약 74%를 손목둘레로 설명할 수 있는 것으로 나타났다($R^2=0.74$). 특히 손목둘레는 종속변수 손목압력에 대해 유의한 영향 요인으로 확인되었고($\beta=0.058, p<.001$), 손목둘레가 증가함에 따라 종속변수 값이 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 따라서, [그림 4]의 회귀식을 통해 의복압이 1.0 kPa일때와 1.5 kPa일때의 손목둘레를 예측해 보면 약 150 mm와 159 mm임을 알 수 있었다.

의복압 측정 결과와 주관적 착용감 평가 결과를 종합적

으로 비교한 결과, 사이즈코리아 평균 치수 범위인 M그룹에서는 손등 및 손목 부위에서 모두 적정 의복압 범위 내에서 압력이 분포되었으며, 이는 앞의 주관적 착용 만족도 결과 높은 지지/압박/밀착정도의 만족감을 보인 결과와 일관됨을 알 수 있었다. 특히 평균 치수 범위를 벗어날 경우 손목 부위를 중심으로 의복압이 급격히 증가하는 양상이 관찰되었으며, 이는 L그룹에서 주관적 압박 및 밀착 만족도가 낮게 나타난 결과와 일치됨을 알 수 있었다.

3. 착용 가능 사이즈 범위 제안

1) 주관적 착용감 평가를 통한 착용 가능 사이즈 범위

주관적 착용감 평가 결과 <표 3>에서 사이즈코리아 범위인 M그룹의 경우 손목압박정도를 제외하고 통계적으로 만족도 평균이 우수(4.0점 이상)하게 나타났다. 손목압박정도 만족도 역시 3.82점으로 보통 이상으로 우수하게 나타났다. 즉, 그룹별 평균값 결과 사이즈코리아 평균 범위인 M그룹 치수범위가 착용 가능 범위로 생각할 수 있다. 구체적으로 60명 연구대상자들의 데이터 <표 4>를 기반으로 한 착용감 평가 결과에서는 직접적인 관련성이 높은 지지정도에 대한 만족도와 압박정도에 대한 만족도를 기준으로 착용범위를 한정하였다. 지지정도에 대한 만족도의 경우 만족도가 높은 4점 이상을 착용범위로 한정하였고, 압박에 대한 만족도는 보통인 3점 이상을 착용범

위로 한정하였다.

3D 프린팅 기반 보조기에 대한 선행연구들을 살펴보면 (구다숨, 이정란, 2017; Choo et al., 2020), 보조기의 착용 쾌적감과 기능성은 구조적 지지대와 재료 특성이 복합적으로 작용하여 결정되는 것으로 보고되었다. 구다숨과 이정란(2017)의 연구에서 개발된 3D 프린팅 손목보호대는 유연한 PLA 필라멘트를 적용하여 사용상의 유연성 확보 및 보호 적합도 등이 4.0점, 3.7점으로 좋게 평가되었지만, 피부 접촉에 따른 착용감은 2.1점으로 낮게 나타나 착용감 평가 항목간에 차이가 존재함을 보여주었다. 또한, Choo et al.(2020)는 3D 프린팅 보조기 관련 선행연구들을 비교, 분석하여 기능적 성능과 착용 만족도가 재료 및 구조 설계에 따라 크게 달라질 수 있다고 하였다. 이러한 선행연구 결과를 종합하면, 착용감 평가는 단일 기준으로 판단하기보다는 항목별 특성을 고려하여 해석할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 압박감이 착용 거부 여부와 직접적으로 관련된 요소임을 고려하여 보통 수준(3점 이상)을 최소 수용 기준으로 설정하였다.

따라서 본 연구에서는 <표 5>에서 보는 바와 같이 사이즈코리아 평균인 M그룹 치수 범위와 지지정도 만족도 4점 이상, 압박정도 만족도 3점 이상을 착용 가능 범위 설정의 기준으로 적용하였다.

손둘레, 손목둘레, 손바닥 직선길이 사이즈 범위를 조건 별로 살펴본 후 3가지 조건에 모두 만족하는 범위를 착용 가능 사이즈 제안 범위로 정하였다. 그 결과 손 둘레는 173~185 mm, 손목둘레는 140~152 mm, 손바닥 직선길이는 92~99 mm로 나타났다.

2) 의복압 측정을 통한 착용 가능 사이즈

손둘레와 손목둘레에 따른 의복압 측정 결과 대표 피험자와 동일한 사이즈에 해당하는 연구대상자들의 최대 의복압은 측정점 A점에서 0.7 kPa, 측정점 B점에서 0.9 kPa로 나타났다. 이 압력은 선행연구에서 언급된 적정 의복압 기준인 0.5~1.5 kPa 내에 위치함을 알 수 있었다. 따라서 60명 연구대상자들의 데이터 [그림 4]에서 나온 회귀식을 기준으로 1.0 kPa이하일 때와 1.5 kPa이하일 때의 손둘레와 손목둘레를 계산하였다. 손둘레(X_1)에 따른 손등압력(Y_1)의 회귀식은 $Y_1=0.0318 \times X_1 - 5.1642$ ($R^2=0.64$)이었고, 손목둘레(X_2)에 따른 손목압력(Y_2)의 회귀식은 $Y_2=0.0584 \times X_2 - 7.7577$ ($R^2=0.74$)이었다.

계산 결과 <표 6>에서 보는 바와 같이 손등압력이 1.0 kPa이하일 경우 손둘레는 약 194 mm 이하였고 1.5 kPa이하일 때의 손둘레는 약 210 mm 이하임을 알 수 있었다. 또한, 손목압력이 1.0 kPa이하일 경우 손목둘레는 약 150 mm 이하였고 1.5 kPa이하일 때의 손목둘레는 약 159 mm 이하로 나타났다. 본 연구에서는 최적의 지지대 효과와 착용감을 갖는 손목보호대 사이즈 범위를 제안하는 것이 목표이기 때문에 적정 의복압 범위를 1.0 kPa이하로 선정하여 사이즈코리아 평균인 M그룹 치수 범위에 해당하면서 1.0 kPa이하에 해당하는 손둘레와 손목둘레를 적정 의복압 내 착용가능 범위로 정하였다. 그 결과, 손둘레는 173~191 mm, 손목둘레는 139~150 mm로 나타났다.

<표 5> 주관적 착용감 평가에 따른 착용 가능 사이즈 범위

(단위: mm)

	대표 피험자 사이즈	사이즈코리아 평균 범위	지지강도 만족감 평가(4점 이상) 착용 가능 사이즈	압박정도 만족감 평가(3점 이상) 착용 가능 사이즈	주관적 착용감 평가 착용 가능 사이즈 제안 범위
손둘레	180	173~191	172.0~185.0	169.0~187.0	173~185
손목둘레	144	139~156	139.6~152.0	137.0~154.0	140~152
손바닥 직선길이	97	92~100	91.7~99.4	90.0~100.7	92~99

<표 6> 주관적 착용감 평가에 따른 착용 가능 사이즈 범위

(단위: mm)

	대표 피험자 사이즈	사이즈코리아 평균 범위	적정 의복압 범위 착용 가능 사이즈		적정 의복압 내 착용가능 사이즈 제안 범위
			1.0 kPa 이하	1.5 kPa 이하	
손둘레	180	173~191	~194.0	~210.0	173~191
손목둘레	144	139~156	~150.0	~159.0	139~150

3) 3D 프린팅 손목보호대 착용 가능 사이즈 범위 제안

주관적 착용감 평가 결과와 의복압 측정 결과를 통해 착용 가능 사이즈 범위를 파악하였다. 주관적 착용감 평가를 바탕으로 한 착용 가능 사이즈 범위는 손둘레 173~185 mm, 손목둘레 140~152 mm, 손바닥 직선길이 92~99 mm로 제안하였으며, 의복압 측정 결과를 바탕으로 한 착용 가능 사이즈 범위는 손둘레 173~191 mm, 손목둘레 139~150 mm로 제안하였다. 이를 토대로 교차되는 범위인 손둘레 173~185 mm, 손목둘레 140~150 mm, 손바닥 직선길이 92~99 mm를 개발한 3D 프린팅 손목보호대의 착용 가능 사이즈 범위로 <표 7>과 같이 제안하고자 하였다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 20~30대 여성 평균사이즈 범위에 해당하는 대표연구대상자를 대상으로 제작된 3D 프린팅 손목보호대의 착용 적합성과 착용 가능 사이즈 범위를 파악하기 위해 다양한 손 치수 범위의 연구대상자에게 주관적 착용감 평가 및 의복압 실험을 진행하고, 이를 통해 사이즈 적합성을 검증하였다. 특히 사이즈코리아 평균 치수 범위를 기준으로 그룹을 구분하여 착용감 차이를 비교함으로써, 표준 치수 기반 보호대 설계의 타당성을 검토하였다.

주관적 착용감 평가 결과 사이즈코리아 평균 범위에 해당하는 M그룹은 손목 압박정도를 제외한 대부분의 착용감 항목에서 만족도 평균이 4.0점 이상으로 높게 나타났으며, 손목 압박정도 역시 3.82점으로 보통 이상으로 좋게 평가되었다. 이러한 결과는 평균 치수 범위에 해당하는 착용자가 보호대 착용 시 만족할만한 지지 효과를 줄 수 있으면서 과도한 압박으로 인한 불편감이 없을 것을 예상할 수 있었다. 이러한 경향은 3D 프린팅 제품은 아니지만 일반적인 보호대 및 압박형 착용제품 착용 시 지지감과 압박감이 차

용 만족에 중요한 영향을 미친다는 기존 연구와 유사한 양상을 보인다(이희옥 외, 2023; Cipriani et al., 2014; MacRae et al., 2011; Troynikov et al., 2010). 구다숨과 이정란(2017)의 연구에서는 3D 프린팅 손목보호대의 사용 편의성 및 보호 적합도는 비교적 긍정적으로 평가된 반면, 피부 접촉에 따른 착용감은 낮게 나타나 착용감 평가 항목 간 차이가 존재함을 보여주었다. 또한 Choo et al.(2020)는 3D 프린팅 보조기의 기능적 성능과 착용 만족도가 재료 및 구조 설계에 따라 크게 달라질 수 있음을 보고하였다. 이러한 결과는 본 연구에서 지지감과 압박감을 서로 다른 기준으로 적용한 결과와 관련된 것으로 볼 수 있다. 다만 해당 선행연구들은 다양한 신체 부위 및 조건을 대상으로 수행되었기 때문에 본 연구의 손목 부위 및 3D 프린팅 구조와는 적용 범위에 차이가 있을 수 있을 것이다.

다양한 손치수를 갖는 60명을 대상으로 손 항목별 치수와 주관적 착용 만족도 간의 관계를 분석한 결과, 손둘레·손목둘레·손바닥길이에 따라 만족도가 일정 구간까지 증가한 후 감소하는 비선형적 분포 특성이 확인되었다. 특히 평균 치수 범위에 해당하는 피험자일수록 전반적인 착용 만족도가 높게 나타났으며, 평균 범위를 초과할수록 만족도가 감소하는 경향을 보였다. 지지강도 만족도 3항목에서는 4점 이상을 기준점으로 잡았고, 압박 만족도 2항목에서는 3점 이상을 기준으로 잡아 주관적 만족도 결과 회귀곡선 교차 구간의 사이즈 범위를 종합하여 본 결과, 교차범위의 대부분은 사이즈코리아 여성 평균 손 치수 범위(M그룹)와 유사하게 나타나는 것을 살펴볼 수 있었다. 이에 본 연구에서는 평균 손 치수 범위, 지지정도 만족도 4점 이상과 압박정도 만족도 3점 이상을 착용 가능 범위 설정의 기준으로 적용하였으며 손둘레 약 173~185 mm, 손목둘레 약 140~152 mm, 손바닥길이 약 92~99 mm 범위를 손목보호대의 착용 가능 범위로 제안하며, 이는 주관적 착용감 평가를 기반으로 한 합리적인 사이즈 설정 기준으로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

<표 7> 3D 프린팅 손목보호대 착용 가능 사이즈 범위

(단위: mm)

	주관적 착용감 평가 착용 가능 사이즈 범위	의복압 측정을 통한 착용 가능 사이즈 범위	3D 프린팅 손목보호대 착용 가능 사이즈 범위
손둘레	173~185	173~191	173~185
손목둘레	140~152	139~150	140~150
손바닥 직선길이	92~99	-	92~99

또한, 손등과 손목 부위의 의복압을 측정하여 손 치수에 따른 압력 분포 특성을 분석한 결과 두 부위 모두 손둘레 및 손목둘레 증가에 따라 의복압이 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 사이즈코리아 여성 평균 치수 범위(M그룹)에서는 손등과 손목 부위 모두 적정 의복압 범위 내에서 압력이 분포하였으며, 이는 주관적 착용감 평가에서 나타난 높은 지지·압박 만족도 결과와 일관된 경향을 보였다. 반면 평균 치수 범위를 초과할 경우, 특히 손목 부위를 중심으로 의복압이 급격히 증가하는 양상이 관찰되었고, 이는 주관적 평가에서 압박 만족도가 낮게 나타난 결과와도 부합하였다. 이러한 결과는 손둘레와 손목둘레가 의복압에 유의한 영향을 미치는 주요 요인임을 보여주며, 평균 치수 범위를 기준으로 한 사이즈 설정이 착용 적합성과 착용 만족도를 동시에 확보하는 데 중요함을 시사한다. 더 나아가 손등 및 손목 부위의 의복압과 손둘레/손목둘레 간의 관계를 회귀분석을 통해 분석하고, 이를 바탕으로 각 부위의 의복압을 설명하는 회귀식을 도출하였다. 도출된 회귀모형을 이용하여 적정 의복압 기준(0.5~1.5 kPa) 중 1.0 kPa 이하를 착용 적합 범위로 설정하여 이와 평균 치수 범위(M그룹) 모두에 해당하는 부위를 적정 사이즈 치수 범위로 산정한 결과, 손둘레는 173~191 mm, 손목둘레는 139~150 mm으로 나타났다.

종합적으로 주관적 착용감 평가 결과와 의복압 측정 결과를 통해 착용 가능 사이즈 범위를 분석한 결과 손둘레 173~185 mm, 손목둘레 140~150 mm, 손바닥 직선길이 92~99 mm를 제안할 수 있었다. 이는 사이즈코리아 20~30대 여성 손둘레 20~75분위, 손목둘레 21~65분위, 손바닥 직선길이 22~74분위 범위에 해당된다. 즉, 본 연구에서 제작된 3D 프린팅 손목보호대 착용 시 사이즈코리아 20~30대 여성 손 사이즈의 22~65분위 범위 내에 해당하는 경우 착용 만족감 뿐만 아니라 압박에 의한 불편함 없이 착용이 가능할 것이라 생각할 수 있다.

이러한 연구결과는 추후 다양한 제품에 대한 사이즈 적합성 검증 연구를 통해 3D 프린팅을 통해 개발되는 제품의 사이즈 범위 가이드 라인을 사이즈코리아 데이터를 기준으로 제안할 수 있을 것이라 예상된다. 본 연구는 3D 프린팅을 이용하여 제작한 손목보호대를 대상으로 다양한 손 치수를 가진 사용자 집단을 기반으로 사이즈 적합성을 체계적으로 분석하고, 손 치수와 착용 만족도 간의 관계를 정량적으로 제시하였다는 점에서 의의가 있다고 생각된다. 특히 주관적 착용감 평가와 의복압 측정을 통합적으로 분석

하여 손목보호대의 착용 적합성을 평가하고, 이를 기반으로 적정 착용 사이즈 범위를 제안하였다는 점에서 기존 연구와 차별성이 있다고 본다. 또한, 이러한 결과는 단순한 사이즈 확대 또는 축소가 아닌, 여성 평균 손 치수를 중심으로 한 정밀한 사이즈 설계의 필요성을 뒷받침하며, 향후 3D 프린팅을 활용한 개별 맞춤형 제품의 활용 가능성을 제시했다고 생각된다.

다만 본 연구에서는 둘레 및 길이 중심의 치수를 기반으로 분석을 수행하였기 때문에 개인별 손 체형을 세분화하여 반영하지 못한 한계가 있다. 따라서 추후 연구에서는 손등과 손바닥의 연부조직 두께 차이, 손목 단면 형상과 같은 개인별 손 체형을 보다 세분화하여 설계에 가이드 제안이 가능할 것으로 생각된다. 또한, 본 연구는 주관적 착용감 평가와 의복압만으로 분석이 이루어졌다는 한계가 있으므로, 향후 연구에서는 혈류 변화, 근활성도 등 더 다양한 객관적 생리·역학적 지표를 함께 고려한 종합적 분석이 필요할 것으로 판단된다. 뿐만 아니라, 본 연구에서는 비교적 단시간 착용 조건에서 평가가 이루어졌기 때문에 장시간 착용 조건이나 반복 동작 수행 상황을 포함한 착용 지속성, 피로 누적 효과 등을 검증하는 후속 연구도 필요할 것으로 생각된다. 따라서 향후 연구에서는 이러한 생리적 지표를 포함한 다차원적 평가를 통해 보호 장비 착용 효과를 보다 체계적으로 분석 및 검증할 필요가 있을 것으로 생각된다. 본 연구는 키보드 및 마우스 사용을 중심으로 한 제한된 손목 동작 조건에서 평가가 이루어졌다는 점에서 다양한 작업 환경으로 결과를 일반화하는 데에 한계가 있다. 또한, 그룹별 표본 수가 균등하지 않고 일부 그룹의 표본 수가 제한적인 한계가 있으므로, 본 연구 결과를 전체 집단으로 일반화하는 것 역시 신중한 해석이 필요할 것으로 생각된다. 따라서 향후 연구에서는 회전, 굴곡, 반복 하중이 동반되는 다양한 손목 동작 및 작업 환경을 포함한 검증이 필요할 것이며, 그룹별 균등한 표본 수로의 재검증이 이루어진다면 연구 결과를 보다 넓은 범위로 일반화 할 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 결과는 단순한 사이즈 확대 또는 축소가 아닌, 여성 평균 손 치수를 중심으로 한 정밀한 사이즈 설계의 필요성을 뒷받침하며, 향후 3D 프린팅을 활용한 개별 맞춤형 제품들의 다양한 활용 가능성을 보여준 결과로 생각된다.

주제어: 손목보호대, 3차원 프린팅, 사이즈 적합성, 의복압, 주관적 착용감 평가

REFERENCES

- 구다습, 이정란(2017). 3D 스캐너와 3D 프린터를 활용한 손목보호대 개발. *한국의류산업학회지*, 19(3), 312-319.
- 김도엽(2022). 3D프린팅디자인에 대한 다학제적 연구동향 분석. *한국과학예술융합학회*, 40(4), 33-43.
- 김선영(2022). 3D 프린팅 패션 관련 국내 학술연구 동향. *한국디자인포럼*, 27(2), 103-114.
- 김양원(2004). 평상복 착용시 인체의 자세가 의복압에 미친 영향. *한국생활과학회지*, 13(1), 153-158.
- 김영규(2023). VDT 작업환경의 평가 자세와 측정 요인에 관한 연구. 호서대학교 박사학위논문.
- 류다미, 민정의, 이희란(2024). 손목터널증후군 예방 및 증상 완화를 위한 3D 프린팅 손목보호대 개발 -20-30대 여성을 대상으로-. *한국의류학회지*, 48(5), 916-930.
- 박소영, 이희란, 이예진(2019). 3차원 모델링과 프린팅에 기반한 사이클복 살 보호대의 프로토타입 제안. *한국생활과학회지*, 28(2), 147-157.
- 박예은, 이선희(2023). FDM 3D 프린팅을 이용한 힌지 접합 구조체의 압축 특성에 관한 연구. *한국섬유공학회지*, 60(4), 256-263.
- 박정현, 이정란(2014). 낙상충격보호복 개발을 위한 선호도 조사에 관한 연구-50~70대 여성을 대상으로-. *한국의류산업학회지*, 16(1), 101-110.
- 박정현, 이진숙, 이정란(2022). 동작 가변적 3D 프린팅 충격보호패드의 설계. *복식문화연구*, 30(3), 403-413.
- 백윤정, 최정화(2007). 거들과 올인원의 의복압 측정부위 선정에 관한 연구. *한국지역사회생활과학회지*, 18(4), 609-616.
- 사이즈코리아(2021). 제8차 인체치수조사 사업보고서, <https://sizekorea.kr/human-info/meas-report?measDegree=8>에서 인출.
- 이남철, 이인석, 박재희, 김민욱(2011). 컴퓨터 작업 특성에 따른 손과 손목의 동작 분석. *대한인간공학회 2011 춘계학술대회논문집*(pp.45-48), 서울, 한국.
- 이옥경, 김소영, 이예진, 이희란(2023). 3D 프린팅 보호대 개발을 위한 재료와 구조에 따른 열전달 평가. *한국의류산업학회지*, 25(4), 497-507.
- 이효정, 엄란이, 이예진(2015). 피부길이변화를 고려한 3차원 다리보호대 모델링. *한국생활과학회지*, 24(4), 555-569.
- 이효정, 엄란이, 이예진(2017). 사이즈 적합성과 효율성이 향상된 야구 다리보호대 개발을 위한 그레이딩 편차 선정. *한국의류학회지*, 41(1), 184-195.
- 이효정, 이예진(2016). 초등학교 저학년용 스포츠 보호대의 제품 특성 분석 및 착용감 평가. *한국생활과학회지*, 25(6), 787-800.
- 이희란, 김소영, 홍경희(2016). 제품의 신장특성을 고려한 네오프렌 소재의 3D 라이프자켓 설계. *한국섬유공학회지*, 53(3), 189-198.
- 이희란, 홍경희, 김양원, 박세진(2013). 거들 및 웨이스트 니퍼 착용에 의한 의복압 평가 및 관련된 착용변인. *감성과학*, 16(1), 1-10.
- 이희옥, 박정현, 이정란(2023). 3D 프린팅 패드를 활용한 무릎 보호대의 설계 및 평가. *한국의류산업학회지*, 25(2), 221-229.
- 정연희(2006). 인체의 3차원 스캔 데이터를 이용한 밀착바디 슈트 개발. *한국생활과학회지*, 15(3), 481-490.
- 정현주, 이희란, 정인희(2022). 요가용 3차원 무릎보호대 개발 및 평가. *한국의류학회지*, 46(4), 657-671.
- 조문주(2014). 여자 청소년의 브래지어 착의 실태 및 사이즈 적합성 연구. 연세대학교 석사학위논문.
- 조신현(2019). 시판 맞춤형 화상환자 압박복의 의복압 분석-20대 남성 상의를 대상으로-. *한국의상디자인학회지*, 21(4), 55-67.
- 천종숙, 김옥빈(2012). 거들 착용에 따른 의복압과 신체치수 변화 및 거들 사이즈 개선 방안. *복식문화연구*, 20(6), 799-810.
- 최현우, 강인영, 노건우, 서안나, 이종민(2019). 3D 프린트를 통해 제작된 손목 보조기의 유효요소해석. *한국방사선학회 논문지*, 13(7), 947-953.
- 현은정(2023). 국내 3D 프린팅 기술 응용분야 확산에 관한 연구-조형문화예술, 광고 산업 분야를 중심으로-. *문화융합*, 45(3), 523-540.
- MfgRobots(n.d.). 적층 제조가 스포츠 용품 산업을 변화시키는 방법, https://ko.mfgrobots.com/mfg/it/1008031338.html#google_vignette에서 인출.
- Naver shopping(2026a). 스키 보드 3D 프린팅 엉덩이 무릎 보호대 세트 / 스키장 넘어짐 충격 보호 스포츠 용품, <https://smartstore.naver.com/jinhwashop/products/12922456248?nl-query=3D%20ED%94%84%EB%A6%B0%ED%8C%85%20EB%AC%B4%EB%A6%8E%EB%B3%B4%ED%98%B8%E>

- B%8C%80&nl-au=5510d471cafc4b06be4c6f7a598f644c&NaPm=ci%3D5510d471cafc4b06be4c6f7a598f644c%7Cct%3Dmnprkts%7Ctr%3Dnslsl%7Csn%3D12158784%7Chk%3D62d2558531bac57a8798c7f1d3cd3e9bda285a94에서 인출.
- Naver shopping(2026b). GY 하키 3D 프린팅 텍컵 밋 텍 스트랩 세트 2가지 스타일 스포츠 헬멧 패드 가드 교체 액세서리 경량 통기성 Black+, <https://smartstore.naver.com/rainbowfresh/products/13232479832?nl-ts-pid=jOfGBLqV13ZssQPTeco-448983&NaPm=ct%3Dmnobs3hd%7Cci%3DER42aa8207%2D3257%2D11f1%2Da35e%2D2e74bb53cba3%7Ctr%3Dpla%7Chk%3Db27b31694c06834dfbf49f2d15f2d603376b5bee%7Cnacn%3DooX3BkwWFAfwB>에서 인출.
- Alrasheedi, N. H., Tlija, M., Elloumi, N., & Louhichi, B. (2025). A critical review of 3D printed orthoses towards workflow implementation in the clinical practice. *Journal of Engineering Research*, 13(2), 1038-1051.
- Bouman, A. C., Ten Cate-Hoek, A. J., Dirksen, C. D., & Joore, M. A. (2016). Eliciting patients' preferences for elastic compression stocking therapy after deep vein thrombosis: Potential for improving compliance. *Journal of Thrombosis and Haemostasis*, 14(3), 510-517.
- Choo, Y. J., Boudier-Revéret, M., & Chang, M. C. (2020). 3D printing technology applied to orthosis manufacturing: Narrative review. *Annals of Palliative Medicine*, 9(6), 4262-4270.
- Cipriani, D. J., Tiffany, S. Y., & Lyssanova, O. (2014). Perceived influence of a compression, posture-cueing shirt on cyclists' ride experience and post-ride recovery. *Journal of Chiropractic Medicine*, 13(1), 21-27.
- Fang, J.-J., Lin, C.-L., Tsai, J.-Y., & Lin, R.-M. (2022). Clinical assessment of customized 3D-printed wrist orthoses. *Applied Sciences*, 12(22), 11538.
- Fortune Business Insights (2024). 3D Printing Market Size, Share & Industry Analysis, By Component (Hardware, Software, and Services), By Technology (FDM, SLS, SLA, DMLS/SLM, Polyjet, Multi Jet Fusion, DLP, Binder Jetting, EBM, CLIP/CDLP, SDL, and LOM), By Printing Type (Desktop 3D Printer and Industrial 3D Printer), By Material Type (Metal, Polymer, and Ceramics), By Application (Prototyping, Production, Proof of Concept, and Others), By End User (Automotive, Aerospace and Defense, Healthcare, Architecture and Construction, Consumer Products, Education, and Others), and Regional Forecast, 2025-2032. Fortune Business Insights. Retrieved from <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/3d-printing-market-101902>.
- Hertzog, M. A. (2008). Considerations in determining sample size for pilot studies. *Research in Nursing & Health*, 31(2), 180-191.
- Kim, S., Lee, H., Hong, K., & Lee, Y. (2015). Use of three-dimensional technology to construct ergonomic patterns for a well-fitting life jacket of heterogeneous thickness. *Textile Research Journal*, 85(8), 816-827.
- Lekeckas, K., Stirbe, J., Ancutiene, K., & Valusyte, R. (2023). Testing of 3D printing on textile fabrics for garments application within circular design. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 35(4), 627-647.
- MacRae, B. A., Cotter, J. D., & Laing, R. M. (2011). Compression garments and exercise: Garment considerations, physiology and performance. *Sports Medicine*, 41(10), 815-843.
- Park, J. H., & Lee, J. R. (2019). Developing fall-impact protection pad with 3D mesh curved surface structure using 3D printing technology. *Polymers*, 11(11), 1800.
- Popescu, D., Iacob, M. C., Tarbă, C., Lăptoiu, D., & Cotruț, C. M. (2024). Exploring a novel material and approach in 3D-printed wrist-hand orthoses. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(1), 29.
- Troynikov, O., Ashayeri, E., Burton, M., Subic, A., ... & Marteau, S. (2010). Factors influencing the effectiveness of compression garments used in sports. *Procedia Engineering*, 2(2), 2823-2829.

- Wu, S., Zeng, T., Liu, Z., Ma, G., ... & Zhou, Z. (2022). 3D printing technology for smart clothing: A topic review. *Materials*, 15(20), 7391.
- Xiao, Y.-Q., & Kan, C.-W. (2022). Review on development and application of 3D-printing technology in textile and fashion design. *Coatings*, 12(2), 267.
- Zhou, M., Sun, C., Naghavi, S. A., Wang, L., ... & Liu, C. (2024). The design and manufacturing of a Patient-Specific wrist splint for rehabilitation of rheumatoid arthritis. *Materials & Design*, 238, 112704.

Received 23 January 2026;

1st Revised 28 April 2026;

Accepted 04 May 2026