

패션비즈니스 제26권 2호

ISSN 1229-3350(Print)
ISSN 2288-1867(Online)

J. fash. bus. Vol. 26,
No. 2:129-142, May. 2022
[https://doi.org/
10.12940/jfb.2022.26.2.129](https://doi.org/10.12940/jfb.2022.26.2.129)

Corresponding author

Jooyong Kim
Tel : +82-2-820-0631
Fax : +82-2-817-8349
E-mail : jykim@ssu.ac.kr

스트레치 센서를 이용한 스쿼트 시 발목 가동범위 체크 센서 양말에 관하여 -20대 후반 남성을 중심으로-

송관우* · 박진희 · 김주용†

*송실대학교, 스마트웨어블공학과 · 송실대학교, 유기신소재파이버공학과 · †송실대학교, 유기신소재파이버공학과

Using a Stretch Sensor About of Squat Ankle Range of Motion Check Socks -Focusing on Men in Their Late 20s-

Kwanwoo Song* · Jinhee Park · Jooyong Kim†

*Dept. of Smart Wearable Engineering, Soongsil University, Korea

Dept. of Organic Materials and Fiber Engineering, Soongsil University, Korea

†Dept. of Organic Materials and Fiber Engineering, Soongsil University, Korea

Keywords

range of ankle motion,
clothing-type wearable products,
smart socks, stretch sensor,
CNT dispersion solution
발목 가동 범위,
의류형 웨어러블 제품,
스마트 양말, 스트레치 센서,
CNT 분산용액

이 (성과물)은 산업통상자원부 '산업혁
신인재성장지원사업'의 재원으로 한국
산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아
수행된 연구임(2022년 산업 융합형
웨어러블 스마트 디바이스 전문인력
양성사업, 과제번호 : P0002397)

Abstract

The purpose of this study is to develop socks to check the range of ankle movement during squats for men in their late 20s. Sensors of 6, 8, and 12 mm were selected, and each sample was impregnated 1 to 3 times. It was prepared using a CNT dispersion, and the GF value was measured using UTM. Among them, the sample with 2 impregnation showed the best GF value. As a result of applying each sample to the socks, the 12 mm sensor was wider than the area of the Achilles tendon, resulting in noise, and the 8 mm sensor was higher than the tensile strength of the socks, resulting in a decrease in the graph. Therefore, testing was performed using a 6 mm sensor. In order to determine the effectiveness of the sensor, the normal operating range was checked through squats, and significant changes were confirmed when the operating range was checked again through squats by performing operations that can increase the operating range through Gastrocnemius, Soleus stretching, and low lunge. Using the results of this study, it is expected that the average value of the ankle movement range of the user is checked prevent injury, to be provided as basic data for the production of shoe products and the promotion of physical health.

1. 서론

1. 발목 가동 범위의 중요성

2019년도 말 중국 후베이성 우한시를 시작으로 발발한 코로나바이러스 감염증(COVID-19)은 우리나라에도 전파되어 외부활동을 제한시키면서 많은 사회적 변화를 초래했다. 특히 COVID-19는 사회적 거리두기를 통해 피트니스산업에 많은 타격을 주었고, 피트니스 업계는 정부로부터 폐쇄, 제재, 연기 조치를 당했으며, 그로 인해 피트니스 산업 인구는 줄어들고 해당 업계 운영자들 역시 큰 타격을 입을 수밖에 없었다(Nam, 2020). 그러나, 이런 상황에도 현대인들의 라이프 스타일은 웰빙을 중요시 하고 있다. 사회적 거리두기를 하는 동안 온라인 매체를 통해 운동을 하는 것이 personal training(PT)에 비해 사람들의 신체활동에 부정적인 영향을 미치지 않았기 때문에 COVID-19 동안 건강과 관련된 행동을 온라인으로 하는 것도 사람들의 신체활동을 증가시킬 수 있다고 하였다(Moreira-Neto, Martins, Miliatto, Nucci, & Silva-Batista, 2021). 15000여명의 연구대상자를 대상으로 홈트레이닝에 대한 선호도를 설문지 형태로 조사하였을 때, 전체 대상자중 68.4%가 홈트레이닝에 관심을 가지고 있었으며, 대부분의 대상자가 매주 3회 이상 운동에 참여할 의사를 나타냈다고 보고된 바 있다(Yoo, Beak, & Kim, 2021).

하체는 인체가 활동을 하는데 있어 가장 큰 영향을 미치는 부위 중 하나이다. 홈트레이닝 중 간단하게 할 수 있는 대표적인 맨몸 운동으로는 스쿼트를 꼽을 수 있다. 스쿼트는

복합 관절 운동 중 하나로 하지와 코어 근육들의 강력한 수축을 유발하는 대표적 저항성 운동 중 하나이며, 역학적이면서도 발목과 고관절의 굴곡을 동반하는 운동이다. 스쿼트 동작은 개인의 신체적 특성에 따라 동작을 수행하는 능력에 차이를 보이게 되는데, 발목의 가동 범위가 늘어나는 것 만으로도 동작 수행 능력이 크게 증가 되는 것으로 보고 되었다(Figure 1)(Lee, Park, Lim, & Kwon, 2020).

이와 같이 발목 관절은 일반인의 일상생활이나 규칙적인 운동 시 감각 피드백과 수집, 균형 및 자세 제어에 있어 매우 중요한 요소이다. 이러한 발목 관절의 기능 저하와 함께 움직임 제한 및 손실은 일상생활에 있어 매우 큰 근골격계 손상의 원인이 된다. 연구에 의하면 발목의 제한된 관절가동 범위(range of motion, ROM), 또는 동적 안정성(dynamic stability)의 결손을 갖고 있는 경우에는 하지 부상의 위험성과 보행 장애를 증가시킨다고 보고되었으며, 미국에서는 하루에 약 2만 5천 건 이상의 발목 염좌(ankle sprain)가 발생하면서 이러한 손상과 그에 따르는 증상으로 인하여 많은 시간적 손실 및 신체 활동 감소, 그리고 삶의 질 저하 등을 일으키는 것으로 조사되었다(Beak, Kim, Kang, & Kim, 2021). 따라서, 발목 관절의 기능을 향상시키며, 관리 하는 것은 일상 생활이나 운동 시 발목 관절의 기능 증가 및 부상 예방에 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

2. 텍스타일형 센서와 CNT(Carbon Nano Tube)

텍스타일 센서(textile sensor)는 직물에 전기전도성을 부여하여 동적 모니터링을 가능토록 해준다. 전기전도성을 가진



Figure 1. Effect of ankle range of motion on posture during squat (<https://tistory.com>)

텍스타일 센서는 압력 센서, 인장 센서 등 다양한 방면에서 사용되며, 웨어러블 기기의 특성상 높은 착용감과 기능을 동반한다. 이는 사람의 생체 신호를 포함한 동적 모니터링을 사용하는데 매우 용이하다(Yun, Kim, & Kim, 2021). 이러한 텍스타일을 센서화 하기 위해서는 전기 전도성을 부여하여야 한다. 전기 전도성을 부여하기 위해 사용되는 전도성 물질은 크게 금속계, 비금속계 물질로 나뉜다. 그중 비금속계 물질은 대표적으로 그래핀과 탄소나노튜브(CNT)가 있다(Jang, Park, & Kim, 2021).

비금속계 물질 중 CNT는 흑연판(graphene sheet)을 원통형으로 말아 만든 튜브의 형태이며, 이는 나노미터 스케일 크기를 가진 카본나노소재 종류 중 하나이다. 이 때 그래핀 한 층을 만 것처럼 벽이 하나인 것은 SWCNT(Single-walled carbon nanotube)이고 여러 층의 그래핀을 만 것처럼 여러 층의 벽을 가지고 있는 것은 MWCNT(Multi-walled carbon nanotube)라고 한다. 그래핀 두 층을 만 형태인 DWCNT(Double-walled carbon nanotube)라고 분류하기도 한다(Figure 2).

탄소나노 튜브는 다른 탄소재료보다 낮은 밀도를 가지며, 길이와 직경비(aspect ratio)가 크고 강도가 높은 합금의 수십 배에 이르는 높은 기계적 강도와 화학적 안정성, 우수한 유연성 등의 특성을 가지고 있다(Jang et al., 2021). 또한 구리 이상의 높은 전기 전도성을 가지는 우수한 전기적 특성과 비교적 간단한 합침, 패딩 건조라는 제조과정을 통해 센서를 만들어 낼 수 있다. 이러한 우수한 특성을 바탕으로 나노복합재료 분야에서 충전 필러 소재로 활용되어 활발한 연구가 진행되고 있다(Lee & Jung, 2008).

3. 스트레치 센서(Stretch Sensor)

최근 웨어러블 디바이스 기술 발전에 따라 전자기기들의 웨어러블 기술 및 IoT 기술이 급성장 하였으며, 유연성을 넘어 신축성이 있는 전자소재에 대한 관심이 크게 증가하고 있는 실정이다. 이러한 신축성 있는 전자 소재는 신체의 움직임을 감지하며 관절이나 근육의 모니터링에 매우 유용하게 사용된다. 신체의 모니터링을 위해 센서가 의복의 근육 부위 와 관절에 접촉해야 하는데, 센서 접촉 시 동작에 방해를 주지 않기 위해서는 신축성이 있는 재료가 센서에 적용되어야 한다(Figure 3.) (Lee, 2020).

Figure 4 처럼 신체의 동작 모니터링 의류는 움직임에 따라 유연한 길이 변화의 스트레인 게이지가 요구되는데 스트레치 센서는 이러한 길이 변형에 대해 전기저항이 변화하는 것을 이용하는 센서이다. 스트레치 센서는 신장성이 좋은 직물을 사용하여 초기 저항을 보유하고, 신장에 따라 저항이 변화되는 특성을 이용하여 길이가 변화할 때 저항의 변화로 인식하여 그에 따른 수치를 계산한다(Jang et al., 2021). 이 때 센서의 성능 평가에 있어서 중요한 요소 중 하나인 민감도는 게이지율(Gauge factor, GF)을 사용하는데(Figure 5), 게이지율은 민감도에 관한 정보를 얻는데 매우 중요한 파라미터이다. 또한 민감도는 센서에서 기계적인 자극이 발생한 스트레인 변화 대비 전기적 저항 또는 정전용량의 변화를 나타내며 높은 민감도를 가질수록 우수한 스트레치 센서로 평가되고 있다(Roh, 2016).

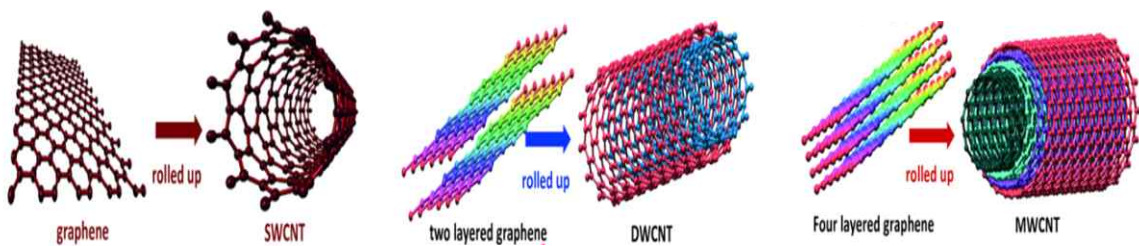


Figure 2. Difference between single, double and multi carbon nanotubes (https://www.google.com)



Figure 3. Athos Core(A product that can monitor the amount of exercise through sensors.)
(<https://livehome.me>)



Figure 4. Athos (Smart clothing that allows personal training through body movement)
(<https://www.econovill.com>)

$$Gauge\ factor = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\frac{\Delta l}{l_0}}$$

- l_0 : Original Length
- ΔI : Absolute Change in Length
- R_0 : Original (Initial) Resistance
- ΔR : Absalute Change in Resistance

Figure 5. Gauge Factor
(taken by authors)

4. 웨어러블 시장의 현황

2016년도 이전에는 중 저가형의 심플한 손목 밴드와 자체 앱으로만 구동되는 베이직 스마트워치를 중심으로 시장이 급증해 양적인 성장이 이루어졌다면(Figure 6), 최근에는 양적인 면은 다소 둔화되었으나 전문 의료 서비스, 헬스케어 등의 기능을 다양화한 고급형 스마트 기기가(Figure 7) 다수 개발되면서 질적인 성장이 이루어지고 있다(Jung, 2018). 스마트 웨어러블 디바이스 혹은 시스템이라는 이름으로 불리는, 착용할 수 있는 기술은 유비쿼터스 컴퓨팅 분야와 착용할 수 있는 컴퓨터의 역사와 개발에 깊은 관련이 있다고 할 수 있다. 이러한 스마트 웨어러블 기술은 스마트폰의 급속한 발전과 더불어, IoT(사물인터넷, Internet of things)와 개념

이 융합됨으로써 사물과 사람이 네트워크를 통해 정보를 공유할 수 있게 되었다. 이로써 컴퓨터 안에서만 가능했던 네트워크 기능들이 다양한 사물에 적용되어 스마트 웨어러블이 디바이스란 새로운 개념으로 세상에 등장했다(Heo, Jo, & Park, 2015).

또한 21세기 현대인들의 건강관리에 관한 관심이 커지면서 나노소재를 기반으로 하는 웨어러블 제품들이 본격적으로 소개되었고, 다양한 연령층을 대상으로 생체정보를 수집하고 건강관리 서비스를 제공하는 웨어러블 헬스케어 상품들이 시장에 대거 나오기 시작했다. 이용자의 생활 패턴이나 여러가지 생체정보를 확인 할 수 있는 의류형 웨어러블 제품의 활용도가 점점 커지고 있으며, 해당 분야에 대한 기술 개발의 수요 또한 증가하고 있어, 새로운 스마트 헬스케어의



Figure 6. Wearables and Healthcare
(<https://www.hkn24.com>)



Figure 7. Exorihab Rehabilitation Exercise Wearable
(<https://ko.exosystems.io>)

변화를 가져오는 중이다.

따라서, 본 연구는 CNT분산액을 재료로 제작한 텍스타일형 스트레치 센서를 활용하여 양말에 가장 좋은 민감도를 가진 센서를 적용함으로써, 일반인이 홈트레이닝을 하고자 할때, 발목 가동범위를 간편하게 측정 및 문제를 스스로 인지하고, 스트레칭 등 적절한 조치를 취할 수 있도록 도움을 줄 수 있는 최적의 스트레치 센서를 제작 하고자 한다.

II. 연구방법 및 절차

본 연구에서는 스트레치센서용으로 각기 폭이 다른 3가지 (6mm, 8mm, 12mm) elastic band(E-band)를 선정하고, 시료를 CNT 분산액을 이용해 시료에 전도성을 부여 하였다. 함침 횟수의 차이를 두어 제작된 센서는 UTM 기기를 사용해 GF 값을 측정하였고, 그 중 가장 우수한 GF값을 가진 센서를 사용하였다.

발목 가동 범위에 큰 영향을 미치는 아킬레스건 부위에 센서를 전도사로 양말에 고정하였고, 양말 선정은 센서의 인장강도에 의해 스쿼트 동작시 양말이 같이 움직이지 않을 정도에 적당한 두께와, 발목을 타이트하게 잡아 줄 수 있는 양말로 선정하여 프로토타입을 제작하였다.

연구방법은 스트레치 센서가 부착된 양말을 착용하여 폴 스쿼트로 인한 발목 가동 범위 변화를 체크하였으며, 대상자의 발목 가동 범위는 아두이노를 통해 그래프로 시각화하여 길이 변화에 대한 센서의 저항값을 측정하였다. 이후 스트레칭으로는 폼롤러를 이용한 비복근, 가자미근 스트레칭, 로우런지를 이용하였고, 다시 폴 스쿼트를 통해 길이 변화에 대한 센서의 저항값을 측정하였다.

1. 스트레치센서 소재의 선정

연구를 위해 폭을 가진 E-band 시료 3가지를 선정하였다. 상세 내용은 Table 1과 같다.

2. 발목 가동 범위 측정을 위한 스트레치 센서 제작

각 시료는 CNT 0.1wt% water SWCNT(Single wall carbon nanotube, SWCNT) 분산 용액(Figure 8)에 1분간 침지 한 후, 섬유 표면에 SWCNT 입자가 잘 부착될 수 있도록 Vertical type pedder에서 1.0m/min의 롤러 속도와 0.3mpa 실린더 압력에서 3회 압착을 진행하였다. DLS-6600 양방향 건조기를 사용하여 120에서 2분간 건조하였고, 이 과정을 각 시료별로 1회 진행한 시료, 2회 진행한 시료, 3회 진행한 시료로 완성하였다. 이후 Dacell dn-fga Universal testing machine(UTM)을 통해 SWCNT 용액을 코팅한 시료들을 고정한 후, 3초 동안 15mm를 늘렸다가 본래의 상태로 돌아가는 과정까지 10회 반복하여 테스트를 진행 하였다(Figure 9). 각 시료에 물리적 특성인 인장강도, 신장률, 신장 회복률을 테스트하고 스트레치 센서의 적합도를 최종적으로 평가하였다.

3. 발목 가동 범위 측정 부위 및 양말 제작

종아리 근육(Figure 10)은 비복근(Gastrocnemius), 가자미근(Soleus), 아킬레스건(Achilles Tendon)의 3가지로 구성 되어 있다. 비복근은 무릎 뒤 안쪽에서부터 종아리 중앙까지의 근육이고, 비복근의 시작점보다 살짝 아래부분에서 시작하여 발목 위까지 가는 근육을 가자미근이라 하며, 아킬레스건은

Table 1. Design of materials and comparison methods for stretch sensors




Item	6 Line pattern	8 Line pattern	12 Line pattern
Image			
Organization	Polyester 70% Polyurethane 30%	Polyester 70% Polyurethane 30%	Polyester 70% Polyurethane 30%
Composition	6 Line pattern	8 Line pattern	12 Line pattern
Width	6mm	8mm	12mm



Figure 8. CNT 0.1wt% water SWCNT (taken by authors)



Figure 9. Sensor UTM test (taken by authors)



Figure 10. Calf muscles (https://tistory.com)

종아리 근육과 발뒤꿈치의 뼈를 연결해주는 힘줄이다. 여기서 아킬레스건과 가자미근은 발목의 가동 범위에 크게 영향을 미친다.

종아리 근육이 타이트하면 발목 관절이 뻣뻣해 무릎을 구부렸다 폈다 하는 동작에서 발목이 팔자걸음처럼 바깥쪽으로 회전되어 정렬을 깨뜨리게 된다. 이러한 정렬은 보행 패턴에 좋지않은 영향을 미치게 된다. 종아리와 발뒤꿈치를 직접적으로 연결해주는 아킬레스건이 발목 가동 범위를 측정할 수 있는 가장 적절한 위치라 판단하여 양말의 발 뒤꿈치부터 아킬레스건의 끝부분까지 센서를 전도성 실로 고정하

였다(Figure 11). 센서의 늘어남 정도를 확인하기 위한 양말의 최소 길이는 종아리까지이며, 센서의 늘어남 정도를 지지할 수 있는 하프쿠션(조금 두꺼운)양말로 테스트를 진행하였다(Figure 12).

4. 가동범위 측정 동작

1) 풀 스쿼트(Full Squat)

스쿼트는 일상생활에서의 동작이나 스포츠 활동을 하기 위한 하체 근력 증가에 있어 중요한 동작을 포함하고 있으며,



Figure 11. Attach Stretch Sensor (taken by authors)



Figure 12. Wearing Prototypes (taken by authors)



Figure 13. Full Squat Position (taken by authors)



Figure 14. Gastrocnemius stretch 1 (taken by authors)



Figure 15. Gastrocnemius stretch 2 (taken by authors)

발목 가동 범위는 스쿼트 자세에 많은 영향을 미친다. 따라서 발목 가동범위를 측정하는 방법으로 스쿼트 동작을 선택 하였으며, 특히 발목의 가동 범위가 자세에 영향을 많이 주는 풀 스쿼트 자세로 실험을 진행하였다. 풀 스쿼트 동작은 양발을 어깨넓이로 넓힌 후 발끝과 무릎의 방향은 같게 맞춰 주고, 바닥을 세게 지지한 후 체중을 실어 허리의 중립을 유지하면서 무릎보다 엉덩이가 더 아래까지 내려간 후 발바닥으로 지면을 밀어내면서 올라오는 동작이다(Figure 13).

스트레칭 방법으로는 폼롤러를 이용하여 아킬레스건 위쪽의 가자미근과 종아리근육의 아래쪽인 비복근을 마사지 해주는 방식과, 발목의 가동범위를 직접적으로 늘려주는 로우런지 자세의 2가지로 진행하였다.

2) 폼롤러를 이용한 비복근 스트레칭

폼롤러를 이용한 종아리(가자미근, 비복근) 스트레칭 자세는

하체의 부종을 줄이고 발목의 가동성을 높여주는 스트레칭이다. 먼저 비복근의 스트레칭 방법으로는 한쪽 종아리의 중심 부분을 폼롤러에 놓고 반대쪽 다리는 교차하여 놓은 후 종아리를 앞뒤 좌우로 움직이는 방법(Figure 14)과, 다리의 위치를 동일하게 하고, 두 손으로 체중을 지지하여 엉덩이를 바닥에서 살짝 들어 자세를 유지한 후 골반을 다리 쪽으로 굴리며 종아리를 스트레칭하는 방법(Figure 15)을 사용하였다.

3) 폼롤러를 이용한 가자미근 스트레칭

가자미근의 스트레칭 방법으로는 한쪽 다리의 발목 바깥쪽 부분을 폼롤러에 놓고 반대쪽 다리는 교차하여 놓은 후 발목을 좌우로 돌려주는 방법(Figure 16)과, 다리의 위치를 동일하게 하고, 양손으로 체중을 지지하여 엉덩이를 바닥에서 살짝 들어 자세를 유지한 후 골반을 다리 쪽으로 굴리며 발목 스트레칭을 하는 방법(Figure 17)을 사용하였다.

4) 로우 런지 (Low lunge)

로우 런지 자세는 발목과 종아리, 허벅지, 하체 전체를 늘리고 강하게 할 수 있는 자세로 발을 앞뒤로 넓힌 후, 앞 발의 발바닥으로 바닥을 강하게 지지하는 자세이다. 이때 앞으로 가는 다리는 발목과 무릎이 일직선이 되고, 무릎을 90도가 되도록 굽히고, 반대쪽 다리는 뒤로 뻗어 무릎과 정강이, 발등은 바닥에 닿게 한 후, 양손으로 앞쪽 다리 무릎을 지그시 눌러 무릎과 발목의 모양이 Z 모양이 나오는 자세를 취하며 상체의 자세를 유지하고 앞발로 지면을 밀어내며, 시작 자세 위치로 돌아간다(Figure 18)

5. 실험 순서

발목 가동 범위 측정을 시각화하기 위해 동작 시 저항값을 그래프에 나타내었다. 실험 대상자는 25~30세 사이의 운동을 즐겨하며, 근골격계 부상(근육, 건, 관절, 인대 등)의 과거력을 가지고 있지 않으면서, 현재 어떠한 의학적 약물을 복용하지 않은 상태의 일반인 남성 7명을 대상으로 테스트를 진행하였다(Table 2).

각 피험자가 센서를 양말을 착용한 후 스쿼트 동작을 하여 나온 값과 폼롤러 스트레칭과 로우 런지 동작을 진행한



Figure 16. Soleus stretch 1 (taken by authors)



Figure 17. Soleus stretch 2 (taken by authors)



Figure 18. Low lunge position (taken by authors)

Table 2. Physical characteristics

Variable	Mean±SD
Height(cm)	173.14±2.34
Age(years old)	26.57±2.3
Weight(kg)	74.57±5.88

후 스쿼트 동작을 하여 나온 값을 비교 하였다. 스트레칭 전 후에 진행되는 스쿼트는 2초 간격으로 5회 실시하였으며, 스트레칭 전 스쿼트 후 에는 스쿼트로 인한 발목 가동 범위 증가의 복구를 위해 1시간의 휴식을 취하였다. 각 스트레칭은 자세별로 양 다리 30회씩 왕복 진행하였으며, 로우 런지 자세는 양 다리를 30초씩 늘려주며 2회 반복하여 실험을 진행하였다(Table 3).

III. 연구 결과 및 고찰

1. 스트레치 센서 샘플 성능 평가 결과

UTM기기를 통해 진행한 시료의 실험 결과는 초기의 저항과 최대 인장치의 저항, 다시 복구 되었을 때의 저항값으로 나타난 곡률 변화와 함침 횟수에 따른 GF값의 변화로 성능을 평가하였다. 그래프의 곡률이 일정하고 센서의 회복률과

GF값이 높은 것을 우수한 센서로 평가하였다.

Table 4에서 보면 각 시료별 함침 횟수를 달리 했을 때 3개의 시료 전부 3회 함침 < 1회 함침 < 2회 함침 순서로 GF값이 나왔다. 함침 횟수를 늘릴 경우 GF 값이 더 좋아질 것이라는 예상과는 달리 3회 함침을 진행한 GF 값이 오히려 1회 함침을 한 GF 값보다 더 낮게 나와 함침 횟수를 늘려도 절대적으로 GF 값이 높게 나오지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 시료의 폭이 좁을수록 인장 강도가 약하기 때문에 적은 힘으로도 쉽게 늘어나 민감도가 더 높을 거라는 생각과는 다르게, 8골 패턴(2.59) < 12골 패턴(3.08) < 6골 패턴(4.05) 순으로 나타났다.

8골 패턴 보다는 12골 패턴의 민감도가 더 높았고, 이중 6골 패턴의 민감도가 가장 높게 나타났다. 따라서 각 시료별 함침 횟수와 폭, 민감도를 고려했을 때 2회 함침의 6골 패턴이 가장 민감한 센서임을 알 수 있었다.

6골 패턴, 8골 패턴, 12골 패턴의 센서 적합도를 판단하

Table 3. The order of the experiment

Before Stretch Test	Stretching Method	After Stretch Test
Perform 5 Full Squats at 2-second intervals	Stretch the Soleus with a foam roller (30 times/both legs)	Perform 5 Full Squats at 2-second intervals
⇓	⇓	⇓
⇒	an hour's break	⇒
⇓	⇓	⇓
Check Sensor Value	Stretch the Gastrocnemius with a foam roller (30 times/both legs)	Check Sensor Value
⇓	⇓	⇓
⇓	⇓	⇓
1 Hour break to recover from fatigue	an hour's break	⇓
	⇓	Comparison before and after
	Low Lunge (2 times/both legs)	

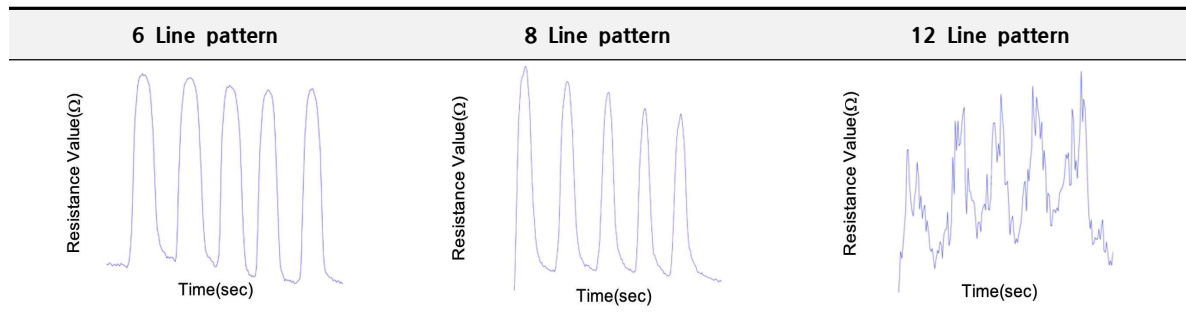
Table 4. Gauge factor value

	6 Line pattern	8 Line pattern	2 Line pattern
1Time impregnation	2.85	2.20	2.61
2Time impregnation	4.05	2.59	3.08
3Time impregnation	2.54	1.90	2.36

Table 5. Physical properties of a sample

Test Item	Test Result		
	6 Line pattern	8 Line pattern	12 Line pattern
Tensile Strength (N) : KS K 1308:2016	215	289	401
Elongation Rate (%) : KS S 0642,8.16.1:2016			
Length Direction	16.5	26.6	34.2
Elongation Recovery Rate (%) : KS 0642,8.16.2:2016 Method D (Recurrent Mental Field Method)			
Length Direction	97.8	96.0	97.0

Table 6. Squat motion graph



기 위해 신장률(Elongation rate), 신장 회복률(Elongation recovery rate), 인장강도(Tensile strength)를 측정된 값은 Table 5에 나타냈다. 발목의 가동범위를 측정하기 위해서는 아킬레스건에 센서가 위치하여야 하며, 피험자가 양말을 착용하여 발목이 늘어나는 동작을 진행할 때 방해가 되지 않기 위해 높은 신축성을 가지고 있는 소재가 센서에 적용되어야 한다. 또한 신축성도 중요하지만, 움직임이 많은 부위인 발목에 적용하는 센서이니 만큼 늘어났다 다시 돌아가는 힘을 의미하는 신장 회복률과, 반복적인 움직임이 있을 때 사용이 가능하도록 센서의 내구성에 영향을 미치는 인장강도가 동시에 고려되어야 한다.

비교를 위해 각 센서를 양말에 부착한 후 스쿼트 동작 테스트를 하였고, 아래와 같은 그래프 값이 도출되었다(Table 6). 8골 패턴은 GF값과 함침 횟수의 결과와는 다르게 12골 패턴보다 안정적인 파장을 보여주었지만, 인장강도가 높아

움직임이 많아지는 경우 양말이 센서의 인장강도를 버티지 못하여 그래프의 파장이 일정하지 못하고 점점 감소되는 파장을 보였다. 또한 12골 패턴은 아킬레스건의 위치와 양말의 부착 위치에 비해 센서의 폭이 넓어서 다른 두가지의 시료보다 센서의 노이즈가 많이 발생하여 불안한 파장을 보여주었다. GF값과 함침 횟수의 결과, 센서의 적합도면에서 적절한 센서로 판단되었던 6골 패턴은 다른 두가지의 시료보다 안정적이면서 보다 동작 움직임에 정확한 파장을 보여주었다.

이는 발목을 위한 센서는 민감도도 중요하며, 움직임이 많고 많이 늘어나는 발목의 특성상 내구성 및 이완과 수축의 반복되는 동작을 나타내는 신장회복률도 중요함을 나타낸다. 또한 동작에 방해가 되지 않을 정도의 센서의 폭과 양말보다 강하지 않은 인장 강도도 중요한 요인이라고 판단되었다.

2. 스트레칭 전, 후 발목 가동 범위의 차이

본 연구에서 측정된 값은 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed-rank test)의 단측 검정(One-sided test)을 이용하여 모든 변인의 평균 (mean: M)과 표준편차(standard deviation: SD)를 나타내었다. 윌콕슨 부호 순위 검정으로 짝지어진 두 표본으로 검정했으며, 두 표본의 중앙값이 동일 한지를 검정하였다. 통계분석의 유의 수준은 $p < .05$ 로 설정 하였다.

발목 가동 범위의 증가 기준은 스트레칭 전 스쿼트 센서

값이 스트레칭 후 스쿼트의 센서값보다 증가 하였을 때 발 목 가동 범위가 늘어 났다고 판단하였다. 스트레칭 전 5회 스쿼트와 스트레칭 후 5회 스쿼트의 가동 범위 비교 결과는 Table 7과 같으며, Table 7에 대한 변인 평균(M)과 표준 편차(SD)는 Table 8에 나타내었다. 스트레칭 전 스쿼트를 하였을 때(354.46 ± 84.22)와 스트레칭 후 스쿼트를 진행 하였을 때(312.14 ± 109.08)의 센서값이 평균적으로 42.32가 유의하게 증가한 것으로 나타났다($p < .05$).

선정한 3가지 센서 중 6골을 사용하여 테스트를 진행한 저항 변화 그래프는 Table 9와 같다. 스트레칭 전 스쿼트와

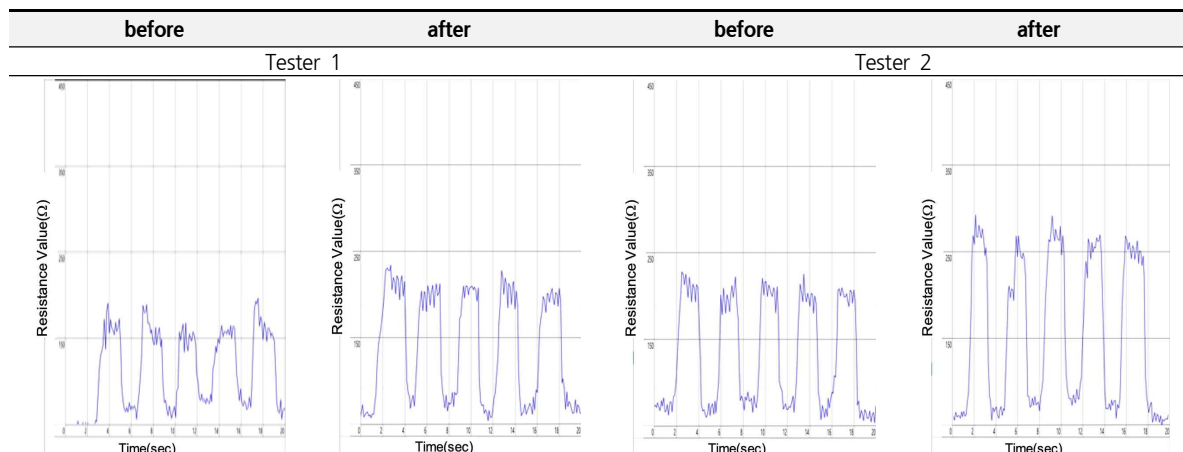
Table 7. Difference between before & after stretching

before stretching resistance value	after stretching resistance value	difference(before - after)
193.8	229.2	-35.4
225.8	315.6	-89.8
286.8	285.8	1
356.4	384.2	-27.8
225.8	368.6	-142.8
410.4	419.6	-9.2
486	478.2	7.8

Table 8. Difference between before & after stretching records

	n= 7	p-value
before stretching resistance value	312.14±109.08	.039
after stretching resistance value	354.46±84.22	

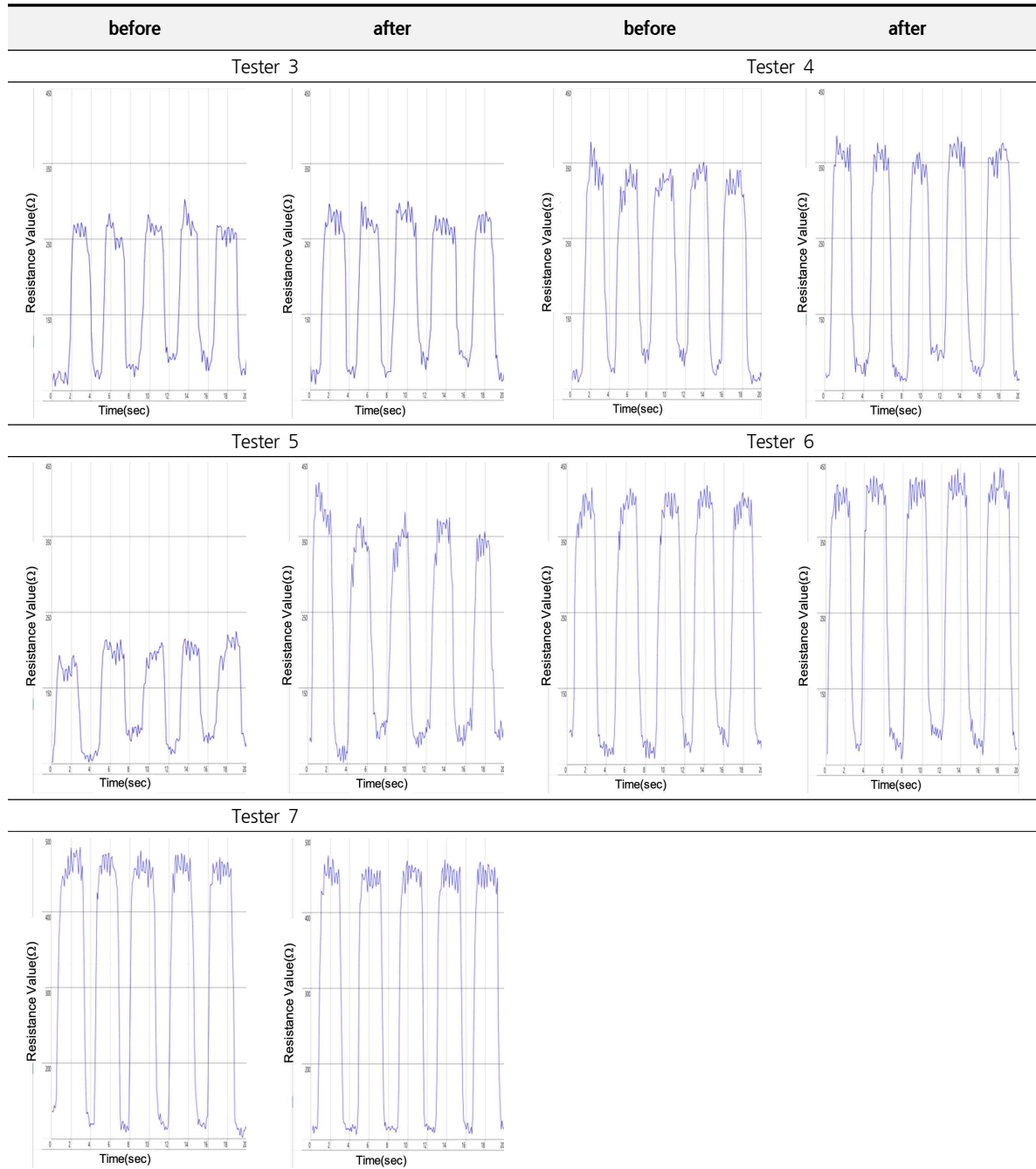
Table 9. Ankle range graph before & after stretching



스트레칭 후 스쿼트의 발목 가동 범위 변화 효과를 스트레치 센서로 확인 할 수 있었다. 3번과 7번 피험자의 경우는 전, 후 변화에 차이가 크게 없었는데, 해당 경우는 평상시에

스트레칭을 자주 하는 사람으로 스트레칭 효과가 크게 나타나지 않는 것으로 판단되었다. 그 외의 피험자들 사이에서는 유의미한 전, 후 저항 변화의 차이를 확인할 수 있었다.

Table 9. Continued



IV. 결론

본 연구의 목적은 발목 가동 범위 측정을 위한 SWCNT 기반의 텍스타일형 스트레치 센서를 제조하고, 센서의 정확도 향상을 위해 함침 횡수와 시료의 폭을 달리하여 테스트하고 양말용 센서에 적합한 센서 폭을 확인하였다. 함침 횡수와 폭에 따라 달라지는 GF값을 UTM 기기를 통해 비교하였고, 신장률, 신장 회복률, 인장강도를 바탕으로 발목(양말)에 적합한 센서를 판단하였다. 이후 발목 가동범위 측정을 위해 아킬레스건 부근에 적용, 폴 스쿼트를 통해 스트레칭 전과 후를 비교하여 발목 가동 범위의 변화를 스트레치 센서로 측정가능하지 확인하였다.

스트레치센서를 E-band의 폭이 다른 3가지 시료를 선별하였으며, CNT(1wt% water SWCNT) 분산액을 이용하여 각 시료를 침지하고, Vertical type pedder로 디핑/압착을 진행한 후, DLS-6600 건조기로 건조, 함침을 진행하였다. 각 시료 별 센서성능에 차이를 주기 위해 1~3회 함침을 진행하여 9가지의 텍스타일형 스트레치 센서를 개발하였다.

개발한 텍스타일형 스트레치 센서는 UTM 기기를 활용하여 GF값을 측정하여 시료에 따라 민감도가 달라지는 것을 확인하였다. 6골 패턴은 함침 횡수에 따라 GF값은 $2.85 < 4.05 < 2.54$, 8골 패턴은 $2.20 < 2.59 < 1.90$, 12골 패턴은 $2.61 < 3.08 < 2.36$ 순으로 나타났으며 각 시료 전부 2회 함침의 GF값이 가장 우수하게 나타났다. 또한 함침 횡수가 많다고 해서 GF값이 높아지지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

12골 패턴의 경우 인장 강도는 가장 우수했음에도 불구하고 발목과 양말의 폭과 맞지 않아 노이즈가 심한 그래프로 나타났으며, 8골 패턴은 발목과 양말의 폭에는 적합하였으나 강한 인장 강도 때문에 그래프의 파장이 점점 감소하는 그래프로 나타났다. 따라서 적절한 인장강도, 높은 신장 회복률, 우수한 GF값을 가진 6골 패턴으로 발목가동범위 측정이 가능한 양말을 제작하였다.

발목 가동범위 측정이 가능한 스트레치 센서를 양말에 전도성 실을 사용해 아킬레스건 부근에 부착하고 아두이노를 이용해 발목 가동 범위 측정이 가능한 프로토타입 양말을 개발하였다. 폴 스쿼트를 통해 먼저 발목 가동범위를 체크한 후 폼롤러를 이용한 가자미근, 비복근 스트레칭과 로우 런지로 발목 가동 범위를 늘려준 후 다시 한번 폴스쿼트를 통해 발목가동 범위가 증가한 것을 확인하였다.

발목 가동범위 체크를 위한 텍스타일형 스트레치 센서를 제작하기 위해 각기 다른 폭과 함침 횡수를 적용하여 실험

했으며, 안정적인 측정이 가능한 스트레치 센서의 제작 방법을 제안하였다. 본 연구에서 제작된 발목 가동 범위 체크를 위한 양말을 통해 평소 사용자의 발목 가동 범위의 평균치를 체크할 수 있고, 체크해둔 평균을 기준으로 운동전 가동범위 부족을 스스로 인지하고, 스트레칭 등 적절한 조치를 취하여 가동범위를 늘리고, 스스로 부상을 예방할 수 있으리라 사료된다. 나아가 발목에 관련된 운동화, 부츠 등 신발 제품 생산과 신체의 건강 증진에 기초 자료로 제공되어지기를 기대한다. 또한 이러한 스트레치 센서는 다양한 스포츠 분야나 헬스케어 웨어러블 제품, 운동능력 측정을 위한 의료용 제품으로도 응용이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구는 발목 가동 범위를 센서 값으로만 측정하여, 가동 범위 증감은 확인할 수 있었지만, 정확한 각도를 확인할 수 없었던 제한점이 있었다. 따라서 추후 연구에서는 실제 각도의 변화와 대조하여 정확한 증감값과 함께 비교해 보고자 한다.

References

- Athos (Smart clothing that allows personal training through body movement). (2016). [Photograph]. *Econovill*. Retrieved February 5, 2022, from <http://www.econovill.com/news/articleView.html?idxno=303381>
- Athos Core(A product that can monitor the amount of exercise through sensors). (2015). [Photograph]. *Livehome*. Retrieved February 5, 2022, from <https://livehome.me/564>
- Beak, H. J., Kim, S., Kang, S. H., & Kim, J. (2021). Comparison of the effect of instrument assisted soft tissue mobilization (IASTM) and proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) on ankle strength, range of motion, and dynamic stability. *The Korean Society of Culture and Convergence*, 43(5), 831-846. doi:10.33645/cnc.2021.05.43.5.831
- Calf muscles. (2019). [Photograph]. *Tistory*. Retrieved February 5, 2022, from <https://breadhome.tistory.com/33>
- Difference between single, double and multi carbon nanotubes. (2022). [Photograph]. *Google*. Retrieved February 5, 2022, from https://www.google.com/search?q=swcnt+mwcnt+dwcnt&tbm=isch&ved=2ahUKEwjI6NK9-932AhU6xIsBHdPJA_kQ2-cCegQIABAA&oeq

- q=swcnt+mwcnt+dwcnt&gs_lcp=CgNpbWcQAzIHCCM Q7wMQJ1AAWABgXwNoAHAAeACAAXuIAXuSAQM wLjGYAQCqAQnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img &ei=zfo7YojOKLqIr7wP05OPyA8&bih=830&biw=1527 Exorihab Rehabilitation Exercise Wearable. (n.d.). [Photograph]. *Exosystems*. Retrieved February 5, 2022, from <https://ko.exosystems.io/solution>
- Heo, J., Jo, J., & Park, S. (2015). Technology trends, development and international standardization prospects of wearable smart devices. *The Institute of Electronics and Information Engineers*, 42(6), 23–29. <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06367090>
- Jang, J., Park, J., & Kim, J. (2021). Development of stretch sensors to measure thigh motor capacity. *Journal of Fashion Business*, 25(5), 99–113. doi:10.12940/jfb.2021.25.5.99
- Jung, B. Y. (2018). 웨어러블 디바이스 시장 현황과 전망 [Wearable Device Market Status and Prospect]. *ICT & Media Policy*, 30(20), 1–7. Retrieved from <https://kiss-kstudy-com-ssl.openlink.ssu.ac.kr:8443/thesis/thesis-view.asp?key=3915717>
- Kim, J. S., Park, J., & Kim, J. (2020). Development of smart soccer socks using a textile stretch sensor : Focused on middle school girls between the ages of 14 and 15. *Journal of Fashion Business*, 24(3), 17–29. doi:10.12940/jfb.2020.24.3.17
- Lee, J. E. (2020). *Development of smart graduated compression leggings based on strain sensor* (Unpublished doctoral dissertation). Chonnam National University, Gwangju, Korea.
- Lee, J. I., & Jung, H. T. (2008). Technical status of carbon nanotubes composites. *Korean Chemical Engineering Research*, 46(1), 7–14.
- Lee, J., Park, J., Lim, Y., & Kwon, M. S. (2020). Analysis of correlation between passive ankle movement range and knee joint kinetic variables during squat movement. *Journal of the Korean Applied Science and Technology*, 37(3), 509–515. doi:10.12925/jkocs.2020.37.3.509
- Nam, S. W. (2020). Post COVID-19 Society, Sport, and Sociology of Sport. *Korean Journal of Sociology of Sport*, 33(4), 1–18. doi:10.22173/ksss.2020.33.4.1
- Moreira-Neto, A., Martins, B., Miliatto, A., Nucci, M. P., & Silva-Batista, C. (2021). Can remotely supervised exercise positively affect self-reported depressive symptoms and physical activity levels during social distancing?. *Psychiatry Research*, 301, 113969.
- Roh, J. S. (2016). Wearable textile strain sensors. *Fashion & Text. Res. J*, 18(6), 733–745. doi:10.5805/SFTI.2016.18.6.733
- Wearables and Healthcare. (2019). [Photograph]. *Hkn24*. Retrieved February 5, 2022, from <https://www.hkn24.com/news/articleView.html?idxno=307877>
- Yoo, H., Beak, H., & Kim, J. (2021). Effects of online home-training program on stress, depression, and self-efficacy in male and female adults during the COVID-19 pandemic. *The Korean Society of Culture and Convergence*, 43(11), 987–1000. doi:10.33645/cnc.2021.11.43.11.987
- Yun, H. Y., Kim, S. U., & Kim, J. Y. (2021). Carbon-nanotube-based spacer fabric pressure sensors for biological signal monitoring and the evaluation of sensing capabilities. *Korean Society for Emotion and Sensibility*, 24(2), 65–74. doi:10.14695/KJSOS.2021.24.2.65

Received (March 17, 2022)

Revised (May 3, 2022; May 17, 2022)

Accepted (May 19, 2022)

저자 박진희는 현 편집위원으로 역임 중이나 이 논문의 게재를 결정하는 데 어떠한 역할도 하지 않았으며 관련된 잠재적인 이해상충도 보고되지 않았음.