

패션비즈니스 제25권 5호

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

J. fash. bus. Vol. 25,
No. 5:99-113, Nov. 2021
[https://doi.org/
10.12940/jfb.2021.25.5.99](https://doi.org/10.12940/jfb.2021.25.5.99)

Corresponding author

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

Keywords

clothing-type wearable products,
textile type sensor,
stretch sensor,
CNT dispersion solution,
measurement of thigh Motor
skills

의류형 웨어러블 제품,
텍스타일형 센서,
스트레치 센서, CNT 분산용액,
허벅지 운동능력 측정

이 연구는 2021년도 산업통상자원부
및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비
지원에 의한 연구임('20016038')

이 논문은 2021년도 정부(산업통상자원
부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의
지원을 받아 수행된 연구임(P0012770,
2021년 산업혁신인재성장지원사업)

허벅지 운동능력 측정을 위한 스트레치 센서 개발

장진철*¹⁾ · 박진희²⁾ · 김주용*²⁾

송실대학교 스마트웨어블공학과*¹⁾ 송실대학교 유기신소재파이버공학과²⁾

Development of Stretch Sensors to Measure Thigh Motor Capacity

Jinchul Jang*¹⁾ · Jinhee Park²⁾ · Jooyong Kim*²⁾

Dept. of Samrt Wearable Engineering, Soongsil University, Korea*¹⁾
Orgnic Materials and Fiber Engineering, Soongsil University, Korea²⁾

Abstract

This study aimed to produce sensors for measuring thigh motor skills. A textile stretch sensor was manufactured using a CNT(Carbon Nano Tube) 0.1 wt% water SWCNT(Single-Walled Carbon Nano Tube) solution, and different designs were applied to increase the sensitivity of the sensor, and different GF(Gauge Factor) values were compared using UTM devices. The same design was applied to fabrics and weaves to observe changes in performance according to fibrous tissue, and the suitability of sensors was determined based on tensile strength, elongation, and the elongation recovery rate. Sensitivity was found to vary depending upon the design. Thus the manufactured sensor was attached to a pair of fitness pants as a prototype, divided into lunge position and squat position testing, and the stretch sensor was used to measure thigh movements. It was shown that stretch sensors used to measure thigh motor skills should have light and flexible features and that elongation recovery rates and tensile strength should be considered together. The manufactured stretch sensor may be applicable to various sports fields that use lower limb muscles, wearable healthcare products, and medical products for measuring athletic ability.

1. 서론

글로벌 분석 기업 IDC(International Data Corporation)의 발표에 의하면 전 세계 웨어러블 디바이스 시장 규모는 2018년 약 1.25억대에서 2022년 1.9억대 수준으로 확대되고 Figure 1과같이 연평균 11%의 성장률을 보일 것으로 예상했다. 현재 웨어러블 디바이스가 새로운 성장 산업으로 주목받으면서 세계 주요 기업과 연구기관들의 기술 선점을 위한 치열한 경쟁이 전개되고 있다.

스마트 웨어러블 제품은 착용 가능한 의복류의 기능들에 ICT 기술이 융합되어 일체화한 제품으로 정의된다. 외부 자극을 감지하는 센서의 기능과 이에 대한 대응이 가능한 기능이 융합되어 외부 자극에 대한 대응을 선택하여 조절할 수 있는 제품으로 볼 수 있다(Kwak, 2021). 현대인들의

건강관리에 관한 관심이 커지면서 생체정보를 수집하고 건강관리 서비스를 제공하는 다양한 헬스케어 웨어러블 제품이 개발되고 있는데, 특히 가볍고 유연한 특징을 가지고 있는 전도성 섬유 소재를 이용한 웨어러블 시스템은 사용자에게 쾌적한 착용감을 제공할 수 있고 다양한 분야로 응용이 가능하여 활발한 연구가 이루어지고 있다(Roh, 2016). 또한 최근 의류에 스트레치 센서를 부착하여 자세를 교정할 수 있는 스마트 웨어러블 기술이 개발되었고, Figure 2와 같이 이용자의 생활패턴과 각종 생체정보를 모니터링 할 수 있는 의류형 웨어러블 제품의 활용 범위가 점차 늘어나고 있다. 해당 분야에 대한 기술 개발의 수요 또한 증가하고 있으며 새로운 스마트 헬스케어의 패러다임 변화를 가져올 것이다(Kwak, 2021).

연세대 보건대학원 연구팀이 2009년에서 2011년에 걸쳐

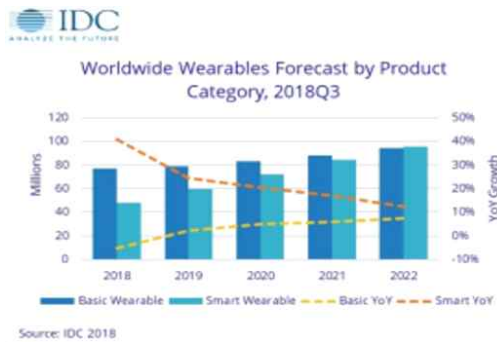


Figure 1. Worldwide Wearable Forecast by Product Category (<https://electronics360.globalspec.com>)



Figure 2. Muscle ware Technology for Correcting Posture by Attaching Stretch Sensors to Clothing (<https://www.facebook.com>)

한국 의학연구소(Korea Medical Institute)에서 건강검진을 받은 30-79세 남녀 약 32만 명을 대상으로 파악한 연구 결과를 살펴보면, 허벅지 둘레가 평균치보다 가는 사람은 당뇨병에 걸릴 위험이 상대적으로 높다는 상관관계를 보고하였다. 이 연구에서 허벅지 둘레가 1 cm 줄어들 때마다 당뇨병 위험이 남성은 8.3%, 여성은 9.6%씩 증가한다고 제시하고 있다. 이러한 연구결과들은 허벅지의 근육량과 질환 위험요소간 상관관계를 나타내 준다. 우리 몸에서 허벅지 근육은 총 골격근량의 30-40%를 차지하기 때문에, 허벅지 근육의 질량 증가와 근력 향상을 위한 운동능력 측정이 필요할 것으로 판단된다(Kim & Lee, 2018). 웨어러블 디바이스 기반의 헬스케어 제품은 사용자의 건강상태를 지속적으로 추적할 수 있어 개인 맞춤형 의료서비스를 제공할 수 있을 것이고, 당뇨 등의 만성 질환을 상대적으로 저렴한 비용과 최소한의 인력으로 관리할 수 있어 의료복지의 확대 효과에도 기여할 것으로 생각된다(Park, 2020).

그러나 스마트 웨어러블의 소재와 센서에 대한 연구는 다양한 분야에서 이루어지고 있지만, 운동능력 측정을 위한 핵심 기술이라고 할 수 있는 텍스타일형 스트레치 센서에 대한 연구는 아직 활발하지 않다. 기존의 연구 내용 또한 CNT분산액의 농도를 다르게 사용하거나, 함침 시간 및 패딩 횟수의 차이를 다르게 하여 연구하는 정도로 확인되었다(Yun, Kim & Kim 2021). 따라서 본 연구는 의복형 웨어러블 시장에 적용이 가능한 운동능력 측정을 위한 고효율의 스트레치 센서를 제작하는데 목적을 두고 있다. 각기 다른 디자인을 센서에 적용하고 디자인에 따라 달라지는 센서의 민감도를 측정하고 센서로 사용된 섬유 조직에 따른 성능의 변화를 관찰하여 고효율 스트레치센서 제작방법을 제안하고자 한다.

II. 이론적배경

1. 텍스타일형 센서

텍스타일을 센서화 하기 위해서는 먼저 전기전도성을 부여해야 한다. 전기전도성을 부여하기 위해 사용되는 전도성 물질로는 크게 금속계 물질과 비금속계 물질로 나뉜다. 그 중에서도 비금속계 물질로는 대표적으로 그래핀(Graphene)과 탄소 나노 튜브(Carbon Nanotube, CNT)가 사용되고 있다(Cho et al., 2015). CNT는 화학적 안정성과, 높은 기계적 강도, 우수한 유연성 등의 특성을 가지고 있다. 특히 높은 전기전도성으로 인해 텍스타일형 센서로서 탁월한 성능을 가지고 있기 때문에 다양한 분야에서 활용되고 있다. 함침과 패딩 건조라는 비교적 간단한 제조 과정을 통해 센서로 만들어낼 수 있으며 우수한 특성을 바탕으로 활발한 연구가 진행되고 있다(Lee & Jung, 2008).

Electronics and Telecommunications Research Institute (2018)에서는 Figure 3과 같이 그래핀과 CNT를 결합하여 압력 및 변형정도를 측정할 수 있는 직물형 복합 센서를 개발했다. 그래핀 기반 직물형 센서는 우수한 전기 전도성과 유연성을 가지며 얇으면서도 내구성을 가지고 있고, 내화학성 또한 우수하다는 장점을 가지고 있다. 연구진은 제작한 센서를 면장갑에 접목, 손가락 움직임에 따른 동작을 감지하는 모션센서 제작에도 성공하였다.

Figure 4는 일본 TEIJIN사와 간사이 대학에서 공동 개발한 'Piezoelectric fabric' 제품이다. 신체의 움직임을 데이터로 변환할 수 있으며 굽힘, 비틀림의 방향 및 강도측정이 가능하다. 새틴 직물(satin weave)은 비틀림과 굽힘 3차원 방향을 감지할 수 있고 플레인 직물(plain weave)은 굽힘

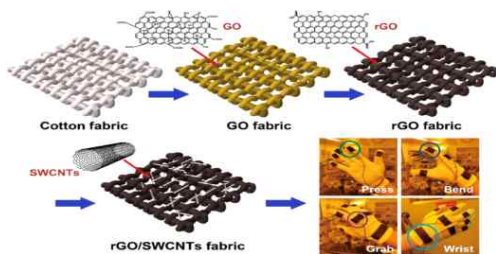


Figure 3. Graphene-based Textile Strain Pressure Complex Sensor Applied to Cotton Gloves to Detect Body Signals according to Hand Movements (<https://www.etri.re.kr>)

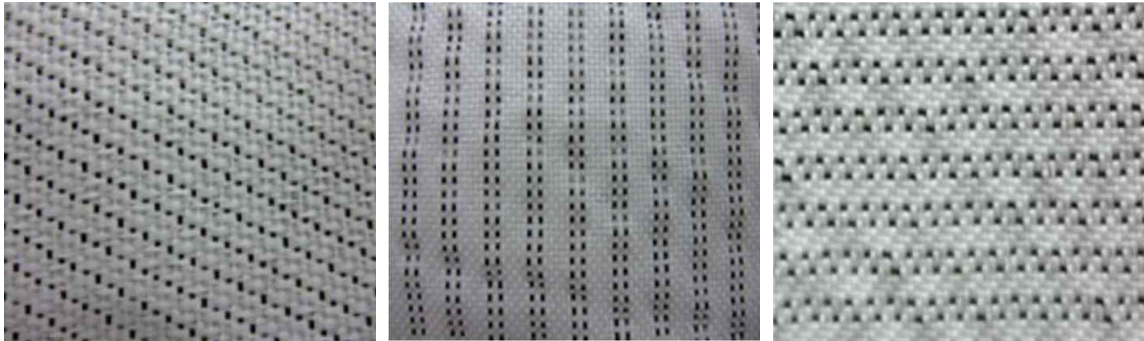


Figure 4. Piezoelectric Fabric (satin weave, plain weave, and twill weave) (<https://www.google.com>)

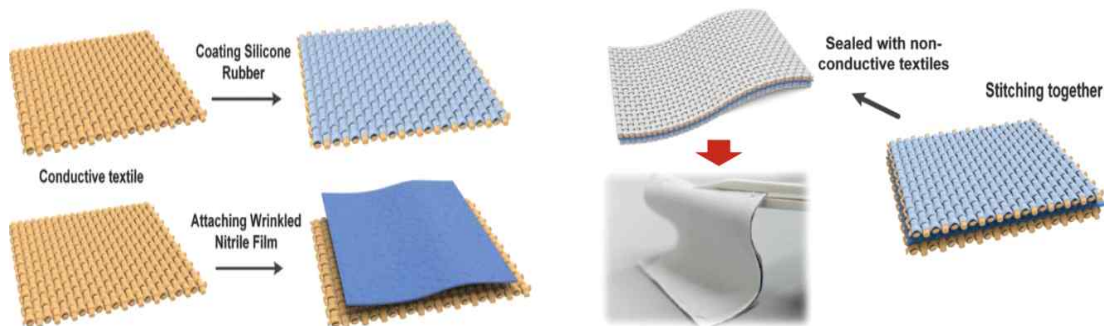


Figure 5. Fabrication Process of T-TEG (textile - based triboelectric nanogenerator) and Soft TENG Textile Curved by Tweezer (<https://www.researchgate.net>)

감지, 트윌 직물(twill weave)은 비틀림 감지를 할 수 있다.
 Figure 5는 2019년 Advanced Science 저널에 소개된 텍스타일 기반 마찰전기 나노 발생 장치(T-TEG, textile based triboelectric nanoenerator)이다. 이 장치는 포지티브(positive) 마찰전기를 발생시키는 나이트릴 주름 필름(wrinkled film of nitrile)을 한쪽 전도성 텍스타일(conductive textile)면에 부착하고, 반대쪽 면 전도성 텍스타일은 실리콘 고무로 코팅 처리하여 적층 스티칭(stitching)하였으며 최종 공정으로 비전도성 텍스타일(nonconductive textile)로 실링(sealing)하여 마찰전기 나노 발생 장치를 제작하였다. 움직임에 의해 발생하는 진동에너지 및 모든 종류의 마찰을 수집하여 전기 에너지로 변환시키고, 변환된 에너지를 자가 전력원으로 사용하여 웨어러블 헬스케어 디바이스

의 통신 장치와 각종 생체인식 센서를 동작 시킨다. 이런 구조를 갖는 디바이스는 인간의 동작과 생활 주변에서 발생하는 진동 및 마찰 에너지를 하베스팅(energy harvesting)하여 다양한 전자장치에 전원을 공급하거나 신경과 근육을 지속해서 자극하고 모니터링 해야 하는 헬스케어 제품의 동력원으로도 사용할 수 있다.

2. 스트레치센서

의류에 통합된 스트레치 센서는 신체의 움직임을 감지하며 관절 및 근육 운동을 중심으로 하는 스포츠 모니터링 어플리케이션에 매우 유용하다. 신체의 모니터링을 위해서는 센서가 의복의 근육 부위 및 관절에 접촉되어야 하고, 동작에



Figure 6. Stretch Sensor Examples
(<https://stretchsense.com>)

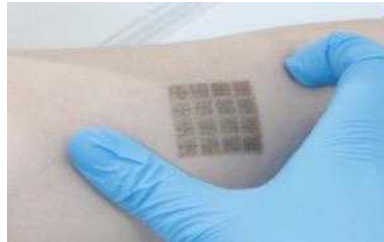


Figure 7. Skin-attached Stretch Sensor
(<http://www.ecotiger.co.kr>)

방해를 주지 않기 위해 신축성 있는 재료가 센서에 적용되어야 한다. Figure 6과 같이 동작 모니터링 의류는 유연한 스트레인 게이지가 요구되고 탄성이 높아야 한다. 의복을 통해 신체 동작의 강도를 측정하려면 가볍고 유연하며, 신축성 있고 섬유 응용 분야에 적합한 텍스타일형 스트레치 센서의 개발이 선행되어야 한다 (Cocharane & Cayla, 2013).

최근 IBS 나노 입자 연구단이 나노 박막전극을 개발했다. 피부 부착형 스트레치 센서로 응용이 가능한 이 연구의 핵심은 수상 정렬 방법(Float assembly method)에 있는데 새로운 개발 방법으로 높은 전도성, 얇은 두께, 우수한 신축성 등을 모두 지닌 고성능 나노 박막 전극을 제조할 수 있게 되었다. 원래 길이의 10배까지 늘어나도 전기적성질이 유지되며 두께는 머리카락 두께 300분의 1인 250nm 수준으로 매우 얇아, 피부처럼 굴곡이 있는 표면에도 밀착력이 우수하고 전기가 잘 통하면서도, 높은 신축성을 지녀 신체 정보를 수집하는 스트레치센서로서도 활용이 가능하다(Jeong, 2021) (Figure 7).

스트레치 센서는 신장성이 좋은 직물을 사용하여 초기저항을 보유하고 있고 신장에 따라 저항(Q)이 변화되는

특성을 이용하며, 저항의 변화는 길이의 변화로 인식하여 그에 따른 수치를 계산해 나타내는 방식을 사용한다. 변화되는 길이를 측정하기 위하여 사용되던 전자계측장비보다 효율적인 사용이 가능하며 제조 비용이 비교적 매우 저렴하고, 상대적으로 간단한 제작방법으로 길이와 넓이 등을 자유자재로 조절할 수 있으며 soft flatform 이기 때문에 다양한 분야에서 적용이 가능하다(Kwak, 2021).

3. 허벅지 운동능력 측정

통계청에서 발표된 「국민생활체육 참여 실태 조사」의 자료를 보면 2012년도에는 주 2회 이상 생활체육에 참여하는 인구가 35%에 그쳤던 것에 비해 2018년도에는 52.4%로 17.4% 증가한 것을 확인할 수 있다(Statistics Korea, 2019). 이는 많은 사람들이 운동으로 건강을 관리하고 있고, 생활체육 인구는 계속 증가하고 있다는 사실을 알 수 있다. 또한 생체정보를 수집하고 건강관리 서비스를 제공하는 다양한 헬스케어 시장이 더욱 확대될 것이라는 의미를 가지고 있기도 하다(Nam, Kwon, Kim & Lee, 2020). 코로나 팬데믹으

로 시간과 공간이 제한된 현대인들에게 대표적으로 하고 있는 실내 운동 방법 중 하나가 웨이트 트레이닝이며, 웨이트 트레이닝 운동의 필수 요소로서 하지근 근력 운동을 들 수 있을 것이다(Jeon, 2006). 하지근 근력은 신체의 움직임 조절하고 균형능력과 보행능력에도 큰 영향을 미친다. 이러한 대표적인 하지근 근력 운동으로 스쿼트(Squat exercise)와 런지(Lunge exercise)가 있다. 우리 몸에서 허벅지 근육은 30-40%를 차지하고 있으며 허벅지 근육이 발달하게 될 경우 무릎과 발목의 부상까지 예방할 수 있고, 혈당이 쉽게 높아지지 않아 서론에서 언급한 바와 같이 허벅지의 근육량은 질환 위험 요소 간의 상관관계를 나타내고 있다. 허벅지 근육이 약해질 경우 에너지 소모가 줄어들게 되고, 지방 축적으로 비만과 함께 각종 질환에 노출되게 된다. 이에 허벅지 근육의 질량 증가와 근력 향상을 위해 운동능력 측정이 필요할 것으로 판단되며, 허벅지 부위에 적용할 수 있는 스트레치 센서의 연구가 필요한 실정이다. 따라서, 본 연구는 CNT분산액을 사용하여 제작한 텍스타일형 스트레치 센서를 활용하며 센서의 민감도를 높일 수 있는 다양한 센서 디자인을 적용하여 허벅지 운동능력 측정이 가능한 최적의 스트레치 센서를 개발하고자 한다.

III. 연구 방법 및 절차

허벅지 운동능력 측정을 위한 스트레치 센서 개발을 위해서 CNT 분산액을 이용한 전도성 센서를 개발하고 시료인 직

물과 편물에 동일한 조건으로 적용하였다. 6가지 디자인을 비교 분석하고 레이저 커팅기를 활용해 센서를 제작한 후 제시된 디자인을 UTM기기를 활용해 GF 값을 측정하였다. 결과를 통해GF 값이 우수한 센서를 사용하여 허벅지 운동능력 측정을 위한 프로토타입으로 제작하고, 착용 테스트를 실시하여 허벅지 근육의 변화를 측정할 수 있는 고효율 스트레치 센서를 제안하고자 한다.

1. 허벅지 운동능력을 위한 스트레치센서 소재 및 디자인 설계

직물과 편물의 비교를 위해 시료1 원단 (나일론 85%, 스판덱스 15%)와 시료2 엘라스틱밴드(E-band, 필라멘트사 65%, 커버링사 35%)의 2가지 소재를 사용하여 비교하였고, 소재의 특성치는 밀도(KS K 1308:2016/KS K 0512:2017), 두께(KS K ISO 5084:1996), 조직은 육안 관찰법으로 테스트하여 Table 1에 나타냈다. 센서는 가로 800mm 세로 300mm 기준으로 디자인을 설계하였다. Figure 8에서 A는 비교를 위해 디자인되지 않은 시료를 설정하였고 B는 A와 같은 형태에서 중심부에 100mm 간격을 주어 2 line으로 디자인하였고, C는 지그재그 형태의 테두리로 D는 지그재그 형태의 테두리에서 중심부에 50mm 간격을 주어 2 line으로 디자인하였고, E는 10mm 간격의 지름1mm원형으로60개의 타공을 F는 10mm간격의 지름 1mm 원형으로 36개의 타공으로 디자인하였다 (Figure 8).

Table 1. Request Result

Test Item	Test Result	
	Sample 1	Sample 2
Horizontal carrier compartment density(strand/5cm) (KS K 1308:2016)	-	340.0
The number of strands (The number of strands/Overall width) (KS K 1308:2016)		
Elastic yarn	-	23.0
Covering yarn	-	40.0
Density (Knitted nose/5.0cm) (KS K 0512:2017)		
Wale	116.8	-
Course	176.4	-
Organization : Visual observation method		
	Lightweight weaving	Double weaving
Thickness (mm) : KS K 5084:1996	0.57	1.68

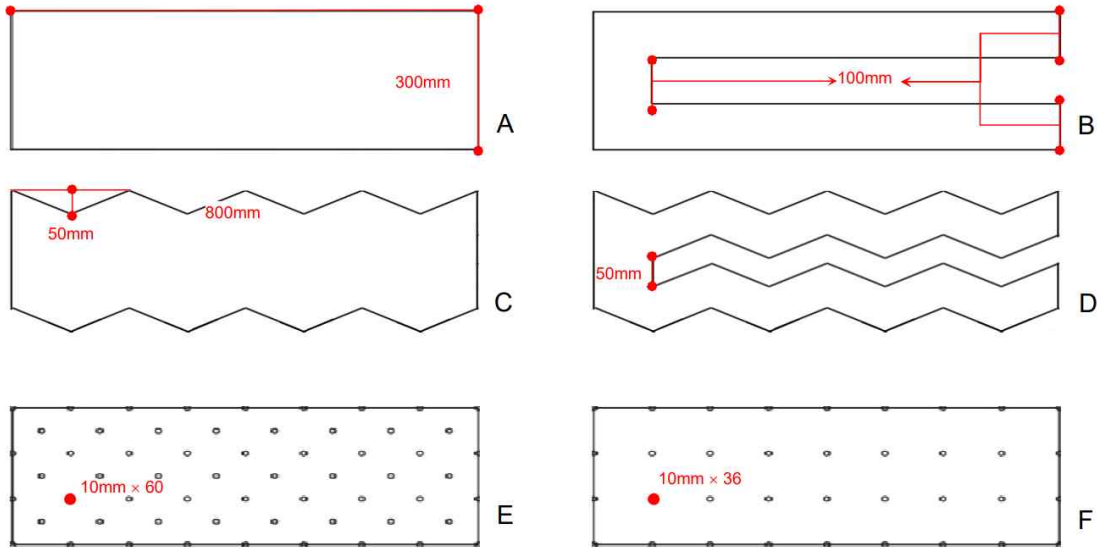


Figure 8. Sensor Design
(taken by author)



Figure 9. Sensor Fabrication
(taken by author)

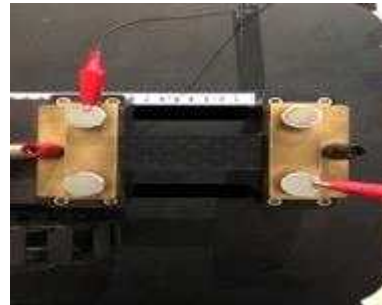


Figure 10. Sensor UTM Test
(taken by author)

2. 허벅지 운동능력을 위한 스트레치 센서 제작

CNT 0.1wt% water SWCNT(Single wall carbon nanotube, SWCNT) 분산 용액에 2분간 침지한 후, SWCNT입자가 섬유 표면에 잘 부착될 수 있도록 Vertical type pedder에서 1.0m/min의 롤러속도와 0.3mpa실린더 압력에서 3회 디핑/압착하였다. 함침공정을 통해 SWCNT를 분산시킨 이유는 함침공정이 직물에 전도성 물질을 분산시키는 가장 간단하고 효율적인 방법이기 때문이다 (Yun, Kim & Kim 2021). DLS-6600양방향 건조기를 사용하여

100~120° C에서 2분간 건조하였고 그 후 레이저 커팅기를 통해 6가지의 센서 디자인을 완성하였다(Figure 9). 이후 Dacell dn-fga Universal testing machine[UTM]을 통해 분산액을 코팅한 시료들을 고정된 후 측정 시 오류가 발생하지 않도록 느린 속도로 3초 동안 15mm를 늘렸다가 본래의 상태로 돌아가는 과정까지 10회 반복하여 테스트를 진행하였다(Figure 10). 각 시료 1,2에 물리적 특성인 인장강도(KS K 1308:2016), 신장률(KS S 0642,8.16.1:2016), 신장 회복률(KS 0642,8.16.2:2016 Method D)을 테스트하고 스트레치 센서의 적합도를 최종적으로 평가하였다.

3. 허벅지 운동능력 측정을 위한 피트니스 팬츠 제작

피트니스 팬츠는 (A)총기장77.5 (B)허리둘레64 (C)엉덩이둘레81.5 (D)허벅지둘레49 (E)밑단둘레14 (F)앞밑위14 (G)뒷밑위21.3 (H)밴드높이5 (혼용물- 폴리 에스터 78%/ 폴리우레탄 22%)의 사이즈를 사용했다(Figure 11). 대퇴사두근은 대퇴직근, 외측 광근, 중간 광근, 내 측광근으로 나누어져 있으며(Figure 12), 고관절을 구부리는 역할을 하고 걷기, 뛰기, 점프 등의 인간이 사용하는 대부분의 행동에 영향을

미치는 근육이다. 한 번에 4개의 근육을 측정할 수 있어 허벅지 운동능력 측정에 가장 적절한 위치라고 판단하였다. 피트니스 팬츠를 착용한 실험자의 대퇴사두근 중심부분의 팬츠 바깥 쪽에 전도성 실을 사용해서 센서 끝부분 이면에 고정하였고(Figure 13), Arduino program을 통해 결과값을 나타낼 수 있게 기기와 연결할 수 있는 단자를 달아 테스트를 진행했다(Figure 14).

런지운동(Lunge exercise)(Figure 15)과 스쿼트운동(Squat exercise)(Figure 16)은 대표적인 하체 근력 강화 운동이며

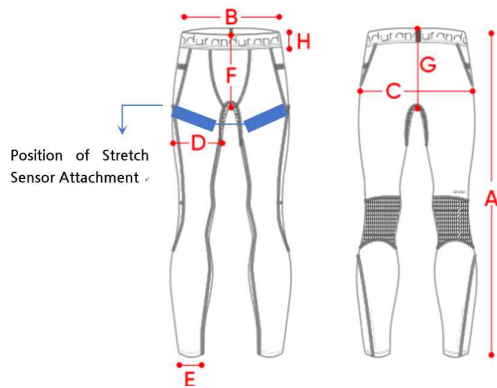


Figure 11. Schematic Painting
(<https://andar.co.kr>)

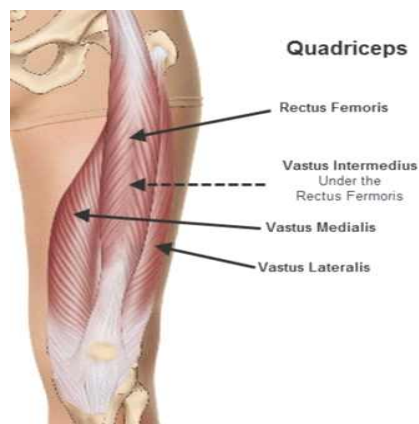


Figure 12. Quadratica
(<https://m.blog.naver.com/>)



Figure 13. Attach Stretch Sensor
(taken by author)



Figure 14. Wearing Prototypes
(taken by author)



Figure 15. Lunge Position
(taken by author)



Figure 16. Squat Position
(taken by author)

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

Δl : Original Length

l_0 : Absolute Change in Length

ΔR : Original (Initial) Resistance

R_0 : Absolute Change in Resistance

Figure 17. Gauge Factor
(taken by author)

일상생활에서의 동작이나 스포츠 활동에서 중요한 하체근력을 강화하기 위한 중요한 운동동작을 포함하고 있다. 따라서 테스트는 스쿼트와 런지 두가지 운동으로 진행했으며, 실험 대상자는 테스트 동작을 일정하게 시행할 수 있는 안정적인 운동능력이 있는 현직 헬스 트레이너를 대상으로 하였다. 스쿼트 운동의 자세는 양발을 어깨넓이로 넓힌 후 발끝을 약 15° 정도 바깥쪽으로 열어주고, 바닥을 세게 지지한 후 체중을 실어주고 무릎관절과 엉덩관절이 90° 가 될 때까지 내려간 후 발바닥으로 지면을 밀어내면서 올라온다. 런지 운동의 자세는 발을 앞뒤로 한 발씩 넓히고 앞발은 발바닥 전체를 뒷발은 발 앞꿈치만 바닥에 지지한 후 무릎을 가볍게 구부려 무게중심을 상체에 두고 체중을 발바닥 전체에 위치시킨 후, 엉덩이가 내려오는 동작을 취하며 상체자세를 유지하고 앞발로 지면을 밀어내며 시작자세 위치로 돌아간다. 실험

은 이 두가지의 동작을 반복 측정하며 스쿼트를 2초 간격으로 5회 실시 후 피로도 회복을 위해 1분 휴식 후, 런지를 동일한 방법으로 진행하였으며, 한 센서당 3set의 동일한 실험을 반복하여 측정하였다.

IV. 연구 결과 및 고찰

1. 스트레치 센서 샘플 성능 평가 결과

UTM기기를 사용하여 진행한 시료의 실험 결과는 초기의 저항과 최대 인장치의 저항, 저항 변화와 늘어난 길이로 나타난 곡선 변화와 그에 따른 GF 값으로 성능을 평가하였고 (Figure 17)에 그 식을 나타냈다. 그래프의 곡률이 일정하고 초기 저항이 낮을수록, 최대 인장치의 저항이 높을수록GF값

Table 2. Gauge Factor Value by Design for Sample 1.

The test was repeated 10 times until increasing of 15mm for 3 seconds were returned.

	A	B	C	D	E	F
Sample 1	2.66	3.24	9.73	9.05	3.22	11.55

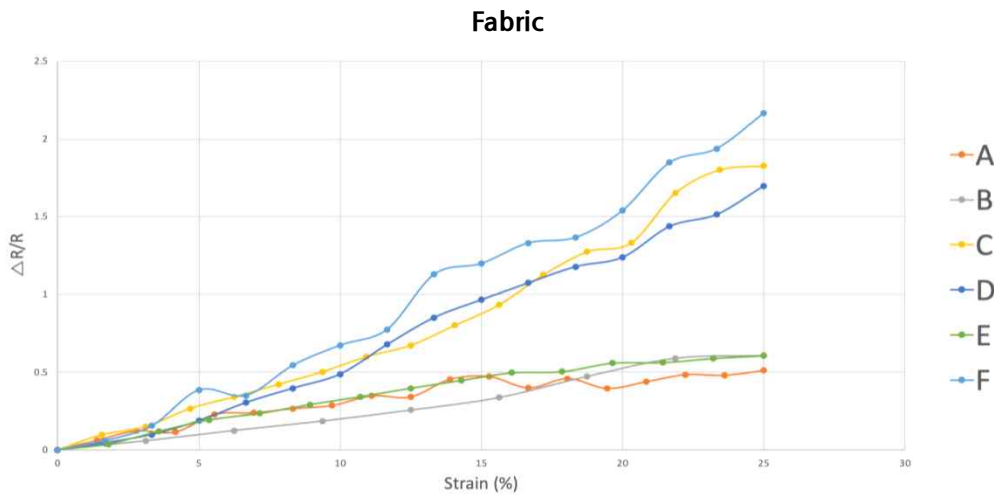


Figure 18. Fabric Graph(Sample 1)
(taken by author)

이 높게 나타날 수록 민감도가 우수하다고 평가하였다.

Table 2에서 보면 시료1에 디자인을 적용했을 때 A에서는 2.66의 결과 값이 같은 테두리모양에서 2 line의 ㄷ 자 모양으로 디자인을 가미했던 B에서는 3.24의 결과 값이 나와 디자인을 적용했을 때 민감도가 서로 다르게 나타나는 결과를 확인할 수 있었으며, 지그재그 line으로 테두리의 변화를 주었던 C는9.73, D는9.05의 결과값이 나와 디자인된 테두리의 모양에 따라서도 민감도가 달라지는 것을 확인했다. 타공으로 디자인되었던 E와 F는 각각 3.22와 11.55로 타공의 수가 더 많은 E가 오히려 F보다 낮은 값을 보여 타공의 개수가 너무 많아도 센서의 민감도가 떨어져 적정선에서 디자인을 가미하는 것이 민감도를 높일 수 있음을 확인했다. 같은 디자인을 시료2(Figure 19)에 적용했을 때 시료1과는 다른 양상을 확인할 수 있었는데 Figure 20과 Figure 21을 비교해보면 레이저 커팅 시 탄성사의 커버링 된 면이 파단이 되면서(Figure 21) 센서로서 사용하기에 부적합했으며, 또한 조직의 손상으로 탄성회복율이 일정하지 않아 샘플

시료들 간의 유의미한 GF값이 도출되지 않았다(Figure 19). 따라서 시료2에 디자인을 적용하기 위해서는 레이저 커팅이 아닌, 편성이나 제직을 통해서 디자인을 가미 해야 함을 유추할 수 있었다. Figure 18에서 보는 바와 같이 시료 1에서의 디자인 샘플 간의 민감도는 A < E < B < D < C < F의 순으로 나타내고 있어, 1mm 간격의 원형 36개 타공 센서(F) 와 지그재그 형태의 테두리 센서(C)가 가장 민감함 센서임을 알 수 있었다.

시료1과 시료2의 센서 적합도 판단을 위해서 신장률, 신장 회복률, 인장강도를 측정 하였으며, 그 값은 Table 3에 나타냈다. 허벅지 운동능력 측정을 위해서는 센서가 의복의 근육 부위에 접촉되어야 하고 동작에 방해를 주지 않기 위해 신축성을 가지고 있는 소재가 센서에 적용되어야 하며, 우수한 스트레치 센서를 제작하기 위해서는 최대한 늘어나는 힘인 신장률도 중요하지만 늘어났다 다시 돌아가는 힘을 나타내는 신장 회복률과 반복적인 사용이 가능하도록 내구성에 영향을 주는 인장강도가 동시에 고려 되어야한다. 비교

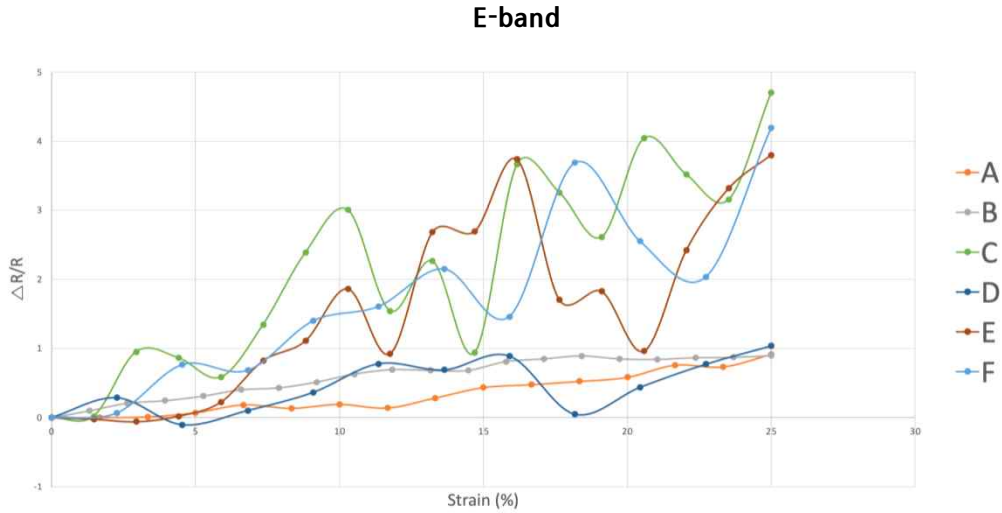


Figure 19. E-band Graph(Sample 2)
(taken by author)



Figure 20. Before E-band Processing
(taken by authors)

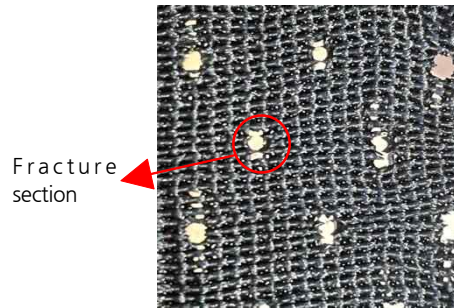


Figure 21. After E-band Processing
(taken by authors)

를 위해 디자인되지 않은 시료1(Fabric)의A와 시료 2(E-band)의 A, 그리고 디자인되었던 직물 중 GF값이 높 았던 시료1(Fabric)의 상위 1(Sample1-F), 2(Sample1-C)를 활용하여 피트니스 팬츠에 부착하여 운동테스트를 진행하였 다. 시료의 운동능력 측정 비교를 위해 런지와 스쿼트로 운 동능력 테스트를 진행했고, 아래와 같은 그래프 값이 도출되 었다(Table 4). 디자인을 가미하지 않은 시료1-A 와 시료 2-A의 파장을 비교하면, GF 값이 높았던 시료2-A 가 안정 적인 파장을 보여주었다. 반면 GF값이 더 우수했던 시료 1-F 와 시료1-C는 불안정한 파장을 보여주었다. 이는 센서

제작 시 센서의 민감도 도 중요하지만, 이완과 수축을 반복 해야 하는 센서의 특성상 신장률보다는 신장 회복률과 시료 의 표면적특성이 우선 고려되어야 한다는 점을 의미하며 반 복적인 사용을 해야 하는 센서의 특성상 인장강도 또한 중 요하다고 판단되었다. 디자인을 가미하지 않은 상태의 시료 1의 GF값은 2.72, 시료2의 GF값은4.88로 시료2가 우수했으 며, 인장강도 또한 시료1이254, 시료2가697로 우수했다. 신 장률은 시료1이 114.0, 시료2가 89.8로 나타났으며, 안정한 그래프의 기준이 되었던 신장 회복률은 시료1이 93.6, 시료 2가 98.0으로 나타나 종합적으로 분석한 결과 허벅지 운동

능력측정을 위해서는 E-band로 제작한 스트레치 센서를 사용하는 것이 적합함을 확인할 수 있었다. 이에 더하며 민감도를 높이기 위한 디자인을 레이저 커팅이 아닌 편성이나

제직 시 미리 가미해서 E-band에 적용한다면 커팅 시 E-band의 파단을 보완하면서 보다 우수한 성능의 스트레치 센서로 제작할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 3. Request Result

Test Item	Test Result	
	Sample 1	Sample 2
Tensile Strength (N) : KS K 1308:2016	254	697
Kidney Rate (%) : KS S 0642,8.16.1:2016		
Length Direction	114.0	89.8
Renal Recovery Rate (%) : KS 0642,8.16.2:2016 Method D (Recurrent Mental Field Method)		
Length Direction	93.6	98.0

Table 4. Motor Ability Measurement Graph

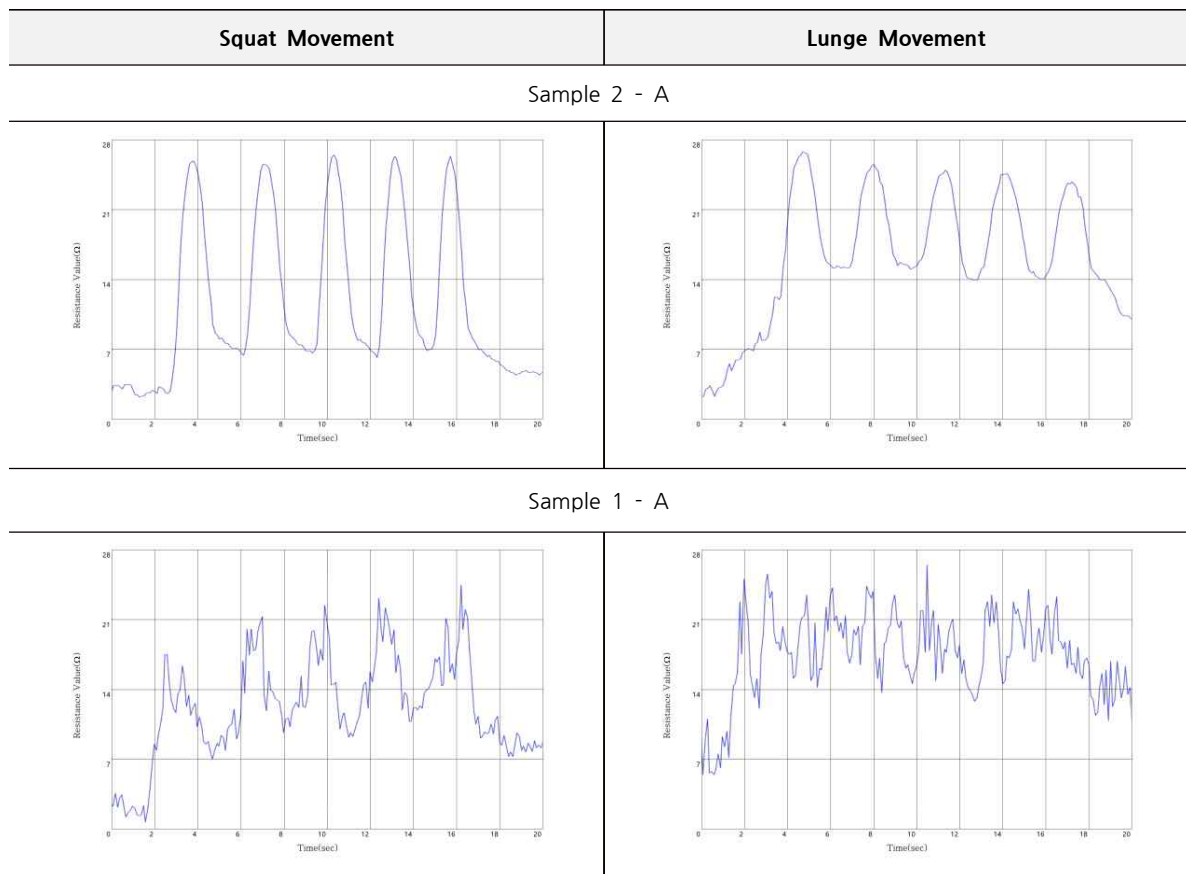


Table 4. Continued

Squat Movement	Lunge Movement
Sample 1 - C	
Sample 1 - F	

V. 결론

본 연구에서는 허벅지 운동능력 측정을 위한 SWCNT 기반의 텍스타일형 스트레치 센서를 제조하고 민감도 향상을 위한 디자인을 시료인 직물과 편물에 적용하였다. 디자인에 따라 달라지는 GF값을 UTM 기기를 활용하여 비교하였고 인장강도, 신장률, 신장 회복률을 바탕으로 센서의 적합도를 판단하였다. 이후 허벅지 운동능력 측정을 위한 대퇴사두근 부위에 적용하여 전문 트레이너를 대상으로 스쿼트와 런지의 동작실험을 통해서 스트레치 센서를 활용한 운동능력 측정을 검증하였다.

1. CNT(1wt% water SWCNT) 분산액을 원단에 2분간 침지한 후, SWCNT 입자가 섬유 표면에 잘 부착될 수 있도록 Vertical type pedder에서 1.0m/min의 롤러속도와 0.3mpa 실린더 압력에서 3회 디핑/압착하였다. DLS-6600 양방향 건조기를 사용하여 100~120° C 에서 2분간 건조하였고 침지

후 압착과 건조과정을 통해서 신축성 있는 나일론 혼방원단과 E-band를 사용하여 텍스타일형 스트레치 센서를 개발하였다.

2. 개발한 텍스타일형 스트레치 센서에 레이저 커팅기를 사용해 다양한 디자인을 적용 하였고 UTM 기기를 활용하여 GF값을 측정하여 디자인에 따라 민감도가 달라지는 것을 확인하였다. 시료 1에 디자인을 적용했을 때 A에서는 2.66의 결과 값이 같은 테두리 모양에 2 line의 ㄷ 자 모양으로 디자인을 가미했던 B에서는 3.24의 결과 값을 확인할 수 있었으며, 지그재그 line으로 테두리의 변화를 주었던 C는 9.73, D는 9.05의 결과 값이 나와 디자인된 테두리의 모양에 따라서 민감도가 달라지는 것을 확인하였다. 타공으로 디자인되었던 E와 F는 각각 3.22와 11.55의 결과 값을 보여주었는데 타공의 개수가 너무 많아도 센서의 민감도가 떨어져 적절한 디자인을 가미하는 것이 민감도를 높일 수 있음을 확인했다.

3. 나일론 혼방원단의 경우 디자인에 따라 각기 다른 GF

값이 도출되었고 E-band의 경우 레이저 커팅 시 커팅면이 파단 되어 불안정하고 무의미한GF값이 확인되었다. E-band에 민감도를 높일 수 있는 디자인을 적용하려면 레이저 커팅이 아닌 제직이나 편성 시 센서에 디자인을 가미해야하는 방법 등으로 제작방법이 연구되어야 함을 알 수 있었다.

4. 허벅지 운동능력 측정이 가능한 스트레치 센서를 피트니스 팬츠에 전도성 실을 사용해 대퇴 사두근에 부착하고 기기와 연결할 수 있는 단자를 달아 허벅지 운동능력 측정이 가능한 피트니스 팬츠를 프로토타입(Proto Type)으로 개발하였다. 스퀴트와 런지의 동작테스트를 진행한 결과 E-band로 제작된 피트니스 팬츠의 그래프의 값이 훨씬 크며 일정한 주기를 보여주었는데, 이는 스트레치센서 제작 시 이완과 수축을 반복해야 하는 센서의 특성상 제작 시 신장과 회복이 우수한 신장 회복률과 반복적인 사용이 가능하도록 내구성에 영향을 주는 인장강도가 고려되어야 함을 그래프의 파장으로 확인하였다.

5. 허벅지 운동능력을 위한 스트레치 센서로 근육의 변화에 따른 운동능력을 측정할 수 있었고, 운동능력 측정을 위한 센서제작시 고려해야할 필요 조건을 유추할 수 있었으며, 허벅지 외에도 하지근육을 많이 사용하는 다양한 스포츠 분야나 헬스케어 웨어러블 제품, 운동능력 측정을 위한 의료용 제품으로 응용이 가능할 것으로 사료되었다.

결론적으로, 허벅지 운동능력 측정을 위한 텍스타일형 스트레치 센서를 제작하기 위해 다양한 디자인을 적용해서 실험했으며, 안정적인 운동능력 측정이 가능한 스트레치 센서의 소재 및 디자인 방법을 제안하였다. 본 연구개발의 결과를 활용하여 허벅지 운동능력 측정의 중요성을 유발하고 지속적인 운동과 더불어 나아가서는 신체의 균형적인 발달과 건강 증진에도 기여하기를 기대한다.

References

- Cho, H. S., Park, S. H., Kang, D. H., Lee, K. H., Kang, S. J., Han, B. R., Oh, J. H., Lee, H. D., Lee, J. H., & Lee, J. W. (2015). Performance evaluation of fabric sensors for movement-monitoring smart clothing: Based on the experiment on a dummy. *Science of Emotion & Sensibility*, 18(4), 25-34. doi:10.14695/kjsos.2015.18.4.25
- Cochrane, C., & Cayla, A. (2013). Polymer-based resistive sensors for smart textiles. In *Multidisciplinary know-how for smart-textiles developers* (pp. 129-153). Woodhead Publishing. doi:10.1533/9780857093530.1.129
- Fabrication Process of T-TENG (textile - based triboelectric nanogenerator) and Soft TENG Textile Curved by Tweezer. (n.d.). Retrieved August 2, 2021, from https://www.researchgate.net/figure/a-Road-map-showing-the-evolution-of-the-T-TENGs-b-Illustration-of-the-wearable-textile_fig1_336784893
- Graphene-based Textile Strain Pressure Complex Sensor Applied to Cotton Gloves to Detect Body Signals according to Hand Movements (2018). Retrieved August 2, 2021, from https://www.etri.re.kr/kor/bbs/view.etri?b_board_id=ETRI06&b_idx=17342
- Jeon, H. J. (2006). *Compare and analyze the effect of three types of resistance exercises-squats, leg flexes and leg extensions--on muscular activity*. (Unpublished master's thesis). Kyungpook National University, Daegu, Korea.
- Jeong, J. O. (2021, Aug 27). *피부에 착 달라붙는 나노박막 소재 나온다* [Nano-thin film material that sticks well to the skin is coming out]. *INews24*. Retrieved August 30, 2021, from <http://naver.me/G7KmgYe0>
- Kim, J. S., Park, J. H., & Kim, J. Y. (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
- Kim, Y. H., & Lee, S. W. (2018). Review of the correlation between thigh circumference and risk factors of type 2 diabetes and cardiovascular disease, the exercise intervention method for increasing the thigh circumference. *Exercise Science* 27(2), 118-125. doi:10.15857/ksep.2018.27.2.118
- Kwak, J. H. (2021). *Analysing effect of treatment by PVA to stretch sensor based on E-Textile made by CNT*. (Unpublished master's thesis). Soongsil University, Seoul, Korea.
- Lee, J. I., & Jung, H. T. (2008). Technical status of carbon nanotubes composites. *Korean Chemical Engineering Research*, 46(1), 7-14.
- Muscle ware Technology for Correcting Posture by Attaching Stretch Sensors to Clothing (2021).

- Retrieved August 2, 2021, from <https://www.facebook.com/pg/alphaclo.official/posts>
- Nam, K. J., Kwon, S. H., Kim, J. H., & Lee, C. H. (2020). The study of change of quadriceps activity according to heel height during squat. *The Korean Society Of Sports Science*, 29(3), 889–897. doi:10.35159/kjss.2020.06.29.3.889
- Park, B. I. (2020). A study on the latest trends and development prospects of wearable healthcare industry: focusing on healthcare products and latest research of a renowned international journal. *The Journal of Next-generation Convergence Technology Association*, 4(2), 161–172. doi:10.33097/JNCTA.2020.04.02.161
- Piezoelectric Fabric (satin weave, plain weave, and twill weave). (n.d.). Retrieved August 2, 2021, from https://www.google.com/search?q=teijin+weave&tbm=isch&ved=2ahUKEwjnwb-nsK30AhXB_WEKHbP_AS0Q2-cCegQIABAA&oeq=teijin+weave&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJzoECAAQHjoECAAQGFCBjVjwHWCfH2gAcAB4AIABdYgB-wSSAQMxLjWYAQCgAQGqAQotnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&scient=img&ei=ykmcYe0BcH7hwOz_4foAg&bih=969&biw=1920#imgrc=2AeuuFRF6rrJQM
- Quadratic. (n.d.). Retrieved August 2, 2021, from <https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=natboy0611&logNo=220837813484>
- Roh, J. S. (2016). Wearable textile strain sensors. *Fashion & Textile Research Journal*, 18(6), 733–745. doi: 10.5805/SFTI.2016.18.6.733
- Schematic Painting. (n.d.). Retrieved August 2, 2021, from https://andar.co.kr/product/detail.html?product_no=6648&cate_no=1514&display_group=1
- Skin-attached Stretch Sensor. (2021). Retrieved August 2, 2021, from <http://www.ecotiger.co.kr/news/articleView.html?idxno=34049>
- Statistics Korea. (2019) 국민생활체육 참여 실태 조사 [Survey on participation in national sports]. Retrieved August 2, 2021, from https://www.mcst.go.kr/kor/s_policy/dept/deptView.jsp?pSeq=1228&pDataCD=0408010000&pType=
- Stretch Sensor Examples. (n.d.). Retrieved August 2, 2021, from <https://stretchsense.com>
- Worldwide Wearable Forecast by Product Category (2018). Retrieved August 2, 2021, from <https://electronics360.globalspec.com/article/13270/apple-to-continue-to-dominate-wearables-through-2022>
- 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. *Science of Emotion & Sensibility*, 24(2), 65–74. doi:10.14695/KJSOS.2021.24.2.65

Received (September 7, 2021)

Revised (October 8, 2021; November 2, 2021)

Accepted (November 5, 2021)