

패션비즈니스 제26권 5호

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

J. fash. bus. Vol. 26,
No. 5:91-104, Nov. 2022
[https://doi.org/
10.12940/jfb.2022.26.5.91](https://doi.org/10.12940/jfb.2022.26.5.91)

Corresponding author

Rira Kim
Tel : +070-4006-5029
Fax : +82-2-6330-2019
E-mail : rira@shints.com

Keywords

smart device,
cycle operation analysis,
cyclewear, smartwear
스마트 디바이스,
사이클 동작분석, 사이클웨어,
스마트웨어

이 (성과물)은 산업통상자원부 '소재부품기술개발사업(패키지형)'의 재원으로 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행된 연구임(과제명 : 운동분석과 인터랙티브 헬스케어 서비스가 가능한 통합 운영시스템이 내장된 고내구성 스마트 웨어 및 서비스 플랫폼 개발, 과제번호 : 20016037)

사이클링 스마트웨어 제작을 위한 빙 팬츠 디자인 및 패턴 개발

김윤영* · 유병하 · 이우재 · 이기광 · 김리라†

*(주)소프엔티 · (주)신티에스 · 국민대학교 체육학과
국민대학교 스포츠건강재활학과 · †(주)신티에스

Development of Bib Pants Design and Pattern for Cycling Smart Wear

Yunyoung Kim* · Byeongha Ryu · Woojae Lee

Kikwang Lee · Rira Kim[†]

*Sofnt Inc · Shin Textile Solutions Co. Ltd. · Dept. of Physical Education, Kookmin University, Korea · Dept. of Sports Health & Rehabilitation, Kookmin University, Korea · †Shin Textile Solutions Co. Ltd.

Abstract

In this study, a cycling smart wear for measuring cycling posture and motion was developed using a three-dimensional motion analysis camera and an IMU inertial sensor. Results were compared according to parts to derive the optimal smart device attachment location, enabling correct posture measurement and cycle motion analysis to design a pattern. Conclusions were as follows: 1) 'S—T8' > 'S—T10' > 'S—L4' was the most significant area for each lumbar spine using a 3D motion analysis system with representative posture change (90°, 60°, 30°) to derive incisions and size specifications; 2) the part with the smallest relative angle change among significant section reference points during pattern design was applied as a reference point for attaching a cycling smart device to secure detachable safety of the device. Optimal locations for attaching the cycling device were the "S—L4" hip bone (Sacrum) and lumbar spine No. 4 (Lumbar 4th); 3) the most suitable sensor attachment location for monitoring knee induction-abduction was the anatomical location of the rectus femoris; 4) a cycling smart wear pattern was developed without incision in the part where the sensor and electrode passed. The wearing was confirmed with 3D CLO. This study aims to provide basic research on exercise analysis smart wear, to expand the smart cycling area that could only be realized with smart devices and smart watches attached to current cycles, and to provide an opportunity to commercialize it as cycling smart wear.

I. 서론

1. 연구배경

사이클링(cycling)은 남녀노소 누구나 즐길 수 있는 유산소 운동이며 건강 증진 및 여가의 수단으로 전문가는 물론 일반인들도 자주 이용한다(Park & Do, 2015). 특히, 사이클링은 스트레스 해소에 도움을 주는 스포츠로 심혈관 운동인 동시에 체력과 근력 증가, 비만 및 고혈압을 예방하고(Jung, 2013), 수면을 개선하며 죽상경화성 심혈관질환의 대사중후군 위험인자에도 효과적으로 작용한다(Short, Vittone, Bigelow, Proctor, Rizza, Coenen-Schimke, & Nair, 2003). 하지만 많은 사람들이 사이클링을 수행함에 있어 신체 운동 능력 저하 및 부상이 발생하는 경우가 빈번하다. 그 이유는 공기저항을 줄이기 위해 정면의 단면적을 감소시킨 상태로 주행 시 허리가 고정된 자세를 유지하고(Brukner, Clarsen, Cook, Cools, Crossley, Hutchinson, McCrory, Bahr & Khan, 2021), 반복적인 동작의 특성을 가지고 있으며(Turpin & Watier, 2020; Han, 2013), 개인의 신체 운동 능력에 따라 페달링의 자세가 변화되기 때문이다. 사이클링 시 올바른 페달링 자세는 주행자의 운동 능력을 향상시키는 요인이기 때문에(Kang & Lee, 2013) 페달링 시 운동 자세를 올바르게 갖추고 수행되어야 관절에 부담을 주지 않게 되며(Lee, 2020) 오류동작을 예방할 수 있다.

선행연구에 따르면, 사이클리스트는 무릎과 요추에 대한 부상이 제일 빈번하게 발생한다고 보고되었으며(Borgers, Claes, Vanbeek, & Claes, 2020; Nachemson, 1976; Wilke, Neef, Caimi, Hoogland, & Claes, 1999; Polga, Beaubien, Kallemeier, P. M., Schellhas, Lew, Buttermann, & Wood, 2004), 이러한 부상을 예방하기 위해 최근 사이클링 피팅 기술이 관심분야로 부상하고 있다. 피팅 기술은 사이클리스트의 부상 및 사고 예방과 라이딩 효율성을 높이기 위한 신체사이징, 사이클 세팅, 동작 코칭 등 종합적인 과정으로 실시 되는데(Shon, 2020), 약간의 오류 동작으로도 부상을 야기시킬 수 있기 때문에 대상자에게 알맞은 피팅이 중요하며 오류 동작을 조정해주어야 한다(Han, 2013). 또한 자전거 사용 인구가 크게 증가함에 따라 전문적인 사이클링 의류와 장비에 대한 수요도 늘어나고 있으며, 사이클리스트들은 사이클링 시 주행성을 향상시키며 보다 쾌적함을 지속적으로 유지할 수 있는 기능성 섬유 소재를 적용한 사이클 웨어와 사이클링 시 주행거리, GPS, 지형 경사도 및 고도, 심박수 및 페달링 속도 등에도 관심이 많은 추세다.

이러한 사이클링 장비들은 사용자의 운동 정보를 표시해 운동에 대한 동기부여와 이용자 스스로 목표를 설정하고 운동할 수 있도록 돕기 때문에 사이클링 스마트웨어 제품을 이용하여 스스로 헬스케어 하기 원하는 사용자의 수요가 매우 높다(Lee & Hong, 2019).

2. 연구필요성

하지만 수요가 높아진 사이클링 스마트웨어 제품은 스마트 워치(smartwatch)나 자전거에 부착하는 스마트 디바이스로 출시되거나, 인체 표면에 직접 부착된 상태가 아니고, 사이클 웨어와 IT 디바이스가 일체화되지 않은 상태로 센서가 최적화된 상태가 아니기 때문에 사이클 장비에서 나타나는 정량적 생체정보들을 정확하게 이용자들에게 제공하는 데 한계가 있다.

따라서 이 연구의 목적은 센서를 활용해 사이클링 자세와 동작을 측정하고 부위에 따른 결과값을 비교하여 최적의 스마트 디바이스 부착 위치를 도출해 올바른 자세 측정과 사이클 동작 분석이 가능한 사이클링 스마트웨어 디자인과 패턴을 개발하는 것이다. 이 연구를 통해 운동 분석 스마트웨어의 기초 연구를 제공하고, 현재 사이클에 부착하는 스마트 디바이스 및 스마트워치로만 실현 가능한 스마트 사이클링 영역을 확대하여 이를 사이클링 스마트웨어로 제품화할 수 있는 계기를 마련하고자 하는데 본 연구의 의의가 있다.

II. 이론적 배경

1. 스마트웨어의 정의 및 사례

스마트웨어는 1970년 말 “Existential Computer”라 불리던 ‘웨어러블 컴퓨터(Wearable computer)’로부터 발전된 개념으로(Mann, 1997; Tao, 2001) 고기능성 섬유에 디지털 센서, 초소형 컴퓨터 칩 등이 들어 있어 주변 환경에 대해 의복 자체가 자극을 감지, 작동, 반응할 수 있는 디지털 기반의 의류를 의미한다(You, Choi, Park, & Jeong, 2013). 4차 산업혁명 이후 디지털 기술이 제품에 새로운 가치를 부여하며 산업 성장을 이끌고 있는 가운데, 스마트 의류는 웨어러블 분야에서 높은 성장 잠재력을 보이고 있으며(Lee, Choo, & Kim, 2021),

전 세계 스마트웨어 시장에서 주요 스타트업 기업을 살펴보면, AiQ Smart Clothing (대만), Athos(미국), Carre

Technologies(캐나다), Sensoria(미국), Cityzen Sciences(프랑스) 등이 있으며(Table 1), 이들은 대부분 피트니스나 요가와 같은 운동 분석과 헬스케어에 집중되어 있음을 알 수 있다. 제품화된 스마트 의류는 대체로 공통된 패턴 (① 생체데이터 감지 > ② 데이터의 전송 > ③ 착용자 앞 정보 제공)을 보이며 착용자의 특정 활동을 모니터링·보완하는 기능을 제공한다(Park, 2019).

또한, IT기업과 패션의류업체의 협업을 통한 스마트 의류 개발 시도도 볼 수 있는데, 스타트업의 기능복과 구별되는 일상복의 출시로 이어지며 향후 생활밀착형 스마트 의류의 보편화 가능성 조명한다(Park, 2019). 글로벌 IT기업 구글(Google)은 의류 브랜드 리바이스(LEVI'S)와 협업을 통해 2017년과 2019년 두 차례에 걸쳐 스마트 재킷을 출시했으며, 스포츠 의류 브랜드 나이키(NIKE)는 IT기업 애플

Table 1. Smartwear Product Release Status

Type	Brand	Characteristic
Exercise analysis	Athos	<ul style="list-style-type: none"> • Athos Shirt • Monitoring muscle activity and fatigue • Efficient exercise direction setting through data management transmitted to smartphone app
	Wearable X	<ul style="list-style-type: none"> • Launched Nadi X, a yoga apparel product
Exercise analysis+Health care	AiQ Smart Clothing	<ul style="list-style-type: none"> • Launch of smart tools for remote monitoring of connected health and patients • Sensors built into the smartwear monitor heart, respiratory, activity and sleep data
	Hexoskin	<ul style="list-style-type: none"> • Launch of smart tools for remote monitoring of connected health and patients • Monitoring heart, respiratory, activity and sleep data with sensors built into the smartwear • Launch of next-generation smartware Hexoskin Smart Kits for use with Hexoskin smart devices
Health care	Sensoria	<ul style="list-style-type: none"> • In partnership with VIVOBAREFOOT, launches the VIVOBAREFOOT Smart Shoe, an Internet of Things (IoT) shoe. Sensoria Smart Sock • Correction and management of walking habits • A pressure-sensitive fiber sensor detects the sock wearer's gait and walking habit. • Correct gait coaching in real time via smartphone app audio
	Care Technologies	<ul style="list-style-type: none"> • Launch of smart tools for remote monitoring of connected health and patients • Sensors built into the smartwear can monitor heart rate, respiratory, activity and sleep data • Partnership with Kissei Comtec to distribute Hexoskin's biometric apparel and connected health software alongside Kissei's products
	Owlet	<ul style="list-style-type: none"> • Owlet Smart Sock • Real-time monitoring of infants and toddlers • Heart rate and blood oxygen concentration are measured when socks are worn on baby's feet, and a notification function operates when the normal range is exceeded. • Parents can check information through smartphone app in real time

Adapted from "Smart clothing market", by Innopolis, 2020

(Apple)과 제휴하여 스마트폰 앱을 이용해 신발 끈을 조절할 수 있는 스마트 신발을 제작하기도 했다(Park, 2019).

따라서 이러한 선행연구로 보았을 때, 곧 도래할 온택트 환경에 대비하여 디지털기술을 사이클웨어에 통합시켜 기존 사이클웨어에서는 서비스하지 못했던 사이클 자세 및 동작, 생체신호 등을 분석할 수 있는 혁신적인 사이클웨어가 필요한 시점이라 할 수 있다.

2. 사이클링 스마트웨어 분석 자세 및 부위선정

사이클링시 어떤 자세와 인체 부위를 분석해야 할지 알아보기 위해 선행연구를 고찰하였다. Marsden & Martin (2010)은 사이클 시 가장 많이 나타나는 부상은 요통(lower back pain)이라고 보고하였고, 사이클리스트 중 요통 발병 확률이 60%까지 있다고 보고하였다. 또한, Van Hoof, Volkaerts, O'Sullivan, Verschueren, & Dankaerts(2012)는 요통을 지니고 있는 사람들이 어떻게 사이클링을 수행하는지 확인하였는데, 요통 환자가 요추 전후 굴곡이 빈번하게 발생했음을 보고하였으며, 하루 요추 굴곡 각도 정의를 Sacrum과 Lumbar 3th 사이라고 정의하였다. 반면, 자전거를 타면서 발생하는 부상은 무릎과 관련된 것들이 많은데 그 예로 연골연화증, 슬개골건염, 슬개골 내측추벽증후군과 장경인대증후군과 같은 상해가 발생할 수 있다(Min, Seo, Kim, & Choi, 2021). Gardner, Zhang, Liu, Klipple, Stewart, Milner, & Asif(2015)는 사이클링 시 내측 무릎 골관절염 환자가 나타나는 생체역학적 영향을 확인했는데, 일반인의 경우 무릎 내전 각도가 2.2°로 나타났으며, 일반인들은 페달링 중 경골(Tibia)이 내측으로 회전하는 경우가 많다고 보

고되었다(Asplund & St Pierre, 2004). 페달링 시 무릎이 고관절과 발목의 수직축(vertical axis) 라인보다 멀어질 경우 모멘트암(Moment arm)의 증가로 장기간 사이클링을 지속할 경우 지속적인 스트레스가 누적될 것으로 보였다.

따라서 본 연구에서는 센서를 활용해 요추의 전후 굴곡 각도 측정과 무릎의 내-외전 각도를 함께 유추할 수 있는 스마트웨어 제작을 위해 센서의 최적의 부착 위치를 실험으로 도출하고자 한다.

III. 연구방법 및 절차

1. 피험자 선정

본 연구에서는 실험일 기준(2022.04.15.)으로 6개월 내 하지 근골격계 질환과 사이클링 시 신체적 결함이 없고 평균적으로 일주일에 3번, 1시간씩 사이클링을 하는 체육학과 남성 1명(연령:31세, 신장:1.75m, 체중:75kg, 경력:5년)을 목적 표집(purposive sampling)하여 실험을 실시하였다. 실험 전, 대상자에게 실험 내용 및 유의사항을 충분히 설명하였으며 실험참여동의서를 획득하였다.

2. 실험 장비 및 실험 방법

본 연구를 위해 연구참여대상자는 3종류의 정적(static)인 사이클링 자세(90°, 60°, 30°)를 취하여 요추의 전후 굴곡 각도(Figure 1)를 분석하였고, 60° 자세에서 30초씩 무릎 정상 범위(natural position) 동작과 무릎 내-외전 발생(rotation position) 동작(Figure 2)을 실시하여 분석하였다.



Figure 1. Lumbar Flexion Angles Define (90°, 60°, 30°)
(taken by authors)



Figure 2. Knee rotation range of angular velocity
(External rotation, Standard, Internal rotation)
(taken by authors)

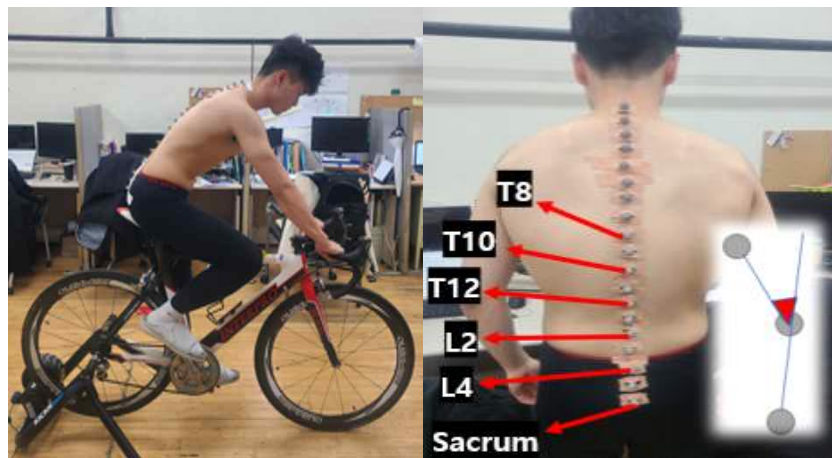


Figure 3. 3D Motion Capture System - Lumbar Flexion Angle Define
(taken by authors)

또한, 실내 사이클링을 위한 로라(Wahoo kickr snap, USA)에 경기용 실외 사이클(Interpro MTB, USA) 1대를 설치하고, 운동학적 변인을 측정하기 위해 3차원 동작분석 카메라(Vicon, MX-T40, UK) 10대(200Hz)와 IMU 관성센서(Vicon, I measure U, UK) 2대(1125Hz)를 사용하였다. 또한, Nexus 소프트웨어(Nexus 1.8.5, VICON, UK)를 이용해 수집하였다. 요추 전후 굴곡 각도와 무릎 내-외전 움직임을 측정하기 위해 11개 반사 표시 마커를 요추(Thoracic 8th, Thoracic 10th, Thoracic 12th, Lumbar 2th, Lumbar 4th, Sacrum)의 해부학적 위치에 부착하였으며(Figure 3), IMU 관성센서를 각각 1개씩 요추(Lumbar 4th, Sacrum)와 대퇴직근(rectus femoris)의 해부학적 위치에 부착하였다(Figure 4).

3. 실험 절차

본 연구에서 연구참여대상자는 총 2번의 실험을 진행하였다. 첫 번째 실험에서는 요추 굴곡 지점을 선정하기 위해 3차원 동작분석 카메라로 마커를 부착하여 진행하였고, 두 번째 실험에서는 첫 번째 실험에서 얻은 데이터를 기반으로 IMU 관성센서로 요추 굴곡 지점을 선정하여 실험을 진행하였다. 연구참여대상자는 사이클용 로라가 설치되고, 직립 자세 시 안장 높이가 하지 대전자(greater trochanter : GT)로부터 발 뒤꿈치까지 사이 95% 거리로 설정된(MacAuley, 1995) 경기용 사이클에서 각 실험당 3종류의 사이클링 자세(90° , 60° , 30°)를 취하였다. 90° 자세는 사이클 핸들을 잡지

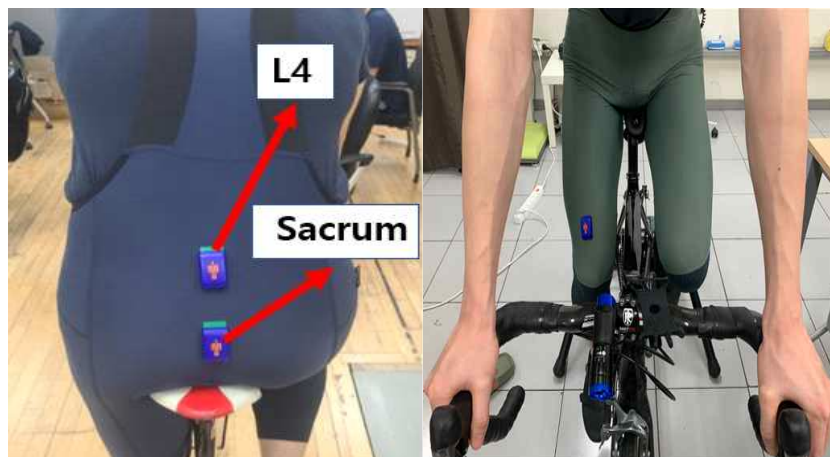


Figure 4. IMU sensor - Lumbar Flexion Angle and Knee Rotation (taken by authors)

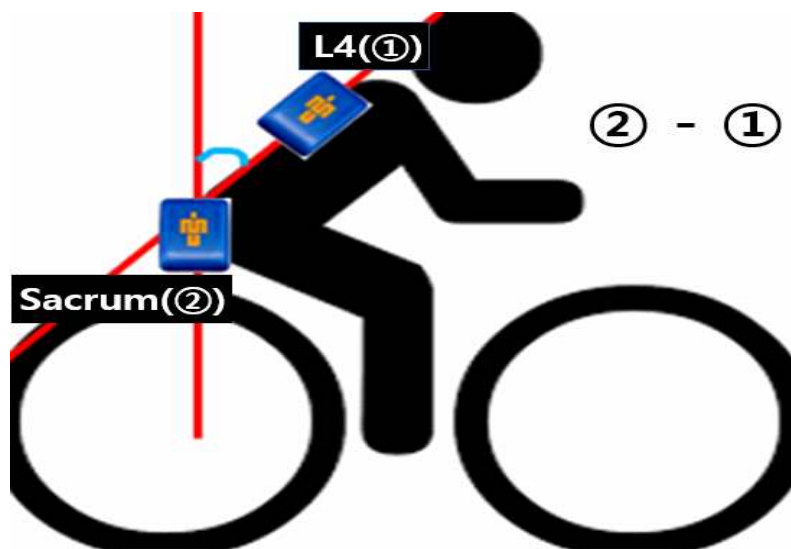


Figure 5. IMU Sensor Flexion Calculation (taken by authors)

않은 상태에서 상체를 직립으로 취하였고, 60° 자세는 사이클 핸들의 상단 부분을 잡은 상태를 취하였으며, 30° 자세는 사이클 핸들의 하단 부분을 잡은 상태를 취하였다. 또한, 60° 자세에서 60초간 사이클 운동을 실시하였는데 전반 30초는 무릎을 정상 범위 동작에서 실시하였고, 후반 30초는 무릎 내-외전 발생 동작에서 실시하였다.

4. 가동범위 측정동작

본 연구에서 스마트 디바이스가 적용된 사이클 웨어를 개발 하는데 있어 스마트 디바이스의 부착 위치를 선정하기 위해 3차원 동작 분석 카메라와 IMU 관성센서 신호를 통해 센서 최적화를 실시하고자 하였다. 이에 대해 90° 자세 시점, 60° 자세 시점, 30° 자세 시점을 이벤트로 설정하였으며,

60° 자세에서 무릎 정상 범위 시점, 최대 무릎 내전 시점, 최대 무릎 외전 시점을 이벤트로 설정하였다. 변인에 대한 산출은 다음과 같다.

1) 요추 전후 굴곡 각도

각 사이클링 자세에 대한 요추 전후 굴곡 각도 정의는 다음과 같다. 3차원 동작 분석 카메라에서는 반사 표시 마커 Sacrum - Lumbar 4th, Sacrum - Lumbar 2th, Sacrum - Thoracic 12th, Sacrum - Thoracic 10th, Sacrum - Thoracic 8th의 상대 각도로 산출하였다. IMU 관성센서는 각 센서 2개 접선의 상대 각도로 정의하였으며 엉치뼈(Sacrum)에 부착된 IMU 관성센서로부터 요추4번(Lumbar 4th)에 부착된 IMU 관성센서의 차이(②-①)로 산출하였다(Figure 5).

2) 무릎 내-외전 발생 각속도 범위

60° 자세에 대한 무릎 내-외전 발생 각속도 범위는 자이로 센서(X-axis)로 정의하였으며 대퇴직근(Rectus femoris)에 부착된 IMU 센서의 절대값 최대값에서 최소값의 차이(|Max| - |Min|)로 산출하였다(Figure 6).

IV. 연구결과 및 고찰

1. 요추 전후 굴곡 각도

1) 3차원 동작분석 시스템 측정 결과

대표자세 변화(90°, 60°, 30°)를 통해 3차원 동작분석 시스템을 통한 Sacrum과 요추사이의 기준점들 간의 변화값 측정은 사이클링 스마트웨어 패턴제작시 인체각도값이 가장

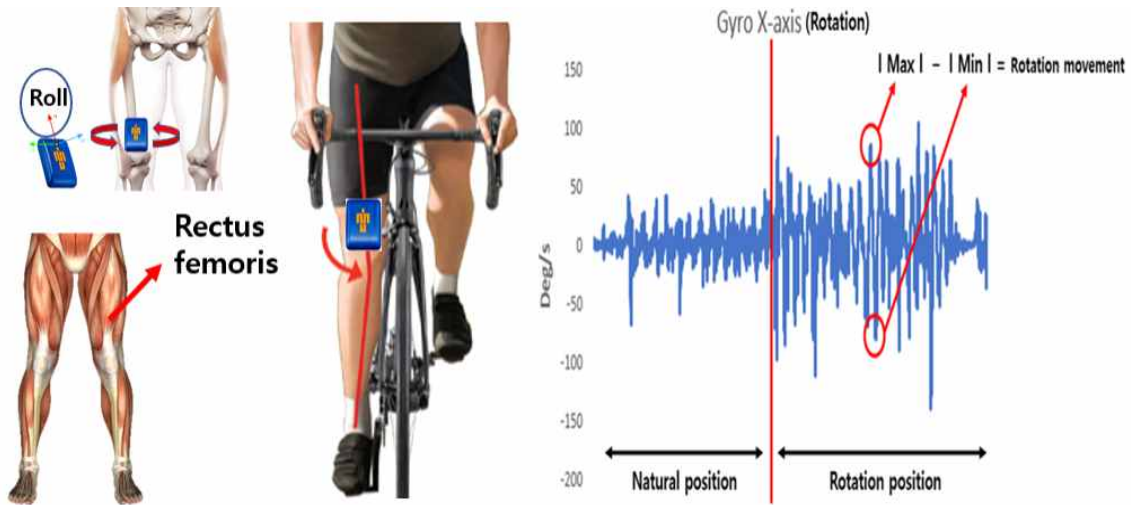


Figure 6. Knee Rotation Range of Angular Velocity (taken by authors)

Table 2. Lumbar Flexion Angle

(Deg)

Variables		90°	60°	30°
3D measurement relative angle	S-L4	5.6	6.9	17.5
	S-L2	4.5	15.6	13.1
	S-T12	-9.4	7.3	13.8
	S-T10	-12.6	7.5	19.9
	S-T8	-12.3	9.2	25.2

* S : Sacrum / L : Lumbar / T : Thoracic

큰 부위를 패턴 설계 유의구간으로 파악하여 패턴절개, 사이즈스펙도출에 적용하기 위함이다. 이에 3차원 동작분석 시스템 측정 결과, 각 사이클링 자세 별 요추 전후 굴곡 각도 차이가 가장 크게 나타난 부위는 'S-T8' > 'S-T10' > 'S-L4' 로 패턴설계시 유의구간으로 삼기 위함이다(Table 2)(Figure 7).

또한 유의기준점 중 변화값이 가장 적은 부위는 향후 사이클링 스마트 디바이스를 부착하여 사이클링시 부착의 안전성 확보와 사이클링운동시 위치변화가 없는 위치를 선정하기 위해서이다.

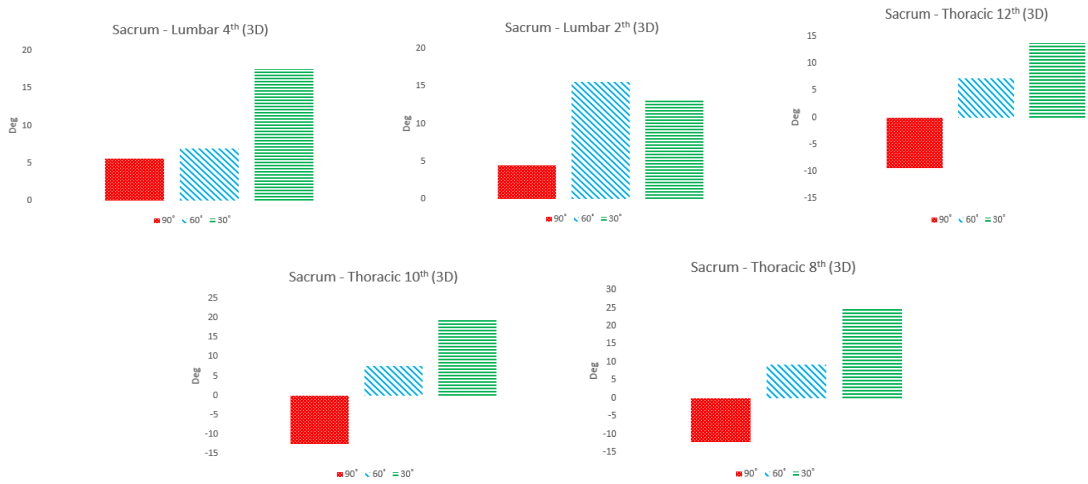


Figure 7. Lumbar Flexion Angle (3D Motion Capture System)



Figure 8. Lumbar Flexion Angle 30° 3D Motion Capture System(17.5°) VS IMU Sensor (59.2°) (taken by authors)

Table 3. Lumbar Flexion Angle (IMU Sensor) (Deg)

Variables	90°	60°	30°
S-L4	1.27	44.79	59.2

* S : Sacrum / L : Lumbar / T : Thoracic

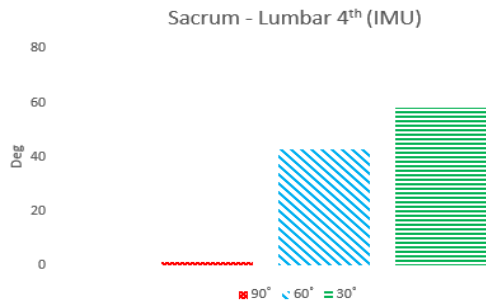


Figure 9. Lumbar flexion angle (IMU sensor) (drawn by authors)

2) IMU 관성센서 측정 결과

위 3차원 동작분석 시스템 측정 결과를 바탕으로, 사이클링 스마트웨어 특성상 흉추(Thoracic)에 센서를 부착하기 어렵기 때문에 요추 전후 굴곡을 모니터링하기 가장 적합한 센서 부착 위치는 영치뼈(Sacrum)과 요추 4번(Lumbar 4th)으로 판단되었다.

센서부착으로 적합한 부위를 상기와 같이 도출한 뒤 사이클웨어 개발을 위해 영치뼈(Sacrum)과 요추 4번(Lumbar 4th)에 관성센서를 부착하여 요추 전후 굴곡 각도 차이를 측정하였는데 이에 대한 결과값은 3차원 측정값과 차이가 발생한다. 이는 Fig 8에서와 같이 두 부위(영치뼈-요추4번) 간의 각도변화를 알기 위해서는 중간지점에 기준점 설정을 하는 3차원 동작분석과 다르게 IMU 관성센서는 두 부위(영치뼈-요추4번)로 인한 각도를 직접 측정하는 원리의 차이임을 알 수 있다.

이에 3차원 동작분석 특성상 사이 각도(between angle)를 산출하기 위해서는 측정 부위 사이 중간 지점에 기준점을 설정하여 이에 따른 상대 각도들을 비교 후 IMU 관성센서 적용의 최적부위로 영치뼈-요추4번을 설정하였다. 이에 사이클웨어 개발을 위해 상체 자세에 따른 영치뼈-요추4번의 실제 각도 변화를 측정하였으며 이에 대한 결과는 다음과 같다(Table 3)(Figure 9).

2. 무릎 내-외전 발생 각속도 범위

무릎에 IMU 관성센서를 적용하여 0~30초 사이에는 정상동작, 30초~60초 사이에는 내-외전 발생 동작을 실시하여 시간에 따른 각속도 값을 측정하였으며, IMU 관성센서 측정 결과, 대퇴직근(Rectus femoris)에 부착된 IMU 센서의 무릎 동작 별 각속도 범위는 다음과 같다(Table 4)(Figure 10).

즉 60초의 시간 중 정상 동작(Natural)에서는 0초 ~ 30초 동안 사이클링 시 무릎의 내-외전의 차이가 적게 나온 결과값은 58.28 Deg/s이고, 내-외전 발생 동작(Rotation)이 큰 30~60sec 사이에서는 180.68 Deg/s로 결과가 나타났다. 이를 통해 내-외전 발생 동작에서 정상적인 자세와 별립현상이 크게 나타났을 때 무릎의 좌우 움직임 범위를 유추할 수 있는 각속도 차이를 파악하여 하의 영치뼈에서 무릎부위까지의 패턴 설계(절개삽입)시 참고하고자 한다.

3. 사이클 스마트웨어 제작을 위한 빙 팬츠 패턴 설계

위의 실험결과를 바탕으로 국내 자전거 전문 의류 브랜드 NSR의 빙 팬츠(BIB PANTS)의 패턴을 기본으로 아래 Figure 11과 같이 스마트 디바이스의 위치를 선정하여 디바이스가 부착되는 부위는 절개를 피하고 Figure 12과 같이

Table 4. *Knee Rotation Angular Velocity* (Deg/s)

Variables	<i>Natural</i>	<i>Rotation</i>
Knee rotation angular velocity	58.28	180.68

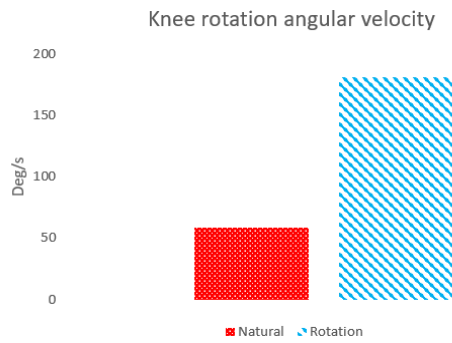


Figure 10. *Knee Rotation Angular Velocity* (drawn by authors)

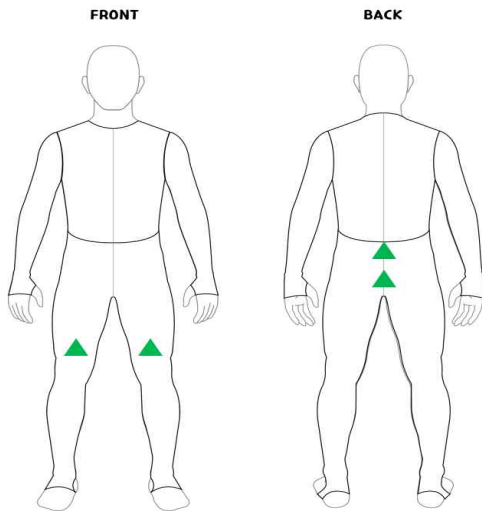


Figure 11. *Position of Sensors and Electrodes* (taken by authors)



Figure 12. *Flat Pattern of the Cycling Smartwear* (taken by authors)

디자인하였다.

사이클링은 저항을 줄여야하는 운동이므로 인체에 완전 밀착되고 하나의 아이템만 입어도 허리의 각도와 다리의 벌 어짐을 측정할 수 있는 의류를 제작하려 했기 때문에 빙 팬

츠로 아이템을 선정했다. 또한 무릎의 각도를 측정해야 하므 로 무릎을 덮는 7부 길이로 디자인했다. 요추 전후 굴곡 각 도를 측정하기 위해 엉치뼈(Sacrum)에 센서가 부착되어야하 므로 뒷판의 엉덩이 가운데 절개선을 없애고 하나의 조각으

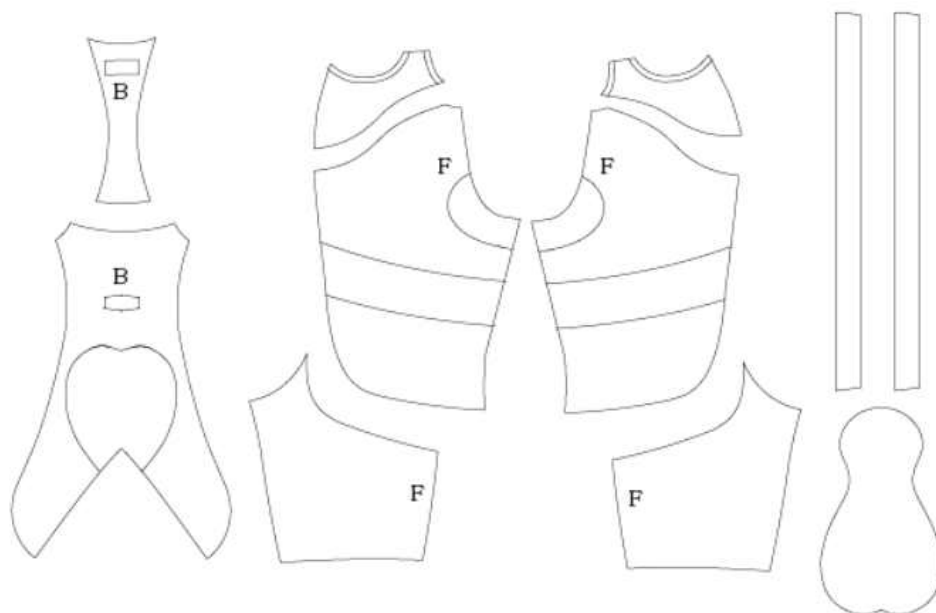


Figure 13. 2D Pattern of the Cycling Smartwear (taken by authors)

Table 5. Size Spec Chart

(cm)

Size Spec Chart		Sample Size(L)				
#	POSITION	1 st req	1 st check	2 nd Req.	2 nd Check	Final
1	1/2 WAIST 허리둘레	33	33.5	33	33.5	33
2	1/2 HIP 힙: (Measure by V shape based on FRONT PAD CENTER POINT)	38	39.0	38	39	38
3	1/2 THIGH (Measure at 3CM upper from crotch)	23.5	23.5	23.5	24	23.5
4-1	1/2 of Knee	14	17	16.5	16.5	16.5
4-2	1/2 of the calf	12	12.7	12.5	12.8	12.5
5	INSEAM	53.5	57	54.0	54.5	54
6	BACK BODY WIDTH	22.5	22	22	22	22
7	BACK BODY HEIGHT	32	31.5	28	28	28
8	SHOULDER BAND LENGTH (from BACK SHOULDER to FRONT WAIST)	33	32.5	65	65.5	65
9	FRONT RISE 앞상(include FRONT YOKE and BINDING /exclude STITCH)	26.5	24.0	27	28	27
10	BACK RISE (include BACK YOKE / exclude STITCH)	37.5	34.5	40	39.5	40



Figure 14. Cycling Smart Wear CLO3D Photo (Front, Back, Side) (taken by authors)

Total Body	
Height	Total Height 1879.6 mm
Width	Chest Circumference 965.2 mm
Details	
Basic Millimeter	
Neck	
Neck Base	Circumference 409.6
HP5	Height 1615.7
Hip	
High Hip	Circumference 882.6
Low Hip	Circumference 952.5
Shoulder	
Across Shoulder (Curvilinear)	441.3
CF Neck to	
CF Neck to Waist	425.4
CB Neck to	
CB Neck to Waist	485.8
Chest	
Chest	Circumference 965.2
Waist	
Waist	Circumference 825.5
Leg	
Inseam	Height 863.6
Thigh	Circumference 558.8
Arm	
CB Neck to Wrist	873.1
Bicep	Circumference 323.9
Hand	196.5
Extra Measurements	
Total Rise	746.1
Head	580.0

Figure 15. Size Spec. of the Wearing Avatar (taken by authors)

로 디자인했다. 또한 무릎 내-외전 발생 각속도 범위를 측정하기 위해서는 대퇴직각에 센서가 부착되어야 하므로 바깥 솔기의 절개를 없애고 허벅지 안쪽으로 절개선을 넣었다.

최종 패턴 설계는 Figure 13과 같다.

본 연구에서 제작한 사이클링 스마트웨어의 소재의 구성은 NY 70%, PU 30%으로 사이클링 팬츠로 많이 사용하는

원단 구성이다. 이 원단에 적합하도록 제작한 빔 팬츠(L)의 사이즈 스펙은 아래 Table 5와 같으며, 1, 2차 샘플의 사이즈 스펙을 피팅 체크 후 3차 제작품을 최종으로 선정하였다. 본 연구에서 개발한 패턴을 DXF로 저장하여, Figure 14와 같이 CLO 3D에서 기본 사이즈의 남자 아바타에 창작하여 피팅 및 센서의 위치를 확인하였으며, 아바타의 사이즈는 Figure 15와 같다.

V. 결론

본 연구에서는 사이클링 운동 시 자주 발생하는 요추와 무릎 부상을 기반으로 자세 교정 원격 모니터링을 실시할 수 있는 스마트 디바이스가 적용된 사이클링 스마트웨어를 개발하는데 있어 스마트 디바이스의 부착 위치를 선정하고, 이를 바탕으로 최적의 사이클링 스마트웨어 디자인을 개발하고 패턴을 설계하는 것에 그 목적이 있으며, 결론은 다음과 같다.

첫째, 대표자세 변화(90°, 60°, 30°)를 통해 3차원 동작분석시스템을 통해 각 사이클링 자세 별 요추 전후 굴곡 각도 차이가 가장 크게 나타난 부위는 'S-T8' > 'S-T10' > 'S-L4' 순으로 이는 사이클웨어 패턴설계 시 유의구간으로 파악하여 절개 및 사이즈 스펙을 도출하기 위함이다.

둘째, 3D 동작 분석 측정 결과, 패턴설계 시 유의구간 기준점 중 상대각도 변화값이 가장 적은 부위를 사이클링 스마트 디바이스를 부착하기 위한 기준점으로 적용하였다. 이는 사이클링 자세를 감안하여 설계한 사이클링 스마트웨어에 적용하기 위한 디바이스의 탈부착 안전성 확보와 사이클링 운동 시 위치변화가 없는 부위를 선정하기 위해서이다. 이에 사이클링 디바이스를 부착하기 위한 최적의 위치는 'S-L4'인 엉치뼈(Sacrum)와 요추 4번(Lumbar 4th)이다.

셋째, 사이클링 스마트웨어의 하의 개발 시 무릎 내-외전 발생을 모니터링하기 위해 가장 적합한 센서 부착 위치는 해부학적 위치인 대퇴직근(Rectus femoris)이다.

넷째, 상기 결론을 바탕으로 사이클 동작시 상의 자세와 하의 페달링시에 변하는 인체특성을 반영하여 센서와 전극이 지나가는 부분에 절개가 없도록 사이클링 스마트웨어 빔 팬츠 디자인 및 패턴을 개발하고 3D CLO로 착장을 확인하였다.

본 연구는 운동 분석 스마트웨어의 기초 연구를 제공하고, 현재 사이클에 부착하는 스마트 디바이스 및 스마트워치로만 실현가능한 스마트 사이클링 영역을 확대하고 이를 제품화할 수 있는 계기를 마련하고자 하는데 본 연구의 의의

가 있다. 후속 연구로 향후 실제 사용자가 필드에서 스마트 디바이스가 부착된 사이클링 스마트웨어를 착용하여 심도있는 사용성 평가 연구를 진행하고자 한다. 이를 바탕으로 시장 출시형 제품 제작을 통해 새로운 스마트웨어의 사업화 사례가 될 수 있도록 기대한다.

References

- Asplund, C., & St Pierre, P. (2004). Knee pain and bicycling: Fitting concepts for clinicians. *The Physician and sportsmedicine*, 32(4), 23-30.
- Borgers, A., Claes, S., Vanbeek, N., & Claes, T. (2020). Etiology of knee pain in elite cyclists: A 14-month consecutive case series. *Acta Orthopaedica Belgica*, 86(2), 262-271.
- Brukner, P., Clarsen, B., Cook, J., Cools, A., Crossley, K., Hutchinson, M., McCrory, P., Bahr, R., & Khan, K. (2021). *Brukner & Khan's Clinical Sports Medicine* (5th ed.). Sydney, Australia: McGraw-Hill Education.
- Gardner, J. K., Zhang, S., Liu, H., Klipple, G., Stewart, C., Milner, C. E., & Asif, I. M. (2015). Effects of toe-in angles on knee biomechanics in cycling of patients with medial knee osteoarthritis. *Clinical Biomechanics*, 30(3), 276-282.
- Han, W. (2013). *Sport science: Cycle fitting and Sport science*. Sport Science, 124(0), 46-55.
- Innopolis. (2020). *스마트의류시장*[Smart clothing market]. Daejeon, Korea: Author.
- Jung, J. (2013). *(The) Effect of the eight weeks spinning exercise on the body composition, health related physical fitness and vascular compliance of the middle-aged women with obesity* (Unpublished master's thesis). Chonnam National University, Gwangju, Korea.
- Kang, A., & Lee, S. (2013). Biomechanical assessment of lumbar behavior in relation to saddle height variation during cycling exercise. *Proceedings of RESKO Academic Symposium* (pp.168-170). Daejeon, Korea: Rehabilitation Engineering And Assistive Technology Society of Korea.
- Lee, H. (2020). Comparison on exercise load intensity and expression of MVIC in according to exercise

- postures during static cycle-ergometer. *The Korean Journal of Growth and Development*, 28(1), 1-6.
- Lee, H. & Hong, M. (2019). How does smart device user experience change by generation. *The Journal of the Korea Contents Association*, 19(3), 252-260.
- Lee, J., Choo, H., & Kim, H. (2021). A study on smart clothing products based on smart clothing patent application technology. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 45(1), 28-45. doi:10.5850/JKSCT.2021.45.1.28
- MacAuley, D. (1996). *In a guide to cycling injuries: Prevention & treatment*. Detroit, MI: Bicycle Books.
- Mann, S. (1997). Smart clothing: The wearable computer and wearcam. *Personal Technologies*, 1, 21-27.
- Marsden, M. & Martin, S. (2010). Lower back pain in cyclists: A review of epidemiology, pathomechanics and risk factors. *International SportMed Journal*, 11(1), 216-225.
- Min, S., Seo, I., Kim, S., & Choi, H. (2021). System of prevention injury during cycle exercising sensors. *Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference, 2021.07a*, (pp. 311-312). Jeju, Korea: Korean Society of Computer Information.
- Nachemson, A. L. (1976). The lumbar spine an orthopaedic challenge. *Spine*, 1(1), 59-71.
- Park, H. & Do, W. (2015). A research on the actual wearing condition of cycle wear for athletes: Focusing on male cyclist in domestic highschool. *Fashion & Textile Research Journal*, 17(4), 597-603.
- Park, S. (2019). *Trends in smart clothing development and commercialization in global markets* (pp. 4-7). Seoul: Weekly KDB Report.
- Polga, D. J., Beaubien, B. P., Kallemeier, P. M., Schellhas, K. P., Lew, W. D., Buttermann, G. R., & Wood, K. B. (2004). Measurement of in vivo intradiscal pressure in healthy thoracic intervertebral discs. *Spine*, 29(12), 1320-1324.
- Shon, G. (2020). A study on the effective bicycle fitting method for injury prevention: For the development of bicycle fitting system. *Journal of Korea Society of Computer and Information*, 25(3), 145-154.
- Short, K. R., Vittone, J. L., Bigelow, M. L., Proctor, D. N., Rizza, R. A., Coenen-Schimke, J. M., & Nair, K. S. (2003). Impact of aerobic exercise training on age-related changes in insulin sensitivity and muscle oxidative capacity. *Diabetes*, 52(8), 1888-1896.
- Tao, X. (2001). *Smart fibres, fabrics and clothing*. Cambridge, England: Woodhead.
- Turpin, N. A., & Watier, B. (2020). Cycling biomechanics and its relationship to performance. *Applied Sciences*, 10(12), 4112.
- Van Hoof, W., Volkaerts, K., O'Sullivan, K., Verschuere, S., & Dankaerts, W. (2012). Comparing lower lumbar kinematics in cyclists with low back pain (flexion pattern) versus asymptomatic controls: Field study using a wireless posture monitoring system. *Manual therapy*, 17(4), 312-317.
- Wilke, H. J., Neef, P., Caimi, M., Hoogland, T., & Claes, L. E. (1999). New in vivo measurements of pressures in the intervertebral disc in daily life. *Spine*, 24(8), 755-762.
- You, Y., Choi, K., Park, B., & Jeong, E. (2013). Technology trend of smart clothing: Based on patent information analysis. *The Journal of the Korea Contents Association*, 13(4), 440-451. doi:10.5392/JKCA.2013.13.04.440

Received (October 27, 2022)

Revised (November 22, 2022)

Accepted (November 24, 2022)