



MZ 세대를 위한 스마트 무릎 보호대 융합디자인을 위한 기초연구

조민정·이해임·천위·김다함·제갈미⁺

한양대학교 의류학과 박사 · 한양여자대학교 니트패션디자인과 산학협력중점 조교수 ·

한양대학교 의류학과 휴먼테크융합전공 박사과정 ·

한양대학교 유기나노공학과 휴먼테크융합전공 박사과정 · 한양대학교 의류학과 겸임교수⁺

Preliminary Research for Interdisciplinary Designing a Smart Knee Brace Applying Generation MZ Preferences

Minjoung Cho · Haeim Lee · Yu Chen · Daham Kim · Mee Jekal⁺

Ph.D., Dept. of Clothing & Textiles, Hanyang University

Assistant Professor, Dept. of Knit Fashion Design, Hanyang Women's University

Ph.D. Student, Major in Human-Tech Convergence, Dept. of Clothing & Textiles, Hanyang University

Ph.D. Student, Major in Human-Tech Convergence. Dept. of Organic & Nano Engineering, Hanyang University

Adjunct Professor, Dept. of Clothing & Textiles, Hanyang University⁺

(received date: 2024. 1. 25, revised date: 2024. 2. 22, accepted date: 2024. 2. 25)

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop a smart knee brace prototype for not only stable and comfortable functionally, but also aesthetically conceived. In particular, the increased daily sporting activities of the generation MZ calls for the development of a smart knee brace for the prevention and treatment of knee injuries. Using a mixed methods research approach, this study investigated user-centered design factors and solutions. The qualitative pre-interview was conducted to explore design preferences of users, and experiment using CLO 3D virtual program was conducted to develop a virtual prototype applying design factors. Lastly, the second experiment was conducted to develop a smart automotive locking system. As a result of preliminary interviews, the design solution was derived from a functional and irresistible all-in-one type that prefers a simple, neutral color with lightweight and stretchable materials. Based on these design factors, an all-in-one knee brace prototype was proposed with an inside sleeve type and an outside dial lock system, which aids both with prevention and rehabilitation. This experiment showed the possibility of automotive locking system on a knee brace using a small amount of energy with Zn-ion batteries. By coordinating interdisciplinary research from researchers in various fields, this project also suggested a novel and significant direction on how diverse researchers could proceed within the holistic design process.

Key words: daily sports(생활 스포츠), generation MZ(MZ 세대), interdisciplinary research(융합연구), knee brace(무릎 보호대), smart design(스마트 디자인)

I. 서론

Covid-19코로나로 인한 사회적 거리두기로 실내 스포츠 활동이 어려워짐에 따라 시작된 MZ세대의 등산, 바이크, 클라이밍, 캠핑, 골프 등 야외 스포츠 활동이 급격히 늘어나고 있다. 서울대학교 소비트렌드분석센터는 2021년 트렌드 키워드 10가지 중 하나로 오늘 하루 운동이라는 뜻의 '오하운(Your Daily Sporty Life)'을 제시하였으며, SNS에는 '오하운'과 '오운완(오늘 운동 완료)'이라는 키워드를 통해 다양한 스포츠에 입문해 배우고 인증하는 소통 방식이 대두되고 있다(Kim et al., 2020). 2030세대 주도로 각광을 받고 있는 생활스포츠 활동은 체력 증진과 정신건강 측면에서 이로우나, 활동 중 충격이나 외상으로 인해 골절, 파열 등의 상해를 야기 시키며, 특히 스포츠안전재단의 <2019년 스포츠 안전사고 실태조사>에 따르면 생활체육인 7,725명은 연간 평균 2.7회의 부상 경험을 겪고 있으며, 발목(21.2%), 무릎(16%), 손목(15.2%) 순으로 부상 빈도가 높았다(Sportsafety, 2020). 주 부상 종류는 인대 손상인 염좌, 뼈 손상인 골절, 관절이 이탈된 탈구 등의 형태로 나타나며, 손상 정도에 따라 수술, 주사치료, 물리치료 등의 치치가 이루어지고 꾸준한 재활치료를 권장한다(Heo, 2020). 일례로 등산의 경우, 평소 걸을 때보다 등산 시 체중의 2배-3배, 하산 시 7배-10배의 하중이 무릎, 발 등 다리 부위에 전달되어 십자인대, 발목인대 등의 부상에 주의가 필요하다. 특히, 이러한 무릎 관련 부상을 치료하기 위해서는 수술, 석고붕대 등 치료 및 환부를 압박하고 고정해서 빠른 치료 및 추가 부상을 방지하는 무릎 보호대 착용까지 수개월에 걸친 치치가 필요하다(Kim, 2021; Lee, 2017).

이러한 이유로 무릎 보호대의 중요성이 부각되고, MZ 세대의 각종 생활스포츠 참여율이 증가하고 이에 따라 무릎 부상도 증가하고 있으나, 이를 타겟으로 반영한 디자인 솔루션은 미비하여 무릎

보호대의 디자인은 대체적으로 치료와 고정의 목적성에 부합하도록 획일화 되어 있다. 무릎 보호대 관련 선호도를 조사해 디자인을 제안한 선행연구가 있으나, 조사대상이 20대와 60대 노년층의 의견이 혼합되어 있고, 착용자 수요 중심의 심미적 측면을 고려한 디자인은 미비하여 이와 관련된 새로운 디자인 및 기술에 대한 소비자 의견 수렴이 필요하다(Oh & Oh, 2021; Park & Koo, 2020). 이에 본 연구는 생활스포츠 시 무릎 부상의 치료와 예방 단계에서 활용되는 무릎 보호대의 개념 및 유형에 대해 살펴보고, 기존 무릎 보호대의 개선점 도출과 MZ세대의 사용자 취향을 고려하기 위해 질적 연구를 진행한다. 이를 통해 MZ 세대의 외향적 취향을 중심으로 기존 무릎 보호대의 개선점 및 착용자의 편의성을 고려한 디자인을 제안하고자 한다. 또한, 예방과 재활을 위한 형태 안정성이라는 무릎 보호대의 기본 착용 목적에 부합하도록 활동 시에도 유지되는 고정성과 편리한 착용성을 도모하기 위한 기능적 요소 충족을 위한 아이디어를 접목하고자 한다. 본 연구는 사전 인터뷰를 통한 디자인 요소 도출, 3D 가상 프로토타입 개발을 활용한 혼합 연구로 진행되며, 기존 상용화되어 있는 무릎 보호대의 현황 및 특성을 분석하고 개선안을 반영한 디자인 설계를 전개하고자 한다. 연구문제는 다음과 같다.

연구문제 1. 기존 무릎 보호대의 문제점은 무엇이며, MZ 세대가 선호하는 디자인 요소는 무엇인가?

연구문제 2. 디자인 요소를 고려한 무릎 보호대는 어떻게 설계되는가?

연구문제 3. 무릎 보호대의 선택적 착용감을 높일 수 있는 스마트 기술은 무엇이 있는가?

II. 이론적 배경

1. 무릎 보호대의 개념 및 유래

무릎은 평지 보행 시 1.5배, 경사 보행 시 2-3배, 무릎을 구부리고 앉을 경우 4-5배의 체중이 가해지는 부위로 스포츠 및 기타 격렬한 활동에 참여하는 개인에게 부상의 위험이 높다(Blecha et al., 2022; Harvard Health Publishing, 2019). 무릎 부상에는 건염, 인대 파열, 연골 마모, 관절염, 근육 염좌, 근육 긴장 등 많은 원인이 있으며, 운동 선수부터 관절염 및 기타 무릎 문제가 있는 사람들에 이르기까지 다수가 고정이나 통증 완화를 위해 무릎 보호대를 사용한다. 무릎 보호대는 무릎 관절을 지지하여 추가 부상을 방지하는 동시에 통증과 부종을 줄이고 수술 후 회복과 무릎 관절의 재활에도 효과가 있다(braceability, 2015).

통상적으로 무릎 보호대는 착용 시 무릎 관절의 움직임을 보조하며 운동 형상학적 및 운동학적으로 긍정적 효과가 있고, 정상적인 운동기능을 유지하면서 비정상적인 움직임을 예방할 수 있도록 디자인 되어있다(Lee, Choi, & Moon, 2019; Lim, 2007). 현대의 무릎 보호대는 1967년 Dr. McDavid에 의해 측면 무릎 보호대 등장한 이후 Jack Castiglia가 Dr. James Nicholas와 함께 유명 풋볼 선수 Joe Namath를 위한 무릎 보호대를 디자인하고, 1978년 축구선수 Mark Nordquist가 네 오프렌을 활용한 무릎 보호대를 제작하는 등 스포츠 산업이 발달하면서 발전 중이며, 노년층 수요 까지 더해져 그 시장은 지속적으로 확대되고 있다(Betterbraces, 2014). 특히, 무릎 보호대의 설계 방향성은 1970년대부터 사용자 수가 증가함에 따라 미국 정형외과 학회(American Academy of Orthopaedic Surgeons)에서 생체 역학적, 임상적 실험을 통해 1984년 무릎 보호대 세미나에서 5가지 이상적인 설계 조건을 정의하였다(Rovere & Bowen, 1986). 부상자가 아니어도 착용하는 예방 용 무릎 보호대를 기준으로 (1) 접촉 및 비접촉

상태에서의 하중에 대한 무릎 강직도 보완, (2) 착용자에 대한 해부학적 적응, (3) 가성비 좋은 내구성, (4) 부상 예방 효과 입증, (5), 타 부위 혹은 타 선수 피해 없이 정상적인 활동 가능이다. 이를 통해 무릎 보호대를 착용할 경우 압력을 20-30% 감소시킬 수 있어 무릎을 움직일 때 통증이나 불편함이 있는 사람들에게 착용이 추천되며, 생활스포츠 이용증가로 인한 무릎 관련 부상과 발병이 증가함에 따라 고객맞춤형 니즈가 증가하고 있다(Blecha et al., 2022; Oh & Kim, 2017).

2. 무릎 보호대 유형 및 소재

미국 정형외과 학회에 따르면, 무릎 보호대는 용도에 따라 예방, 기능, 재활 및 언로더/오프로더 무릎 보호대를 포함한 네 가지 범주로 나눌 수 있다(Paluska & McKeag, 2000)〈Table 1〉. 무릎 인대 손상을 예방해 축구 등 접촉 스포츠를 하는 선수에게 적합한 MCL(내측 측부 인대) 보호와 동시에 무릎 관절이 다시 손상되지 않도록 보호하는 예방적(Prophylactic)무릎 보호대, ACL(무릎전방십자인대) 부상이나 수술 후 추가 지지가 필요할 경우에 착용하여 운동을 하거나 이미 넘어지면서 부상당한 무릎을 고정하는 기능적(Functional)무릎 보호대, 무릎 수술 직후이거나 부상 후 재활하는 동안 잠재적으로 유해한 무릎 움직임을 고정하여 치료된 인대를 보호하고 무릎 관절의 재활 운동을 가능하게 하며 재발이나 부상을 예방하는 재활(Rehabilitative)무릎 보호대, 무릎 관절염이 있는 사람들의 고통을 완화하고 무릎에 가해지는 압력을 줄여서 무릎에 가해지는 스트레스를 줄여주는 주로 헌지(Hinged)형의 언로더(Unloader)무릎 보호대가 있다(braceability, 2015).

착용 방법과 형태별 무릎 보호대의 종류는 무릎 보호대 전문 판매 온라인 사이트(Betterbraces: Kneesafe: Ubuy: Wish, n.d.) 조사 결과, 양말처럼 껴서 쓰는 ‘슬리브형’과 벨크로 등을 활용하여 고정하는 ‘스트랩형’, 베를이나 다이얼 등의 잠금

〈Table 1〉 Classification of Knee Braces by Purpose

Category	Purpose	Example
Prophylactic	<ul style="list-style-type: none"> Used mainly by athletes or active individuals who play sports with a lot of contact to protect their knees 	 〈Fig. 1〉 Prophylactic Brace (Braceability, n.d.-a)
Functional	<ul style="list-style-type: none"> For patients who have already experienced injuries and need additional support and stability until their knees fully recover 	 〈Fig. 2〉 Functional Brace (Desertcart, n.d.)
Rehabilitative	<ul style="list-style-type: none"> It is mainly used to fix knee movement after injury or surgery Protect treated ligaments, enable rehabilitation of knee joints, and prevent recurrence or injury 	 〈Fig. 3〉 Rehabilitative Brace (Braceability, n.d.-b)
Unloader	<ul style="list-style-type: none"> For patients suffering from knee arthritis or misalignment Mainly hinged Reducing the amount of pressure or stress applied to the knee and relieving the weight of the knee suffering from arthritis 	 〈Fig. 4〉 Rehabilitative Brace (Braceability, n.d.-c)

〈Table 2〉 The Types of Knee Braces by Wearing Method

Sleeve type	Strap type	hinged type
A photograph showing a person's leg wearing a blue and white knee brace that looks like a long sleeve covering the knee.	A photograph showing a person's leg wearing a black and green strap brace with multiple straps around the knee.	A photograph showing a person's leg wearing a black hinged knee brace with a visible hinge mechanism.
〈Fig. 5〉 Sleeve Brace (SKINFLINT, n.d.)	〈Fig. 6〉 Strap Brace (SSG, n.d.)	〈Fig. 7〉 Hinged Brace (ORTHORELIEVE, n.d.)

장치가 있는 '잠금형'으로 구분할 수 있었으며, 예시는 〈Table 2〉와 같다.

무릎 패드의 슬리브 또는 스트랩은 면, 네오프렌, 스판덱스, 나일론, 폴리에스터 등과 같은 다양한 재료가 사용되었으며, 충전재는 PU, PE, EVA, PVC 또는 XPS 폼, 나일론 또는 네오프렌 폼, 고무, 플라스틱, 탄소 섬유 또는 기타 내구성 및 고밀도 재료와 같은 재료로 제작 가능했다. 재료뿐만 아니라 패딩의 유형도 흠이 있거나 육각형 또는 벼블 유형의 패드로 만들어지거나 이음매가 없는 사례들이 있었다. 잠금장치의 경우, 슬리브형 무릎 보호대는 잠금장치가 없어도 착용 가능하며, 사이즈 조절이 가능한 무릎 보호대의 경우에는 벨크로 또는 베클링태의 조절 가능한 스트랩 또는 잠금장치가 있다.

무릎보호대 소재의 경우, 본체는 폐쉬, 네오프렌, 쿨 맥스, 나일론 폴리 합성 섬유, 스트레치 니트, 알루미늄 등이 주로 나타났다. 연결 부위 지지대와 잠금장치로는 벨크로로 테이프, 알루미늄 합금 등 금속지지대, 각도 조절 계, 다이얼 등을 활용하였고, 충격 방지용 충전재로 폴리우레탄 폼, 폴리에틸렌 폼, 에틸 비닐 아세테이트 폼, 나일론 폼, 네오프렌 폼, 폴리 염화 비닐 폼, 압축 폴리스티렌 폼, 고무, 플라스틱, 젤, 탄소 섬유 등이 사용되고 있다(Betterbraces; Kneesafe; Ubuy; Wish, n.d.).

또한, 등산화나 골프화에 쓰이는 '보아 시스템(BOA system)'으로 대표되는 톱니바퀴 형태 다이얼 잠금형(Dial lock system)과 와이어 레이스(Wire lace)로 착탈하는 방식의 의료보조기 및 무릎 보호대도 상용화되어 있다. 보아 시스템은 신발을 착용 및 고정하기 위해 운동화 끈을 조이고 푸는 일련의 과정의 용이성 향상을 위해 스노보더용 부츠의 다이얼 방식에 영감을 얻어 개발된 기술로 세밀한 조정이 가능하다. 또한, 카테터를 개발했던 이전 회사에서의 지식으로 부츠뿐만 아니라 의료 보조기 산업까지 접목 가능한 핏을 구현했으며, 의료용 무릎 보호대의 예시 및 다이얼의 원리는 아래 〈Fig. 8〉, 〈Fig. 9〉와 같다(Boafit, n.d-a). 이러한 잠금 방식의 무릎보호대의 경우, 다이얼을 누르고 돌리는 방식으로 개인이 원하는 치수만큼 정밀한 착용감의 최적화가 가능하고, 다이얼을 당기면 잠금이 해제되고 잠금 부위를 손으로 당겨서 와이어를 느슨하게 풀 수 있어 편리한 착용성을 위한 솔루션으로 활용 가능할 것으로 여겨진다.

본 연구는 스마트 웨어러블 기기의 일환으로써 무릎 보호대를 개발하고자 하며, 3D 디자인 개발 프로세스에 대한 이해를 위해 '스마트', '3D', '가상'의 키워드 혹은 연구 방법이 포함된 연구를 고찰하였고, 전문 의료 기기 관련 연구 중 사용자

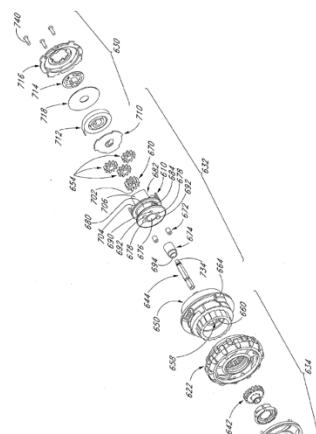
중심의 스마트 웨어러블을 응용한 연구도 함께 분석하였다. 웨어러블에 대한 접근성이 높아지면서 사용자의 움직임을 모니터링 함으로써 재활 및 부상을 예방하는 분야에 대한 연구는 Byne, Rebola & Zeagler(2013)의 eTextile 무릎 보호대 설계에 있어 전문가 인터뷰, 재활 관찰, 참여형 디자인 워크숍 등 사용자 선호도 파악을 위한 디자인 연구 프로세스를 제안한 이후 지속되고 있다. Turner et al.(2021)은 건강한 20대를 대상으로 SRS (Supplemental Restraint System) 센서를 관절 움직임의 정확한 평가를 위해 무릎 보호대 앞 쪽에 부착하여 적합성 조사를 실시하였다. 관성 센서와 데이터 분석 알고리즘을 융합해 착용자의 움직임을 트래킹하여 수술 후 물리 치료 효과를 높이는 웨어러블 디자인 개발 및 착용성 실험 연구도 있었다(Koyuncu, Candan, & Nergis, 2021). 스포츠 분야에서도 배드민턴, 야구 등 종목별 또는 다리, 무릎 등 신체 부위별로 사용자 사전 설문조사, 포커스 그룹 인터뷰 또는 착용자 테스트를 통한 디자인 및 기능의 만족도 연구 등으로 진행되고 있다(Lee, Eom, & Lee, 2015; Oh & Oh, 2021; Park & Koo, 2020; Webster & Roberts, 2009).

Kim & Lee(2020)처럼 인체공학적 요소를 고려한 3D모델링과 3D프린팅, 3D버츄얼 프로그램, 스마트 웨어러블을 활용하여 착용자 중심의 시뮬레이션 및 프로토타입을 개발한 연구도 있으나, 착용 성별이나 연령 등 소비자의 특성과 요구사항을 고려한 개발보다는 의료용으로 획일화되어 개발된 경우가 다수이다(Kwon & Kim, 2017). 그러나, MZ세대의 의류, 문화생활, 여행, 생활 스포츠 참여도가 증가함에 따라, 스포츠 용품의 패션화에 영향을 입어, 패션에서도 축구 유니폼에서 영감을 얻은 블록코어(Blockcore)와 고프(Gorp)와 놈코어(Normcore)의 합성어로 기능적이고 실용적인 아웃도어 의류를 일상복 및 스트리트웨어 스타일로 자연스럽게 녹여낸 고프코어 등의 트렌드가 등장하고 있다(Ike, 2022; Thomas, 2022). 이와 같은

아웃도어와 스포츠에서 영감을 받은 스타일이 MZ세대를 중심으로 주목받으며 실제 스포츠 제품을 활용한 다양한 스타일링이 나타나고 있다. 이에 본 연구는 주력 소비자로 주목받고 있으며 스포츠에 관심도가 높은 MZ세대를 연구 대상으로 한정하여 진행하고자 한다. 따라서 본 연구는 선행연구의 디자인과 기능성에 대한 설문조사 요인 및 결과를 참고하고, 무릎 보호대 디자인 프로세스 및 디자인 요소에 응용하고자 한다.



〈Fig. 8〉 Braces with Dial Lock System
(boafit, n.d-b)



구와 기능적 요소 구현 가능성 확인을 위한 실험이 융합된 혼합연구방법을 실행하였다. 먼저, MZ 세대의 생활스포츠 참여율이 증가하고 있으나, 획일화되어있는 무릎 보호대의 디자인 솔루션 제안을 위한 선호도 조사와 고정성 및 맞음 새를 개선 할 수 있는 새로운 기술에 대한 의견을 수렴하기 위해 사전 인터뷰를 실시하였고, 인터뷰 내용을 분석한 결과를 바탕으로 디자인 요소를 추출했다. 둘째, 디자인 요소를 바탕으로 CLO 3D 프로그램을 통해 시뮬레이션을 진행 후 무릎 보호대 3D 디자인을 제시하였다.셋째, 인터뷰와 3D 시뮬레이션을 통해 도출된 다이얼 시스템의 자동화 기능을 접목한 실험을 실시하고 프로토타입을 제작하였다. 이 과정에서 가상 봉제, 텍스처 구현, 시뮬레이션 등을 통해 샘플링이 가능한 CLO 3D를 활용한 디자인 측면 개선 및 다이얼, 형태 변형 후에도 일정 온도의 가열에 의해 본래의 형태로 복귀하는 SMA(Shape Memory Alloy, 형상기억합금) 레이스, 배터리, 모터를 활용한 잠금 방법을 실험 연구하는 방식의 혼합연구 방법을 통해 디자인과 기능적 측면을 개선한 무릎 보호대 디자인을 개발하고자 하였다.

1. 사전 인터뷰: 연구 대상자 및 자료 분석

생활스포츠를 즐기고 있는 MZ 세대의 디자인 및 기능에 대한 선호도를 조사하고 기준 무릎 보

호대의 장점과 문제점 점검 및 자동화 기술 관련 인식을 파악하기 위해 생활스포츠 시 부상 방지를 목적으로 무릎 보호대를 착용했거나 구매 의사 및 관심이 있는 20대 남녀 3명을 대상으로 사전 인터뷰를 실시하였고, 그 인구통계학적 정보는 〈Table 3〉과 같다. 참여자들의 선정기준은, 3가지 이상의 무릎보호대를 착용한 경험이 있고, 생활스포츠와 패션에 관심도가 있으며, 스마트 기기 및 디자인에 대한 인식도가 높은, MZ세대로 한정하였다. 인터뷰는 가상회의 프로그램(Zoom)을 이용해 2021년 11월 24일부터 2021년 12월 9일까지 진행되었으며, Stake(1995)의 질적연구 방법에 따라 녹화된 내용을 바탕으로 녹취록을 작성하여 의미단위를 추출한 후 범주작업을 거치며 연구자의 개인적 해석이 최소화되도록 하였다. 인터뷰 항목은 선행 연구를 통해 디자인 및 기능적 요소를 추출해 본 연구에 맞게 변형하여 대상자의 인구통계학적 특성, 평소 패션 관심도와 현재 건강상태, 생활스포츠 관련 실태, 무릎 보호대 관련 경험 및 인식과 디자인 및 기능에 대한 선호도로 구성되었다 〈Table 4〉. 스마트 웨어러블에 대한 인식을 알아보기 위해 자동화 시스템 관련 의견도 함께 녹취하였다.

〈Table 3〉 Demographic Information of Participants

Participants	Gender	Age	Job	Fashion Interest	Injury Experiences
Participant A (A)	F	29	Researcher	Normal Purchase according to the release date or the new IT devices.	Ankle ligament rupture
Participant B (B)	M	26	Job hunter	High Interest in new technology such as functional clothing, to look for new products when they are released.	Calf fracture
Participant C (C)	M	29	Technician	High Usually bought fashion items on online and have trend sensitivity.	Lower body injuries (fracture, ligament rupture, bruise, etc.)

〈Table 4〉 Categories of Interview Questionnaires

Categories	Subcategories	Contents
Introduction	Demographic	• Gender, age, job
	Fashion interest	• Fashion and appearance recognition, consumption habits about tech and lifestyle
	Health status	• Injury experiences
Daily sports	Active condition	• Kind of sports, frequency, pressured part, pained part, injured experience and part
Knee brace	Experience and recognition	• Experience, necessity, automation recognition, preference wear type
	Design preference	• Style, color, prints, material, etc.
	Function preference	• Most important function, fixed method preference
Improving direction	Automatical lock system	• Interesting about automatical lock system

2. 프로토타입 개발

1) CLO 3D 시뮬레이션을 통한 무릎보호대 가상 프로토타입 개발

프로토타입 실물 제작에 앞서, 효과적인 맞음새 잡금장치의 적절한 위치 선택 등을 선정하기 위하여 CLO 3D 프로그램을 이용한 가상 프로토타입 제작을 진행하였다. 우선, 효과적인 재활 및 보호를 위한 무릎보호대의 사이즈를 선정하기 위해 예상 사용자의 평균 신체 사이즈와 기존 무릎 보호대의 사이즈 등을 분석하였다. 본 연구는 프로토타입 제안 연구로 생활스포츠 참여율이 높은 남성을 기준으로 진행하였다. 사이즈 코리아(Size Korea, n.d.) 7차 한국인 인체 치수 조사사업 최종 보고서에 따르면, 25-29세 남자의 무릎 둘레는 375mm이며, 무릎길이의 경우 사이즈 코리아의 측정 치수가 없어 [앉은 무릎높이(527mm) - 앉은 오금높이(433mm)]를 계산해 94mm를 도출했다. 판매 중인 무릎보호대의 폭은 제품에 따라 편차가 있으나 단면 기준 평균 175mm이고, 평균 기장은 무릎만 감싸는 형태의 경우 160mm, 무릎 밑과 허벅지 일부를 감싸는 형태의 경우 280mm로, 평균 220mm로 나타났다. 본 치수를 참고하여 단면 폭 평균 175mm + 여유분 10mm [네오프렌 소재 평

균 두께 (2mm) X 4 (좌우 2겹) + SMA 삽입 두께 여유분 2mm] = 185mm, 기장은 상용화 제품의 평균치인 220mm + 상하 15mm 여유분 [총 30mm: SMA 삽입 여유분] = 250mm으로 설정하였다. 무릎 트임 지름은 평균 무릎길이 94mm를 기준으로 무릎 보호 여유분을 고려하여 90mm로 설정하였다. 프로토타입의 사이즈는 평균 수치를 기준으로 설정하였으며, 추후 어플리케이션 개발을 통해 사용자 사이즈, 원하는 압박 정도에 따라 자동잡금장치를 활용하여 사용자별 개별 맞춤 조절이 가능할 것으로 기대된다. 유기적인 올인원 타입의 무릎 보호대 제작을 위한 2D 평면 패턴 디자인 후, CLO 3D 프로그램에 입체적으로 적용해 보았다.

2) 자동잡금장치 프로토타입 개발

무릎 보호대는 보호대를 지지하기 위한 지지대가 있으며, 원활한 원격 조작을 위해서는 이 지지대를 기계적으로 조작할 수 있도록 제작하는 것이 필수적으로 요구된다. MZ 세대의 디자인 기호에 맞춘 스마트 자동화시스템이 탑재된 무릎 보호대를 구현하기 위해 여러 가지 재료들을 고려하였다. 가능한 모든 금속은 탄성한계를 가지고 있으

며, 탄성한계보다 큰 응력을 가할 경우 영구적인 변형이 발생하였다. 하지만 SMA(Shape Memory Alloy, 형상기억합금)는 열처리에 의한 형상기억 효과를 통해 회복온도까지 가열되면 원래의 구조로 돌아가는 초 탄성 성질을 가지고 있어 다양한 분야에 활용되고 있다. 특히 의료 산업에서는 인공심장용 인공 근육, 안경테, 골절부위 압박 고정 등에 적용되며, SMA를 이용한 액츄에이터 및 지능형의류 개발에 대한 선행 연구를 통해 전기 자극에 의한 다양한 형태별 형상기억합금의 복원성을 고찰할 수 있었다(Kim & Yoo, 2016). 이에 본 연구에서는 무릎 보호대의 지지대로 0.5mm의 지름을 가진 와이어 형태의 형상기억합금과 레이스 시스템을 활용하여 와이어를 물리적으로 감고 와이어에 전기적 에너지를 가하여 고정된 보호대를 손쉽게 해제할 수 있는 자동 잠금 장치를 구현하였다.

VI. 연구결과

1. 생활스포츠 실태에 따른 무릎 보호대 필요성

생활스포츠 실태조사 결과로는 A는 월 1회 등산을 즐기고 있으며 운동 시 종아리 앞·뒤쪽과 허벅지 뒤쪽에 통증을 느꼈다. B는 주 4회 간단한 조깅과 팔굽혀펴기, 복근운동과 같은 근력 운동을 하고 있으며 종아리 근육에 압박을 가장 많이 받고 특히, 과거 부상 경험으로 인해 겨울철 조깅 시 시린 경험을 다수 가지고 있다. C는 월 10회 이상 축구와 테니스를 즐기고 있으며, 허벅지와 종아리에 가장 압박을 받고 있는 가운데, 최근 운동 후 무릎 통증을 호소했다. 또한 상대와의 충돌이 많은 축구를 즐김에 따라 무릎 관련 부상을 다수 경험했다. 무릎 보호대의 필요성은 모두 여기고 있으며, 구매의사도 가지고 있는 가운데, 필요성과 구매의사 모두 없는 참여자도 자동화 관련 기술에 대한 조사 후 적극적으로 구매의사를 밝혔다. 또한 기존 제품 유형별 선호도를 조사했을 때

선정 요소로 고정성을 띠고 있어 이를 통해 무릎 보호대에 대한 관심도와 고정 기능 개선 필요성을 확인할 수 있었다.

보통 일반적인 무릎 보호대는 이제 무릎 부위를 감으면서 조이잖아요. 근데 이제 자기가 원하는 대로 조였는데 이게 아무래도 차고 조깅을 하다 보면 이게 조금씩 풀리거나 흘러내리는 경우가 좀 생기거든요. 만약 그런 거를 좀 방지해 줄 수 있다면 저는 충분히 구입할 의사가 있다고 생각을 해요. (B)

(무릎 타박상을 입은 후)보호대를 착용하고 있습니다… 많이 뛰고 나서 마무리 운동을 제대로 안하고 그냥 바빠 가지고 바로 집에 오거나 할 때 운동이 끝나고 몸이 식을 때 무릎이 좀 많이 아파와서 그 다음 날엔 또 잘 걷지 못할 정도가 된 적도 많거든요. 무릎이 너무 아파서 이제 그 다음 날에 일어났을 때 무릎 보호대를 착용하고 생활하고 그런 식으로 했습니다. (C)

2. 기존 무릎 보호대의 문제점 및 개선사항

MZ세대의 무릎 보호대에 대한 기능 및 디자인 선호도를 알아보기 위해 기존 무릎 보호대의 문제점을 조사하였다. 크게 탈부착/고정, 착탈의성에 대한 문제점을 제시했다. 탈부착/고정의 경우 움직임 발생 시 벗겨지거나 잘 흘러내리며, 사람이 직접 고정해 매 착용 시 느낌이 다르고 번거로워 신체에 오랫동안 처음의 상태가 유지되기를 희망하였다. 또한 시중에 다양하게 존재하는 사이즈에 대해 개개인에 맞는 사이즈 선택에 어려움을 겪으며, 과도한 고정으로 인해 불편한 움직임에 대한 문제점을 가지고 있었다. 착탈의성의 문제로는 입고 벗기가 불편해 올인원 타입을 선호하게 되며, 운동 시 필요한 물건(물통, 수건, 등산 스틱 등)을 들고 있어 손이 자유롭지 못해 어려움을 가지고 있었다. 또한, 불편 사항의 해결책으로 참여자에게 자동화 시스템 관련 의견을 수렴한 결과, 보다 편안한 움직임이 가능할 것으로 기대하고 있었다. 하지만 원하는 위치까지 강약 정도가 잘 적용되는지 기술적 의문을 가지고 있으며, 사용자 맞춤형 고정 상태를 유지하고 기억할 수 있는 프리셋 기능 접목을 희망해 추가적인 개선안도 필요했다.

두꺼운 옷을 입었거나 이럴 때 탈 부착하면은 아무래도 좀 공간이 발생할 수도 있어서 그럴 때 좀 불편할 것 같아요. … 입고 벗기에 편하기 때문에 온인원이 나을 것 같아요. … 손에 물건을 들고 있다거나 그럴 때 뭔가를 지고 있다거나 손이 자유롭지 못할 때 자동으로 되는 게 있다면 좀 더 편하지 않을까요? … 인터넷으로 한번 찾아봤을 때 좀 잘 벗겨지고 헐거워진다는 문제가 있던데 그런 게 좀 개선되어야 할 것 같아요. (A)

사용자 신체에 이제 오랫동안 유지할 수 있도록 하는 그런 능력이 중요합니다. … 사람이 직접 차고 하는 거다 보니까 이게 매번 할 때의 그 느낌이 다를 수밖에 없잖아요. 그래서 내 마음에 든 그 상태가 있을 때 그 상태를 다음번에도 똑같은 그 상태를 유지하고 싶다 하면은 그 정도의 프리셋 정도가 있으면 좋지 않을까 … 또 그 수치를 저장할 수 있는 기능도 있으면 좋을 것 같아요. (B)

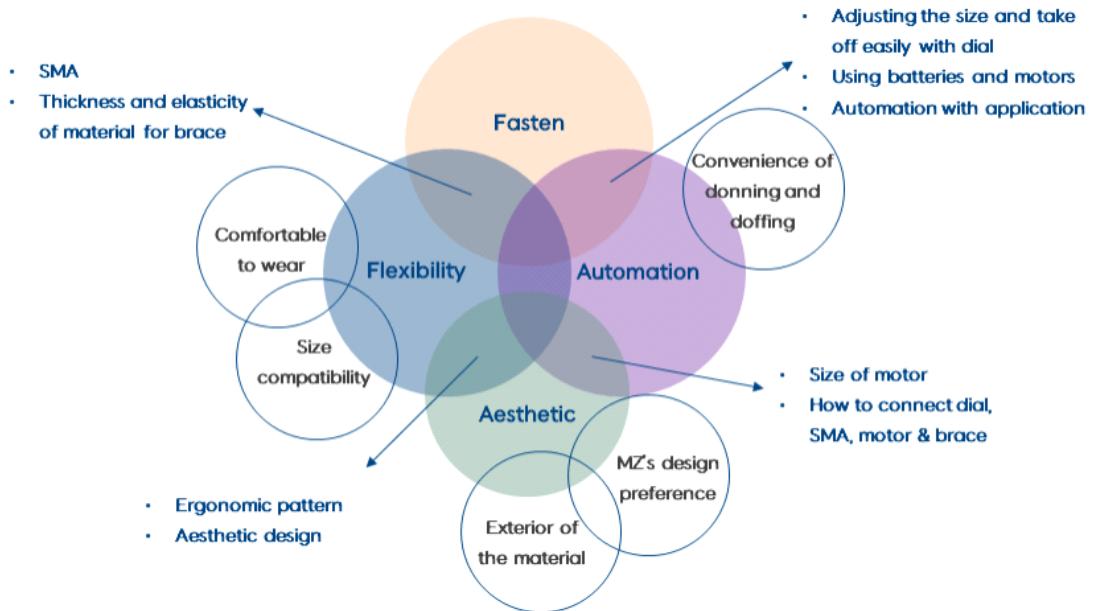
털착을 할 때 보호대를 이제 제가 꺼던 거는 아예 이렇게 벗듯이 보호대를 탈부착 할 때 보호대를 풀어서 발밑으로까지 이렇게 빼는 방식의 보호대를 착용했었거든요. 조금 번거로움이 있습니다. … 이제 사용자가 이 사이즈가 내 사이즈가 맞다 이렇게 인식이 될 수 있는 게 가장 중요하다고 봅니다. 왜냐하면 자기가 조금 작은 무를 보호대를끼고 있는데도 이게 잘 잡아주는구나 이렇게 착각을 할 수도 있기 때문이죠. 사용자는 얼마나 쪼이게 딱 좋은 건지 잘 모르기 때문에 그런 사이

즈 측면에서 조금 사용자에게 딱 맞을 수 있는 것이 가장 중요하다고 생각합니다. … 신축성만 있으면 얼마든지 찍찍이 굳이 안 붙이고도 잘 할 수 있으면 더 좋겠다는 생각이 듭니다. (C)

3. 사용자 경험을 적용한 디자인 요소

사전 인터뷰 내용을 바탕으로 디자인 요소를 추출하여 결과는 <Fig. 10>과 같다.

‘고정성’, ‘유연성’, ‘자동화’, ‘심미성’을 주요 요인으로 설정하고, 각 요인을 복합적으로 고려한 디자인 솔루션 및 실험 설계는 다음과 같다. 먼저, 착용 시의 편안함과 개인별 사이즈 호환성을 포함한 ‘고정성’과 ‘유연성’ 요인을 고려하여 무릎 보호대의 잠금 방식으로 유연한 탄성과 형태 회복성을 주요 특징으로 하는 SMA를 기준 제품의 와이어레이스 대안으로 제안하고, 무릎 보호대의 소재의 소재 및 두께를 복합적으로 디자인한다. ‘유연성’, ‘심미성’ 요인은 무릎 보호대의 소재와 디자인을 인체공학적 패턴과 사전 인터뷰에서 도출한 내용에 기반 한 사용자 중심의 미적 요소를 포함한 디



<Fig. 10> Design Factors for Developing Smart Knee Brace

자인을 제안하며, ‘자동화’와 ‘고정성’ 측면에서는 착탈의 편리성을 기반으로 다이얼, 전지, 모터, SMA 등 사용자 맞춤형 자동화 요소를 고려하여 설계한다. 참여자들의 인터뷰 결과는 MZ세대의 고프코어 트렌드와 일맥상통하며, 기능성(고정성, 유연성, 편리성)을 넘어, 기능의 패셔너블함(스마트폰으로의 자동제어 기술 및 인터랙션, 패션 아이템으로서의 타인의 시선)을 동시에 수반한 디자인 요소로 볼 수 있었다.

4. 사용자 선호도를 반영한 디자인 솔루션

참여자 모두 심플한 스타일을 선호하며, 스포티한 감성을 더하는 것에 대한 긍정적으로 대답했다. 색상으로는 검은색과 회색 등 모노 톤(Mono tone)을 추구했고, 무늬는 없는 것을 선호하나 라인, 그리드와 같은 간결한 선 프린팅은 수용한다고 밝혔다. 소재는 잘 흘러내리지 않는 신축성이 좋은 소재와 무게감이 덜 느껴지는 경량 소재를 선호했다. 기존 제품에 대한 인식 조사에서도 알루미늄 등 메탈로 구성된 보호대의 경우 재활의 이미지가 강해 거부감을 느끼고 있었으며, 스트랩 형과 신축성이 돋보이는 올인원 타입을 선호하고 있었다. 인터뷰 내용으로부터 도출한 기능적, 디자

인적 요소를 고려한 디자인 솔루션은 〈Table 5〉와 같다.

5. 프로토타입 개발

1) 무릎 보호대 3D 디자인 제안

본 연구는 무릎 보호대의 주요 착용 목적인 예방적(Prophylactic)인 면과 재활적(Rehabilitative)인 면을 함께 고려하고, 사전 조사 및 인터뷰 결과를 반영하여 슬리브형, 스트랩형, 잠금형 무릎 보호대를 복합적으로 결합시킨 디자인을 제안하고자 한다. 사용자의 움직임 발생 시 벗겨지거나 흘러내리지 않고, 착용 시에는 사용자 맞춤형의 편안함과 안정적인 고정 상태가 유지되며, 착탈 시의 편리성을 고려하였다.

무릎 보호대의 전반적인 3D 디자인 요소는 〈Table 6〉과 같다. 얇고 가벼워 휴대하기 적당한 슬리브형 안쪽 한 겹 및 다이얼과 와이어 레이스로 기능적으로 편리한 착탈이 가능한 두께감 있고 고정성이 뛰어난 바깥쪽 한 겹이 세트인 일체형(all-in-one type, 올인원 타입)의 무릎 보호대를 디자인하였다. 고정성과 자동화를 고려한 바깥쪽 한 겹은 재활 목적에 부합하도록 클릭 잠금형 다이얼/SMA 와이어 레이스/모터/배터리를 활용하며, 유연성

〈Table 5〉 Design Solutions

Categories	Description
Fasten	Should not peel off or flow down easily, and should maintain its original fasten state for a long time. Should be prevented from flowing down because it usually deformed according to movement. User-friendly such as easy to select right size and fasten correctly
Donning and Doffing	For convenience, preferred all-in-one type of knee brace. Should be possible to wear when hands are not free because of carrying objects necessary for exercise, such as water bottle, towel, hiking stick,
Automation	Should be adjustable as desired by the user, and accurate intensity control also be possible. Preferred preset function to keep fit and memorize it.
Style	Simple style
Color	Mono tone(Black, Gray)
Print & Pattern	Preferred solid pattern, but line or grid patterns are also fine.
Fabric	Preferred stretchy materials that does not flow easily and lightweight material that feels less weight.

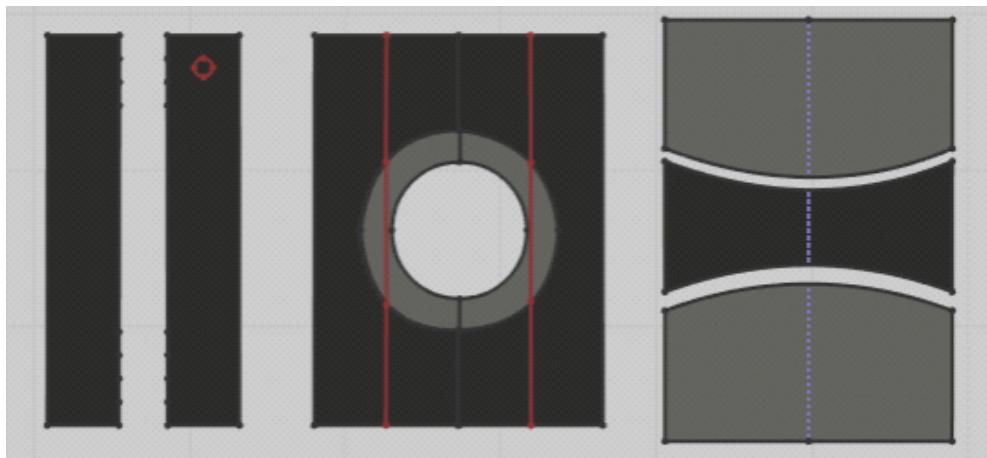
〈Table 6〉 3D Design Elements for Knee Braces

	Inner brace	Outer brace
Elements	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibility • Aesthetic 	<ul style="list-style-type: none"> • Fasten • Automation
Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> • Thin and light • Portable 	<ul style="list-style-type: none"> • The purpose of rehabilitation • Click-lock dial, SMA, motor, & battery
Type	<ul style="list-style-type: none"> • Sleeve type • Keep and fix the shape smoothly without falling down 	<ul style="list-style-type: none"> • Dial click lockable type • Maintain a customized fixed state
Style	<ul style="list-style-type: none"> • To control the knee joints, open the front part of the knee 	<ul style="list-style-type: none"> • Opening the front of the knee + cutting the back of the knee and dividing the surface
Color	<ul style="list-style-type: none"> • Black & Grey • Tone-on-tone • Minimize the limit of coordination 	
Fabric	<ul style="list-style-type: none"> • Thin & light neoprene • Considering the comfort and stability of the wearer 	<ul style="list-style-type: none"> • Thick neopren • Outstanding elasticity
Sewing	<ul style="list-style-type: none"> • Flat-lock stitch • By minimizing thickness, it reduces skin-to-fabric sweeping and enables flexible movement, which is a non-contact sewing method mainly used in sportswear 	

및 심미성을 고려한 슬리브형인 안쪽 한 겹은 예방적으로 활용 시 중요한 장시간 착용 시 편안함과 바깥쪽 한 겹을 뺀 착용도 가능하도록 한다. 두 겹을 동시에 올인원으로 착용 시, 피부에 직접 닿는 안쪽은 밀착되지만 부드러워 착용감이 좋고, 바깥쪽은 단단하게 고정이 가능하고 착탈이 편리하도록 설계하여 치료와 재활 시 시너지를 내는 것이 가능하도록 디자인하였다.

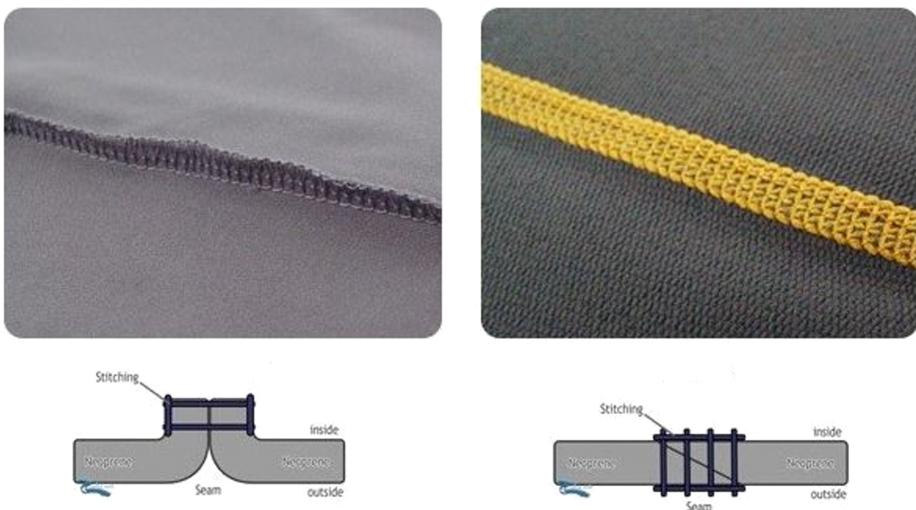
무릎 보조대의 구조 및 형태는 무릎 관절을 편안하게 제어할 수 있도록 무릎 앞부분이 개방되어 있는 두 겹의 일체형 디자인으로 설계했으며, 안쪽 한 겹은 흘러내리지 않고 부드럽게 잡아주는 형태를 유지하기 위해 슬리브 형이고, 바깥쪽 한 겹은 사용자 맞춤형 고정 상태를 유지하기 위한 다이얼 클릭 잠금 착탈 형이다. 두 겹의 무릎보조대는 목적에 따라 각각 활용도 가능하여 제품의 활용도를 높였고, 땀으로 인한 오염 등으로 인한 교체 시에는 피부에 직접 닿는 안쪽 한 겹만 별도로 교체 가능한 구조이다. 유기적인 올인원 탑입

의 무릎 보호대 제작을 위한 2D 평면 패턴 디자인은 〈Fig. 11〉와 같다. 안쪽 한 겹은 무릎 움직임 시에 불편함을 없애기 위해 원형으로 무릎의 돌출부위를 오픈하고, 봉제선을 최소화하였으며, 바깥쪽 한 겹은 무릎 뒤쪽의 접힘 부위는 곡선형 절개선과 면 분할 처리하고, 전면에서 와이어레이스를 상하 3지점 씩 안정적인 고정이 가능하도록 하였다. 무릎 보호대의 색상의 경우, 사전 인터뷰 결과에 따라 차분하고 안정감 있는 검은색, 회색 등 무늬 없이 간결한 무채색을 선택했고, 소재는 탄탄하고 신축성이 우수하고 무릎 주변 근육에게 적정 수준의 익복압을 유지할 수 있는 네오프렌 소재 (Neoprene Fabric)를 사용한다. 올인원으로 착용 시 안쪽 한 겹은 양말을 신은 듯 편안하고 안정감을 느끼도록 비교적 얇은 네오프렌 소재를 사용하고, 바깥쪽 한 겹은 두께감 있고 탄성도 뛰어난 네오프렌 소재이다. 두 겹의 무릎 보호대는 소재의 두께는 다르나 표면감이 통일성 있는 네오프렌을 사용하고, 그레이~블랙 계열의 무채색을 톤



Outer part A Inner part Outer part Outer part B

〈Fig. 11〉 Knee Braces 2D Pattern



〈Fig. 12〉 Flat-lock Stitch (Right)
(cloths-product, n.d.)

온 톤(Tone-on-tone)으로 배색하여 통일감을 주며, 의복과 함께 착용했을 때 코디네이션의 한계를 최소화하였다. 봉제 방식은 올인원 두 겹 모두 봉제선 두께를 최소화하기 위해 스포츠웨어에 많이 사용하는 오드람프(Flat-lock Stitch) 방식을 활용했다〈Fig. 12-Right〉.

〈Table 7〉은 2D패턴을 아바타에 적용해 내부 한 겹 착용 시, 바깥쪽 한 겹 착용 시, 올인원으로 두 겹 착용 시의 형태를 순차적으로 구현하였다. 활용한 아바타의 사이즈는 사이즈 코리아(size korea) 7차 한국인 인체 치수 조사사업 최종 보고서에 따라 25-29세 남자의 넓다리중간둘레(537mm),

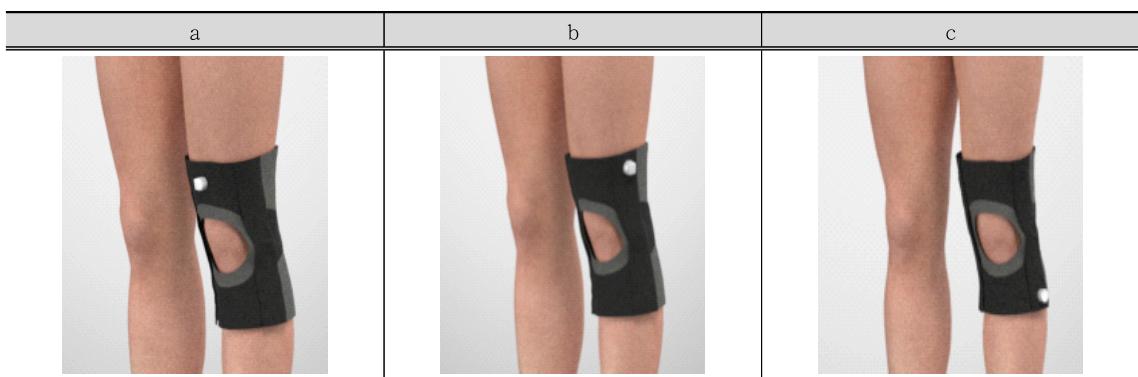
〈Table 7〉 Knee Braces 3D Design Process



〈Table 8〉 CLO 3D Design for Knee Braces



〈Table 9〉 Three Types of Dial Position



무릎 둘레(375mm)와 장딴지둘레(386mm)로 설정 했다(Size Korea, n.d.).

올인원 무릎 보호대의 전면/측면/후면 착용 모습은 〈Table 8〉과 같으며, 클릭 잠금형 다이얼의

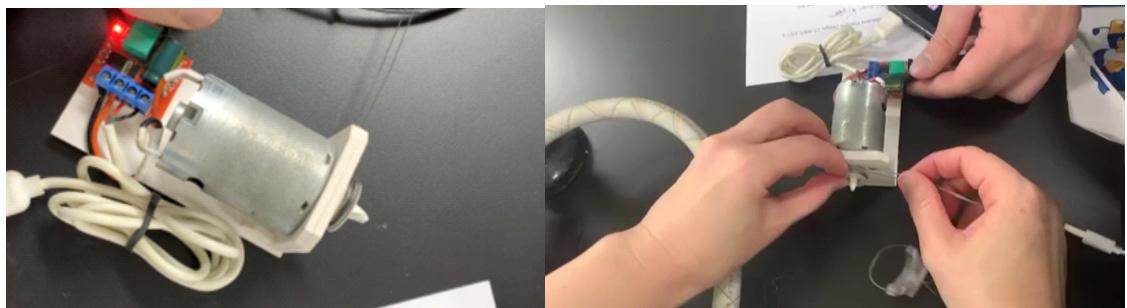
위치는 〈Table 9〉와 같이 전면 상단(a), 바깥쪽 측면 상단(b)과 하단(c)의 3가지 부위로 CLO 3D 프로그램을 활용하여 제안하고, 후속 연구에서 시제품 제작하여 사용자 테스트 후 최종 위치를 선정 할 계획이다.

2) 무릎 보호대 스마트 잠금 방법 솔루션을 위한 실험

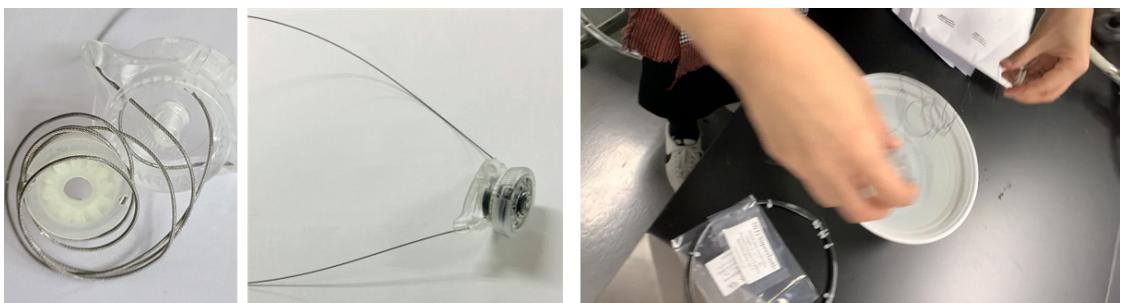
모든 디바이스의 구성 요소는 고형으로, 유연성이 전혀 없어 사용자의 꽤적인 착용감을 해칠 우려가 있으며, 이러한 디바이스는 보호대의 무게를 증가시키는 원인이 되므로 가능한 작고 가볍게 제작하는 것이 중요하다. 또한 신체에 밀접하게 착용하는 전기 디바이스인 만큼 안전성이 무엇보다 최우선되기에 인체 친화적인 재료를 사용하여 제작해야 한다. 디바이스의 구성 요소 중 에너지 저장 장치는 리튬 이온 전지가 높은 에너지 밀도를 바탕으로 시장을 크게 점유하고 있으나, 리튬 이온 전지는 유기계 전해질을 사용함으로 인한 폭발, 누액의 위험성을 가져 안전성의 관점에서 큰 단점을 지니기에 본 연구의 디바이스 디자인에서는 인체 친화적인 아연 이온 전지를 사용하였다. 아연 이온 전지는 여타 전지와 달리 수계 전해질을 사용하는 것이 특징으로 높은 사이클 안정성을 가질 뿐만 아니라 발화 및 폭발의 위험이 전혀 없어 안전하고 저렴하여 차세대 배터리로 각광받고 있으나 낮은 구동 전압으로 인한 낮은 에너지 밀

도가 단점으로 지적된다. 본 시스템에서는 단 방향 모터를 통해 와이어를 감는 정도의 작은 힘을 사용하며, 짧고 비정기적인 조작 시간을 가지므로 높은 에너지 밀도보다는 충전 시의 안정성, 그리고 사용상의 안전성이 우선시되므로 아연 이온 전지를 선택하였다. 디바이스의 핵심 부품인 형상기억합금 와이어는 nexmetal社의 Nitinol을 사용하였다. Nitinol은 195 MPa 이상의 높은 항복강도를 가져 안전하게 무릎 보호대를 지지할 수 있고 $50^{\circ}\text{C} \pm 10$ 이상의 열을 가하면 빠르게 본래의 형상으로 돌아가는 성질을 지녀 저 용량의 전기 자극으로도 작동 가능한 자동 잠금 장치를 가진 무릎 보호대에 적합한 소재로 고려된다. 모터는 레이스 시스템에 직결되어 형상기억합금 와이어를 감는 가장 기본적인 기계장치다. 다른 요소와는 달리 물리적인 크기를 조절하기 어렵고, 돌출된 형태로 삽입되므로 보호대의 착용감과 심미성을 저해할 우려가 있다. 따라서 모터의 선택에 있어서는 레이스 시스템을 구동할 수 있는 최소한의 힘을 가진 소형 모터를 선택하는 것이 바람직하다. 본 실험에서는 레이스 시스템이 구동되는 최소한의 힘을 확인하기 위해 12W의 출력을 갖는 모터를 사용하였다.

모터에 형상기억합금 와이어를 적용할 수 있을지의 여부를 판단하기 위해 간소화된 실험을 진행하였다. 모터는 드라이버에 연결된 채로 5V 1A의 전력이 공급되었다. 드라이버는 회전 속도를 조절



〈Fig. 13〉 Motor Test



〈Fig. 14〉 SMA Shape Memory Test

할 수 있는 게이지가 붙어 있으며, 이를 통해 적정량의 힘을 가할 수 있다. 모터 선단에는 레이스 시스템의 내부 톱니에 감긴 와이어가 장착되어 있다. 모터는 0.25W 수준의 낮은 전력에서도 와이어를 잘 풀어냈으며, 레이스 시스템의 톱니와 직결되어 와이어를 균일하게 감아낼 수 있는 잠재력을 증명하였다〈Fig. 13〉.

또한 형상기억합금을 이용한 잠금 해제 방법도 확인할 수 있었다. 먼저, 형상기억합금의 본래 형태로 돌아가는 속도를 확인하였다. 형상기억합금 와이어를 구부림 없는 일직선 형태로 형태를 기억시킨 뒤 톱니에 감고 50°C 이상의 열을 가하여 0.5초 만에 와이어가 풀리는 모습을 관찰하였다〈Fig. 14〉. 아주 낮은 양의 전력을 사용하여 열에너지지를 줄 수 있는 점을 고려하면, 형상기억합금이 전도체인 것을 이용해 회로를 통해 에너지 저장 장치와 연결시켜 모터의 도움 없이 와이어를 푸는 것이 가능할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 MZ세대로 통칭되는 20대-30대의 최근 사회적 트렌드인 ‘오하운’과 같은 키워드에서 보여 지는 생활스포츠 활성화와 이에 따른 무릎 부상 증가에 주목하여 무릎 부상의 예방 및 치료를 위한 무릎보호대의 자동형 프로토타입을 개발하고자 하였다. 사용자 중심 디자인을 위해 MZ세

대 대상의 사전 인터뷰를 진행하여 디자인 선호도 및 기존 무릎 보호대의 개선점을 도출하는 질적 연구와 사전 인터뷰, 선행 연구, 시장 조사를 통해 도출한 디자인적 요인과 기능적 요인을 적용한 실험 설계를 진행하는 혼합 연구 방법을 수행하였다. 먼저 이론적 고찰을 통해 무릎 보호대의 개념과 유래에 대해 살펴보고, 무릎 보호대의 유형과 소재에 대해 고찰하였으며, 사전 인터뷰와 디자인 및 실험 설계를 진행하였다. 선행 연구와 사전 인터뷰 결과에 따른 MZ세대의 사용자 중심 디자인 요소를 추출하여 CLO 3D 버추얼 프로그램을 통해 디자인 프로토타입을 제안하고, 아연 이온 전지를 활용한 에너지 저장 장치, 형상기억합금 와이어, 저전력 모터를 활용한 실험으로 무릎 보호대의 잠금 방법 개선을 제안하였다.

생활스포츠를 즐기는 20대 3인을 대상으로 한 사전 인터뷰를 통해 무릎 보호대에 대한 경험 및 인식과 기능 및 디자인 선호도를 사전 조사한 결과, 심플하고, 무채색 위주의 모노톤을 선호하고, 경량의 고신축성 소재를 사용한 기능적이면서도 거부감 없는 올인원 타입을 디자인 솔루션으로 도출하였다. 미학적, 기능적, 기술적 요소를 고려하여 예방과 재활에 복합적으로 활용 가능하도록 안쪽은 슬리브형이고 바깥쪽은 다이얼 잠금형인 일체형(올인원 타입) 무릎 보호대 디자인을 버추얼 이미지로 제안하였다. 목적에 따라 두 겹은 각각 개별로 활용 가능하며, 두 겹을 함께 착용하였을

때 미적으로나 기능적으로 시너지가 나도록 설계하였다. 소재는 가볍고 신축성이 뛰어난 네오프렌을 사용하고, 색상은 그레이, 블랙의 톤 온 톤으로 제안하였다. 무릎 보호대 잠금 방법적인 면에서는 다이얼 레이스 잠금 방법을 활용한 자동화에 초점을 맞추어 실험을 진행하였다. 레이스로 제안하는 SMA의 형상 기억된 형태로 복원되는 속도를 확인하여 작은 양의 전기 에너지원을 활용한 자동화 가능성을 확인하였으며, 아연 이온 전지를 전기 에너지로 활용한 소형 단방향 모터를 실험하여 안정적이면서 착용감과 심미성까지 고려한 자동화 디바이스를 제안하였다.

본 연구는 여러 분야의 연구자들과 조율을 통한 융합 연구를 진행하였다는 것에 의의가 있으며, 또한 다양한 분야의 연구자들이 어떤 디자인 프로세스로 진행할 수 있는지에 대한 방향을 제시하였는데 의의가 있다. 후속 연구로는 향후 보다 많은 참여자의 다양한 의견을 통한 해석이 필요하며, 대상자의 트렌드 민감도에 따라 차별화된 디자인이 추가로 제안될 것으로 요구된다. 본 연구의 상용화를 위해서는 CLO 3D로 제안한 무릎보호대 디자인을 활용한 시제품 실물 제작과 사용자 착용 테스트를 통한 실질적인 사용성, 유용성, 심미성, 가치성, 신뢰성 등에 대한 평가 후 다이얼 부착 위치를 선정해야 할 필요가 있다. 끝으로 보다 효과적인 개인 맞춤형 사이즈 조절을 위한 프리셋 기능이 가미된 애플리케이션 개발과 다이얼의 클릭 잠금 자동화, SMA 형태 회복용 에너지를 위한 소형 전기 장치 개발이 향후 과제로 기대된다.

References

- Betterbraces (2014, August 7). The brief history of knee braces. Retrieved from <https://www.betterbraces.com/blog/the-brief-history-of-knee-braces/>
- Betterbraces (n.d.). Retrieved from <https://www.betterbraces.com/>
- Blecha, K., Nuelle, C. W., Smith, P. A., Stannard, J. P., & Ma, R. (2022). Efficacy of prophylactic knee bracing in sports. *The Journal of Knee Surgery*, 35(3), 242-248, doi:10.1055/s-0041-1740930
- Boafit (n.d.-a). Retrieved from <https://www.boafit.com/en-us/company/our-story>
- Boafit (n.d.-b). Retrieved from <https://www.boafit.com/ko-kr/bracing>
- Braceability (2015, July 15). The four types of knee braces. Retrieved from <https://www.braceability.com/blogs/articles/the-four-types-of-knee-braces>
- Braceability (n.d.-a). The four types of knee braces. Retrieved from <https://www.braceability.com/blogs/articles/the-four-types-of-knee-braces>
- Braceability (n.d.-b). The four types of knee braces. Retrieved from <https://www.braceability.com/blogs/articles/the-four-types-of-knee-braces>
- Braceability (n.d.-c). The four types of knee braces. Retrieved from <https://www.braceability.com/blogs/articles/the-four-types-of-knee-braces>
- Byrne, C. A., Rebola, C. B., & Zeagler, C. (2013). Design research methods to understand user needs for an etextile knee sleeve. *Proceedings of the 31st ACM International Conference on Design of Communication* (pp. 17-22).
- Desertcart (n.d.). Hyperextension knee brace for recovery & prevention-s. Retrieved from <https://www.desertcart.sg/products/46931985-hyperextension-knee-brace-for-recovery-amp-prevention-s>
- Hammerslag, G. R., Mayberry, M., & Soderberg, M. (2012). U.S. Patent No. US9743714B2. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Harvard Health Publishing (2019, December 11). Why weight matters when it comes to joint pain. *Harvard Health Publishing*. Retrieved from <https://www.health.harvard.edu/pain/why-weight-matters-when-it-comes-to-joint-pain>
- Heo, D. B. (2020, November 6). Sports injuries, don't let down your guard [스포츠 손상, 방심은 금물]. *MK health*. Retrieved from <https://www.mkhealth.co.kr/news/articleView.html?idxno=51069>
- Ike, N. (2022, December 5). What is gorpcore? Stylists explain the fashion trend and share their favorite pieces. Retrieved from <https://edition.cnn.com/cnn-underscored/fashion/gorpcore-style>
- Kim, J. Y. (2021, May 4). Mountain climbing craze among MZ generation, foot and knee injury warning [MZ 세대에 부는 등산 열풍, 발?무릎 부상 주의보]. *Healthnews*. Retrieved from <https://www.healthnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=23146>
- Kim, R. D., Jun, M. Y., Choi, J. H., Lee, H. E., Lee, J. Y., Lee, S. J., ... & Han, D. H. (2020). *Trend Korea 2021: Seoul national university consumer trend analysis center's 2021 outlook* [트렌드 코리아 2021: 서울대 소비트렌드 분석센터의 2021 전망]. Seoul, Korea: Miraebook.

- Kim, S. G. & Yoo, S. J. (2016). A study on design of an automatic switching gear using shape memory alloy for the development of versatile ventilation intelligent clothing. *The Korean Society Of Design Culture*, 22(3), 59-66.
- Kim, S. H. & Lee, J. H. (2020). Designing smart sports wear to support the prevention of sports injuries in badminton club activities sportswear. *Science of Emotion and Sensibility*, 23(3), 37-46. doi:10.14695/KJSOS.2020.23.3.37
- Kneesafe (n.d.) Retrieved from <http://kneesafe.com/>
- Koyuncu, B., Candan, C., & Nergis, B. (2021). ARC Knee Brace: Neoprene knee brace with active control using wearable sensors. *Proceedings of The 2nd International Electronic Conference on Applied Sciences*, 11(1), 51. doi:10.3390/ASEC2021-11115
- Kwon, C.-R. & Kim, D.-E. (2017). Cycle wear functional design preference and demands based on gender - Focusing on cycle wear top -. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 41(4), 673-686. doi:10.5850/JKSCT.2017.41.4.673
- Lee, H., Eom, R.-I., & Lee, Y. (2015). 3D modeling of safety leg guards considering skin deformation and shape. *Korean Journal of Human Ecology*, 24(4), 555-556. doi:10.5934/kjhe.2015.24.4.555
- Lee, J. S., Choi, M. H., & Moon, H. W. (2019). The effect of the wearing of knee sleeve on pedestrian capacity by age in 20s and 60s. *The Korean Journal of Growth and Development*, 27(2), 107-113. doi:10.34284/KJGD.2019.05.27.2.107
- Lee, K. S. (2017, October 25). When going down, '10 times your weight' on your knees... Reduce your speed by half [내려갈 때 '체중 10배' 무릎에... 속도 절반으로 줄여야] *healthchosun*. Retrieved from https://m.health.chosun.com/svc/news_view.html?contid=2017102401645
- Lim, B.-O. (2007). The effects of knee brace on the knee extensor and valgus moment during the rebound in female highschool basketball player. *Korean Journal of Physical Education*, 46(4), 509-514.
- Oh, H. & Kim, J. (2017). Patella shape extraction from 3D point cloud data for personalized knee brace. *Proceeding of the 8th International Conference on Digital Human Modeling* (pp. 160-168). doi:10.1007/978-3-319-58463-8_14
- Oh, H. K. & Oh, K. W. (2021). A study on the wearing status and purchase behavior of sports knee braces. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 45(2), 253-270. doi:10.5850/JKSCT.2021.45.2.253
- ORTHORELIEVE. (n.d.) KneeFlexTM - Knee brace with adjustable angle plate. Retrieved from <https://orthorelieve.com/products/kneeflex?variant=39515518992459>
- Paluska, S. A. & McKeag, D. B. (2000). Knee braces: current evidence and clinical recommendations for their use. *American family physician*, 61(2), 411-418.
- Park, S. & Koo, S. (2020). Suggestions of movement-assistive knee pad designs: Focusing on preference and satisfaction evaluations using virtual avatars' wearing. *The Korean Fashion & Textile Research Journal*, 22(3), 271-286. doi:10.5805/SFTI.2020.22.3.271
- Rovere, G. D. & Bowen, G. S. (1986). The effectiveness of knee bracing for the prevention of sport injuries. *Sports Medicine*, 3(5), 309-311. doi:10.2165/00007256-198603050-00001
- Size Korea (n.d.). 7th human body survey. Retrieved from <https://sizekorea.kr/human-info/meas-report?measDegree=7>
- SKINFLINT. (n.d.) Bauerfeind genutrain kneibandage größe 1 titan, 1 stück. Retrieved from <https://skinflint.co.uk/bauerfeind-genutrain-kniebandage-groesse-1-titan-a2662955.html>
- Sportsafety. (2020, May 12). 2019 Sports safety accident survey comprehensive report [PDF document]. *Sportsafety*. Retrieved from [https://www.sportsafety.or.kr/front/board/boardContentsView.do?miv_pageNo=&miv_pageSize=&total_cnt=&LISTOP=&mode=W&contents_id=labeb3de52434e7b9ca5563748062008&board_id=42&searchAllFlag=&searchAllTxt=&p_cate_id=&cate_id=&searchkey=T&archtxt="](https://www.sportsafety.or.kr/front/board/boardContentsView.do?miv_pageNo=&miv_pageSize=&total_cnt=&LISTOP=&mode=W&contents_id=labeb3de52434e7b9ca5563748062008&board_id=42&searchAllFlag=&searchAllTxt=&p_cate_id=&cate_id=&searchkey=T&archtxt=)
- SSG (n.d.). Retrieved from <https://www.ssg.com/item/itemView.ssg?itemId=1000326142180>
- Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. CA, USA: Sage Publications.
- Thomas, R. (2022, May 11). The rise of 'blokecore', the football-inspired style trend. Retrieved from <https://www.vice.com/en/article/pkpnxb/what-is-blokecore-tiktok-fashion-trend>
- Turner, A. J., Carroll, W., Kodithuwakku Arachchige, S. N., Saucier, D., Burch V. R. F., Ball, J. E., ... & Chander, H. (2021). Closing the wearable gap—Part VIII: A validation study for a smart knee brace to capture knee joint kinematics. *Biomechanics*, 1(1), 152-162. doi:10.3390/biomechanics1010012
- Ubuy (n.d.). Retrieved from <https://www.ubuy.co.it/>
- Webster, J. M., & Roberts, J. (2009). Incorporating subjective end-user perceptions in the design process: A study of leg guard comfort in cricket. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 223(2), 49-62. doi:10.1243/17543371JS ET31
- Wish (n.d.). Retrieved from <https://www.wish.com/>