산업융합연구 제24권 제4호 pp. 55-68, 2026
ISSN 2635-8875 / e-ISSN 2672-0124
DOI : https://doi.org/10.22678/JIC.2026.24.04.055

3D 프린팅 개인맞춤형 시트가 장애인 조정 선수의 주행 수행력에 미치는 영향: 단일 사례 혼합연구

배건환[1], 정정환[2*]
[1]한국체육대학교 특수체육교육과 강사, [2]평원중학교 특수교사

The Impact of a 3D-Printed Personalized Seat on the Performance of a Para-Rower: A Single-Case Mixed Methods Study

Gun-Hwan Bae[1], Jeong-Hwan Jeong[2*]
[1]Lecturer, Dept. of Adapted Physical Education, Korea National Sport University
[2]Special Education Teacher, Pyoung-Won Middle School

요 약 본 연구는 척수손상 장애인 조정 PR1 등급 국가대표 선수를 대상으로 3D 프린팅 개인맞춤형 시트를 제작하고, 기존 시트와의 비교를 통해 주행 수행력 변화를 탐색하는 동시에 시트 제작·적용 과정에서 국가대표 장애인 조정 선수 및 감독의 경험을 심층 탐색하는 데에 목적이 있다. 혼합연구 방법 중 동시적 내재 설계를 적용하여 NK Speed Coach GPS Pro를 통해 수집한 스트로크별 데이터와 Polar H10을 통해 수집한 세션 전체 심박수 데이터를 양적으로, 심층면담 및 FGI 자료를 귀납적 주제분석을 통해 질적으로 분석하였다. 양적 연구 결과, 3D 프린팅 시트 적용 시 1,000m와 500m 주행에서 기록 각 6.1%, 7.6% 단축, 평균속도 각 6.5%, 7.7% 향상, 속도 변동계수(CV) 각 1.7%p, 1.5%p 감소가 관찰되었으며 스트로크율은 양 조건 모두 유사한 수준으로 나타나 속도 향상이 스트로크 효율 향상에 기인함을 시사하였다. 질적 분석에서는 22개 의미단위, 8개 하위주제로부터 '규격화 장비 속에서 홀로 버텨온 세월', '처음 경험한 내 몸에 맞는 장비의 감각', '쌓이면 달라진다: 반복적 피드백과 장애인체육의 내일'이라는 3개의 핵심주제를 도출하였으며, 연구참여자 내용 점검과 삼각검증을 통해 질적 자료의 신뢰성을 확보하였다. 본 연구는 단일 사례로서 통계적 일반화에는 한계가 있으나, 3D 프린팅 개인맞춤형 시트가 장애인 조정 선수 주행 수행력 향상 및 선수 경험에 기여할 가능성을 양적 및 질적 측면에서 시사한다는 점에서 의의가 있다.

키워드 : 장애인 조정, 3D 프린팅, 개인맞춤형 시트, 혼합연구, 경기력

Abstract This study aimed to develop a 3D-printed personalized seat for a national para-rowing athlete with spinal cord injury (PR1 classification) and to explore its performance effects, while investigating the experiences of the athlete and coach throughout the fabrication and application process. A concurrent nested mixed methods design was employed. Quantitative data were collected via NK Speed Coach GPS Pro (stroke by stroke speed/SPM/distance per stroke) and a Polar H10 heart rate monitor (session-level heart rate). Qualitative data from in-depth interviews and focus group interviews were analyzed through inductive thematic analysis. In the 1000m trial, time improved by 6.1% (24.8 s) and average speed increased by 6.5%; in the 500m trial, time improved by 7.6% (16.1 s) and average speed increased by 7.7%. Speed coefficient of variation (CV) decreased by 1.7%p (1000m) and 1.5%p (500m). Comparable stroke rates between conditions indicated that gains were efficiency-driven rather than frequency- driven. Qualitative thematic analysis of 22 meaning units and 8 sub-themes yielded three core themes: 'Decades of coping with standardized equipment alone,' 'The first sensation of equipment truly made for me,' and 'Small streams make great rivers: iterative feedback and the future of para-sport.' Credibility was established through member checking and triangulation. As a single-case study, statistical generalization is not intended; however, the findings suggest that 3D-printed custom seating may meaningfully contribute to para-rowing performance and athlete experience.

Key Words : Para-Rowing, 3D Printing, Personalized Seat, Mixed Methods, Athletic Performance

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2023S1A5B5A17087589).
Corresponding Author: Jeong-Hwan Jeong(hopplus@hanmail.net)
Received March 30, 2026 Revised April 14, 2026
Accepted April 20, 2026 Published April 28, 2026

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM

1. 서론

현대 사회에서 장애인들의 체육활동 참여는 지속적으로 증가하고 있으나 이를 지원하기 위한 운동용품 및 장비에 대한 요구는 여전히 충족되지 못하고 있다[1]. 장애인체육의 핵심은 대상자의 개별적 신체 기능과 장애 유형에 따른 적절한 수정과 변형을 적용하는 것이지만, 현재 대다수 장비는 비장애인의 신체를 기준으로 규격화된 상태로 생산되고 있다. 이러한 장비 사용에 있어서의 부적합성은 장애인의 생활체육 참여를 제한할 뿐 아니라 장애인스포츠 선수들에게는 국제 대회에서의 경기력 정체 및 저하, 그리고 예기치 못한 부상의 위험과 같은 부정적 결과를 초래한다.

특히 좌식 자세가 기본이 되는 장애인 조정 종목에서 시트(seat)는 선수의 둔부와 허벅지를 지지하여 경기력 향상 및 부상 예방에 필수적인 역할을 한다[2]. 특히 PR1 등급 선수의 경우 하체 기능 제약으로 시트가 많은 역할을 대신하기 때문에 시트의 적합성은 추진력 생성의 효율성과 체간 안정성에 직결되는 주요 사항이다[3]. 그러나 대부분의 기존 시트는 규격화된 형태로 제작되기 때문에 선수 개인의 체형, 장애 유형 및 기능 수준 등에 따른 세밀한 개인 맞춤화가 어려운 실정이다.

4차 산업혁명 핵심 기술 중 하나인 3D 프린팅 기술은 이러한 문제를 해결할 기술적 대안으로 주목받고 있다. 3D 프린팅은 단순화된 공정 절차로 다품종 소량 생산에 강점이 있어 개인의 신체구조를 정밀하게 반영해야하는 개인맞춤형 용기구 제작에 매우 적합한 특성이 있다[4]. 하지만 장애인 조정을 포함한 스포츠 종목에서 3D 프린팅 개인맞춤형 시트의 제작 및 적용이 이루어진 사례는 극히 드물며, 이를 활용해 실제 조정 종목의 훈련 및 경기가 진행되는 수상 환경에서 수행력의 변화를 탐색한 연구는 찾아보기 어려운 실정이다.

이에 본 연구에서는 척수손상 장애인 조정 국가대표 선수를 대상으로 사용자 참여 디자인 프로세스를 적용해 3D 프린팅 개인맞춤형 장애인 조정 시트를 제작하고 이를 실제 수상 환경에 적용하여 경기력과 직결되는 주행 수행력의 변화를 규명하고자 하였다. 동시에 국가대표 장애인 조정 선수와 감독이 시트의 제작 및 적용 과정에서 경험하는 내용을 심층 탐색하여 양적, 질적 결과를 통합하는 혼합연구의 수행을 목적으로 한다.

2. 이론적 배경

2.1 장애인 조정과 PR1 등급

장애인 조정은 패럴림픽 정식 종목으로, 기능 등급은 PR1, PR2, PR3의 세 단계로 분류된다. 그 중 PR1 등급은 팔, 어깨와 같이 상지만 사용할 수 있는 등급으로, 체간 및 하지 기능이 제한되거나 척수손상, 하지절단 등의 장애를 가진 선수들이 포함된다. 세계조정연맹(World Rowing)의 장애인 조정 경기 규정에 따르면 PR1 등급 선수는 체간 기능이 제한되어 체간 전후 기울기를 수행할 수 없으며 착석 균형이 저하된 선수로 정의된다[5]. PR1 선수에게 시트가 갖는 의미는 비장애인 조정 선수들과 질적으로 차이가 있다. 비장애인 선수의 경우 하지 근력으로 추진 동력을 보완할 수 있는 반면 PR1 선수는 상체만으로 노를 저어야 하기 때문에 시트가 골반이나 허벅지 등의 부위를 안정적으로 지지하지 못한다면 배가 좌우로 흔들리는 롤링 현상이 발생해 균형 유지에 많은 에너지가 소모되고 전방 추진력이 감소하게 된다.

2.2 장애인스포츠에서 시트의 역할과 기존 제작 방식의 한계

장애인스포츠에서 시트 장비는 체간 안정성을 확보하고 운동 효율을 극대화하기 위한 필수적인 요소로 인식되어 왔다[2]. 하지만 금형 생산 및 수가공과 같은 기존 장비 제조 방식은 제작 비용 및 기간 등에 있어 경제성이 낮고 한 번 제작된 틀을 수정하기 어려워 반복적인 디자인 수정에 제약이 있다는 구조적 한계가 있다[6]. 이처럼 체형에 맞지 않게 제작된 시트를 사용하는 경우 특정 부위에 압력이 집중되어 욕창 위험뿐만 아니라 근골격계 손상까지도 유발할 수 있다[7]. 특히 장애인 조정 종목에서 불안정한 착석 자세는 노를 젓는 동작 메커니즘의 효율성을 저하시키는 제한적 요인으로 작용한다[8]. 따라서 장애인 조정 종목에서 시트를 선수 개인의 요구에 맞게 변형하는 것은 경기력 향상을 위한 주요 사항으로 고려되며[9], 세계조정연맹 규정상 PR1 등급 선수의 좌석 구성에 관해서는 등받이 접촉 조건 및 몸통 스트랩 구성 등에 관한 사항을 제외하고는 폭넓은 맞춤화가 허용되고 있다[8].

2.3 3D 프린팅 개인맞춤형 장비의 특성 및 장애인스포츠 분야 적용 가능성

3D 프린팅 기술을 활용한 개인맞춤형 장비 제작 사례

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM

는 보건 및 재활 분야에서 의족, 보조기 제작 등에서 증가하고 있으며[10], 장애인스포츠 분야의 경우 휠체어 육상[11], 핸드사이클[12] 종목 등에 개인맞춤형 3D 프린팅 장비를 제작하여 적용한 사례를 확인해볼 수 있다. 3D 프린팅은 복잡한 형상 구현과 부품 통합 설계, 소량의 맞춤 제품 생산 등에 강점이 있으며 설계 수정 단계에서의 경제성을 확보하여 반복적인 디자인 개선 과정을 적용하기 용이하다[4]. 따라서 개인 신체 특성과 기능 수준에 따른 다양한 요구가 존재하는 장애인스포츠 분야의 장비 개발에 효과적으로 활용될 수 있다.

2.4 혼합연구: 동시적 내재 설계

일반적으로 혼합연구 방법은 질적, 양적 방법 중 시간적으로 어떤 연구가 먼저 진행되는가, 어떤 방법에 더욱 중점을 두는가에 따라 유형이 나누어진다[13]. 그 중 동시적 내재 설계(Concurrent nested design)의 경우 양적 및 질적 자료의 수집은 동시적으로 이루어지되, 한 자료 유형이 다른 한쪽에 포섭되어 보완적 역할을 하는 연구 설계 방식이다[14]. 이를 통해 연구자는 연구참여자에 대한 더욱 폭넓은 이해를 얻고 이차적 데이터를 확보할 수 있다는 장점이 있다[15]. 이러한 설계 방식은 적은 수의 연구참여자를 대상으로 구체적인 자료 확보를 진행하기에 효과적이며 다양한 사례연구에서 사용된 바 있다[16].

3. 연구방법

3.1 연구참여자

본 연구의 연구참여자는 목적 표집(purposeful sampling)을 통해 국가대표 장애인 조정 선수 1인 및 감독 1인으로 선정하였다. 연구참여자 선정 기준은 다음과 같다. 첫째, 시트 적합성이 경기력에 가장 직접적인 영향을 미치는 PR1 등급의 선수를 선정하였다[8]. 둘째, 국제무대에서의 검증된 경기력 확보를 위해 패럴림픽 출전 경력이 있는 현역 국가대표 PR1 등급 선수로 기준을 설정하였다. 셋째, 지도자의 경우 해당 선수와 장기적 협력 경험을 보유하여 장비 적용 전후 변화를 구체적으로 진술할 수 있는 현임 국가대표팀 감독으로 선정하였다. 본 연구의 모든 연구참여자는 연구에 대한 사전 안내를 받고 자발적으로 서면 동의한 자에 한해 선정하였다. 연구참여자 기본 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of Research Participants

Participant	Disability	Role
A	Spinal cord injury T11-12	National para-rowing athlete PR1 (3 X Paralympics)
B	Non-disabled	National para-rowing head coach

3.2 연구문제

본 연구와 같이 기존에 관련 연구가 드물고 소수의 대상을 다루는 경우 결과의 일반화보다는 개별 사례의 관찰과 탐색적 기술에 초점을 맞추는 연구 설계를 적용한다[17,18]. 이에 따라 본 연구에서는 3D 프린팅 개인맞춤형 장애인 조정 시트에 관한 국가대표 장애인 조정 선수 및 감독의 경험과 장비 적용 시 경기력 효과를 종합적으로 분석하기 위해 다음과 같이 연구문제를 설정하였다. 본 연구는 단일 사례 연구로서 결과의 통계적 일반화를 전제로 하지 않으며 아래의 연구문제는 탐색적 변화 기술을 목적으로 설정되었다. 이에 따라 기술통계 및 시계열 시각화를 통해 조건 간 변화 양상을 기술하며, 집단 간 통계 검증은 단일 사례 연구의 방법론적 특성상 적용하지 않는다[19].

3.2.1 양적 연구문제: 주행 수행력 변화 탐색

연구문제 1. 3D 프린팅 개인맞춤형 장애인 조정 시트 적용 시 주행 기록에는 어떠한 변화가 관찰되는가?

연구문제 2. 3D 프린팅 개인맞춤형 장애인 조정 시트 적용 시 평균 주행 속도에는 어떠한 변화가 관찰되는가?

연구문제 3. 3D 프린팅 개인맞춤형 장애인 조정 시트 적용 시 스트로크 효율성 및 주행 안정성에는 어떠한 변화가 관찰되는가?

3.2.2 질적 연구문제: 경험 탐색

연구문제 1. 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 제작 및 적용에 대한 국가대표 장애인 조정 선수와 감독의 경험은 어떠한가?

3.3 연구의 제한점

첫째, 본 연구는 국가대표 장애인 조정 선수 1인에게 개인맞춤형 시트를 제작 및 적용한 단일 사례 연구로서 결과의 통계적 일반화를 전제로 하지 않는다. 둘째, 실제 수상 환경에서 진행된 현장 연구의 특성상 기상, 선수 컨디션 등 외생 변수의 엄격한 통제에는 제약이 있었다. 셋

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM

째, 동일 날짜, 동일 수상 코스에서 1시간 간격 순차 측정을 통해 환경적 오차를 최소화하고자 하였으나, 단일 회기 측정으로 진행되었기에 반복 측정에 의한 내적 타당도 검증에는 제한이 따른다. 넷째, 심박수 데이터가 세션 전체 단위로만 수집되어 1,000m 및 500m 등 특정 구간별 선수의 노력 강도를 정밀하게 비교 분석하는 데에 제약이 있었다. 다섯째, 수집된 스트로크별 시계열 속도 데이터에는 인접 시점 간 자동상관(autocorrelation)이 존재할 수 있다. 그러나 본 연구는 기존 시트 조건과 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 조건을 각 1회씩 교차 적용한 탐색적 구조로서, 시계열 보정 모델의 적용이 본 연구 설계의 범위를 초과한다고 판단하여 별도의 통계적 보정을 수행하지 않았다.

3.4 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 제작

시트 제작 과정에서는 사용자 참여 디자인 프로세스를 적용하여 반복적인 피드백 교환 및 테스트가 진행되었다. 총 3회의 반복 설계 주기가 수행되었으며, 각 주기마다 선수가 착석 테스트를 실시하고 구두 피드백 및 비공식 면담을 통해 수정사항을 설계에 반영하는 방식으로 진행되었다. 또한 심층면담을 통해 골반 및 허벅지 부위의 안정적인 지지, 앞뒤 방향의 자유로운 이동, 좌우 롤링 현상 방지 등을 핵심 설계 조건으로 설정하였다. 이후 3D 스캐너(EinScan-Pro 2X Plus, Hustem, Korea)로 기존 시트의 데이터를 획득하였으며, 3D 모델링 소프트웨어(Rhinoceros 7, Robert McNeel & Associates, USA)를 통해 시트 디자인의 변형 설계를 진행하였다.

본 연구에서는 개인맞춤형 시트 소재 선정을 위해 TPU, PA-CF, Tough PLA의 세 가지 소재를 대상으로 소형 견본품을 제작한 후 선수의 실제 착석 테스트를 실시하였다. 테스트 결과 TPU 소재는 연성은 우수하나 수상 환경에서 요구되는 강성이 부족하였으며 PA-CF 소재의 경우 TPU와 반대로 강성은 우수하나 연성이 없어 움직임 구현에 제약이 있다는 단점이 있었다. 이러한 소재별 테스트 결과 및 사용자 의견을 종합해 최종 제작물은 일반적인 폴리머(Polymer) 소재 대비 뛰어난 내구성과 약간의 연성을 특징으로 하면서도 착석 하중을 안정적으로 지지하는 Tough PLA 소재로 결정하였다. 3D 프린팅에는 FDM 방식의 3D 프린터 M400(Moment, Korea)을 활용하였다.

특히 본 연구에서 제작된 시트는 선수의 기능 등급을 인위적으로 개선하지 않고 보조적 역할을 수행해야 한다는 세계조정연맹 규정의 기본 취지를 준수하였다. 이를 바탕으로 스트랩 구성 및 등받이 접촉 조건, 심판의 관찰 요건 등 PR1 등급 장비 규정을 충족하도록 설계되었다. 최종적으로 완성된 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 제작물의 출력 세부사항은 Table 2에 제시된 바와 같다.

Table 2. 3D Printing Parameters of the personalized seat

Parameter	Value
Filament	Tough PLA
Filament Usage(kg)	1.82(+ Support)
Weight(kg)	1.59
Size(mm)	386(W) X 485(D) X 166(H)
Print Time	74h 24m
Wall Loops	8
Infill(%)	65



Fig. 1. 3D-Printed personalized seat

3.5 자료 수집

3.5.1 양적 자료 수집

본 연구에서는 양적 자료의 수집을 위해 국가대표 장애인 조정 선수 1인을 대상으로 동일한 날짜 및 동일 수상 훈련 코스에서 같은 배에 기존 시트를 결합한 조건과 3D 프린팅 개인맞춤형 시트를 결합한 조건으로 순차 측

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM

정을 실시하였다. 측정 간격은 고강도 운동 후 수동적 회복 조건에서 혈중 젖산 농도가 약 30분 이내에 운동 전 수준으로 회복된다는 선행 연구를 참고하여[20], 충분한 대사적 회복 시간 확보를 위해 국가대표 장애인 조정 선수 및 감독의 자문을 바탕으로 현장 훈련 일정에 맞게 1시간으로 설정하였다. 측정은 최대한 선수의 기존 훈련 스케줄과 동일한 조건 하에 진행하여 외생 변수 개입이나 측정 간 간섭을 최소화하고자 하였다. 또한 측정 당일 Polar H10(Polar Electro, Finland)을 통해 세션 전체의 심박수를 보조적으로 수집하였다.

기존 시트 및 개인맞춤형 시트 주행은 모두 인터벌(interval) 형태로 1,000m와 500m를 순차 측정하였으며 인터벌 사이에는 약 5분의 휴식을 부여하였다. 측정 변인은 조정 경기력 향상에 관한 선행 연구들을[21-25] 참고하여 선정하였으며 NK Speed Coach GPS Pro(NK Sports, USA)를 활용해 주행 기록, 평균 속도, 스트로크율(SPM), 스트로크당 이동거리(m/stroke), 총 스트로크 수 등의 데이터를 수집하였다.

3.5.2 질적 자료 수집

본 연구에서는 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 제작 및 적용 과정에서 국가대표 장애인 조정 선수와 감독의 경험을 심층적으로 탐색하기 위해 개인 심층 면담, 포커스 그룹 인터뷰, 현장 관찰 등을 통한 질적 자료 수집을 진행하였다. 장비 제작 및 적용 과정에서 연구참여자별 약 60분가량의 개인 심층 면담 2회와 약 70분가량의 포커스 그룹 인터뷰 2회를 실시하였으며, 면담은 반구조화된 인터뷰 형식으로 진행되었다. 이에 더해 시트 디자인 수정 과정에서 사용자 피드백 수렴을 위한 비공식적 면담이 2회 이상 진행되었으며 장비 결합 및 훈련 과정에 대한 현장 관찰도 함께 이루어졌다. 인터뷰 및 관찰 자료는 연구참여자의 사전 동의하에 녹음과 촬영을 실시하였으며 수집된 자료는 연구참여자의 고유 언어를 최대한 반영하여 현장에서 관찰된 특이사항 등과 함께 연구자가 직접 전사하였다.

3.6 자료 분석

3.6.1 양적 자료 분석

본 연구는 국가대표 장애인 조정 선수 1인을 대상으로 양적 자료 수집 및 분석이 이루어진 단일 사례 연구로 시각적 분석(visual analysis) 및 기술통계(descriptive statistics)를 주요 분석 방법으로 채택하였다[19]. 이에 따라 NK Speed Coach GPS Pro 장비를 통해 수집된 CSV 형식의 원시 데이터를 기반으로 기존 시트 활용 조건과 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 활용 조건 간 측정 변인의 변화량 및 변화율을 산출하였다. 또한 주행 안정성 지표로 변동계수(CV = SD/Mean × 100%)를 산출하고 Python(pandas, matplotlib)을 활용하여 시계열 데이터를 시각화하여 조건 간 주행 패턴 차이를 비교 분석하였다.

본 연구는 단일 사례 연구의 방법론적 특성상 단일 사례 전용 효과 크기 지표나 집단 비교 통계 검증을 적용하지 않았다. 이는 본 연구가 하나의 사례에 대해 두 조건을 교차 적용한 구조로서, A-B 단계 반복이나 복수 기저선 설계와 같은 단일 사례 실험 설계의 전형적 형태와 구별되기 때문이다[19]. 이에 따라 조건 간 변화율과 시계열 패턴의 시각적 분석을 통해 변화 양상을 기술하는 방식을 채택하였으며, 이는 탐색적 단일 사례 혼합연구에서 적절한 접근으로 인정받고 있다[18].

3.6.2 질적 자료 분석

수집된 질적 자료는 Braun & Clarke[26]의 귀납적 주제분석 6단계 절차에 따라 자료의 이해, 초기 코드 생성, 주제 탐색 및 도출, 주제 검토, 주제 정의, 기술의 순환적 분석 과정을 거쳤다. 구체적인 분석 과정은 다음과 같다. 1단계에서는 전사 자료를 반복 숙독하며 전체 내용을 숙지하였다. 2단계에서는 의미 있는 구절 및 문장을 단위로 초기 코드를 생성하였으며, 총 22개의 의미단위를 도출하였다. 3단계에서는 유사한 의미단위를 묶어 8개의 하위주제를 탐색하고, 4단계에서 주제 간 적합성을 검토한 후 5단계에서 각 주제를 정의하였다. 최종 6단계에서는 3개의 핵심주제를 확정하고 분석 결과를 기술하였다. 이러한 주제분석 방법은 연구자가 특정 이론의 틀에 얽매이지 않고 주제에 대해 상세히 설명하는 것에 집중할 수 있다는 장점이 있다[27]. 자료 분석 과정에서는 자료 환원(reduction), 진열(display), 결론 도출(conclusion drawing)이 거듭되는 Miles & Huberman[28]의 자료 분석 단계를 참고하여 분석을 더욱 체계화하였다.

본 연구에서는 질적 연구의 신뢰성 확보를 위해 연구참여자 내용 점검과 삼각검증을 실시하였다. 구체적으로 내용 점검 과정에서는 초기 분석 결과를 연구참여자에게 공유하고 내용의 정확성 및 해석의 적절성에 대한 검토 의견을 수렴하여 연구자의 주관적 편향을 최소화하는 방

Table 3. Performance Comparison: Existing Seat vs. 3D Custom Seat

Variable		Existing Seat	3D Custom Seat	Change	Change(%)
1000m	Time (min:sec)	6:48.3	6:23.5	▼24.8 s	▼6.1%
	Avg Speed (km/h)	8.77±0.52	9.34±0.40	▲0.57	▲6.5%
	Total Strokes	202	187	▼15	▼7.4%
	Dist./Stroke (m)	5.0	5.3	▲0.3	▲6.0%
	Avg Stroke Rate (spm)	29.7±1.0	29.4±1.0	▼0.3	≈0
	Speed CV (%)	6.0	4.3	▼1.7%p	—
500m	Time (min:sec)	3:31.8	3:15.7	▼16.1 s	▼7.6%
	Avg Speed (km/h)	8.46±0.61	9.11±0.52	▲0.65	▲7.7%
	Total Strokes	113	101	▼12	▼10.6%
	Dist./Stroke (m)	4.4	5.0	▲0.6	▲13.6%
	Avg Stroke Rate (spm)	31.9±1.6	31.1±1.6	▼0.8	▼2.5%
	Speed CV (%)	7.2	5.7	▼1.5%p	—

Note. The standard deviation (±) of the average speed represents speed variability, which is the variance in instantaneous speed per stroke during movement.

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM

식으로 수행되었다. 또한 삼각검증은 개인 심층면담, FGI, 현장 관찰 등 복수의 자료 수집 방법을 통해 수집 자료 간의 일관성을 교차 확인하는 방식으로 수행되었다. 이러한 과정을 통해 해석의 진실성과 신뢰성을 확보하고자 하였다.

4. 연구결과 및 논의

4.1 양적 연구: 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 적용 전후 주행 변인 비교 분석

수집한 원시 데이터에서 추출한 구간 주행별 요약 통계 데이터는 Table 3에 제시하였다.

4.1.1 1,000m, 500m 주행 기록 및 속도

먼저 1,000m 주행 결과를 살펴보면 주행 기록은 기존 시트 사용 시 6분 48초에서 3D 프린팅 시트 사용 시 6분 23초로 약 24초 단축되어 6.1%의 기록 향상을 확인할 수 있었다. 평균 주행 속도의 경우에는 기존 시트 8.77km/h (±0.52)에서 3D 프린팅 시트 9.34km/h(±0.40)로 0.57km/h(6.5%) 증가하였다. 여기서 평균 속도의 표준편차는 주행 중 스트로크별 순간 속도의 분산을 나타내는 것으로, 단순 측정 오차가 아닌 추후 페이스 안정성과 관련된 주행의 질적 특성을 반영하는 지표로 해석된다.

이어서 500m 주행 결과를 살펴보면 주행 기록은 기존 시트 사용 시 3분 31초에서 3D 프린팅 시트 사용 시 3분 15초로 약 16초 단축되어 7.6%의 기록 향상을 나타냈다. 평균 주행 속도는 8.46km/h(±0.61)에서 9.11km/h (±0.52)로 약 0.65km/h(7.7%) 증가한 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 장비 적합성이 경기력에 미치는 영향력을 시사하는 결과로 해석된다. Kleshnev[3]는 조정 경기에서 체간 고정의 안정성이 높을수록 노 젓기 추진력이 더 크게 발현된다고 보고하였으며 본 연구에서 확인된 기록 단축은 이러한 메커니즘이 장애인 조정에서도 유사하게 작동할 가능성을 시사한다. 특히 PR1 등급의 척수손상 선수는 하체 기능 제약으로 인해 시트가 주요한 신체 고정 기반이 되므로, 착석 안정성이 경기력에 미치는 영향이 비장애인보다 더욱 크게 작용할 수 있다[8]. 한편 측정 당일 세션 전체의 평균 심박수는 기존 시트 사용 시 126bpm으로 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 사용 시의 121bpm보다 소폭 높게 나타났다. 이는 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 사용 시 더 낮거나 유사한 생리적 부담 하에서 더 개선된 수행력이 나타났을 가능성을 시사한다. 다만 이러한 심박수는 세션 전체의 측정치이므로 1,000m 및 500m 구간별 노력 강도의 정밀 비교에는 제한이 있다.

4.1.2 1,000m, 500m 스트로크 효율성 및 주행 안정성

먼저 1,000m 주행에서 총 스트로크 수는 기존 시트 사용 시 202회에서 3D 프린팅 시트 사용 시 187회로 15회(7.4%) 감소한 반면, 스트로크당 이동거리는 5m에서 5.3m로 0.3m(6%) 증가하였다. 평균 스트로크율은 기존

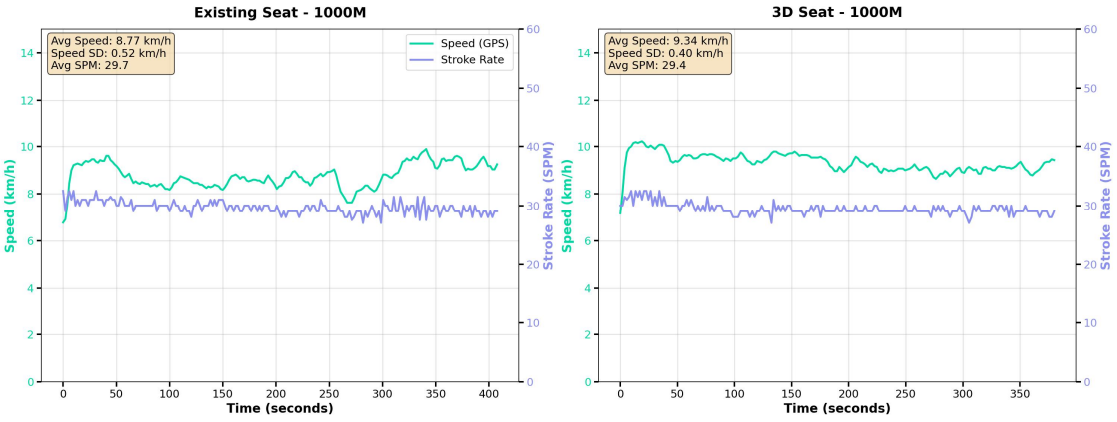


Fig. 2. Speed and Stroke Rate during 1000m Trial(Existing Seat vs. 3D Seat)

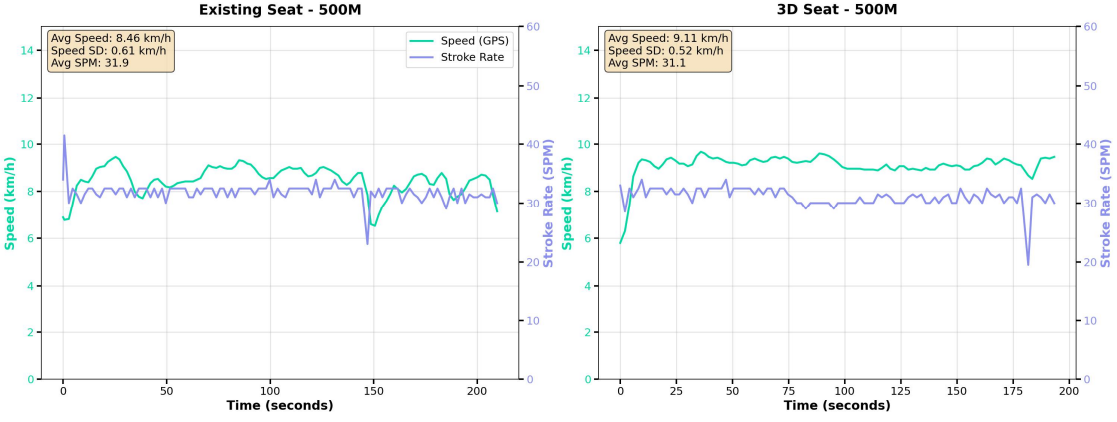


Fig. 3. Speed and Stroke Rate during 500m Trial(Existing Seat vs. 3D Seat)

시트 29.7±1.0SPM, 3D 프린팅 시트 29.4±1.0SPM으로 양 조건에 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 스트로크당 추진 효율의 향상이 기록 단축으로 이어질 수 있었음을 의미한다. 속도 안정성 측면에서 속도 변동계수(CV)는 기존 시트 6.0%에서 3D 프린팅 시트 4.3%로 1.7%p 감소한 결과를 나타냈는데 이는 3D 프린팅 시트를 사용했을 때 더 높은 평균 속도를 유지하면서도 스트로크 간 속도 변동성이 줄어 더욱 안정적인 주행이 이루어졌음을 보여주는 결과다.

500m 주행에서의 총 스트로크 수는 기존 시트 113회에서 3D 프린팅 시트 101회로 12회(10.6%) 감소한 반면, 스트로크당 이동거리는 4.4m에서 5m로 0.6m(13.6%) 증가하여 1,000m 주행 대비 더 큰 증가 폭을 보였다. 평균 스트로크율(SPM)은 기존 시트 31.9±1.6SPM, 3D 프린팅 시트 31.1±1.6SPM으로 약 0.8SPM(2.5%) 감소하였음에도 평균 속도는 증가하여 스트로크당 이동 거리의 질적 향상이 있었던 것으로 해석된다. 이러한 결과는 고강도 주행이 이루어지는 단거리 구간에서 3D 프린팅 개인맞춤형 시트의 체간 안정성 지지 효과가 더욱 뚜렷하게 발현된 것으로 해석될 수 있다. 한편 속도 변동계수(CV)의 경우 7.2%에서 5.7%로 약 1.5%p 감소하여 1,000m 주행과 마찬가지로 스트로크 간 속도 변동 감소로 기존 시트 대비 3D 프린팅 시트 사용 시 더 안정적인 주행 패턴이 관찰되었다.

Fig. 2와 Fig. 3은 원시 데이터를 기반으로 기존 시트와 3D 프린팅 시트의 1,000m 및 500m 주행 전 구간에 걸친 속도(km/h)와 스트로크율(SPM)의 시계열 변화를 시각화한 결과다. Fig. 2와 Fig. 3에서 확인할 수 있듯이 1,000m와 500m 주행 전 구간에 걸쳐 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 사용 시 기존 시트 사용 시 대비 속도 곡선이

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM

일관되게 높은 수준을 유지하였다. 더불어 기존 시트 사용 시에서는 속도 곡선의 상하 진폭이 비교적 크고 국소적인 급감 구간이 나타난 반면 3D 프린팅 시트 사용 시에는 일정 수준의 속도를 유지하며 수평적이고 안정적인 속도 곡선이 나타났다. 스트로크율의 경우 1,000m와 500m 주행에서 모두 유사한 수준을 나타내어 속도 차이가 스트로크 빈도가 아닌 스트로크당 추진력 크기의 차이에서 비롯됨을 확인하였다.

본 연구에서는 1,000m 및 500m 주행 모두에서 기존 시트 사용 대비 3D 프린팅 시트 사용 시 스트로크당 이동거리가 증가하고 스트로크율은 두 조건 모두 유사한 수준을 유지한 결과를 확인할 수 있었다. Kleshnev[3]는 높은 스트로크율보다 스트로크당 이동거리의 극대화가 경기력과 더욱 밀접한 연관성을 지닌다고 보고한 바 있으며, Hofmijster et al.[22]은 체간의 자세 안정성과 스트로크 효율성 간에 유의한 상관관계가 있음을 보고하였다. 이로 미루어보았을 때 본 연구에서 제작한 3D 프린팅 개인맞춤형 시트가 선수의 하지를 정밀하게 지지함으로써 체간 안정성을 향상시키고, 그 결과 스트로크당 이동 거리가 증가한 것으로 해석할 수 있다.

특히 고강도 구간인 500m 주행에서 스트로크당 이동거리의 개선 폭이 13.6%로 1,000m 주행의 6%보다 현저히 크게 나타난 것은 생리적으로 중요한 시사점을 제공한다. 고강도 운동에서는 피로 누적에 따라 체간 안정화 근육의 기능이 저하되기 쉬운데[29], 몸에 맞지 않는 시트를 사용하는 경우 체간 자세 조절을 위해 추가적인 근력 동원이 이루어져 에너지 손실이 배가될 수 있다. 500m 주행의 시계열 그래프를 나타낸 Fig. 3에서 기존 시트 사용 시의 속도 곡선이 주행 후반부인 약 2분 30초 구간에서 급격히 하락하는 반면 3D 프린팅 시트 사용 시에서는 안정적인 수준을 유지하는 것이 이를 시각적으로 뒷받침한다.

속도 변동계수(CV)의 감소도 주목할만한 요소다. 이는 단순히 평균 속도의 향상이라는 의미를 넘어 주행의 질적 안정성이 향상되었음을 보여주는 지표다. 스포츠 경기에서 균등한 페이스를 유지하는 것은 에너지 소비 효율을 극대화하는 최적의 전략으로 알려져 있으며[30], 속도의 불규칙한 변동은 공기역학적 손실 및 근피로의 비효율적 누적을 초래한다[31]. 이러한 맥락에서 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 사용 시 1,000m 주행에서의 속도 변동계수가 5% 이하로 감소한 것은 실전 경기력 향상의 가능성을 보여주는 결과라 판단된다.

Table 4. Results of Inductive Thematic Analysis

Meaning Unit	Sub-theme	Core theme
Equipment never truly fit the athlete's body	Instability & energy loss from standardized equipment	Decades of coping with standardized equipment alone
Structural dependence on imported, high-cost equipment		
DIY fixes: foam, blocks, towels, tape		
Repeated failures and cost barriers of custom-order attempts	Long-standing desire for custom equipment & policy gaps	
Policy/admin void in personal equipment support		
10 yrs since Rio: acute recognition of the need		
Immediate sense of fit from the first seating	Body-equipment unity from 3D custom seat	First experience of equipment truly made for me
Lateral stability → freedom of fore-aft motion		
Desired technical posture emerged naturally	Accelerated skill acquisition: liberation of focus	
Energy/attention redirected entirely to rowing motion		
Stable rowing even in waves and adverse conditions	Stability in waves and under fatigue	
Lower physiological load, higher peak output		
Value of iterative fabrication with feedback integration	Data-driven iterative improvement paradigm	Small streams make great rivers: iterative feedback & para-sport future
Precise body data capture via digital workflow		
Potential of combining light weight with custom fit		
International equipment gap revealed at competitions	Equipment gap revealed & improvement potential	
Need for maker-space infrastructure in athlete villages		
Early-stage custom gear potential for skill development		
Necessity of athlete-led participatory design	User-centered support system	
Equipment sense and perceived value grow with experience		
System-wide impact of personalised equipment diffusion		
Demand for policy reform toward elite-level support		

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM

4.2 질적 연구: 귀납적 주제분석

본 연구에서 수집한 전체 전사 자료의 귀납적 주제분석 결과, 연구문제 1인 '3D 프린팅 개인맞춤형 시트 제작 및 적용에 대한 국가대표 장애인 조정 선수와 감독의 경험은 어떠한가?'에 대한 22개의 의미단위, 8개의 하위주제, 3개의 핵심주제를 Table 4와 같이 도출할 수 있었다.

4.2.1 핵심주제 1: 규격화된 장비 속에 홀로 버텨온 세월

첫 번째 핵심주제는 장애인 조정 선수로서 수십 년간 몸에 맞지 않는 규격 장비를 사용하며 겪어온 불편함과 그 불편함을 스스로 해결하고자 고군분투했던 경험을 담고 있다. 이는 단순히 불편감의 차원을 넘어 엘리트 선수가 최상의 경기력을 발휘할 수 있는 잠재력이 장비 부적합성으로 인해 지속적인 제약을 받은 구조적 문제라고 할 수 있다.

PR1 등급의 척수 손상 선수는 골반과 허벅지를 지지해주는 시트가 하체 기능의 제약을 상당 부분 보완한다. 하지만 시트가 몸에 맞지 않을 경우 골반 빠짐과 좌우 롤링 현상이 반복되면서 몸의 균형을 잡는데 많은 에너지가 소모되고 이는 스트로크를 통한 추진 동력 전환의 동작 효율성 저하로 이어진다[22].

골반이 계속 앞으로 빠져가지고 엉거주춤한 상태에서 타는 거죠. 근데 또 양손으로 (노를) 잡고 있기 때문에 내 몸 포지션을 바꿀 수가 없어요. 그 상태로 타면 기록은 또 떨어지죠. (연구참여자 A)

고관절이 옆으로 흔들려버리면 힘을 못 써요. 물속에서 일직선으로 쭉 밀어내야지만 배가 앞으로 나가는데, 힘은 두 배로 쓰는데 배는 그만큼 안 나가는 힘 낭비가 생기는 거죠. (연구참여자 A)

연구참여자들은 오랫동안 개인맞춤형 시트의 필요성을 절감해왔으나 비용, 행정 장벽, 정보 접근성 부족 등으로 인해 계획을 실행하지 못했다고 밝혔다. 이에 더해 국가대표 선수임에도 불구하고 개인장비라는 이유로 지원 대상에서 제외된다는 구조적 문제에 대해서도 언급하였다.

2016년에 리우 대회 갔다 와서부터 계속 그 생각을 했죠. 그게 벌써 몇 년 전이에요. 그걸 제가 개인적으로 해결해보려고 여러 번 시도했는데 예산 관련 문제가 만만치 않았던 거죠. 제가 장비 얘기를 하면 반응이 '돈 없어' 이러는데 할 말이 없는 거죠. 그러니까 그냥 옆에다가 폼 잘라서 붙이고 블록 매트 쌓아서 스트랩 감싸고 이런 식으로 고관절을 잡기도 했었어요. 지금처럼 성과 나오는 종목 집중 지원하는 방식도 물론 이해하죠. 근데 성과 안 나오는 종목이라도 어느 정도는 베이스라인까지는 갈 수 있게끔 지원해주면 좋겠어요. (연구참여자 A)

아무래도 장비는 돈이 많이 들어가는데 선수 한 명 한 명 장비를 다 맞춰서 살 수가 없었죠. 장비 자체가 고가이기도 하고 공용 장비가 아닌 경우에는 엄두를 못 내죠. 그 장비를 이 선수한테만 맞춰줄 수 없다 그거죠. 이 선수가 내년에도 또 대표팀 될 수 있다는 보장 있어? 너한테 맞게 장비 맞추면 내년에 우리가 못쓰잖아? 이런 거죠. 그래서 지금 쓰는 것도 선수랑 둘이서 다른 시트 의자를 잘라서 여기에다 붙여서 타다가 엉덩이 쓸려서 또 폼 붙여보고, 스트랩도 여기다 해보고 이렇게 직접 만든 거죠. (연구참여자 B)

첫 번째 핵심주제 내용은 장애인스포츠 장비 공급 체계의 구조적 문제를 단적으로 보여주고 있다. 패럴림픽 대회에 3회 출전한 국가대표 선수가 10년 간 개인맞춤형 장비의 필요성을 절감하면서도 비용과 제도적 장벽으로 인해 이를 실현하지 못했다는 사실은 시스템적 공백에서 문제가 비롯하고 있음을 보여준다. 개인맞춤형 장비가 개인용으로 분류되어 지원 대상에서 제외되는 현행 시스템은 다양한 선수별 특성과 기능에 따른 맞춤 지원이 필연적인 장애인스포츠의 특수성을 전혀 반영하지 못하고 있으며 이러한 문제는 뚜렷한 구조적 개선 없이 반복적으로 나타나고 있다[12].

4.2.2 핵심주제 2: 처음 경험한 '내 몸에 맞는 장비'의 감각

두 번째 핵심주제는 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 적용 후 선수와 지도자가 경험한 신체적·심리적 변화를 다룬다. 단순히 편안함을 느끼는 것에 그치지 않고 기존에 불안정한 자세의 보정을 위해 불필요하게 소모되던 에너지와 집중력이 온전히 추진 동력으로 전환되는 주행 효율의 질적 변화가 나타났다. 이는 앞선 양적 데이터 분석 내용의 Fig. 2와 Fig. 3에서 확인된 속도 변동계수(CV) 감소, 페이스 안정화 등의 요소와 직접적으로 수렴하는 결과라고 할 수 있다.

기존 시트는 계속 돌아요. 몸이 좀 떠 있는 상태인 거죠.

제 몸에 맞춘 게 아니라 기성품에다 한 거라서 유격이 있고 떠요. 그래서 오래 타면 막 까지고 이러는데 이번에 만든 건 아예 딱 완전 맞춘 거잖아요. 그래서 마찰 부분도 없고 안정적으로 이렇게 딱 맞춰서 잡아주니까 힘을 쓰는 거지. (연구참여자 A)

확실히 차이가 있어요. 지금 의자 높이나 각도도 달라지고 무릎, 거의 허벅지 위까지 다리를 완전히 잡아주는 형태가 됐잖아요. 그래서 그런지 되게 편했고. 일단 블레이드 컨트롤이 다르고, 캐치가 들어갈 때 원래 부담이 있으니까 저도 모르게 어깨를 계속 뽑거든요. 그래서 제대로 물을 못 잡고 흘려보내고 그랬었는데 지금은 제가 그냥 편하게 했는데 계속 동작이 확실히 잘 나온다는 거예요. 그러니까 내심 놀라기도 한 거죠. 기자재 하나로 이렇게 차이가 많이 나나? 하는 생각이 들어서. (연구참여자 A)

선수는 기존 시트와 개인맞춤형 시트의 차이를 명확히 체감했다. 골반과 허벅지가 안정적으로 고정되면서 좌우 유격이 사라졌고 이는 앞뒤 방향으로의 추진 동작 구현에 온전히 집중할 수 있는 조건을 형성했다.

거의 한 80%는 원하는 자세가 나왔거든요 지금. 이게 불안정하게 다리가 안 흔들리고 엉덩이가 딱 시트에 고정이 되면서 자연스럽게 잡히니까 힘이 분산되지 않는 게 가장 좋죠. 힘을 완벽하게 전달하는 게 너무 잘 됐어요. 원래는 한 번 타면 잘 되는 게 한두 개 있고 미스가 더 많이 나고 그랬는데 반대로 지금은 잘되는 게 더 많고 미스가 적으니까. 그래서 저도 어제 되게 신기해했어요. (연구참여자 B)

지도자 관점에서 개인맞춤형 시트 적용 후 가장 주목할 만한 변화는 목표하던 기술 자세가 자연스럽게 구현되었다는 점이다. 많은 요소에 신경을 빼앗겨 다양한 기술 동작을 정확히 구현하는 것에 집중하기 어려웠던 기존 상황과 달리 개인맞춤형 시트 적용 후에는 복수의 기술 요소가 동시에 구현되기 시작했다.

어제도 계속 신기해했어요. 바람이 거의 한 6~7 정도로 엄청 심했거든요. 원래 그 정도 파도면 배도 잘 안 타는데 맞춘 시트로 탔더니 괜찮은 거예요. 힘이 스트로크에 다 걸리고. 저도 신기해하고 선수 본인도 신기해하고(웃음). 그렇게 바람이 불고 파도가 쳐도 내가 안정감만 느낄 수 있으면 가진 기량의 100%로 퍼포먼스를 낼 수 있거든요. (연구참여자 B)

풍속 6~7m/s 수준으로 파도가 거칠게 쳤던 실제 수상 환경에서도 안정적인 주행이 가능했다는 것은 예측불허 상황이 벌어지는 실전에서도 개인맞춤형 시트가 적용 효과를 나타낼 수 있음을 보여준다. 이는 양적 데이터 분석에서 확인된 속도 변동계수 감소를 재확인할 수 있는 내용이다. 선수와 지도자가 모두 자연스럽게 기술 동작이 구현되었음을 언급한 것은 시계열 그래프에서 기존 시트 대비 3D 프린팅 개인맞춤형 시트의 속도 곡선이 더 수평적이고 안정적인 형태로 나타난 것과 일치하는 내용이라고 할 수 있다. 선수가 에너지와 집중력의 불필요한 소모를 줄이고 기술 동작 구현에 집중할 수 있게 되었을 때 이것이 블레이드(blade) 캐치(catch) 동작의 정확도 향상으로 이어졌고, 이는 곧 스트로크당 이동 거리 증가로 수치화되었으며 결과적으로 더욱 안정적인 주행을 나타내는 속도 변동계수 감소가 나타나게 된 것이다. Stefanyshyn & Wannop의 연구[32]에서는 선수-장비 상호작용 개념을 언급한 바 있는데 기존 시트가 선수에게 기능 제약 요인으로 작용하고 있었다면 반대로 3D 프린팅 개인맞춤형 시트는 선수의 잠재적 기술 기능을 끌어내는 긍정적인 상호작용을 유발한 것이라 할 수 있다.

4.2.3 핵심주제 3: 쌓이면 달라진다: 반복적 피드백과 장애인체육의 내일

세 번째 핵심주제는 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 제작 및 적용 경험이 단순 장비 개선의 차원을 넘어 사용자 참여 디자인의 가치와 장애인체육 지원 체계의 방향성을 제시한다는 점에서 의미가 있다. 연구참여자들은 모두 본 연구 과정을 통해 데이터 기반의 개인맞춤형 지원이 가져올 변화에 대한 기대감을 드러냈다.

기존에는 그냥 있던 걸 좀 자르고 적당히 맞춰서 썼었다면 이건(3D 프린팅 맞춤 시트는) 높이든 각도든 라운딩 마감이든 이런 걸 다 조절할 수가 있잖아요. 데이터가 있으니 그대로 나올 수 있고 또 거기서 미세하게 조정도 할 수 있고. 그리고 수정을 여러 번 해도 부담이 없다는 게 어떻게 보면 기존 방식하고 제일 다른 거고, 선수들 개개인으로 맞출 수 있고 기량을 더 낼 수 있다는 게 큰 것 같아요. 금액까지 보편화된다면 모든 선수들이 하고 싶어하지 않을까요? (연구참여자 B)

특히 수가공으로 이루어지던 기존 장비 제작 방식과

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM

달리 3D 프린팅 방식은 디지털 데이터를 기반으로 하기 때문에 반복 수정이 용이하고 비용 효율성도 높다는 장점이 있다. 연구참여자들은 이러한 점을 기존 장비 제작 방식과의 핵심적인 차별점으로 인식하고 있었다.

2019년도에 대회 나갔더니 애들이 다 의자가 바뀌어 있는 거예요. 2017년부터 선수들이 그렇게 해서 나오기 시작하더라고요. (연구참여자 A)

지금 세계적으로 올림픽을 봐도 그렇고, 이번에 월드컵 나온 외국 선수들 봤을 때도 3D 프린팅 시트를 꽤 많이 사용하는 것 같더라고요. (연구참여자 B)

연구참여자들은 과거부터 해외 선수들의 개인맞춤형 시트 적용을 목격하며 장애인스포츠 국제무대에서의 장비 격차를 실감했다. 하지만 이는 단순히 국가 간 과학기술력의 차이로 발생하는 문제라기보다 체계적 지원 시스템의 차이에서 기인하는 문제라고 할 수 있다[11,12].

선수들이 처음 시작할 때부터 괜찮은 장비들을 쉽게 접할 수 있는 환경이면 경기력이 훨씬 빨리 올라가겠죠. (연구참여자 B)

선수와 의견을 자유롭게 조율할 수 있는 체제가 됐으면 좋겠다는 생각은 해요. 만약에 선수 의견이 충분히 들어가는 체제였으면 불편함을 감수하고 장비를 타지 않고 진작에 맞춤 제작을 했겠죠. 장애인스포츠 메이커 스페이스 같은 게 있다고 하면 선수들은 무조건 찾아가게 돼 있거든요. 없으니까 못하는 거죠. 거기서 선수들 데이터도 누적되고 하면 또 서로 윈윈할 수도 있지 않을까요. (연구참여자 A)

기존의 장비 제작 방식이 고비용, 장기간, 일회성이라는 구조적 한계를 갖고 있었던 반면, 3D 프린팅 방식은 데이터 기반의 장비 설계가 진행되기 때문에 장비 디자인 수정 및 반복 제작 테스트가 용이하고 데이터 축적을 통한 점진적 최적화가 가능하다는 장점이 있다. 이와 같은 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 제작 과정에 대해 연구참여자들은 당사자가 직접 설계에 참여할 수 있는 사용자 참여 디자인의 가치를 구현하는 기회로 인식했으며, 메이커스페이스와 같은 장비 관련 상시적 피드백 시스템 구축과 개인장비 지원에 관한 제도적 유연성 확보가 필요하다고 언급하였다.

한편 연구참여자 B는 인터뷰 과정에서 상위 선수뿐만 아니라 초기 선수들에게도 맞춤형 장비가 제공된다면 기술 습득 기간이 크게 단축될 것이라는 견해를 피력하기도 했는데 이는 장비 지원 시기가 우수 선수 육성의 중요 변수가 될 수 있음을 시사하며, 엘리트 선수의 경기력 향상을 넘어 장애인스포츠 저변 확대 측면에서도 중요한 의미가 있다고 판단된다.

이러한 결과는 Lee[33]가 장애인스포츠 경기력 향상을 위해서는 공급자 중심이 아닌 수요자 중심 지원 체계로의 전환이 필요하다고 강조한 것과 궤를 같이하며, 본 연구는 3D 프린팅 기술이 그러한 전환을 가능하게 하는 구체적이고 현실적인 기술적 수단이 될 수 있음을 시사하고 있다.

4.3 양적·질적 연구결과의 통합적 해석

주행 기록 및 평균 속도에서의 개선과 같은 눈에 띄는 일차적 효과 외에도 혼합연구의 동시적 내재 설계 방식에 따라 수행된 양적 및 질적 연구 결과를 통합적으로 해석하면 두 종류의 자료가 서로 다른 측면에서 '착석 안정성 향상에 따른 효율적 에너지 배분 및 기술 동작 구현의 향상'이라는 동일한 핵심 기제를 지지하고 있음을 알 수 있다. 구체적으로는 크게 두 가지의 대응 관계가 확인된다.

첫째, 양적 연구결과인 스트로크당 이동 거리 증가는 질적 연구결과에서 선수가 '블레이드 컨트롤이 달라졌다'고 보고한 경험과 직접적으로 대응된다. 둘째, 양적 결과인 속도 변동계수 감소는 질적 자료에서 '풍속 6~7의 파도가 치는 환경에서도 괜찮았다', '자연스럽게 동작이 나왔다'는 경험과 수렴한다. 특히 이러한 내용은 Fig. 2와 Fig. 3에서 시각적으로 명확히 확인되는데 시계열 그래프에서 3D 프린팅 개인맞춤형 시트의 속도 곡선이 더 수평적이고 안정적인 형태를 나타내는 것이 선수와 지도자가 표현한 '자연스러운 동작 구현과 안정감'의 수치적인 근거라고 할 수 있다. 이와 같이 단일한 방법론만으로는 포착하기 어려운 복합적인 효과를 양적 및 질적 자료가 서로 보완하며 보여주는 것이 동시적 내재 혼합 연구 설계의 핵심적인 가치라고 할 수 있다[34].

4.4 단일 사례 연구의 방법론적 고려

본 연구는 단일 사례 연구로서 결과의 통계적 일반화에는 한계가 있다. 그러나 단일 사례 연구는 개인의 기능

적 변화를 정밀하게 분석하는 데 적합한 방법론으로, 장애인스포츠 및 보조공학 등의 분야에서 개인맞춤형 개입의 효과를 평가하는 데 있어 학문적 타당성을 인정받고 있다[19,35]. 특히 본 연구에서 제시된 PR1 등급 국가대표 조정 선수라는 특수 사례는 그 자체로 패럴림픽 경기력 향상을 위한 장비 개선 가능성을 탐색하는 전형적 사례(typical case)로서의 가치를 지닌다.

본 연구는 탐색적 성격의 초기 연구로서, 향후 복수 참여자 대상 연구 등 후속 연구를 위한 풍부한 기초 자료를 제공한다는 점에서 의의가 있다. 본 연구는 통계적 일반화가 아닌 분석적 일반화를 목표로 하였으며, 특정 사례의 집중적 탐색을 통해 장비 개인맞춤화와 경기력 간 관계에 대한 이론적 이해를 확장하는데 기여하고자 하였다. Yin[18]은 단일 사례 연구가 '왜(Why)'와 '어떻게(How)'라는 설명적 질문에 답하는 데 강점을 가지며 새로운 이론 구축의 토대가 될 수 있다고 강조한 바 있다. 특히 본 연구에서 수행한 혼합연구 설계 방식은 특정 사례에 대해 다각적인 자료를 확보하여 깊이 있는 탐구를 시도한 결과로 그 가치가 있으며, 결과에서 제시한 스트로크별 시계열 분석 및 변동계수 산출 등의 방식은 평균값만으로는 포착되지 않는 주행의 질적 안정성을 드러내는 분석 방법으로 단일 사례에 대한 더욱 풍부한 기술에 기여하였다.

5. 결론 및 제언

본 연구는 척수손상 PR1 등급 장애인 조정 국가대표 선수를 대상으로 3D 프린팅 개인맞춤형 시트를 제작하고, 동시적 내재 혼합연구 설계를 적용하여 주행 수행력 변화와 관련 경험을 상세히 분석하였다.

양적 연구결과로는 1000m(6.1%; 24.8초) 및 500m (7.6%; 16.1초) 주행 기록의 단축이 관찰되었다. 평균 속도는 1000m 주행의 경우 8.77km/h에서 9.34km/h로, 500m 주행의 경우 8.46km/h에서 9.11km/h로 향상되었으며 스트로크율(SPM)은 기존 시트 사용 시와 3D 프린팅 시트 사용 시 모두 유사한 수준을 유지하여 속도 향상이 스트로크 효율 향상에 기인할 가능성을 시사하였다. 또한 시계열 분석을 통해 3D 프린팅 개인맞춤형 시트 사용 시 더 높은 속도를 더 안정적으로 유지하는 주행 패턴이 관찰되었다. 다만 이러한 결과는 단일 사례 측정에 기반한 탐색적 발견으로, 통계적 일반화보다는 후속 연구의 근거 생성을 목적으로 해석되어야 한다.

질적 연구 결과로는 귀납적 주제분석을 통해 3개의 핵심주제를 도출하였다. '규격화된 장비 속에 홀로 버텨온 세월'은 오래도록 이어진 장비 부적합 문제와 제도적 지원 공백을, '처음 경험한 내 몸에 맞는 장비의 감각'은 신체-장비 일체감과 기술 동작 구현의 향상을, '쌓이면 달라진다'는 3D 프린팅에 기반한 반복적인 사용자 피드백 수렴 방식의 가치와 수요자 중심 지원 체계로의 실질적 전환 필요성을 담았다.

본 연구에서는 장애인스포츠 장비 분야 발전 및 후속 연구를 위해 다음과 같이 제언하고자 한다.

첫째, 후속 연구에서는 연구참여자 수 확대를 고려할 필요가 있다. 다양한 등급 및 성별의 장애인 조정 선수를 대상으로 한 확장 연구를 통해 결과의 외적 타당도 향상을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 장기 종단 연구를 통해 충분한 장비 적응 기간 이후의 효과 지속성 및 속도 안정성 변화 추이를 추적하는 연구를 고려할 필요가 있다.

셋째, 장애인스포츠 메이커 스페이스와 같은 장비 개발 인프라의 구축이 필요하다. 현장 의견을 적극 반영하는 장비 연구 및 제작 공간이 확보된다면 이러한 성과가 일회성에 그치지 않고 지속적으로 축적될 수 있을 것으로 판단된다.

넷째, 장애인 선수의 개인장비 지원에 관한 제도적 유연성 확보를 검토할 필요가 있다. 개인별 장애 특성 및 신체 기능에 따라 개인화가 필수적으로 고려되는 장비들에 대해서는 '개인장비' 구분으로 인한 예산 지출 제약을 완화하고 국가대표 선수의 경기력 향상을 위한 지원 항목으로 고려하는 정책적 논의가 세부적으로 이루어져야 한다.

REFERENCES

[1] Ministry of Culture, Sports and Tourism. (2024). *2024 Survey on sports participation of persons with disabilities*. Sejong: Ministry of Culture, Sports and Tourism.

[2] Jang, W. H., & Kim, J. B. (2018). A study on body deformation and measurement for the development of customized seating systems for para ice hockey. *Archives of Design Research, 31(3),* 109-118. DOI:10.15187/adr.2018.08.31.3.109

[3] Kleshnev, V. (2016). *The biomechanics of*

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM

rowing. Ramsbury: The Crowood Press.

[4] Kim, H. R., Byeon, Y. W., Lee, B. S., Cho, W. S., & Lee, D. H. (2015). *Magic wand, 3D printer.* Jeollabuk-do: Rural Development Administration.

[5] World Rowing. (2025). *Para Rowing Competition Regulations* (Appendix R14). World Rowing. Retrieved from https://worldrowing.com/technical/rules/

[6] Jeong, J. W., Cho, C. O., Han, H. C., & Oh, K. J. (2009). Anthropometric and wheelchair part measurement of athletes with physical disabilities for the development of Korean racing wheelchairs. *Korean Journal of Adapted Physical Activity, 17(2),* 205-223. DOI:10.17006/kjapa.2009.17.2.205

[7] Drury, C. G., & Coury, B. G. (1982). A methodology for chair evaluation. *Applied Ergonomics, 13(3)*, 195-202. DOI:10.1016/0003-6870(82)90006-0

[8] Severin, A. C., et al. (2021). Case report: Adjusting seat and backrest angle improves performance in an elite Paralympic rower. *Frontiers in Sports and Active Living, 3,* 625656. DOI:10.3389/fspor.2021.625656

[9] Burkett, B. (2010). Technology in Paralympic sport: performance enhancement or essential for performance? *British Journal of Sports Medicine. 44,* 215–220. DOI:10.1136/bjsm.2009.067249

[10] Vennam, S., Vijayasankar, K. N., & Pati, F. (2024). 3D printed personalized assistive devices: A material, technique, and medical condition perspective. *Applied Materials Today,* 102403. DOI:10.1016/j.apmt.2024.102403

[11] Roh, H. K., & Bae, G. H. (2024). Effects of 3D-printed Customized Gloves on the Performance of Wheelchair Racers. *Korean Journal of Sport Science, 35(1),* 33-43. DOI:10.24985/kjss.2024.35.1.33

[12] Bae, G. H. (2024). *Exploring the Handcyclists with Disabilities' Experience and Verifying the Performance Effects of Applying 3D Printed Customized Handle grips.* Unpublished doctoral dissertation, Korea National Sport University.

[13] Yang, S. E. (2006). An Inquiry about Mixed Methodology for Family Studies. *Journal of the Korean Home Economics Association, 44(9),* 1-8.

[14] Oh, E. J. (2008). Mixed Methods: Crossing qualitative and quantitative methods. *Kukto, 315,* 132-141.

[15] Tashakkori, A., & Teddlie, C. (2003). *Handbook of mixed methods in social & behavioral research.* Thousand Oaks, CA: Sage.

[16] Lieberman, E. S. (2005). Nested analysis as a mixed-method strategy for comparative research. *American political science review, 99(3),* 435-452. DOI:10.1017/S0003055405051762

[17] Baxter, P., & Jack, S. (2008). Qualitative Case Study Methodology: Study Design and Implementation for Novice Researchers. *The Qualitative Report, 13(4),* 544-559. DOI:10.46743/2160-3715/2008.1573

[18] Yin, R. K. (2014). *Case study research: Design and methods (5th ed.).* Sage.

[19] Kratochwill, T. R., et al. (2010). *Single-case designs technical documentation.* Retrieved from What Works Clearinghouse website: https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED510743.pdf

[20] Watts, P. B., Daggett, M., Gallagher, P., & Wilkins, B. (2000). Metabolic response during sport rock climbing and the effects of active versus passive recovery. *International Journal of Sports Medicine, 21(3),* 185–190. DOI:10.1055/s-2000-302

[21] Baudouin, A., & Hawkins, D. (2002). A biomechanical review of factors affecting rowing performance. *British Journal of Sports Medicine, 36,* 396–402. DOI:10.1136/bjsm.36.6.396

[22] Hofmijster, M. J., Landman, E. H., Smith, R. M., & Knoek Van Soest, A. (2007). Effect of stroke rate on the distribution of net mechanical power in rowing. *Journal of Sports Sciences, 25,* 403–411. DOI:10.1080/02640410600718046

[23] Agius, T.P., et al. (2023). The Kinematics of Fixed-Seat Rowing: A Structured Synthesis. *Bioengineering (Basel), 10(7),* 774. DOI:10.3390/bioengineering10070774

[24] Mentzoni, F., & Losnegard, T. (2021). World and European Rowing Medallists Pace With Smaller Variation Than Their Competitors. *Frontiers in sports and active living, 3,* 790198. DOI:10.3389/fspor.2021.790198

[25] Leão, J., Cardoso, R., Abraldes, J. A., Soares, S., Gomes, B. B., & Fernandes, R. J. (2025). Intracycle Velocity Variation During a Single-Sculling 2000 m Rowing Competition. *Sensors, 25(15),* 4696. DOI:10.3390/s25154696

[26] Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative research in psychology, 3(2), 77-101. DOI:10.1191/1478088706qp063oa

[27] Lee, S. H. (2021). Qualitative Research: The Theory to the Practice in Adapted Physical Education. Journal of the Korea Convergence Society, 12(5), 291-301. DOI:10.15207/JKCS.2021.12.5.291

[28] Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. Thousand Oaks, CA: Sage.

[29] Tong, T. K., Wu, S., Nie, J., Baker, J. S., & Lin, H. (2014). The occurrence of core muscle fatigue during high-intensity running exercise and its limitation to performance: the role of respiratory work. *Journal of sports science & medicine, 13(2),* 244-251. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3990875/

[30] de Koning J. J., et al. (2011). Regulation of Pacing Strategy during Athletic Competition. *PLoS ONE 6(1):* e15863. DOI:10.1371/journal.pone.0015863

[31] Abbiss, C. R., & Laursen, P. B. (2008). Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Medicine, 38(3),* 239-252. DOI:10.2165/00007256-200838030-00004

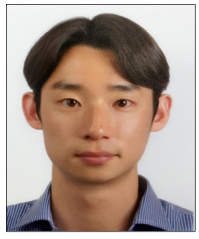
[32] Stefanyshyn, D. J., Wannop, J. W. (2015). Biomechanics research and sport equipment development. *Sports Engineering 18(4),* 191-202. DOI:10.1007/s12283-015-0183-5

[33] Lee, J. W. (2019). Application of the Performance Enhance Support Model for the Peak Performance of the Sports for Disabled. *Korean Journal of Adapted Physical Activity, 27(4),* 57-75.

[34] Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Designing and conducting mixed methods research (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

[35] Schlosser, R. W. (2003). *The efficacy of augmentative and alternative communication: Toward evidence-based practice.* Academic Press.

배건환(Gun-Hwan Bae) [일반회원]



- 2024년 2월 : 한국체육대학교 일반대학원 박사(특수체육)
- 현재 : 한국체육대학교 특수체육교육과 강사
- 관심분야 : 특수체육, 스포츠 장비
- E-Mail : milan0421@knsu.ac.kr

정정환(Jeong-Hwan Jeong) [일반회원]



- 2021년 2월 : 한국체육대학교 일반대학원 박사(특수체육)
- 현재 : 평원중학교 특수교사
- 관심분야 : 특수체육, 통합체육
- E-Mail : hopplus@hanmail.net

[Provider:earticle] Download by IP 210.117.XXX.XX2 at Monday, May 4, 2026 7:23 PM