



Original Article

Kinematical Effects of a Customized Seating Bucket on Turning Performance in Para Ice Hockey Players: A Case Study

Dohoon Koo¹, Hyosun Kweon², Kyung-Bae Jang³, and Seon-Deok Eun^{4*}

¹Department of Exercise Prescription, Jeonju University

²Department of Clinical Rehabilitation Research, National Rehabilitation Center

³Department of Electrical Engineering, Gangneung-Wonju National University

⁴Department of Healthcare and Public Health Research, National Rehabilitation Center

Article Info

Received 2025. 11. 20.

Revised 2025. 12. 25.

Accepted 2026. 01. 16.

Correspondence*

Seon-Deok Eun

esd7786@korea.kr

Key Words

Customized bucket,
Ice sledge hockey,
Kinematic analysis,
Sport for disabled,
Assistive sports equipment

This research supported by the Rehabilitation Research Institute, National Rehabilitation Center, Republic of Korea (grant number: 12-A-03).

PURPOSE Para ice hockey requires rapid cornering and directional changes; however, the influence of athlete–sledge coupling achieved through seating design on turning mechanics remains underexplored. This study examined whether a customized bucket (CB) enhances turning performance compared with a general bucket (GB) in para ice hockey athletes. **METHODS** Three national-team athletes with heterogeneous impairments (spinal cord injury and unilateral or bilateral lower-limb amputation) performed three on-ice turning tasks—a 90° turn, a 180° turn, and a Z-turn—at maximal speed while using CB and GB in separate trials. Three-dimensional kinematics data were collected using a 16-camera motion capture system (Vicon, Oxford, UK) at 100 Hz. Primary outcome variables included in-trial speed variation (Δv), path length, and trunk range of motion (ROM) in flexion/extension, abduction/adduction, and axial rotation. **RESULTS** CB yielded smaller in-trial speed variation (Δv) and shorter path lengths than GB across all turning tasks (90°: $\Delta v=1.61\pm 0.91$ vs 2.49 ± 0.71 m/s; 180°: 6.37 ± 1.16 vs 6.53 ± 0.51 m/s; Z-turn: 2.86 ± 1.17 vs 3.36 ± 0.76 m/s). Corresponding reductions in path length for CB relative to GB were also observed. Trunk ROM patterns indicated tighter trunk–sledge coupling during 90° and 180° turns and reduced unnecessary axial trunk rotation during the Z-turn when using CB. **CONCLUSIONS** The findings suggest that CB reduces speed loss and improves turning efficiency by enhancing trunk–sledge stability, thereby enabling tighter movement trajectories during high-speed cornering and directional changes in para ice hockey.

서론

국제패럴림픽위원회(International Paralympic Committee, IPC)는 장애인 스포츠의 저변 확대와 지속 가능한 참여 기회 확장을 핵심 과제로 제시하고 있으며, 이러한 흐름 속에서 경기 수행을 가능하게 하는 장비 및 보조기술은 참여 촉진과 안전·수행능력에 직접적인 영향을 미치는 요인으로 보고되고 있다(IPC, 2024). 장애인 인구가 증가하면서 보조기구의 보급률과 중요성도 높아지고 있다

(Employment Development Institute, 2011). 장애인들은 신체장애로 인한 움직임 제약을 보조기구를 사용함으로써 극복한다. 특히 일상생활보다 빠르고 민첩한 움직임을 요구하는 스포츠 상황에서 장애인 보조기구의 중요성은 더욱 커진다(Geppert et al., 2025). 신체의 움직임이 자유롭지 못한 장애인 선수들에게 보조기구는 경기력 향상에 직접적인 영향을 미친다고 할 수 있다(Burkett, 2010). 장애인 농구선수들의 휠체어, 장애인 육상 선수들의 의족, 장애인 골프선수들의 의수, 장애인 스키 선수들의 보조기 등은 그들의 경기력에 직접적인 영향을 미칠 수 있다(Kayama et al., 2023; Nolan et al., 2018; Tweedy & Vanlandewijck, 2019). 장애인스포츠 선수들은 근신경 기능, 신체적 구조의 제약으로 인하여 스포츠 보조기구에 대한 의존도가 높다(Koo et al., 2014). 회전운동과 방향 전환 동작이

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

빈번하게 나타나는 스포츠 상황에서는 장애인 개인의 체형에 맞는 보조기구를 사용하는 것이 중요하다(Jang & Kim, 2018).

스포츠 경기 중 회전 동작의 중요성에 관한 다수의 연구가 진행되었다(Eun & Hyun, 2010; Jun, 2001; Sodeyama et al., 1979; Stenmark, 1990). 이들은 회전 동작을 수행하는 숙련된 선수는 비숙련 선수보다 더 작은 회전운동과 효율적인 턴 동작을 한다고 보고하였다. 높은 회전운동 수행력은 구심력을 적절히 제어함으로써 이를 수 있는 데 이 구심력을 적절히 제어할 수 있는 것이 바로 회전이 이루어지고 있는 동안의 자세이다(Stenmark, 1990). 적절한 자세는 관성에 의한 구심력이 커질수록 접선 방향으로의 속도 손실을 최소화할 수 있게 된다. 이러한 원리를 바탕으로 스키 선수들은 구심 방향으로 하체를 비롯한 신체 중심을 낮춰서 고속 회전을 만들어 낸다(Eun & Hyun, 2010).

회전운동 기술은 마찰을 최소화하기 위해서 상체 방향을 하체 방향과 동일하게 해줌으로써 속도가 빨라지는 스키의 롱 턴이나 자세를 낮추면서 링크의 안쪽으로 몸의 중심을 기울이는 동작을 이용하여 구심력을 높여 속도를 증가시키는 스케이트 곡선주로에서의 코너링 기술과 같은 원리이다(Jun, 2001). 스키 및 스케이트에서 보고된 회전수행의 핵심은 회전 반경을 유지하기 위한 체간 안정성, 중심 이동의 일관성, 그리고 불필요한 불필요한 운동의 최소화로 요약될 수 있다. 장애인아이스하키에서는 하지에 의한 자세 제어가 제한되므로, 이러한 원리는 신체와 버킷의 결합 안정성과 직접적으로 연결된다. 즉, 버킷의 맞춤 설계는 회전 구간에서 체간 제어와 중심 이동의 안정화에 기여할 가능성이 있다(Fortier et al., 2014).

장애인 아이스하키(para ice hockey)는 장애인 선수들이 슬레지(sledge)에 착석한 상태에서 상지 폴링 동작으로 추진, 가속을 하며 아이스하키를 수행하는 종목이다. 경기 중 빠른 속도에서의 방향전환과 반복적인 턴 수행이 빈번하여, 착석 장비의 안정성과 체간-버킷 결합 특성이 기술 수행에 큰 영향을 미칠 수 있다(Beckman, 2007; Fortier et al., 2014). 장애인아이스하키와 같이 빠른 턴 동작을 수행하기 위해서는 상체를 가능한 한 고정된 상태에서 하체의 돌림 동작을 만들어 내야 한다. Bon et al.(2021)에 따르면 짧은 턴은 좁은 구간에서 수행되므로, 상체는 가능한 한 고정된 상태를 유지해야 하며 턴의 주요 동작은 하체에서 이루어진다고 보고하였으며, 이는 자세의 안정성과 몸통-하체 간의 꼬임을 이용해 빠른 방향 전환을 가능하게 함을 시사한다.

장애인아이스하키 경기에서 선수들의 회전 및 방향 전환은 경기력을 결정짓는 핵심 기술이다(Beckman, 2007; Fortier et al., 2014). 장애인아이스하키와 같이 빠른 속도와 급격한 방향전환 기술을 요구하는 종목의 경우 장애인들에게 안정감과 밀착감을 줄 수 있는 장비의 높은 기능이 요구된다(Jang & Kim, 2018).

현재 장애인 선수들이 사용하는 버킷은 선수의 체형과 착좌 특성을 충분히 반영하지 못해 체간-버킷 결합이 불완전해질 수 있으며, 이는 회전 구간에서 체간 흔들림 증가, 중심 이동의 비일관성, 불필요한 체간 돌림 및 속도 손실로 이어질 수 있다. 이러한 운동역학적 문제는 턴 동작 수행력 저하로 나타날 가능성이 있다. 이와 같은 문제가 장애인 스포츠 현장에서 발생하고 있음에도 장애인 선수의 경기력을 향상시킬 수 있는 장비 개발에 관한 연구는 미비하고, 개발 장비의 효과를 연구 또한 매우 부족하다. 기존 연구는 장비 제작 완성도에 대한 평가(Jang & Kim, 2018)를 진행하거나, 수행력의 물리적인 해석(Fortier et al., 2014)에만 국한되어 왔다. 이에 장애인 선수들의 경기력을 향

상시킬 수 있는 장비 개발 및 평가에 관한 연구의 필요성이 제기된다. 본 연구는 장애인아이스하키 선수를 위한 맞춤형 장비 제작 방법을 제시하고, 이를 통해 제작된 장비를 사용할 시 턴 수행력과 이때 나타나는 상체의 운동학적 변화를 정량적으로 평가하는 것에 목적을 둔다.

연구방법

연구대상

연구대상자는 엘리트 장애인아이스하키 선수 3인을 대상으로 하였다. 연구대상자들은 각각 척수손상(spinal cord injury, SCI), 한 다리 절단, 양다리 절단 장애를 지니고 있으며 모두 10년 이상 아이스슬레지 선수로 활동하였다. 본 연구에 포함된 선수들은 장애 유형은 상이하였으나, 수행 과제 특성상 하지의 사용이 전혀 허용되지 않았으며, 모든 선수는 슬레지 착석 상태에서 상체와 둔부의 제어만으로 추진-방향전환-균형 유지 동작을 수행하도록 지시받았다. 이에 본 연구의 과제 수행 조건에서는 하지 장애 유형 간 기능적 차이가 최소화된 상태로 간주하였다. 본 연구는 세 가지 장애 유형을 포함한 다중 사례 연구(multiple-case study)로, 통계적 일반화를 목적으로 하지 않는다. 제시한 평균값은 반복 시도의 경향을 요약하는 기술통계로만 제한적으로 활용하였다. 각 연구대상자의 정보는 <Table 1>과 같다.

맞춤형 아이스슬레지 버킷 제작

기존의 버킷은 표준 규격 기반으로 제작되는 경우가 많아 선수의 착좌 형상과 체간 지지 요구를 충분히 반영하지 못할 수 있다. 이로 인해 체간-버킷 결합 안정성이 저하되고, 회전 구간에서 체간 흔들림 및 중심 이동의 비일관성이 증가하여 속도 손실로 이어질 가능성이 있다. 이에 본 연구에서는 기존 버킷의 단점을 보완하기 위해 다음과 같은 방법으로 맞춤형 버킷 제작을 실시하였다.

버킷 설계는 회전 구간에서 체간-버킷 결합 안정성을 높여 체간 흔들림을 줄이고, 중심 이동을 일관되게 유지함으로써 불필요한 체간 돌림과 속도 손실을 최소화하는 것을 목표로 하였다. 이러한 설계 개념은 고속 방향전환에서 요구되는 코너링 수행의 효율성과 관련된 운동역학적 특성(체간 안정성, 중심 이동의 일관성, 궤적의 축소)에 근거한다(Fortier et al., 2014).

장애 유형에 따라 신체적 특성이 상이한 선수들에게 최적화된 버킷을 설계하고 제작하기 위해 3차원 스캐닝 기반의 인체 형상 데이터 수집, CAD 역설계 모델링, 프레스 성형 및 석고 몰드 제작, 발포형 이너(inner cushion) 공정을 통합적으로 결합한 제작 프로세스를 구축하였다. 연구대상자는 실제 경기 시 착좌 자세에서 3차원 스캔을 실

Table 1. Characteristic subjects

	type of disability	age (years)	height (m)	weight (kg)	sex
S1	SCI(paraplegia)	46	1.64	56	male
S2	Single Amputee	44	1.71	86	male
S3	Double Amputee	43	1.20	61	male
	Mean ± SD	44.3±1.5	1.5±0.3	67.7±16.1	

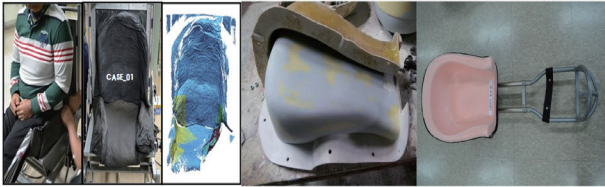


Fig. 1. Three-dimensional scan of the stump shape (left), fabrication of a customized simplified mold (center), and application of a personalized inner liner to the ice sledge (right)

시하였으며, 동시에 버킷 및 슬레지 프레임의 형상도 함께 스캔하였다(Fig. 1).

3차원 기하학적 형상(Geometric shape)을 정밀하게 측정하기 위해 비접촉식 TScan-K200C 3D 스캐너를 활용하였다. 획득된 원시 점군(point cloud) 데이터는 초기 정제 작업을 거쳤으며, Rapidform XOR (INUS Tech, Korea) 및 Rhinoceros (Robert McNeel & Associates, USA) 소프트웨어를 이용하여 노이즈 제거 및 연속적인 표면 재구성(Surface reconstruction)을 수행하였다. 특히, 인체 둔부 및 체간 접촉 영역과 버킷 내벽 구조 간의 최적 합치성(congruence)을 확보하기 위해, 인체 스캔 데이터와 버킷 모델을 공간적으로 정합(overlapping)시키는 과정을 거쳤다. 이를 기반으로 Non-Uniform Rational B-Spline (NURBS) 곡면 모델링 기법을 적용하여 매끄러운 3차원 형상을 구현하였으며, 최종적으로 구축된 역설계(Reverse Engineering, RE) 모델은 후속 버킷 금형 설계 및 맞춤형 이너(inner cushion) 제작을 위한 기준 데이터로 확립되었다.

버킷 구조체의 제작에는 프레스 성형법(press forming)과 석고 몰드형(plaster molding) 두 가지 핵심 공법이 비교 평가되었다. 프레스 성형법에서는 폴리에틸렌(PE) 및 폴리프로필렌(PP) 복합소재를 고온 용해 상태에서 마스터 몰드에 압착·성형하였으며, 상·하 몰드 결합 시 약 4기압의 균일한 압력을 가하여 구조적 안정성과 곡면의 균질성을 확보하였다. 이 방식은 PE와 PP의 혼합 비율을 조절하여 탄성 및 복원력을 최적화하고, 체결 나사 사용을 최소화하여 충격 취약점을 줄이며 제조 공정을 단축하는 효율성을 제공하였다. 반면, 석고 몰드형은 3D 스캔 데이터를 기반으로 NC 가공을 통해 1차 형태를 구현한 후, 석고본을 제작한 후 몰드화하고 카본 섬유를 석고본에 입히는 방식으로 제작하여 경량화 및 강성을 높였다. 그러나 석고 몰드형은 정밀도에서는 우수성을 보였으나, 최종 중량 증가로 인해 사용자의 기동성에 부정적인 영향을 미치는 한계가 확인되었다. 상기 분석을 토대로, 본 연구는 프레스 성형법의 제조 효율성 및 경량성과 석고 몰드형의 형상 정밀도를 통합한 복합 제조 프로세스(hybrid fabrication process)를 최종적으로 채택하여 구조적 강성 유지와 제작 효율성 간의 최적의 균형을 달성하였다. 완성된 버킷은 대·중·소 3종의 표준 금형으로 제작되었으며, 사용자별 신체 치수에 따른 금형 선택과 이너(inner) 두께 미세 조정을 통해 개별 맞춤형이 구현되었다. 이러한 방식은 구조적 탄성과 제작의 효율성을 확보하였다.

버킷 내부의 완충 및 지지 기능을 담당하는 맞춤형 이너 쿠션(inner cushion) 제작을 위해, 기존의 스펀지 가공형(sponging type)과 발포 주입형(foam-in-place type) 공정이 비교되었다. EVA, NBR, Artron 등의 스펀지형 이너는 가공성이 우수하였으나, 정밀한 인체 윤곽 구현 및 충분한 탄성 회복력 확보에 어려움이 있었다. 이에 본 연구는 연질 발포 우레탄(Soft Foam, STF-534)을 활용



Fig. 2. Installation of an infrared camera (left) and marker attachment for motion analysis of a para-ice sledge hockey athlete (right)

한 발포 주입형 제작 방식을 채택하였다. 발포형 이너의 금형 설계는 인체 및 버킷의 3D 형상 데이터를 통합하여 이루어졌으며, 상·하 몰드를 결합한 상태에서 폼 액(foam precursor)을 주입하였다. 폼 액은 연질 우레탄(STF-534) 2.1 kg과 경화제 0.9 kg을 혼합하였으며, 발포는 20-25 °C의 온도와, 약 4.05×10^3 hPa(약 4기압)의 압력 조건 하에 진행되었다. 특히, 발포 과정 중 발생하는 체적 손실률(volume loss) 40-50%를 사전에 예측하여 최종 두께를 보정함으로써 설계된 치수를 확보하였다. 이와 같은 정밀한 제작 절차를 통해 3명의 연구대상자를 위한 3대의 맞춤형 버킷을 제작하여 본 연구에 사용하였다.

본 맞춤형 버킷 설계는 회전 구간에서 체간-버킷 결합 안정성을 높여 체간 흔들림을 줄이고, 중심 이동을 일관되게 유지함으로써 불필요한 체간 돌림과 속도 손실을 최소화하는 것을 목표로 하였다. 이러한 설계 개념은 고속 방향전환에서 요구되는 코너링 수행의 효율성과 관련된 운동역학적 특성(체간 안정성, 중심 이동의 일관성, 궤적의 축소)에 근거한다(Fortier et al., 2014).

실험 장비

장애인이아이스하키 선수가 맞춤형 버킷(Customized Bucket, CB)과 일반 버킷(General Bucket, GB) 사용에 따른 선수 경기력을 비교하기 위하여 3차원 동작분석을 실시하였다. 이를 위하여 16대의 적외선 카메라(Vicon MX T40-s, USA)를 빙상장에 설치하여 8m×11m×2m의 촬영 범위를 확보하였다. 과제 동작 시 연구대상자의 운동학적 변인을 산출하기 위하여 상지와 아이스슬레지 버킷에 34개의 적외선 반사마커를 각 분절에 부착하였다(Fig. 2). 촬영 영상의 샘플링 주파수(sampling rate)는 100 Hz로 설정하였다.

수행 과제

본 연구의 실험 절차는 CB와 GB의 사용 조건이 선수의 회전 동작 및 방향 전환 수행 능력에 미치는 영향을 분석하기 위해 설계되었다. 실험은 S시 실내 빙상장에서 수행되었으며, 연구대상자는 동일한 실험 조건에서 두 가지 버킷을 각각 착용하며 실험에 참가하였다.

실험 과제는 실제 장애인이아이스하키 경기 시 나타나는 대표적인 방향 전환 동작으로, 90° 턴(90° turn), 180° 턴(180° turn), Z 턴(Z turn)으로 구성하였다. 각 동작은 방향 전환 각도와 회전 반경이 상이하며, 신체 중심 제어 능력, 슬레지 조종력, 상·하체 협력 등을 종합적으로 평가하기 위해 설계되었다. 90° 턴은 빠른 회전 질주 능력을 평가하기 위한 과제이다. 180° 턴은 정반대 방향으로의 급격한 전환이 요구되는 과제이다. Z 턴은 연속적인 좌우 회전과 함께 속도 손실

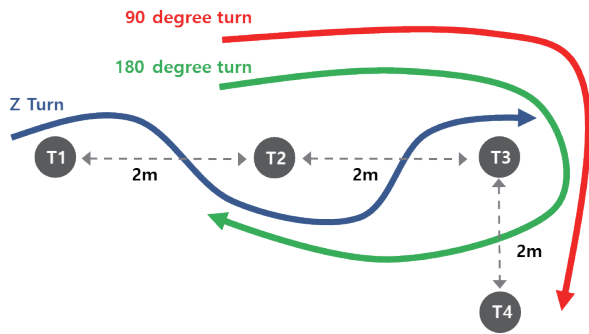


Fig. 3. Ice sledge hockey turn tasks

을 최소화하며 전방 이동이 필요한 복합 동작이다. 본 연구에서 사용된 턴 과제는 하지의 관절 움직임이나 지면 반력을 활용할 수 없는 구조로 설계되었으며, 추진과 방향전환은 전적으로 상지의 폴링 동작과 체간-둔부 제어에 의해 이루어졌다. 이러한 과제 특성으로 인해, 장애 유형에 따른 하지 기능 차이가 동작 수행 패턴에 미치는 영향은 제한되었다고 가정하였다.

각 턴 과제는 빙상 위에 명확히 표시된 출발점(start point)과 목표 지점(target point)을 기준으로 수행되었다. 연구대상자는 출발 신호와 함께 가능한 최고 속도로 턴 목표 구역을 통과하도록 지시받았으며, 각 구간별 회전 및 방향 전환이 일관되게 이루어지도록 표준화된 경로 지시 라인과 타겟 위치는 (Fig. 3)과 같이 설정하였다. 각 타겟 사이거리는 2 m로 설정하였다. 90° 턴 과제 수행을 위해 연구대상자에게 T2에서 출발하여, T3을 통과 후 우측방향으로 회전하도록 지시하였다. 180° 턴 과제 수행을 위해 연구대상자에게 T1에서 출발하여 T2를 돌아 다시 T1으로 되돌아 오도록 지시하였다. Z 턴 과제를 수행을 위해 연구대상자는 T1 좌측에서 출발하여, T2의 우측을 통과하고, 다시 T3의 좌측을 통과하도록 지시하였다. 과제 수행 전, 모든 참가자는 실험 절차에 대한 상세 설명을 들은 후, 각 동작 별로 세 차례의 적응 연습을 통해 움직임을 익혔다. 버킷 조건(CB, GB)과 과제(90°, 180°, Z 턴) 수행 순서는 학습효과를 최소화하기 위해 무작위로 배정하였다. 각 시도 간 휴식시간은 2분으로 통일하여 피로 수준과 학습 효과를 통제하였다. 본 실험에서는 실험과제별 7회의 동작을 실시하였고, 이중 정확하게 과제를 수행한 5개의 시도를 분석에 활용하였다.

측정 항목 및 방법

적외선 촬영을 통하여 수집된 3차원 위치자표 자료를 Visual3D(C-motion, USA)와 Microsoft Excel 2007(Microsoft, USA)을 사용하여 분석하였다. 산출된 3차원 위치 자표 중 카메라가 정확한 수집을 하지 못하였다고 판단되는 부분에서는 3차 스플라인 보간법(cubic spline interpolation)을 사용하여 각각의 시간에 따른 최적의 위치 자표 함수를 적용하였다. 부착한 마커의 3차원 위치 자표를 수집할 때 발생한 잡음(noise)은 저역 통과 필터(low pass filter) 차단 주파수(cut-off frequency) 6 Hz로 처리하였다(Hood et al., 2020).

수집된 자료의 분석 구간은 버킷이 주어진 최초 목표 지점을 지나 는 순간으로부터 최종 목표지점을 지나가는 순간까지로 정의하였다. 분석 구간 내에서 속도 변화, 이동 거리, 체간의 굽힘/뻗, 모음/별림, 돌림

돌림 각도 가동범위를 분석하여 CB의 효과를 검증하였다. 속도 변화는 분석 구간을 통과할 때 측정된 최대속도와 최소 속도의 차이 값을 산출하여 둘의 차이를 제시하였다. 이동 거리는 제시된 각 턴 목표 (turn target)를 통과할 때 목표와 연구대상자 신체 중심의 직선 거리의 산출하고, 산출된 거리의 합계를 의미한다. 체간 각도 가동범위는 버킷에 대한 체간 분절의 각도의 가동범위로 정의하였다. 분석 구간 내 턴 체간 각도의 최댓값과 최솟값을 산출한 후 두 값의 차이를 체간 각도 가동범위로 정의하였다. 가동범위는 굽힘/뻗, 모음/별림, 돌림 움직임을 산출하였다.

연구결과

속도변화

장애인이아이스하키 선수들이 CB와 GB를 사용하였을 경우 각 턴 동작 시 분석 변인의 차이는 (Table 2)와 같다. CB와 GB를 사용했을 때 90° 턴에서는 각각 1.61 ± 0.91 m/s, 2.49 ± 0.71 m/s, 180° 턴 과제에서는 CB가 6.37 ± 1.16 m/s, GB가 6.53 ± 0.51 m/s, Z 턴 동작을 수행할 때 나타나는 속도의 변화는 CB는 2.86 ± 1.17 m/s, GB는 3.36 ± 0.76 m/s의 결과를 보였다. 모든 턴 동작에서 CB를 사용할 때 속도의 변화가 적었다. 속도의 변화가 적은 것은 분석 구간 내 최고 속도와 최저 속도의 차이가 적은 것을 의미하며 이는 속도 유지를 하며 과제를 수행했다는 근거가 될 수 있다.

이동 거리

이동 거리는 제시된 턴 목표를 통과할 때 목표와 신체 중심의 거리를 산출한 후, 각 거리의 총 합으로 계산하였다(Table 2). 턴 동작 시

Table 2. Three-dimensional motion analysis results comparing the customized bucket and the conventional bucket

Variables	Turn Task	CB	GB
Δ Velocity (m/s)	90° Turn	1.61 ± 0.91	2.49 ± 0.71
	180° Turn	6.37 ± 1.16	6.53 ± 0.51
	Z Turn	2.86 ± 1.17	3.36 ± 0.76
Distance (m)	90° Turn	4.71 ± 0.63	5.08 ± 0.16
	180° Turn	3.91 ± 0.41	4.60 ± 1.09
	Z Turn	4.23 ± 0.10	4.34 ± 0.14
ROM of Trunk Flexion Angle (degree)	90° Turn	13.27 ± 9.16	10.61 ± 5.90
	180° Turn	14.49 ± 7.04	13.79 ± 7.45
	Z Turn	14.94 ± 3.78	20.55 ± 3.50
ROM of Trunk Abduction Angle (degree)	90° Turn	17.34 ± 7.79	15.08 ± 4.71
	180° Turn	12.11 ± 4.35	16.44 ± 4.60
	Z Turn	23.14 ± 7.00	17.90 ± 5.93
ROM of Trunk Rotation Angle (degree)	90° Turn	24.34 ± 16.81	16.65 ± 9.64
	180° Turn	17.36 ± 10.57	24.58 ± 16.66
	Z Turn	52.94 ± 22.57	59.73 ± 18.21

턴 목표 지점에 가깝게 턴을 하였을 경우 거리가 작게 나타난다. CB와 GB 착용 시 90° 턴의 경우 각각 4.71 ± 0.63 m, 5.08 ± 0.16 m, 180° 턴은 3.91 ± 0.41 m, 4.60 ± 1.09 m, z 턴은 4.23 ± 0.10 m, 4.34 ± 0.14 m 으로 나타나 세 가지 턴 모두 맞춤형 버킷 착용 시 더 적은 이동 거리를 보였다. 모든 턴 과제에서 CB를 사용하였을 경우 더 적은 이동 거리를 보이며 주어진 턴 동작을 수행하였다.

체간 각도 가동 범위

턴 동작 시 체간의 굴곡 신전의 각도 범위는 착용하였을 경우 90° 턴에서 CB는 $13.27 \pm 9.16^\circ$, GB는 $10.61 \pm 5.90^\circ$, 180° 턴에서 CB는 $14.49 \pm 7.04^\circ$, GB는 $13.79 \pm 7.45^\circ$, Z 턴에서 CB는 $14.94 \pm 3.78^\circ$, GB는 $20.55 \pm 3.50^\circ$ 의 차이가 있었다. CB를 사용하였을 경우 GB를 사용하였을 때보다 90° 턴은 약 3° 가량 큰 것으로 산출되었다, Z 턴은 약 6° 작게 나타났으며 180° 턴은 유사한 굽힘/뻗 가동범위를 보인 것으로 확인되었다.

모음/벌림 가동범위 분석 결과 90° 턴은 $17.34 \pm 7.79^\circ$, 180° 턴은 $12.11 \pm 4.35^\circ$, Z 턴은 $23.14 \pm 7.00^\circ$ 로 나타났고, GB를 사용하였을 경우 90° 턴은 $15.08 \pm 4.71^\circ$, 180° 턴은 $16.44 \pm 4.60^\circ$, Z 턴은 $17.90 \pm 5.93^\circ$ 의 가동범위를 보였다. 모음/벌림 동작에서는 CB를 사용하였을 때 90° 턴은 약 2°, Z 턴은 약 5° 크게 나타났고, 180° 턴의 경우는 GB를 사용할 때 약 4° 정도 큰 가동범위를 보였다.

90° 턴 동작을 했을 때 체간의 돌림 가동범위는 CB를 사용하였을 때 $24.34 \pm 16.81^\circ$, GB를 사용하였을 때 $16.65 \pm 9.64^\circ$ 로 약 8° 차이를 보였고, 180° 턴 동작에서는 CB $17.36 \pm 10.57^\circ$, GB $24.58 \pm 16.66^\circ$ 로 GB를 사용하였을 때 약 7° 큰 체간 가동범위의 차이를 보였다. 마지막으로 Z 턴 동작 시 체간 돌림 가동범위는 CB를 사용하였을 때 $52.94 \pm 22.57^\circ$, GB를 사용하였을 때 $59.73 \pm 18.21^\circ$ 로 나타났다.

논 의

CB를 사용한 모든 턴 동작의 속도 변화는 GB를 사용한 경우보다 낮게 나타났다. 이는 회전 중 감속이 적고, 속도를 지속적으로 유지하면서 턴을 수행했음을 의미한다.

Fortier et al.(2014)는 아이스하키 선수의 방향 전환 동작이 효율적으로 나타나야 경기력 향상에 긍정적이라고 하였으며, 이것은 회전 동작을 할 때 속도의 손실이 높은 것은 비효율적인 동작으로 경기력 하락으로 이어진다고 할 수 있다. 즉, 안정적인 자세를 유지하면서 속도를 잃지 않고 턴 궤적을 변화하는 것이 경기력 향상에 필요하며, CB를 사용할 때 나타나는 적은 속도 손실이 이러한 결과에 부합한다고 할 수 있다. 특히 패럴림픽 선수의 경기력에서 보조기기의 구조적 적합성과 안정성은 매우 중요하다(Burkett, 2010). CB는 선수의 신체 형상에 맞춰 제작되어 체간-버킷 결합 안정성을 높도록 제작되었다(Burkett, 2010). 본 연구에서 CB 조건의 속도 손실이 더 작게 나타난 결과는, 회전 구간에서 불필요한 체간 흔들림과 움직임 손실이 감소했을 가능성을 시사한다(Fortier et al., 2014). 본 연구의 결과는 이러한 관점을 지지하며, CB가 슬레지와 신체 간 결합 안정성을 높여 방향전환 시 추진력 손실을 최소화했음을 보여준다.

90° 턴 동작과 180° 턴 동작 수행 시 CB를 사용하였을 경우 GB를 사용하였을 경우보다 회전 반경이 작게 나타난 결과를 보였다(Fig.

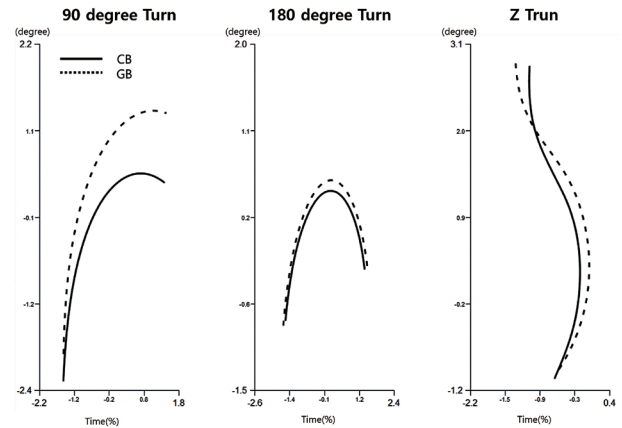


Fig. 4. Movement trajectories of the customized and conventional buckets during 90° turn (left), 180° turn (center), and Z-turn (right) maneuvers

4). 스케이팅에서 곡선 구간에서 구심력을 극복하여 턴의 궤적을 효율적으로 하기 위해 신체 중심이 턴의 안쪽 방향으로 향해야 한다(Boer et al., 1988). 본 연구에서 CB의 턴의 거리가 짧다는 것은 턴 타겟과의 거리가 짧아 더욱 간결한 턴 동작을 수행하였음을 의미하며, 선행 연구에서 제시한 빙판 운동에서 효과적인 턴 동작이 CB에서 나타났음을 의미한다. 연속적인 턴 동작이 요구되는 Z 턴에서도 동일하게 나타났다. CB 사용 시 Z 턴의 이동 거리는 90° 턴과, 180° 턴에 비해 작았다. Z 턴은 90°, 180° 턴에 비해 과제 경로 자체가 짧아 절대 이동거리가 상대적으로 작게 나타날 수 있다. 그러나 Z 턴은 연속적인 좌우 방향전환이 포함되어 회전 구간에서 관성 및 구심력 제어 요구가 증가하므로, 체간-버킷 결합 안정성이 부족할 경우 궤적이 커지거나 속도 손실이 증가할 가능성이 있다(Boer et al., 1988; Fortier et al., 2014). 본 연구에서 CB 조건이 더 짧은 이동거리와 상대적으로 안정적인 체간 패턴을 보인 결과는, 고속 방향전환 상황에서 결합 안정성이 주행 효율에 기여할 수 있음을 시사한다. 이러한 결과는 Jang and Kim(2018)이 제시한 장애인 아이스하키 선수의 신체 안정성과 추진력에 착석 시스템의 밀착 정도가 영향을 줄 수 있다는 연구와 동일한 결과를 보였다고 할 수 있다.

〈Fig. 5〉는 CB와 GB에서 버킷 움직임에 대한 상체의 기울기 변화를 나타낸다. 굽힘/뻗 ROM은 90° 턴과 180° 턴 보다 Z 턴에서 크게 나타나는 경향을 보였다. 특히 Z 턴에서 CB($14.94 \pm 3.78^\circ$)와 GB($20.55 \pm 3.50^\circ$)의 가동범위 차이가 크게 나타났는데, 〈Fig. 5〉의 Z 턴에서 체간의 굽힘/뻗의 패턴을 보면 GB는 0보다 작은 각도 변화만 보였고, CB는 0보다 커졌다가 작아지는 현상이 나타났다. CB는 Z 턴 동작 시 체간이 숙여진 상태로 활주를 한 것이고, CB는 체간의 전후 움직임이 턴의 초반과 후반에 나타난 것을 의미한다. CB는 경우 체간의 움직임이 턴의 진행에 맞춰 전후 방향으로 버킷 중심을 기준으로 균형되게 움직이고 있다. 반면 GB는 턴을 행함에 있어 전방으로의 과도한 쏠림을 보이면서 버킷의 턴을 조절하려는 노력이라고 볼 수 있다. 과도한 쏠림을 보인 GB의 턴 수행력은 이동거리가 길게 나타나고, 과도한 움직임은 장시간 경기에 불리하게 작용될 수 있다. 이러한 결과는 GB 버킷 제어가 상대적으로 어려워 움직임의 손실이 나타났다고 해석할 수 있다.

회전/내전 가동범위에서는 90° 턴과 Z 턴에서 CB가 GB보다 크게

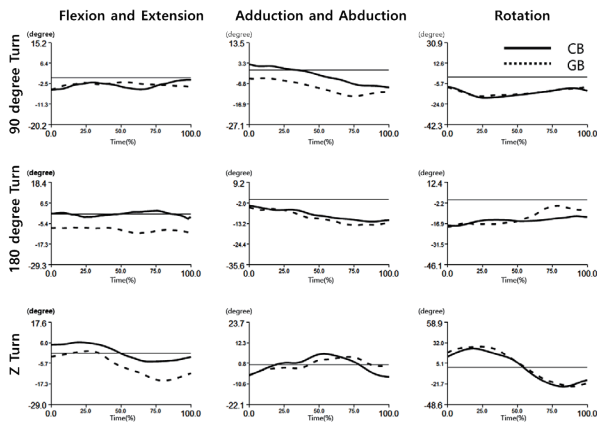


Fig. 5. Changes in trunk angle during task performance

나타났다. 이것은 턴의 종류에 따라 체간을 사용하는 방법이 다르게 나타났다는 것을 알 수 있다. 90° 턴과 Z 턴은 빠른 동작으로 회전을 한 후 진행 방향으로 질주해 나가는 동작이기 때문에 빠르고 큰 동작이 필요하다. 이것은 효율적인 스케이팅 턴 동작을 위해서 턴의 중심으로 신체 중심을 기울여야 한다는 선행 연구의 결과와 유사한 결과라고 할 수 있다(Boer, 1988). 반면 180° 턴은 진행 출발 방향을 완전히 틀어서 되돌아 오는 동작이기 때문에 빠른 회전을 하는 기술보다는 체간 움직임을 줄여서 흔들림을 최소화 하는 기술이 필요한 동작으로 사료된다. 특히 Z 턴에서는 턴의 시작과 끝 부분에서 CB 사용 시 GB 사용 때보다 큰 기울기를 보이며 턴 동작을 효율적으로 수행하는 것으로 나타났다(Fig. 5). 이러한 동작들은 회전 운동 시 발생하는 원심력에 대항하기 위한 구심력을 높이기 위한 운동학적 기전이며(Jun, 2011), CB의 경우에는 이러한 기전이 적절하게 생성되지만 GB의 경우에는 그렇지 못하여 효율적인 턴 동작을 수행하는데 어려움이 있다는 것을 의미한다

체간의 회전 동작은 버킷과 체간의 비틀림-해제를 의미한다. 하지만 본 연구 결과에서 나타난 체간 돌림 가동범위는 표준편차가 크게 나타나 평균값만으로 대표성을 해석하는 데 제한이 있는 것으로 해석된다. 각 선수는 턴 동작 시 체간의 돌림 움직임 범위는 CB 사용의 유무보다 개인별 기술 차이가 더 큰 영향 미쳤을 가능성이 제기된다.

스키 슛 턴과 Z 턴이 유사한 방식으로 나타난다고 할 때 CB는 스키의 부츠의 역할을 하며 체간과 버킷이 흔들림 없이 고정할 수 있게 함으로써, 각 턴 목적에 맞는 효율적인 경기력을 수행하는데 도움이 되는 것으로 사료된다. CB는 90° 턴에서 체간의 굽힘·돌림 자유도를 확보해 구심력 생성과 순간 가속을 돕고, 180° 및 Z 턴에서는 상체의 불필요한 기울임과 회전을 억제하여 중심 안정성과 주행 수행력을 높이는 결과를 만들었다고 사료된다.

본 연구에는 서로 다른 장애 유형의 선수가 포함되었으나, 수행 과제 특성상 모든 선수는 하지의 사용 없이 상체와 둔부 제어만으로 동작을 수행하였다. 또한 연구대상자들의 상체 기능은 장애가 영향을 미치지 않았기 때문에, 장애 유형에 따른 상이한 회전 전략을 구분하여 논의할 충분한 근거는 제한적이었다. 향후 연구에서는 장애 유형별 차이가 보다 명확히 드러날 수 있는 과제를 선정하여, 맞춤형 장비가 각 장애 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 보다 심층적으로 분석할 필요가 있다.

결론 및 제언

본 연구는 장애인아이스하키 선수를 위한 CB 제작 방법을 제시하였고, 제작된 CB가 선수의 경기력에 어떠한 영향을 미치는 가를 규명하였다. 이를 위해 장애인아이스하키의 주요 턴 동작인 90° 턴, 180° 턴, Z 턴 동작의 3차원 동작분석을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, CB를 사용한 경우, 모든 턴 동작에서 속도 손실이 GB보다 낮게 나타났다. 이는 CB를 CB가 회전 중 감속을 최소화하여 턴 동작 시 회전 속도를 유지한 결과라고 해석할 수 있다. 즉, 빠르게 진행되는 아이스슬레지 경기에서 경기력 향상에 긍정적인 요인으로 작용할 가능성이 높다고 할 수 있다.

둘째, CB를 사용했을 때 90° 및 180° 턴의 회전 반경이 GB보다 작게 나타났다. 이는 CB를 사용한 경우 최대의 속도로 턴의 최소 반경을 통과하는 움직임을 만들어 냈다고 할 수 있다. 특히 Z 턴에서도 CB는 작은 호 궤적을 유지하며 효율적인 돌림을 수행했는데, 이는 CB가 급격한 방향 전환에 효과적으로 대응했음을 보여준다.

셋째, 체간의 움직임의 경우 CB를 사용할 때 GB보다 굽힘/뺨은 크고, 모음/별림, 돌림은 작게 나타났다. 이러한 결과는 각 턴 과제 특징에 맞는 속도와 궤적을 만들어 내기 위해 효과적인 버킷 제어가 가능했을 시사한다.

이상과 같은 연구 결과에 비추어 볼 때 CB 사용 시 턴 구간에서 이동 궤적과 속도 변화 양상이 달라지는 경향이 관찰되었으며, 이는 장비-선수 결합 특성과 관련되었을 가능성을 시사한다.

본 연구는 CB의 제작 방법과 버킷 밀착성 변화가 선수의 주행 및 턴 수행 양상에 어떠한 변화를 가져올 수 있는지를 탐색적으로 분석하는 데 목적이 있다. 따라서 각 장애 유형별 기술 전략 차이를 일반화하거나, 턴 수행 기전에 대한 인과적 해석을 제시하는 데에는 제한이 있다. 본 연구 결과는 맞춤형 장비 설계의 가능성을 제시하는 기초 자료로 해석되어야 하며, 향후 더 많은 표본과 장애 유형별 과제를 포함한 연구가 필요하다.

CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: Dohoon Koo, Hyosun Kweon, Seon-Deok Eun, Data curation: Dohoon Koo, Formal analysis: Dohoon Koo, Methodology: Seon-Deok Eun, Project administration: Kyung-Bae Jang, Seon-Deok Eun, Visualization: Hyosun Kweon, Writing-original draft: Dohoon Koo, Writing-review & editing: Hyosun Kweon, Kyung-Bae Jang, Seon-Deok Eun

참고문헌

- Beckman, E. M. (2007).** Development of ha skills observation protocol for sledge ice hockey – Pilot study. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica*, 37(1), 45-49.
- Bon, I., Očić, M., Cigrovski, V., Rupčić, T., & Knjaz, D. (2021).** What are kinematic and kinetic differences between short and parallel turn in Alpine skiing? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), 3029.
- Burkett, B. (2010).** Technology in Paralympic sport: performance enhancement or essential for performance? *British Journal of Sports Medicine*, 44(3), 229-233.
- de Boer, R. W., Ettema, G. J., van Gorkum, H., de Groot, G., & van Ingen Schenau, G. J. (1988).** A geometrical model of speed skating the curves. *Journal of Biomechanics*, 21(6), 445-450.
- Employment Development Institute. (2011).** Statistics for disabilities.
- Eun, S. D., & Hyun, M. (2010).** The differences in the ski carving turn motion according to level of expertise. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(3), 319-325.
- Fortier, A., Turcotte, R. A., & Pearsall, D. J. (2014).** Skating mechanics of change-of-direction manoeuvres in ice hockey players. *Sports Biomechanics*, 13(4), 341-350.
- Geppert, A., Smith, E. M., & MacLachlan, M. (2025).** Everyday assistive products support participation in sport. *Disabilities*, 5(1), 31.
- Hood, S., Ishmael, M. K., Gunnell, A., Foreman, K. B., & Lenzi, T. (2020).** A kinematic and kinetic dataset of 18 above-knee amputees walking at various speeds. *Scientific Data*, 7(1), 150.
- International Paralympic Committee. (2024).** *IPC Annual Report 2024*. International Paralympic Committee.
- Jang, W., & Kim, J. (2018).** A study on body deformation and measurement for the development of a customized seating system for para ice hockey. *Archives of Design Research*, 31(3), 109-118.
- Jun, M. K. (2001).** Kinematic analysis of cornering motion in short track speed skating. *Korea Journal of Sport Science*, 12(1), 38-51.
- Kayama, K., Shapiro, R., & Douglas, S. (2023).** “The wheelchair really is just a piece of athletic equipment”: Collegiate athletes with disabilities and their perceptions of sport technologies. *Children and Youth Services Review*, 153, 107142.
- Koo, D., Eun S. D., Hyun, B., & Kweon, H. S. (2014).** Disabled alpine ski athlete’s kinematic characteristic changes by computer aided design based mono ski bucket: A case study. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 24(4), 425-433.
- Nolan, L., Delaney, S., & Riddick, J. (2018).** Development of high-performance parasport prosthetic limbs: A conceptual framework for research and innovation. *Prosthetics and Orthotics International*, 42(5), 509-517.
- Sodeyama, H., Miura, M., Ikegami, Y., Kitamura, K., & Matsui, H. (1979).** Study of displacement of a skier’s center of gravity during a ski turn. *Biomechanics V-B*, 271-276.
- Stenmark, I. (1990).** *Ski Technique in the 1990s*. Snow Country.
- Tweedy, S. M., & Vanlandewijck, Y. C. (2019).** Summer adaptive sports technology, equipment, and injuries. *Journal of Spinal Cord Medicine*, 42(S1), S59-S67.

장애인 아이스슬레지하키 선수의 주행 능력 향상을 위한 맞춤형 버킷 개발 및 운동학적 효과 분석: 사례연구

구도훈¹, 권효순², 장경배³, 은선덕^{4*}

¹전주대학교 운동처방학과, 교수

²국립재활원 임상재활연구과, 과장

³국립강릉원주대학교 전기공학과, 교수

⁴국립재활원 건강보건의연구과, 과장

*교신저자: 은선덕(esd7786@korea.kr)

[목적] 본 연구의 목적은 아이스슬레지 선수들을 위한 맞춤형 버킷 제작 방법을 개발하고, 그 적용이 선수들의 주행 수행력에 미치는 영향을 살펴보는 데 있었다.

[방법] 본 연구는 엘리트 패러 아이스하키 선수들을 대상으로 맞춤형 버킷(Customized Bucket, CB)이 일반 버킷(General Bucket, GB)에 비해 주행 수행능력을 향상시키는지를 검증하고자 하였다. 척수 손상, 단측 하지 절단, 양측 하지 절단을 가진 선수 3명이 각각 최대 속도로 빙상에서 90° 턴, 180° 턴, Z 턴의 세 가지 과제를 수행하였으며, 각기 다른 실험 조건(CB, GB)에서 반복 측정되었다. 16대의 Vicon 적외선 카메라 시스템(100 Hz)으로 3차원 운동학 자료를 수집하였고, 주요 분석 변수로 과제 동작 시 속도 변화(Δv), 이동 거리(path length), 그리고 체간의 가동범위(굽힘/펴, 모음/벌림, 축 돌림)을 산출하였다.

[결과] 각 과제 및 조건별 반복 측정 데이터를 통합하여 분석한 결과, CB 사용 시 GB에 비해 속도 변화가 작고(90°: 1.61 ± 0.91 vs 2.49 ± 0.71 m/s; 180°: 6.37 ± 1.16 vs 6.53 ± 0.51 m/s; Z턴: 2.86 ± 1.17 vs 3.36 ± 0.76 m/s), 이동 거리가 짧게 나타났다(90°: 4.71 ± 0.63 vs 5.08 ± 0.16 m; 180°: 3.91 ± 0.41 vs 4.60 ± 1.09 m; Z턴: 4.23 ± 0.10 vs 4.34 ± 0.14 m). 또한 CB 사용 시 90° 및 180° 턴에서 체간-버킷 결합(trunk-bucket coupling)이 더 긴밀하게 나타났으며, Z턴에서는 불필요한 체간 돌림이 감소하는 경향을 보였다.

[결론] CB는 선수-슬레지 버킷 결합의 안정화를 통해 속도 손실을 줄이고, 빠른 회전 동작을 가능하게 하여 주행 수행력에 긍정적 변화의 가능성을 제기한다.

주요어

맞춤형 버킷, 아이스슬레지하키, 운동학적 분석, 장애인스포츠, 장애인 스포츠 보조기기

※ 본 연구는 국립재활원 재활연구소 내부연구사업(#12-A-03)으로 수행되었습니다.