

## 컴퓨터 디자인 기반 모노스키 버킷 사용에 따른 장애인 알파인 스키 선수의 운동학적 특성 변화 연구: 사례 연구

구도훈<sup>1</sup> · 은선덕<sup>2</sup> · 현보람<sup>3</sup> · 권효순<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립재활원 재활연구소 재활보조기술연구과, <sup>2</sup>국립재활원 재활연구소 임상재활연구과, <sup>3</sup>서울시보조공학서비스센터

### Disabled Alpine Ski Athlete's Kinematic Characteristic Changes by Computer Aided Design Based Mono Ski Bucket: A Case Study

Dohoon Koo<sup>1</sup> · Seondeok Eun<sup>2</sup> · Boram Hyun<sup>3</sup> · Hyosun Kweon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Rehabilitative & Assistive Technology, National Rehabilitation Research Institute, Seoul, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Clinical Rehabilitation Research, National Rehabilitation Research Institute, Seoul, Republic of Korea

<sup>3</sup>Assistive Technology Service Center of Seoul, Republic of Korea

Received 15 November 2014 Received in revised form 3 December 2014 Accepted 10 December 2014

#### ABSTRACT

The purpose of the study was to investigate the effect of CAD (Computer Aided Design) based alpine mono-ski bucket design on disabled ski athletes' kinematic characteristics. Two national team ski athletes with LW11 disabilities (Locomotion Winter Classification) category for sit ski participated in both pre and post experiment. Both of the subjects performed 3 trials of carved turn on a ski slope under two conditions. Where, subject "A" performed pre experiment with personal bucket and post experiment with the newly developed CAD based bucket whereas, Subject "B" as control subject performed both pre and post experiment with his personal bucket. For the experiment, 24 Infrared cameras were positioned on the ski slope which covered the path of the ski turn. Also, motion capture suit with reflective markers were worn by both subjects. In the result, decrement in medial/lateral displacement of COM, anterior/posterior displacement of COM, flexion/extension angle of trunk as well as velocity losing rate of COM was observed in subject "A" when using the newly developed CAD based bucket. In contrast, no larger effect on performance was observed when using personal buckets. In conclusion, the findings obtained from the study indicated effectiveness of newly developed CAD based bucket by reducing excessive movement of hip and trunk which is an important factor to perform an effective turn.

*Keywords* : Alpine Mono Ski, Ski Performance, Mono Ski Bucket, Bucket Manufacturing

## I. 서 론

동계패럴림픽은 1976년 스웨덴 외른스홀드스비크에서 시작되어 현재까지 이어져 오고 있다. 한국은 최근에 개최된

2014소치동계패럴림픽에서 총 5종목 중 바이애슬론을 제외한 4 종목에 참가하였지만 기량의 차이로 인해 메달을 획득하지 못하였다. Choi, Han과 Kim (2004)은 국내 장애인 엘리트 스포츠 선수들의 경기력이 국외의 다른 선수들 보다 낮은 이유는 선수들이 경기 장비를 제대로 갖추기 힘들기 때문이라고 하였다. 이렇듯 침체된 국내 장애인 엘리트 스포츠의 발전을 위해서 장애인 스포츠 장비 개발을 비롯하여 장애인 엘리트 스포츠에 대한 투자, 운동 시설의 확충 등의 개선이 이루어져야한다(Choi et al., 2004). 다양한 종목의 장애인 스포츠를 대상으로 연구가 이루어

본 연구는 국립재활원 내부연구사업(13-A-03)으로 수행되었습니다.  
Corresponding Author: Hyosun Kweon  
Department of Rehabilitative & Assistive Technology, National Rehabilitation Research Institute, 58 Samgaksan-ro, Gangbuk-gu, Seoul, Korea  
Tel : +82-2-901-1904 / Fax : +82-2-901-1955  
E-mail : hskweon@korea.kr

어지는 국외에 있어서 Buckley과 Heath (1995)는 하지마비나 양측하지 절단 장애를 가진 장애인이 수상 스키를 탈 수 있도록 하기 위해 사용자의 희망 욕구에 따라 디자인 하고, 착용부위에 적합하도록 캐스팅하는 연구를 진행하였다. 이들은 장애인 수상스키 장비를 개발하기 위해서는 58 km/h 속도에도 견딜 수 있고 힘 전달이 원활한 폴리에틸렌과 폴리프로필렌의 혼성 중합체 재료를 선택하여야 한다고 제안하였다. 또한 De Luigi과 Cooper (2014)는 알파인 스노우 스키를 타는 단측 하지절단 장애인을 위해 환부 크기와 모양에 적합한 소켓을 제작하여 스키와 연결하여 사용하거나 하지마비나 양측하지 절단 장애인들을 위해 개인의 체형에 맞는 버킷을 사용하여 스키 조절을 원활히 할 수 있도록 하는 장비 개발 연구를 보고하였다. 이렇듯 신경학적 신체적 능력의 결여가 있는 장애인들은 그들의 신체 결점을 보완하고 힘의 분배가 적절히 이루어 질 수 있는 장비를 사용하면 훈련 효과를 증가시키고 나아가 경기력 향상에 도움을 주어 경기 성적에도 좋은 결과를 가져올 수 있다(Prystupa, E., Prystupa, T., & Bolach, 2006).

알파인 스키는 슬로프에서 하강 시간을 얼마나 빠르게 단축하느냐의 결과로 승패가 좌우되는 경기로서, 장비의 성능과 경기력은 밀접한 관계에 있다(Suzuki, & Hayashi, 2009). Lafontaine, Lamontagne, Dupuis과 Diallo (1998)는 비장애인의 스키 부츠는 주행 시 외부 힘과 압력의 영향을 받아 스키를 조절하는 역할을 한다고 하였다. 부츠의 재료 선정과 모양에 따라 스키어의 움직임과 힘의 분배에 영향을 미치기 때문에 개인에게 적합한 부츠를 제작하는 것을 권고한다(Yee, & Mote, 1993). 알파인 스키의 모노스키 버킷은 비장애인 스키에서 부츠에 해당하는 부분으로 모노스키에서 가장 중요한 장비 중 하나이다. 스키를 조절하기 위한 장애인 선수의 내력을 스키 플레이트에 효과적으로 전달하는 역할이 바로 장애인 모노스키 버킷의 역할이다. 모노스키 버킷은 장애인 선수와 결속력이 높게 제작되어야 하고, 버킷의 재료와 두께를 효과적으로 가공해야 사용자의 기술력을 높일 수 있다. 각각의 장애인에게 적합한 스포츠 장비를 제작한다면 상해를 줄이는 동시에 경기력을 높이는 데 큰 역할을 할 수 있다(Farley, Mitchell, & Griffiths, 2004).

이처럼 장애인 스포츠 장비는 경기력을 높이는 데 큰 역할을 한다. Schwameder, Nigg, Tschärner과 Stefanyshyn (2001)는 알파인 스키의 바인딩 위치와 같은 장비 조절에 따른 힘의 움직임을 분석하여 운동학적으로 영향을 준다는 것을 증명하며 장비의 적용에 대한 중요성을 강조하였다. 이처럼 경기력에 영향을 주는 장비는 다양한 관점에서 조사하여 제작 되어야 하고, 특히 장애인 스포츠 장비에서는 장애유형별 특징적인 신체의 움직임을 바탕으로 장비를 디자인하고 제작하여야 한다(Torrens & Black, 2011).

그러나 국내에는 장애인 스포츠 장비개발에 대한 연구가 거의 전무한 현실이며, 국내 대부분의 장애인들은 스포츠 장비를 수입하여 사용하고 있는 실정이다(National Rehabilitation Center, 2013). 현재까지 선수들이 사용하는 버킷은 폴리프로필렌(polypropylene [PP])을 사용한 획일적인 방법으로 장애인 모노스키 버킷을 제작하여 사용해왔다. 설계 및 제작 방법 또한 수기에 의존한 신체 측정방법을 이용하여 제작되어왔다. 이러한 획일화된 재료의 선정과 버킷의 구조 정렬(alignment)을 고려치 않은 제작 방법은 장애인 모노스키 선수의 경기력을 높이는 데 한계가 있다. 따라서 본 연구의 목적은 컴퓨터 디자인 기반의 장애인 모노스키 버킷을 개발하여 이러한 버킷이 장애인 스키 선수들의 스키 동작 시 운동학적 특성에 어떠한 변화를 가져오는지 규명하는 것이다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상자

본 개발 장비의 기능을 평가하기 위해 10년 이상의 선수 경력을 가진 장애인국가대표 알파인 선수 남성 2인을 대상으로 실시하였다. 본 연구는 국가대표 장애인 선수를 대상으로 이루어지는 사례연구로, 전체 장애인 국가대표 선수 3인 중 실험 중도 탈락한 1인을 제외한 2인만이 본 연구에 참여하였다. 컴퓨터 디자인 기반 버킷은 2인의 피험자 중 피험자 A에게 적용하여 컴퓨터 디자인 기반 장비 사용 유무에 따른 스키 동작을 비교하였고, 피험자 B는 비교군으로서 본 연구에 참여하였다. 장애유형은 흉추 손상의 하지마비로 참가자 2인 모두 국제장애인동계올림픽 등급분류에서 앞기 균형이 양호한 자로 LW (locomotor winter)11의 등급이며 피험자 정보는 <Table 1>과 같다. 연구대상자의 안전 및 보호를 위하여 소속 기관의 연구윤리위원회(IRB)의 승인(NRC-2013-04-040-A)을 받은 후 실험을 진행하였다.

### 2. 컴퓨터 디자인 기반 알파인 모노스키 버킷 제작

장애인 모노스키 버킷은 둔부와 허리 부분의 버킷들이 하나로 결합된 형태를 가지고 있다. 둔부와 허리 부분의 버킷은 스키 동작 시 역할이 각 나뉘어져 있다. 둔부 버킷은 모노스키 프레임과 스키와 연결되고 둔부와 허벅지를

Table 1. Subject information

Participants	Age (yrs)	Height (m)	Weight (kg)	LW	Used bucket
A	48	1.70	63	11	Developed
B	33	1.65	60	11	General

강하게 고정해주어 스키 활주 시 안정성을 높여주어야 하고, 허리 버킷은 스키 턴 동작 시 몸통의 측면을 받치며 몸통의 움직임을 통해 생성된 가압을 스키 플레이트에 정확히 전달하고, 좌우 움직임에 적절히 대응해야한다. 따라서 둔부 버킷은 둔부와 허벅지를 안정적으로 고정하기 위해 강도가 높아야 하는 반면, 허리 버킷은 턴의 움직임에 대응하고 가압을 전달하며 적절한 상체 포지션을 만들기 위해 탄성력이 있어야한다.

본 연구에서 피험자A에게 제공된 개발 버킷은 앞서 언급한 둔부과 허리 버킷의 특성을 각각 반영할 수 있도록 다음과 같이 제작 재료를 선정하였다. 둔부 부분은 스키 조작의 안정성을 위하여 두께 10 mm 폴리프로필렌(PP 10T)을 사용하였고, 허리 부분의 버킷은 턴 동작 시 상체의 움직임에 필요한 탄성을 위하여 탄성과 강도가 PP보다 뛰어난 두께 8 mm의 저밀도 프로필렌(LDPE 8T)을 활용하여 컴퓨터 디자인을 적용한 버킷을 제작하였다. 비교군인 피험자 B가 사용한 기존 장비는 PP 10T를 활용하여 둔부와 허리 부분의 버킷을 제작한 기존의 버킷을 사용하였다. PP 탄성이 적고, 열을 이용한 가공이 용이한 재료로 현재 거의 모든 알파인 모노스키 선수들이 사용하는 재료이고, LDPE는 알파인 스키선수의 상체 움직임에 알맞도록 적용된 새로운 재료이다. 본 연구에 참여한 피험자 A, B가 사용한 버킷의 각 부위별 재료 특성은 다음 <Table 2>와 같다.

선정된 재료를 활용한 컴퓨터 디자인 기반의 알파인 모노스키 버킷을 제작하기 위하여 3차원 스캐너 TScan-MK200C(Taeson solutions, Koera)와 스캔 데이터의 형상화를 위한 NC가공 기법을 활용하였다. 3차원 스캐너를 이용하여 현재 사용하고 있는 모노스키 버킷을 3차원 자료로 구현하였다. 구현된 자료를 통하여 버킷의 좌우의 비대칭과 틀어짐 현상이 있음을 확인하고(Figure 1), 3차원 자료의 모델링 과정을 통하여 버킷의 틀어진 부분을 수정하였다. 좌우의 비대칭은 중심선을 기준으로 미러(mirror) 방식을 적용하여 수정하였고, 그 외에 틀어진 부분은 자료의 filtering, smoothing, interpolation 작업을 거쳐 설계 모델링을 수정하였다(Figure 2). 수정된 자료는 NC 가공기계를 우레탄 폼을 깎아 버킷 제작을 위한 틀을 만드는데 사용되었다. 이후 제작하고자하는 부분의 플라스틱 재료<Table 2>를 오븐에 녹이고, 녹여진 플라스틱 재료를 NC 가공기계를 사용하여 만들어진 우레탄 폼 틀에 썬우는 동시에 진공성

Table 2. Characteristics of Mono-ski Bucket

Participants	Material	Location	Thickness
Developed bucket	LDPE	back	8T
General bucket	PP	hip	10T
General bucket	PP	back	10T
General bucket	PP	hip	10T

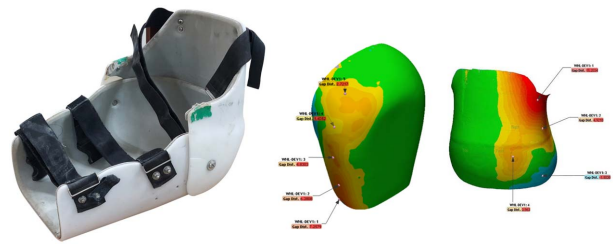


Figure 1. General bucket (left) and 3D data of distorted general bucket (right)



Figure 2. Developed bucket (left) and filtered 3D modeling data of the developed bucket (right)

형기계를 이용하여 녹여진 플라스틱을 제작된 우레탄 폼의 틀과 정확히 같은 형태로 제작되도록 하였다. 제작된 버킷에서 실제 움직임에 필요치 않은 부분을 탈거하고, 절단선을 연마 작업을 하여 컴퓨터 디자인 기반의 버킷을 개발하였다.

### 3. 실험 절차

컴퓨터 디자인 기반 모노스키 버킷의 평가를 위하여 개발된 장비의 착용 유무에 따른 스키 턴 동작 차이를 3차원 동작분석을 평가하였다. 실상 스키동작분석은 W 실내 스키장의 초급자 슬로프에서 실시하였으며, 3차원 동작분석을 위해 총 24대의 실외촬영용 적외선 카메라(Vicon, UK)를 실상에 설치하였다(Figure 3). 실험 전 3차원 동작분석을 위하여 연구대상자의 신체와 모노스키에 Plug-In-Gait Full-Body marker set을 토대로 적외선 반사마커를 부착하였다. 3차원 동작분석 장비의 sample rate는 100 Hz로 설정하였다. 제조사의 매뉴얼에 따라 3차원 동작분석 장비의 calibration을 실시한 후 실험을 진행하였다.

실험참여자들은 총 2회의 실험에 참여하였다. 1차 실험은 자신의 장비를 사용하여 <Figure 3>의 구간에서 카빙 턴을 실시하였다. 2차 실험은 그로부터 8주 후에 같은 장소에서 동일한 실험 동작을 실시하였다. 2차 실험에서 실험참여자 A에게만 개발 장비를 제공하였고, 실험참여자 B는 1차 실험에서 사용했던 동일한 장비를 사용하게 하여

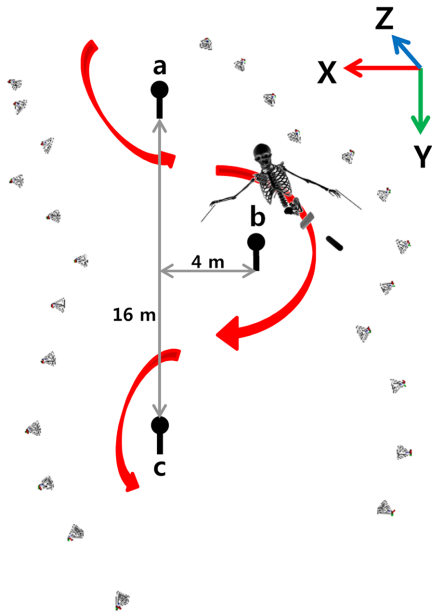


Figure 3. Camera set up and turn trajectory

개발된 장비 사용 유무에 따른 스키 동작의 차이를 분석하고자 하였다. 피험자들은 사전 사후에 총 5회의 카빙턴 동작을 주어진 구간에서 실시하였고, 이 중 턴 코스를 벗어나지 않고 정확하게 과제를 수행한 사전 사후 각 3회의 스키 동작에 대한 평균값을 사전 사후별로 산출하여 분석에 활용하였다.

#### 4. 자료 분석

동작 분석 시 슬로프 상에서 턴의 진행 방향(전방)을 Y축, 우측방향을 X축, 수직 방향을 Z축으로 정의하였다 (Figure 3). 수집된 자료의 노이즈와 자료의 패턴 분석을 위한 smoothing은 6 Hz의 Butterworth lowpass filter를 사용하여 처리하였으며, visual3d에서 제공하는 Plug-in-Gait 모델을 사용하여 장애인 스키어의 상지를 모델링하였고, 버킷과 스키는 각기 다른 분절로 모델링하였다. 본 연구의 주요 분석변인으로는 카빙 턴 동작 시 신체중심(center of mass [COM])의 좌우 이동 변위, 전후 이동 변위, 상체의 굴곡/신전 각도, 내전/외전 각도, 턴 동작 시 COM의 속도 변화를 분석하였다.

COM은 각 분절을 구성하는 분절의 중심위치  $X, Y, Z$ 의 성분으로 구성되는 3차원 벡터의 형태로 COM의 위치를 구하여 COM의 변위를 산출하였고, 분석 구간 내에서 COM의 좌우, 전후의 움직임으로 구분하여 분석하였다. 상체 각도는 모노스키 버킷과 체간 분절의 분절중심의 움직임 원자료를 수집하여, 두 분절 벡터를 내적(dot product)하여 산출하였다. 두 벡터를 A ( $A_x, A_y, A_z$ ), B ( $B_x,$

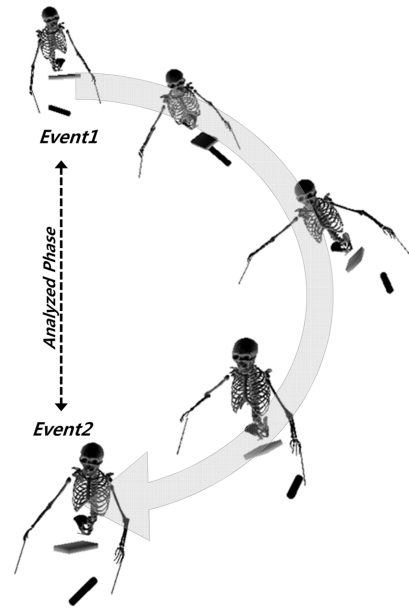


Figure 4. Definition of the event and phase

By,  $B_z$ )라고 할 때,  $x, y, z$  성분 관절가동범위(range of motion [ROM])를 산출하여 장비에 따른 상체각도의 움직임을 비교하였다. 구간 내에서의 속도 변인은 턴 동작 시 피험자 COM의 최대 속도와 최소 속도의 차이를 산출하여 개발 버킷 사용에 따른 턴 구간 내 속도 변화를 분석하였고, 턴 진입 시의 최고 속도와 턴 마무리 시의 최고 속도를 좌우와 하강 속도를 각 산출하여 비교하였다. 구간 내 성분 속도는 x축(좌우 방향 속도), y축(하강 속도)를 각 분석하였다. x축의 속도는 턴 시작 점부터 좌측으로 턴의 최대 진입 속도와 이후 속도가 0이 되는 폴라인 지점을 지나 턴의 방향이 우측으로 바뀌는 최대 턴 탈출 속도를 각 분석하였다. y축의 속도는 피험자의 순수 최대 하강 속도를 산출하였다.

피험자 A는 사전 실험(A\_pre)에서만 자신의 버킷을 사용하여 과제를 실시하였고, 사후 실험(A\_post)에서는 개발된 버킷을 사용하였다. 피험자 B는 사전(B\_pre)과 사후(B\_post)실험 모두 자신의 버킷을 사용하여 본 연구에 참여하였고, 피험자별 수집된 자료의 기술통계 비교를 통하여 개발된 버킷의 사용에 따른 장애인 스키 동작의 운동학적 변화를 조사하였다.

#### 5. 분석구간

동작 분석을 위하여 턴 타기를 <Figure 4>과 같이 통과하는 동작을 실시하였다. 턴 동작 시 분석 이벤트와 구간은 <Figure 4>와 같다. Event1은 턴 진입 시 피험자가 지면에 대하여 수직으로 위치한 지점으로 피험자가 뉴트

릴 포지션을 이루는 지점, Event2는 회전 구간이 끝나고 다시 피험자의 신체 중심이 지면에 대하여 수직으로 위치한 지점으로 턴이 끝나고 다시 뉴트럴 포지션에 위치한 지점으로 정의하였다. Event1과 Event2 사이의 analyzed phase를 개발 장비 사용 유무에 따른 동작 변화를 분석하기 위한 구간으로 선정하였다.

### III. 결 과

#### 1. COM 좌우 이동 범위

사전 실험의 경우 A의 좌우 범위가 B의 좌우 범위 보다 크게 나타났다. 사후 경우에도 사전 실험과 동일한 결과가 나타났으나 모두 좌우 범위는 소폭 감소하는 결과가 나타났다. 사전 A의 최대 좌우 범위는  $0.53 \pm 0.02$  m, B는  $0.44 \pm 0.03$  m로 나타났고, 사후 실험에서 A의 최대 좌우 범위는  $0.46 \pm 0.04$  m, B는  $0.41 \pm 0.01$  m의 결과가 나타났다. A와 B 모두 좌우 범위가 감소하였으나, A의 경우는  $0.07$  m, B의 경우는  $0.03$  m로 B보다 A의 이동 범위가 크게 감소하였다(Table 3).

#### 2. COM 전후 이동 범위

사전 실험의 경우 A의 COM 전후 이동 범위가 B의 이동 범위 보다 크게 나타났다. 사후 실험에서는 B의 COM 전후 이동이 사전 실험보다 증가하여 A와 거의 비슷한 수준으로 나타났다. 사전 실험 시 A의 COM의 전후 이동 범위는  $0.47 \pm 0.07$  m, B는  $0.35 \pm 0.05$  m로 나타났고, 사후 실험에서 A의 최대 전후 이동 범위는  $0.46 \pm 0.03$  m, B는  $0.47 \pm 0.01$  m로 나타났다. 사후 실험에서 A의 COM 이동 범위는 변화는 거의 나타나지 않았으나, B의 경우에는 이동 범위가 증가하는 패턴이 나타났다(Table 3).

#### 3. COM 상하 이동 범위

COM의 상하 이동 범위는 두 피험자 모두 증가하는 패턴을 보였다. A의 경우 사전 실험은  $0.19 \pm 0.02$  m  $0.24 \pm 0.02$  m로 증가하였고, B는  $0.17 \pm 0.03$  m에서  $0.19 \pm 0.01$  m

로 증가하였다. A의 경우 약  $0.05$  m의 신체 중심 이동 범위는 증가를 보였고, B는 이보다 작은 약  $0.02$  m의 증가 폭을 보였다(Table 3).

#### 4. 체간의 외전 각도

턴의 회전 구간 시 A의 체간의 외전 각도에서 사전실험  $28.0 \pm 6.1^\circ$ , 사후 실험은  $32.6 \pm 1.0^\circ$ 로 나타났다. 턴의 회전 구간 시 B의 최대 몸통/머릿의 각도는 사전 실험에서  $25.7 \pm 3.3^\circ$ , 사후 실험에서  $32.6 \pm 1.0^\circ$ 로 나타났다. 몸통/머릿의 각도는 피험자 A는 사후 실험 결과가 사전 보다  $4.6^\circ$  크게 나타났고, B의 경우에도 사전에 비해 사후 실험 결과에서 상체각도가  $6.9^\circ$ 가 증가하는 유사한 결과가 나타났다(Table 4).

#### 5. 체간의 굴곡 각도

분석 구간 내에서 A의 굴곡 각도는 사전 실험 시  $43.0 \pm 4.5^\circ$ 가 나타났지만, 사후 실험에서는  $39.4 \pm 7.4^\circ$ 로 나타나 약  $3.6^\circ$ 의 굴곡 각도 증가를 보였다. B의 경우에는 사전 실험에서  $25.2 \pm 5.8^\circ$ , 사후 실험에서  $39.4 \pm 7.4^\circ$ 로 나타나 역시 굴곡 각도가 증가하였다(Table 4).

#### 6. 체간의 회전 각도

분석 구간에서 A의 체간의 회전 각도는 사전실험 결과에서  $39.2 \pm 4.1^\circ$ , 사후 실험에서  $40.6 \pm 4.3^\circ$ 로 나타났다. B의 회전 각도 결과는 사전 실험에서  $21.6 \pm 5.9^\circ$ , 사후 실험에서  $20.6 \pm 7.9^\circ$ 로 나타났다. 체간의 회전 각도의 분석 결과 피험자 A의 경우에는 사후실험에서 약  $1.4^\circ$  증가하였고, B의 경우 약  $1^\circ$  감소하여 결과적으로 개발 버킷 사용 유무에 따라 체간의 회전각도에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다(Table 4).

#### 7. 구간 내 속도 변화

A 사전 실험에서의 최대 속도는  $7.77 \pm 0.66$  m/s이고, 최소 속도는  $5.71 \pm 0.29$  m/s로 나타났다. A의 사후 실험에서

Table 3. Range of motion of center of mass (unit: m)

Subjects	Medial/Lateral	Anterior/Posterior	Superior/Inferior
A_pre	$0.53 \pm 0.02$	$0.47 \pm 0.07$	$0.19 \pm 0.02$
A_post	$0.46 \pm 0.04$	$0.46 \pm 0.03$	$0.24 \pm 0.02$
B_pre	$0.44 \pm 0.03$	$0.35 \pm 0.05$	$0.17 \pm 0.03$
B_post	$0.41 \pm 0.01$	$0.47 \pm 0.01$	$0.19 \pm 0.01$

Table 4. Trunk angle (unit: deg)

Subjects	Abduction	Flexion	Rotation
A_pre	$28.0 \pm 6.1$	$43.0 \pm 4.5$	$39.2 \pm 4.1$
A_post	$32.6 \pm 1.0$	$39.4 \pm 7.4$	$40.6 \pm 4.3$
B_pre	$25.7 \pm 3.3$	$25.2 \pm 5.8$	$21.6 \pm 5.9$
B_post	$39.0 \pm 1.7$	$39.4 \pm 7.4$	$20.6 \pm 7.9$

의 최대 속도는  $8.33 \pm 0.12$  m/s이고, 최소 속도는  $7.03 \pm 0.31$  m/s로 나타났다. B의 사전 실험 최대 속도는  $7.05 \pm 0.43$  m/s이고, 최소 속도는  $6.11 \pm 0.48$  m/s로 나타났다. B의 사후 실험 최대 속도는  $7.25 \pm 0.44$  m/s이고, 최소 속도는  $6.17 \pm 0.22$  m/s로 나타났다. 턴 동작을 수행할 시 감속비율은 A의 사전 실험이  $26.21 \pm 5.68\%$ , 사후는  $15.57 \pm 3.59\%$ , B의 경우 사전은  $13.39 \pm 3.44\%$ , 사후는  $14.76 \pm 3.66\%$ 로 나타났다. 피험자 B는 턴 동작 시 감속비율이 사전실험에 비하여 사후실험에서 약 1.37% 높게 나타났으나, A의 경우에는 10.64%의 감속비율 이익이 나타나는 결과가 나타났다.

A의 사전 실험에서 분석 구간 내 x축 속도는 최대  $2.89 \pm 0.35$  m/s의 진입 속도를 보였고,  $3.98 \pm 0.63$  m/s의 최대 탈출 속도를 보였다. 사후실험에서는  $3.70 \pm 0.22$  m/s의 진입속도와  $5.65 \pm 0.19$  m/s의 탈출 속도를 보였다. 피험자 B는 사전 실험 시  $2.79 \pm 0.39$  m/s의 진입속도와  $4.16 \pm 0.38$  m/s의 탈출 속도를 보였으며, 사후 실험에서  $4.02 \pm 0.16$  m/s,  $5.41 \pm 0.20$  m/s의 탈출 속도가 나타났다<Table 6>. y축의 속

도는 A 사전  $7.37 \pm 0.73$  m/s, A 사후  $7.55 \pm 0.20$  m/s, B 사전  $6.48 \pm 0.42$  m/s, B 사후  $6.53 \pm 0.20$  m/s로 사전 사후 실험에서 두 피험자 모두 뚜렷한 변화를 보이지 않았다(Table 6).

### IV. 논 의

모노스키는 하지에 장애를 지닌 스키어가 스키를 탈 수 있도록 하는 장애인 스포츠 장비이다. 비장애인 스키어는 하지의 근육을 이용해 스키 활주 시 발생하는 외력에 대항하여 스키 기술을 구사하지만, 장애인 스키어는 하지를 사용할 수 없고 근력이 제한적이기 때문에 비장애인보다 스키 장비의 의존도가 더 크다고 할 수 있다. 본 연구는 장애인 스키 장비 중에서 스키 버킷을 컴퓨터 기반의 디자인을 사용하여 제작하여 스키어가 사용하였을 시 활주 동작에 어떠한 차이가 있는지를 살펴보는 연구이다. 개발 버킷을 사용하였을 경우와 기존 버킷을 사용하였을 경우 신체 중심 좌우 변위가 감소하는 결과가 나타났으나, 개발 버킷을 사용 시에 상대적으로 더 큰 감소가 나타났다. Langelier 등 (2013)은 모노스키 디자인 연구를 진행하며 장애인 스키는 신체 중심이 바인딩 주변에 형성되는 스키 기저면에 위치하며 활주하도록 디자인 되어야 한다고 하였다. 본 연구에서 개발된 버킷을 사용하였을 경우 COM의 좌우 이동 변위가 줄어드는 경향을 확인 할 수 있는데(Figure 5), 이러한 버킷의 효과를 활용하여 COM이 기저면을 벗어나는 장애인 스키어에게 적용하여 모노스키 기술 습득 시 안정성을 확보하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

스키 턴 시 신체 중심 전후 변위는 개발된 버킷을 사용하였을 경우에는 사용하지 않았을 경우와 큰 차이가 나타나지 않았으나, 기존의 버킷을 사용하였을 경우에는 상대적으로 큰 전후 움직임이 사후 실험에서 나타났다. Koo 등 (2013)의 연구에 따르면 카빙턴 동작 시 COM의 전후 이동 변위의 경우 스키의 수준별 기술에서 모두 신체 중심이 전방으로 이동하였다가 턴의 중반 이후에 다시 후방으로 이동하는 패턴이 나타난다고 하였다. 본 연구에서 신체 중심의 <Figure 6>에 나타난 바와 같이 전후 움직임을

Table 5. Velocity of COM (unit: m/s)

Subjects	Maximum velocity	Minimum velocity	Velocity losing rate(%)
A_pre	$7.77 \pm 0.66$	$5.71 \pm 0.29$	$26.21 \pm 5.68$
A_post	$8.33 \pm 0.12$	$7.03 \pm 0.31$	$15.57 \pm 3.59$
B_pre	$7.05 \pm 0.43$	$6.11 \pm 0.48$	$13.39 \pm 3.44$
B_post	$7.25 \pm 0.44$	$6.17 \pm 0.22$	$14.76 \pm 3.66$

Table 6. X and Y axis velocity of COM (unit: m/s)

Subjects	Turn entering velocity in X axis	Turn escape velocity in X axis	Velocity in Y axis
A_pre	$2.89 \pm 0.35$	$3.98 \pm 0.63$	$7.37 \pm 0.73$
A_post	$3.70 \pm 0.22$	$5.65 \pm 0.19$	$7.55 \pm 0.20$
B_pre	$2.79 \pm 0.39$	$4.16 \pm 0.38$	$6.48 \pm 0.42$
B_post	$4.02 \pm 0.16$	$5.41 \pm 0.20$	$6.53 \pm 0.20$

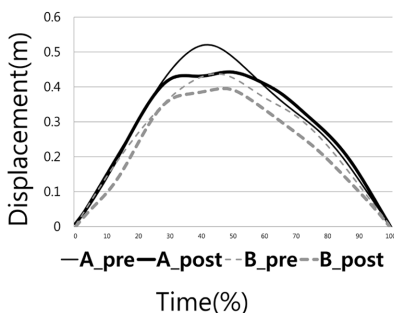


Figure 5. Medial/lateral displacement of COM

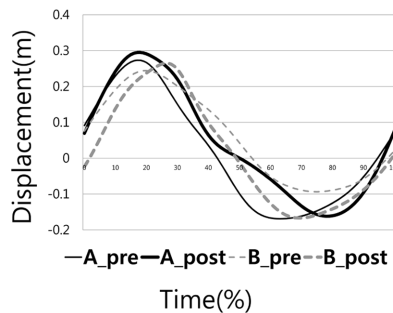


Figure 6. Anterior/posterior displacement of COM

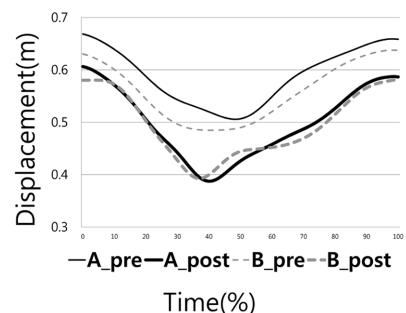


Figure 7. Superior/inferior displacement of COM

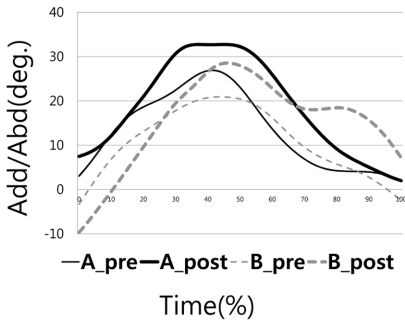


Figure 8. Trunk adduction/abduction

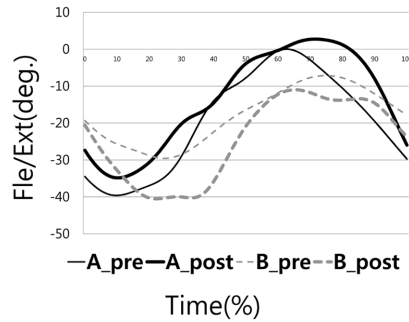


Figure 9. Trunk flexion/extension

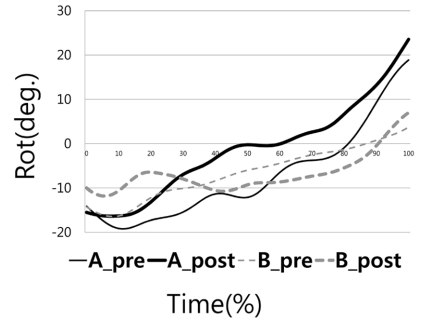


Figure 10. Trunk rotation

살펴보면 신체중심의 전후 움직임이 같은 패턴으로 나타나는 것으로 알 수 있다. 이러한 결과는 경사를 내려가는 스키 움직임 시 장애인과 비장애인에게 유사한 전후 움직임을 갖게 된다고 할 수 있다. 그러나 이러한 움직임 패턴이 개발 장비를 사용에 따라 변화하지는 않는 것으로 나타났다. 피험자 A의 경우 전후 움직임에는 큰 차이를 보이지 않았고, 오히려 기존 장비를 사용하였던 피험자 B의 경우 COM 전후 움직임이 더 크게 나타나는 결과만이 나타났다.

Lee와 Hyun (2003)은 카빙턴 동작 시 신체 중심의 높이 차이는 빠른 스피드와 동작의 기술적 완성도를 대변하는 운동학적 척도로 높이의 차이가 클수록 빠르고 유연한 턴 동작을 구사할 수 있다고 하였다. 개발된 버킷을 사용한 A의 경우 신체 중심의 상하 이동 범위가 커진 반면, 기존의 버킷만을 사용하였던 B의 경우는 신체 중심 이동 범위의 변화가 나타나지 않았다(Figure 7). 이러한 결과는 Lee와 Hyun (2003)의 연구에 비추어 볼 때 개발된 버킷을 사용할 경우 더 빠르고 유연한 턴 동작을 실시할 수 있을 것이라 사료된다. 이러한 결과로 비추어 볼 때 개발된 버킷은 버킷의 alignment가 정확해 짐으로써 사용자의 신체 중심의 안정화에도 기여한다고 판단된다. 본 개발 버킷을 사용할 시 신체 중심의 좌우 이동변위가 작아짐에도 주어진 턴 과제를 빠르게 수행하였는데 동작의 전후, 좌우 움직임이 작아졌지만, 이에 맞추어 신체 중심의 상하 높이는 낮아지게 됨으로써 유연한 턴의 동작이 가능하게 된 것으로 사료된다.

체간의 외전 실험결과에서 피험자 A의 사후 실험에서 체간 기울기 변화가 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. <Figure 8>에 의하면 A와 B는 사전 실험보다 사후 실험의 최대 외전이 크게 나타났지만, A는 약 4°정도 늘어난 반면 B는 14°가량 증가하는 결과가 나타났다. 그러나 외전 각도 증감의 패턴의 결과를 살펴보면 개발된 버킷을 사용하였을 경우에 체간의 최대 기울기 시점 이후에 개발된 버킷을 사용하지 않았을 때 보다 빠르게 외전 각도의 감소가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이것은 개발 버킷을

사용하였을 경우에 더 빨리 좌우 기울기 동작에서 뉴트럴 포지션으로 돌아가 다음 턴 동작을 준비하기에 유리하다고 판단된다. 올바른 장비의 구조적 교정(bucket alignment)이 턴 동작 시 체간의 외전 움직임에 유리하게 작용할 가능성이 제기된다.

체간의 굴곡/신전의 움직임의 경우 A는 약 4°가량 감소하였고, B는 ROM이 사후실험에서 약 14°나 증가하는 결과가 나타났다(Figure 9). 특이한 점은 개발된 버킷을 사용하였을 때 전체적인 체간의 각도가 기존 버킷을 사용하였을 때보다 더 숙여진 상태에서 움직임이 나타난 것이다. 다시 말해 개발 버킷을 사용하였을 경우 ROM 자체는 A의 경우 줄어들었고, B에서 커졌지만, A에서 상체의 숙임 동작이 더 잘 이루어진 것을 의미한다. 장애인 스키어의 상체 굴곡이 커지면 턴에 가해지는 압력이 그만큼 커질 수 있으며 자세 안정성 또한 향상 될 수 있다. 또한 하지의 마비가 있는 장애인 스키어는 척수의 손상 위치에 따라 복근을 사용하지 못하는 경우가 많은데 이러한 장애인들이 스키 동작 시 상체가 뒤로 밀려나게 되면 팔로 컨트롤이 가능한 체간의 좌우 움직임보다 자세 복원이 어렵기 때문에 경기력이나 턴 동작에 어려움이 생길 수 있다. 본 개발 장비가 신체 중심의 위치를 전방으로 이동시키면서 이러한 문제를 보완하여 체간의 움직임 조절에 도움이 될 것으로 사료된다.

스키 턴 동작에서 상체의 회전 동작은 스키 턴에 있어 주요한 요인이다(Morrissey, Seto, Brewster, & Kerlan, 1987). 장애인 스키는 하지의 움직임이 없이 스키 장비에 앉아서 동작이 수행되기 때문에 상체의 움직임이 특히나 더 중요하게 작용된다. 그러나 개발 버킷 사용에 따른 상체의 회전 각도 이동 범위를 분석한 결과 앞서 언급된 상체의 굴곡/신전, 내전/외전 각도와는 다르게 장비에 사용에 따른 뚜렷한 차이가 나타나지 않아 개발 버킷의 효과를 확인하지 못하였다(Figure 10). 개발된 버킷은 좌우의 틀어짐이 최소화되어 있는데, 본 연구의 결과에 따르면 이러한 버킷의 좌우 틀어짐이 상체의 회전 동작에는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 장애인 스

키어가 스키 플레이트에 회전력을 가하기 위해서는 상체의 회전 동작의 기술적인 측면이 장비의 역할보다 강조되어진다고 판단된다.

스키는 경사면에서 속도의 가속과 감속이 연속해서 일어나는 턴 동작을 수행하며 최대한 빠른 속도로 내려오는 경기이다. 최대의 속도를 내기 위해서는 턴 동작 시 발생하는 속도의 감속이 적게 나타나는 것이 유리한데, 본 연구의 결과 개발된 버킷을 사용하였을 경우 턴 동작 시 감속비율이 낮게 나타나는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 장애인 스키어가 개발된 버킷을 사용하여 경기에 임할 경우 턴 동작에서 발생하는 하강 속도의 손실을 최소화하여 경기력을 향상하는데 도움이 될 것으로 생각된다. 이러한 감속비율의 이득을 턴의 성분 분석을 통해 제시하였다. 분석 결과 턴의 x축(좌우 이동) 속도에서 턴의 진입속도보다 턴의 탈출 속도 증가 비율이 개발 버킷에서 더 크게 나타났기 때문에 감속비율의 이득이 발생한 것으로 사료된다. 스키의 직선 하강 속도, 본 연구에서 y축의 속도는 중력가속도와 체중, 그리고 눈의 마찰력의 영향이 가장 크다. 그러나 이러한 요인들은 스키어가 조절하기 매우 어려운 부분이다. 스키어의 기술 조절이 개입되어 기록향상에 더 큰 영향을 미치는 것은 하강 시 좌우의 움직임 즉 x축의 이동속도이다. 본 연구결과에서 개발 버킷 사용 유무에 따라 y축의 속도의 변화는 나타나지 않았으나 x축에서는 좌우 속도가 개발 버킷에서 더 빠르게 나타났다. x축의 감속이 작게 나타나기 때문에 본 연구에서 제시한 스키의 속도 감속비율도 작게 나타난 것이다. 스키 버킷 alignment의 수정과 캐드 디자인 기반의 개발 장비는 사용자의 불필요한 움직임을 줄이면서, 좌우의 속도 감속비율을 줄이며 궁극적으로 하강 감속비율도 줄이며 효과적인 스키 턴 동작을 수행할 수 있게 도와준다고 사료된다.

## V. 결 론

본 연구는 장애인 스키어가 컴퓨터 디자인 기반으로 개발된 스키 버킷을 사용할 시 기존의 버킷을 사용할 때와 비교하여 스키 턴 동작의 운동학적 변화에 어떠한 결과가 나타나는지를 조사하였다. 본 연구에서 컴퓨터 디자인 기반으로 개발된 장애인 스키 버킷은 사용자의 신체에 밀착감이 향상되고, 버킷의 구조적인 디자인이 대칭적으로 제작되었다. 본 연구의 결과 이러한 개발 버킷을 사용하게 되면 사용자의 스키 턴 동작의 간소화를 이루고, 장애인 스키의 경기력을 높이기 위해서는 하강하는 속도를 높이기보다는, 효율적인 턴 동작을 통해 턴 동작 시 발생하는 속도감소 비율을 줄이는 것이 효과적이라고 판단된다. 본 연구에서 개발된 버킷을 사용하였을 시 상체의 내전/외전, 굴곡/신전 각도와 신체 중심의 움직임의 효율성이 증가되

어 턴의 효율을 높여 이를 통해 장애인 스키 선수들의 경기력 향상을 기대할 수 있을 것으로 보인다.

그러나 본 연구는 장애인 국가 대표 선수들을 대상으로 진행되었는데, 우리나라 장애인 국가대표 스키선수의 부족으로 인한 문제로 충분한 피험자 확보를 못하여 본 연구에서 제시한 결과의 당위성을 설명하는데 한계를 지닐 수 있다. 따라서 추후 연구에서는 충분한 장애인 스키어를 대상으로 한 장애인 스키의 기술적 연구와 이를 기반으로 한 장애인 스키 장비 개발 연구가 추가로 실시되어야 할 것이다. 또한 장애인 스키 선수의 경기력을 향상시키기 위해서는 속도 감속 비율과 동작의 효율성을 유도하는 본 연구의 개발 버킷이외에도 장애인 스키 서스펜션, 프레임 등의 장비 연구와 더불어 아직 정립되지 않은 장애인 스키의 기술을 분석하여 기술의 체계를 구축하는 노력도 필요하다.

## 참고문헌

- Buckley, M., & Heath, G. (1995). Design and manufacture of a high performance water-ski seating system for use by an individual with bilateral trans-femoral amputations. *Prosthetics and Orthotics International*, 19(2), 120-123.
- Choi, S. G., Han, D. K., & Kim, K. I. (2004). An Research on Recognition of Current State of Elite Sports for the Athletes with Disabilities in Korea. *Journal of Special Physical Education, Yongin University*, 2, 29-46.
- De Luigi, A. J., & Cooper, R. A. (2014). *Adaptive Sports Technology and Biomechanics: Prosthetics*. 6(8), S40-S57.
- Farley, R., Mitchell, F., & Griffiths, M. (2004). Custom skiing and trekking adaptations for a trans-tibial and trans-radial quadrilateral amputee. *Prosthetics and orthotics international*, 28(1), 60-63.
- Koo, D. H., Eun, S. D., Kweon, H. S., Lee, M. H., Hyun, B. R., Park, M. Y., & Kim, J. J. (2013). Comparison of ski turn's kinematic characteristics for development of interactive ski simulator. *Proceedings of Korean Society for Precision Engineering 2013 Autumn Conference*, 995-996.
- Lafontaine, D., Lamontagne, M., Dupuis, D., & Diallo, B. (1998). Analysis of the distribution of pressure under the feet of elite alpine ski instructors. *In 16th International Symposium on Biomechanics in Sports*. Konstanz, Germany.
- Langelier, E., Martel, S., Millot, A., Lessard, J. L., Smeesters, C., & Rancourt, D. (2013). A sit-ski design aimed at controlling centre of mass and inertia. *Journal of Sports Sciences*, 31(10), 1064-1073.
- Lee, G. S., & Hyun, M. S. (2003). The kinematic analysis of pflug bogen in skiing. *Korean Journal of Sport Science*, 14(1), 36-45.
- Morrissey, M. C., Seto, J. L., Brewster, C. E., & Kerlan, R. K. (1987). Conditioning for skiing and ski injury prevention. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 8(9), 428-437.
- National Rehabilitation Center. (2013). *Development of customized*



*ski bucket to increase performance of ski athlete with disability*. Seoul: National Research Institute.

- Prystupa, E., Prystupa, T., & Bolach, E. (2006). Developmental trends in sports for the disabled. The case of summer Paralympics. *Human Movement*, 7(1), 77-83.
- Schwameder, H., Nigg, B. M., Tscharnner, V. V., & Stefanyshyn, D. (2001). *The effect of binding position on kinetic variables in alpine skiing*. na.
- Suzuki, S., & Hayashi, S. (2009). Design of ski boots for alpine ski racing based on leg frame of the skier. *Journal of Advanced*

*Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 3(3), 245-256.

- Torrens, G., & Black, K. (2011). *Equipment design in inclusive physical activity and disability sport*. IN: Roibas, A.C., Stamatakis, E. and Black, K. (eds). Design for Sport. Farnham: Gower, 153-178.
- Yee, A. G., & Mote, C. D. (1993). Skiing forces and moments at the knee and boot top: Boot stiffness effects and modeling. 1182, 111-111.