

# Real-time Location Tracking Analysis of Cross-country Skiing using Various Wearable Devices: A Case Study

## 다양한 웨어러블 디바이스를 활용한 크로스컨트리스키 실시간 위치 추적: 사례 연구

Jinny Hwang<sup>1</sup>, Jinhae Kim<sup>2</sup>, Hyeyoung Kim<sup>3</sup>, Jeheon Moon<sup>4</sup>, Jusung Lee<sup>5</sup>, Jinhyeok Kim<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Department of Health & Exercise Science, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

<sup>2</sup>Korea National Sport University, Physical Education, Seoul, South Korea

<sup>3</sup>Korea National Sport University, Division of Liberal Arts and Science, South Korea

<sup>4</sup>Department of Sports Science, Korea Institute of Sport Science, Seoul, South Korea

<sup>5</sup>Department of Sport Science, Kangwon National University, Kangwon, South Korea

<sup>6</sup>Department of Industrial & Systems Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon, South Korea

Received : 22 February 2019

Revised : 26 March 2019

Accepted : 26 March 2019

### Corresponding Author Jeheon Moon

Department of Sports Science,  
Korea Institute of Sport Science,  
727 Hwarang-ro, Nowon-gu,  
Seoul, 01794, South Korea  
Tel : +82-2-970-9544  
Fax : +82-2-970-9686  
Email : jhmoon@ksps.or.kr

**Objective:** The purpose of this study was to confirm that the cross-country ski sprint course in PyeongChang, where the 2018 Winter Olympics course was to utilize wearable devices equipped with inertial measurement unit (IMU), global positioning system (GPS) and heart rates sensor.

**Method:** For the data collection, two national level cross-country (XC) skiers performed classic technique on the entire sprint course. We analyzed cycle characteristics, range of motion on double poling (DP) technique, average velocity, and displacement of 3 points according to the terrain.

**Results:** The absolute cycle time gradually decreased during starting, middle and finish sections. While the length of the DP increased and the heart rates tended to increase for men skier. In addition, the results indicated that range of motion of knee joint during starting and finish section decreased more than middle section. The errors of latitude and longitude data collected through GPS were within 3 m from 3 points.

**Conclusion:** Through the first case study in Korea, which analyzed the location and condition of XC skiers in the entire sprint course in real time, confirmed that feedback was available in the field using various wearable sensors.

**Keywords:** Cross-country skiing, Sprint course, Double poling, Wearable device, Real-time location tracking

## INTRODUCTION

크로스컨트리스키는 1924년 프랑스의 샤모니에서 열린 제 1회 동계 올림픽부터 정식 종목으로 채택되었으며(Kim & Yang, 1997; Sandbakk & Holmberg, 2014) 종목의 특성상 눈 덮인 코스 지형에 따라 지구력뿐만 아니라 다양한 기술능력을 요구하는 스포츠 경기이다(Bilodeau, Boulay, & Roy, 1992). 크로스

컨트리스키 경기는 장거리와 단거리로 구분할 수 있으며 장거리는 5~50 km, 단거리는 2 km 이내로 규정하고 있다(Choi & Ryu, 2011; Choi & Ryu, 2012; Zory, Millet, Schena, Bortolan, & Rouard, 2006). 개인 스프린트 경기에서 남자의 경우 1~1.8 km, 여자는 0.8~1.6 km이다(Vesterinen, Mikkola, Nummela, Hynynen, & Hakkinen, 2009).

크로스컨트리스키 경기는 코스의 경사에 따라 속도의 변화

폭이 크기 때문에 다양한 주법과 기술을 전략적으로 활용할 필요가 있다(Sandbakk & Holmberg, 2014). 크로스컨트리스키 기술은 대표적으로 클래식 주법과 스키이트 주법으로 구분할 수 있는데 클래식 주법에 해당하는 양팔로 동시에 폴 체킹을 하는 더블 폴링(double poling) 기술은 스프린트 경기와 단체로 출발하는 모든 경기에서 빠른 가속을 위하여 가장 널리 사용되는 기술로 보고되고 있다(Choi & Ryu, 2011; Choi & Ryu, 2012; Nilsson, Holmberg, Tveit, & Hallen, 2004; Stöggel, Müller, & Lindinger, 2008). 따라서 더블 폴링 기술은 클래식 경기에서 경기력에 영향을 미치는 가장 주요한 기술이라 할 수 있으며, 최상의 경기력을 유지하기 위해서는 폴링 길이(poling length)는 변하지 않고 폴링 비율(poling rates)이 증가하는 형태를 지속해야 빠른 속도를 유지할 수 있다고 보고되고 있다(Bilodeau, Rundell, Roy, & Boulay, 1996; Hoffman, Clifford, & Bende, 1995; Holmberg, Lindinger, Stöggel, Eitzlmair, & Müller, 2005). 이를 위해서 더블 폴링 한 번의 주기(cycle) 내에서 푸시 시간(push time)과 리커버리 시간(recovery time)을 감소시킬 수 있는 강한 폴링 기술을 구사하여 추진력(propulsive force)을 극대화해야 한다(Millet, Hoffman, Candau, & Clifford, 1998; Sandbakk & Holmberg, 2014). 실내에서 진행된 더블 폴링 기술을 향상시키기 위한 연구는 코스와 경기기록을 반영하기 위하여 트레드밀의 속도와 경사도를 조절하며 심폐지구력 요인과의 관계를 분석하여 효율적인 자세를 제공하고 있다(Choi & Ryu, 2012; Holmberg et al., 2005; Mikkola, Laaksonen, Holmberg, Vesterinen, & Nummela, 2010; Stöggel, Lindinger, & Müller, 2007). 하지만 실제 크로스컨트리스키 코스에서 진행된 연구는 영상장비 기반의 연구를 진행하였기 때문에 공간좌표계 설정의 한계로 대부분 짧은 구간을 분석한 결과를 제시하고 있어 더블 폴링 기술에 대한 특성을 설명하고 경기력 향상을 위한 자료로 제시하기에 부족하다(Choi & Ryu, 2011; Choi & Ryu, 2012; Zory, Vuillerme, Pellergini, Schena, & Rouard, 2009; Vesterinen et al., 2009).

따라서 본 연구의 목적은 크로스컨트리스키 경기력 향상을 위한 운동학적 자료를 제공하기 위하여 관성 센서(IMU, Inertial Measurement Unit), 위성항법장치(GPS, Global Positioning System) 및 심박수 센서로 구성된 웨어러블 디바이스를 활용하여 2018 평창동계올림픽이 개최된 크로스컨트리스키 스프린트 코스 2.5 km 전 구간에서 선수들의 실시간 위치와 동작에 대한 정보제공이 가능한지 확인하는데 있다.

## METHODS

### 1. 연구대상자

여러 웨어러블 디바이스를 활용하여 스프린트 코스 2.5 km

전 구간 분석 가능여부를 확인하는 본 연구의 특성상 경기력에 차이가 있는 남·녀 선수를 1명씩 모집하였으며, 신체적 특성은 (Table 1)에 제시하였다. 본 연구의 연구대상자는 자발적인 의사에 의하여 본 실험에 참여하였으며, 실험 참여 6개월 이내 부상 경험과 실험 당일 감기, 고온 등 이상 증세가 없었다. 본 연구에 참여하는 모든 연구대상자의 권리와 안전을 보장하기 위하여 생명연구윤리위원회의 승인을 받았다[(Industry-academic Cooperation Foundation - 004 (2017.04.24)].

**Table 1.** General characteristics of the 2 professional skiers that participated in the study

Skiers	Gender	Height (cm)	Weight (kg)	Age (yrs)	Career (yrs)
1	Male	176	69	25	11
2	Female	163	51	24	10

### 2. 실험절차

본 실험에 들어가기 전 모든 연구대상자들은 피험자 용 설명서 및 동의서를 읽고 작성하였으며, 준비운동과 스트레칭을 할 수 있는 충분한 시간을 제공하였다. 신체 주요 관절의 움직임 분석을 위한 관성 센서(Xsens MVN BIOMECH, Enschede, Nederland)는 전용 실험복을 착용한 후 골반(pelvis), 상지(L5, L3, T12, T8, neck, head, shoulders, upper arms, lower arms, hands), 하지(upper legs, lower legs, feet and toes)로 구분하여 총 23개의 센서를 삽입하였다(Roetenberg, Luninge, & Slycke, 2013). 또한 선수의 위치를 실시간으로 확인하기 위하여 IMU와 GPS 등을 결합한 모듈(LG Electronics Sensor Solution Laboratory, Seoul, Korea)을 선수의 헤드 밴드에 부착한 후 착용하게 하였다(Moon et al., 2018). 심박수는 손목시계 형태로 착용하여 데이터 수집이 가능한 웨어러블 디바이스(GARMIN vivoactive HR, Schaffhausens, Switzerland)를 왼쪽 손목에 착용하였으며, (Figure 1)에 제시한 바와 같다. 센서를 부착한 실험복을 착용한 연구대상자들은 활용에 익숙하지 않기 때문에 30분 정도 시간을 두고 적응할 수 있도록 유도한 후 본 실험을 진행하였다. 본 실험은 강원도 평창군 소재 알펜시아 크로스컨트리센터에서 진행하였으며, 스프린트 코스 2.5 km를 질주하는 동안의 인체 관절의 각도, 위치, 심박수 정보를 센서 자체 메모리에 저장한 후 블루투스 통신을 활용하여 분석용 노트북으로 전송하였다. 여러 웨어러블 측정 장비를 활용하여 크로스컨트리스키 전 구간의 정보 수집을 목적으로 하는 본 연구의 특성상 운동강도는 최대 수준으로 유도하였다.



**Figure 1.** Cross-country skiers with IMU, GPS, and heart rates sensor

### 3. 자료 분석

스프린트 코스 2.5 km를 질주하는 동안의 더블 폴링 기술의 변화를 확인하기 위하여 IMU 센서를 활용하여 신체 주요 관절의 가동범위를 산출하였다. 데이터 획득 과정에서 발생할 수 있는 오류를 제거하기 위해 Butter-worth 4th order low pass filter cut-off frequency 7.4 Hz로 설정하여 정류화하였다(Roetenberg, Luinge, & Slycke, 2009; Roetenberg et al., 2013). 본 연구에서 스프린트 코스 2.5 Km 전 구간의 운동학적 자료를 제시하기는 효율성이 떨어지기 때문에 초반 30회, 출발 지점에서 가장 먼 중반 30회, 후반 5회로 제한하였다. 후반을 5회로 제한한 이유

는 내리막 구간에서는 활강을 한 후 더블 폴링 기술을 짧게 구사하여 코너 구간으로 진입하기 때문이다. 더블 폴링 시간(cycle time)은 가속도 신호를 통하여 정량화한 후 더블 폴링 이동거리(cycle length)는 더블 폴링 시간과 신체중심의 속도를 곱하여 산출하였다(Lindinger, Stögg, Müller, & Holmberg, 2009; Lindinger, & Holmberg, 2011). 각 분절에 부착한 IMU 센서를 통하여 수집된 각도 정보는 크로스컨트리스키에서 가장 대표적인 움직임을 보이는 고관절, 무릎 관절, 팔꿈치 관절 가동범위(ROM, Range of Motion)의 평균치를 산출하였다(Caruso, Knaftlitz, & Cereatti, 2018). 선수의 위치를 실시간으로 추적하기 위하여 부착한 GPS 정보는 경도, 위도 좌표계로 수집되므로 도, 분, 초, 단위로 분리한 후 각 프레임 간 차이의 누적합계를 구하여 위치좌표로 변환하였다(Moon et al., 2018). 이와 같이 얻어진 평면상 위치좌표를 검증하기 위해 Google에서 제공하는 위성 이미지 서비스(GE, Google Earth pro ver. 7.3)를 활용하여 측정된 변위와 비교하였다. 하지만 모든 변위를 비교할 수 없기 때문에 특정 3개의 지점을 정하였으며, 지점 1은 출발 지점으로부터 첫 번째 오르막 길 코너를 지나가는 구간, 지점 2는 출발 지점으로부터 가장 먼 남쪽 방향의 코너 구간 그리고 지점 3은 출발 지점으로부터 가장 동쪽에 가까운 내리막 위치이다. 또한 1개의 평지와 5개의 오르막 및 내리막으로 구성된 스프린트 코스의 평균 속도를 산출하여 제시하였다.

### RESULTS

스프린트 코스 2.5 km 중 초반, 중반, 후반에 수행하는 최대

**Table 2.** The change of cycle characteristic, heart rates, and ROM of double poling technique

	Variables	Start (30)	Middle (30)	Finish (5)	Mean ± SD
Male	Cycle time (sec)	1.15 ± 0.05	1.07 ± 0.26	0.82 ± 0.10	1.02 ± 0.18
	Cycle length (m)	3.86 ± 0.11	4.56 ± 0.27	5.86 ± 0.34	4.76 ± 1.01
	Heart rates (bpm)	105 ± 8.79	123 ± 4.67	139 ± 15.3	122 ± 17.1
	ROM of joint hip (°)	69.6 ± 6.63	64.7 ± 8.91	63.9 ± 2.99	66.1 ± 3.09
	ROM of joint knee (°)	74.9 ± 5.62	102 ± 12.4	91.4 ± 2.69	89.5 ± 13.8
	ROM of joint elbow (°)	48.0 ± 3.57	42.6 ± 1.88	48.2 ± 2.88	46.2 ± 3.17
Female	Cycle time (sec)	1.45 ± 0.28	1.39 ± 0.10	1.37 ± 0.03	1.40 ± 0.04
	Cycle length (m)	3.55 ± 0.07	4.59 ± 0.40	5.40 ± 0.14	4.51 ± 0.93
	Heart rates (bpm)	126 ± 18.8	120 ± 17.7	116 ± 6.32	121 ± 4.95
	ROM of joint hip (°)	66.7 ± 4.49	58.5 ± 11.4	57.1 ± 3.63	60.8 ± 5.19
	ROM of joint knee (°)	121 ± 4.83	114 ± 31.1	125 ± 4.22	120 ± 5.67
	ROM of joint elbow (°)	44.6 ± 2.74	42.2 ± 13.9	48.6 ± 1.55	45.1 ± 3.19

하 더블 폴링 기술에 대한 운동학적 특성과 심박수 분석 결과는 (Table 2)에 제시하였다. 초반 남자 선수의 더블 폴링 시간은  $1.18 \pm 0.05$  sec, 중반  $1.07 \pm 0.26$  sec, 후반  $0.82 \pm 0.10$  sec로 점차 단축된 것을 확인할 수 있다. 또한 더블 폴링의 길이도 초반  $3.86 \pm 0.11$  m, 중반  $4.56 \pm 0.27$  m, 후반  $5.86 \pm 0.34$  m로 점차 증가하였다. 심박수의 변화에서는 초반  $105 \pm 8.79$  bpm, 중반  $123 \pm 4.67$  bpm, 후반  $139 \pm 15.3$  bpm 증가하였다. 고관절 ROM은 초반  $69.6 \pm 6.63^\circ$ , 중반  $64.7 \pm 8.91^\circ$ , 후반  $63.9 \pm 2.99^\circ$ 로 점차 감소하였다. 무릎 관절 ROM은 초반  $74.9 \pm 5.62^\circ$ , 중반  $102 \pm 12.4^\circ$ , 후반  $91.4 \pm 2.69^\circ$ 로 변화하였다. 팔꿈치 관절 ROM은 초반  $48.0 \pm 3.57^\circ$ , 중반  $42.6 \pm 1.88^\circ$ , 후반  $48.2 \pm 2.88^\circ$ 로 나타났다.

초반 여자 선수의 더블 폴링 시간은  $1.45 \pm 0.28$  sec, 중반  $1.39 \pm 0.10$  sec, 후반  $1.37 \pm 0.03$  sec로 점차 단축된 것을 확인할 수 있다. 또한 더블 폴링 길이도 초반  $3.55 \pm 0.07$  m, 중반  $4.59 \pm 0.40$  m, 후반  $5.40 \pm 0.14$  m로 점차 증가하는 결과로 나타났다. 하지만 심박수는 초반  $126 \pm 18.8$  bpm, 중반  $120 \pm 17.7$  bpm, 후반  $116 \pm 6.32$  bpm으로 감소하여 남자 선수와는 다른 결과를 보였다. 고관절 ROM은 초반  $66.7 \pm 4.49^\circ$ , 중반  $58.5 \pm 11.4^\circ$ , 후반  $57.1 \pm 3.63^\circ$ 로 남자 선수 보다 큰 차이로 감소하였다. 무릎 관절 ROM은 초반  $121 \pm 4.83^\circ$ , 중반  $114 \pm 31.1^\circ$ , 후반  $125 \pm 4.22^\circ$ 로 나타났다. 팔꿈치 관절 ROM은 초반  $44.6 \pm 2.74^\circ$ , 중반  $42.2 \pm 13.9^\circ$ , 후반  $48.6 \pm 1.55^\circ$ 로 변화하였다.

GPS 센서를 통하여 측정한 스프린트 코스 특성에 따른 구간 별 평균 속도 결과는 (Table 3)에 제시하였다. 평지 구간에서 남자 선수의 평균 속도는  $5.82$  m/s를 보였다. 첫 번째 오르막 구간의 평균 속도는  $3.65$  m/s, 내리막 구간은  $7.34$  m/s이다. 두 번째 오르막 구간의 평균 속도는  $3.33$  m/s, 내리막 구간은  $7.18$  m/s이다. 세 번째 오르막 구간의 평균 속도는  $4.33$  m/s, 내리막 구간은  $10.69$  m/s이다. 네 번째 오르막 구간의 평균 속도는  $3.68$  m/s, 내리막 구간은  $10.13$  m/s이다. 다섯 번째 오르막 구간의 평균 속도는  $2.71$  m/s, 내리막 구간은  $8.48$  m/s, 피니쉬 구간은  $5.14$  m/s로 나타났다. 평지 구간에서 여자 선수의

**Table 3.** The results of average velocity according to the characteristic of sprint course (Unit: m/s)

Skiers	All types of terrain		
	Uphill	Flat	Downhill
Male	Start	5.82	
	1	3.65	7.34
	2	3.33	7.18
	3	4.33	10.69
	4	3.68	10.13
	5	2.71	8.48
	Finish	5.14	
Female	Start	3.94	
	1	2.63	7.09
	2	3.03	7.59
	3	4.46	8.13
	4	3.54	8.11
	5	2.73	6.98
	Finish	6.51	

평균 속도는  $3.94$  m/s를 보였다. 첫 번째 오르막 구간의 평균 속도는  $2.63$  m/s, 내리막 구간은  $7.09$  m/s이다. 두 번째 오르막 구간의 평균 속도는  $3.03$  m/s, 내리막 구간은  $7.59$  m/s이다. 세 번째 오르막 구간의 평균 속도는  $4.46$  m/s, 내리막 구간은  $8.13$  m/s이다. 네 번째 오르막 구간의 평균 속도는  $3.54$  m/s, 내리막 구간은  $8.11$  m/s이다. 다섯 번째 오르막 구간의 평균 속도는  $2.73$  m/s, 내리막 구간은  $6.98$  m/s, 피니쉬 구간은  $6.51$  m/s로 나타났다.

GPS로 측정된 평면상 위치를 기반으로 GE와 비교한 범위

**Table 4.** Planar displacements calculated through GE and GPS at each point from starting point (Unit: m)

Skiers	Location	GE east/west	GPS east/west	GE north/south	GPS north/south
Male	Point 1	-163.7	-162.8	-196.7	-194.6
	Point 2	-132.4	-133.2	-597.6	-599.2
	Point 3	-40.94	-41.94	-131.8	-132.8
Female	Point 1	-163.7	-160.3	-196.7	-194.5
	Point 2	-132.4	-135.6	-597.6	-596.1
	Point 3	-40.94	-41.93	-131.8	-132.8

GE: Google Earth. While east and north are presented in positive values, west and south are presented in negative values

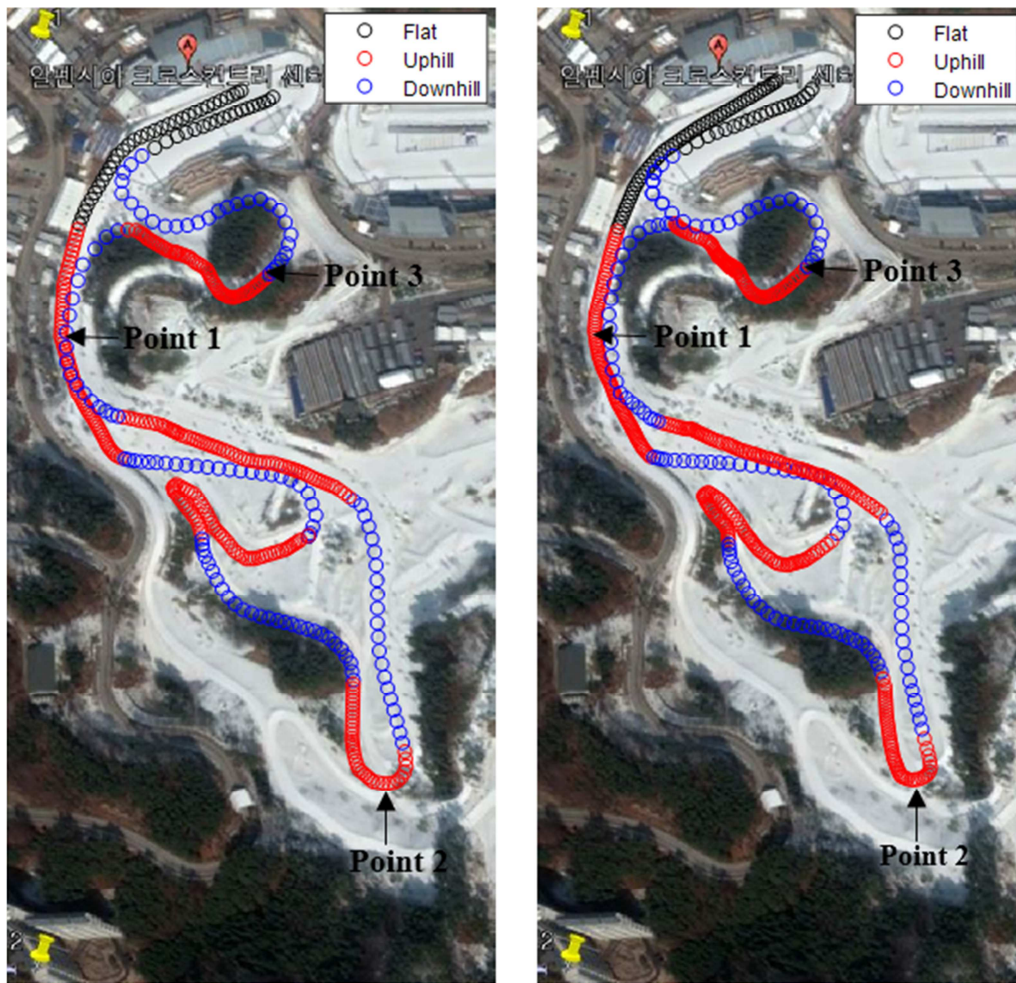


Figure 2. Visualizations between time-trial locations and flat, uphill and downhill on the sprint course (left: male, right: female)

는 (Table 4)에 제시하였다. 남자 선수의 지점 1에서 GE 변위는 서쪽 163.7 m, 남쪽 196.7 m로 GPS의 서쪽 162.8 m, 남쪽 194.6 m와 큰 차이가 나타나지 않았다. 지점 2의 GE 변위는 서쪽 132.4 m, 남쪽 597.6 m로 GPS의 서쪽 133.2 m, 남쪽 599.2 m와 유사한 결과로 나타났다. 지점 3의 GE 변위도 서쪽 40.94 m, 남쪽 131.8 m로 GPS의 서쪽 41.94 m, 남쪽 132.8 m와 유사한 결과로 나타났다. 여자 선수의 지점 1에서 GE 변위는 서쪽 163.7 m, 남쪽 196.7 m로 GPS의 서쪽 160.3 m, 남쪽 194.5 m와 큰 차이가 나타나지 않았다. 지점 2의 GE 변위는 서쪽 132.4 m, 남쪽 597.6 m로 GPS의 서쪽 135.6 m, 남쪽 596.1 m와 유사한 결과로 나타났다. 지점 3의 GE 변위도 서쪽 40.94 m, 남쪽 131.8 m로 GPS의 서쪽 41.93 m, 남쪽 132.8 m와 유사한 결과로 나타나 남녀 선수 모두 3 m 이내의 오차범위를 보였다.

## DISCUSSION

본 연구는 다양한 웨어러블 센서를 활용하여 크로스컨트리 스키 스프린트 코스 2.5 km 구간을 정량적으로 분석하여 유용한 자료를 제공할 수 있는지 확인하는데 있다. 더블 폴링 기술의 특성을 분석하기 위해 남·녀 선수 65회 동작에 대한 더블 폴링 시간, 거리, 심박수 및 주요 관절의 가동범위를 제시하였다. 또한 GPS 센서를 통하여 선수의 전 구간 위치를 저장하여 완주 후 스프린트 코스의 위성사진에 시간 별 위치와 평지, 오르막, 내리막 코스를 구분한 시각화 자료를 제공함으로써 해당 선수의 경기력을 평가하는데 유용하게 활용할 수 있을 것이다 (Figure 2).

여러 웨어러블 측정 장비를 활용하여 크로스컨트리 스키 전 구간의 정보를 수집을 목적으로 하는 본 연구의 특성상 더블 폴링의 운동강도는 최대 수준으로 요구하였으며, 남자 선수

의 경우 초반  $1.15 \pm 0.05$  sec, 중반  $1.07 \pm 0.26$  sec, 후반  $0.82 \pm 0.10$  sec로 코스 후반부로 갈수록 빠른 속도로 질주하기 위해 더블 폴링 시간은 단축하는 반면에 더블 폴링 길이는 초반  $3.86 \pm 0.11$  m, 중반  $4.56 \pm 0.27$  m, 후반  $5.86 \pm 0.34$  m로 증가하였다. 여자 선수도 남자 선수와 유사한 더블 폴링 기술을 구사하였으나 심박수는 감소하는 경향을 보여 남자 선수의 후반부 운동강도가 더 높았음을 알 수 있었다. 본 연구에서는 최대하수준으로 측정하였기 때문에 정확한 비교는 할 수 없지만 경기력이 우수한 선수의 경우 주법과 기술에 따라 일정한 심박수와 속도를 유지하는 것으로 보고하고 있기 때문에 훈련 중 심박수에 대한 모니터링과 평가는 지속해야 할 필요가 있다 (Bolger, Kocbach, Hegge, & Sandbakk, 2015). 또한 경기력이 우수한 선수들의 더블 폴링 평균 시간은  $0.93 \pm 0.09$  sec로 보고되고 있어 본 연구의 참여한 연구대상자의 더블 폴링 시간에 비하여 짧았다. 우수 선수들의 평지 구간에서 평균 속도는  $8.05$  m/s로 본 연구의 남자 선수  $5.48 \pm 0.48$  m/s, 여자 선수  $5.23 \pm 1.82$  m/s에 비하여 크게 높은 평균 속도를 보이고 있어 추후 연구에서는 운동강도를 최대한 높여서 분석해 볼 필요가 있다 (Lindinger et al., 2009).

남·녀 선수의 더블 폴링 기술의 시간 및 거리와 심박수의 결과는 하지 관절의 가동범위 변화에 큰 영향을 미쳤으며, 남자 선수의 경우 고관절 ROM은 초반  $69.6 \pm 6.63^\circ$ , 중반  $64.7 \pm 8.91^\circ$ , 후반  $63.9 \pm 2.99^\circ$ 로 점차 감소하면서 큰 변화가 없었으나 여자 선수의 경우 초반  $66.7 \pm 4.49^\circ$ , 중반  $58.5 \pm 11.4^\circ$ 로 남자 선수 보다 크게 감소하였다. 이는 급격한 체력 저하와 상지의 파워가 감소로 인하여 고관절의 굴곡에만 의존하는 것으로 판단된다 (Choi & Ryu, 2012; Nilsson et al., 2004). 또한 무릎 관절 ROM의 경우 남자 선수는 초반  $74.9 \pm 5.62^\circ$ , 중반  $102 \pm 12.4^\circ$ , 후반  $91.4 \pm 2.69^\circ$ 로 코스 전·후반 구간이 중반보다 가동범위가 감소하였지만 여자 선수의 경우 이와 반대로 코스 전·후반 구간이 중반보다 가동범위가 증가하였다. 사이클 특징이 우수한 국외 선수들의 경우 무릎 관절 가동범위가 작은 것으로 보고되고 있기 때문에 국내 선수들도 마찬가지로 상체 훈련을 통한 근력 향상으로 빠른 속도의 더블 폴링 기술을 수행하는 것이 중요하다고 사료된다 (Nilsson et al., 2004; Zory et al., 2009).

GPS 센서로 산출한 평균 속도는 평지에서 남자 선수가  $5.82$  m/s로 여자 선수  $3.94$  m/s 보다 다소 높았다. 이후 첫 번째 오르막에서는 남자 선수의 평균 속도가  $3.65$  m/s로 여자 선수의  $2.63$  m/s 보다 다소 높았으나 이후 언덕에서는 큰 차이가 나타나지 않았다. 또한 세 번째 내리막 이후 남자 선수의 평균 속도가 여자 선수에 비하여 높은 결과로 나타나 여자 선수의 경우 내리막에서의 기술에 대한 향상이 필요할 것으로 보인다. 다운 힐 기술에는 snow plowing, skidding, step turning 등 3가지가 있으며 이들 중 step turning의 빠른 전이 기술 전략을 향상시킴으로써 높은 하강 속도를 유지하는데 효과적이라는

선행 연구들이 진행되어 왔다 (Sandbakk, Sandbakk, Supej, & Holmberg, 2014). 이와 같이 스프린트 코스 전 구간의 위치와 코스 상황을 설명할 수 있는 자료는 (Figure 2)에 제시하였으며, 속도가 높을수록 원의 간격이 넓고 평지, 오르막, 내리막 구간은 색으로 구분할 수 있도록 작성하였다. GPS 센서를 활용하여 위, 경도 정보를 위치좌표로 변환하여 출발점을 기준으로 지점 1, 2, 3의 변위를 산출하였는데, GE 남녀 선수 모두 3 m 이내의 오차범위를 보이고 있기 때문에 실제 스프린트 코스에서 이 정보를 활용하기에 문제가 없을 것으로 판단된다 (Wieczorek, Guo, & Hijmans, 2004). 하지만 GPS 센서를 통하여 획득한 고도 정보는 평면상의 위치보다 오차범위가 크기 때문에 이를 보완하기 위하여 대기압 센서를 활용하여 고도를 산출한 바 있다 (Moon et al., 2018). 따라서 본 연구를 수행한 장소와 같이 대회가 진행되는 코스에서는 사전에 고도가 정해져 있기 때문에 (Figure 2) 작성에 큰 문제가 되지 않으나 고도가 정해지지 않은 코스에서 훈련을 할 경우 대기압 센서를 활용하여 보다 정확한 코스의 특성을 파악할 필요가 있다.

## CONCLUSION

본 연구는 다양한 웨어러블 센서(IMU, GPS, 심박수)를 활용하여 크로스컨트리 스프린트 코스 2.5 km 구간을 정략적으로 분석하여 유용한 자료를 제공할 수 있는지 확인하기 위하여 수행하였다. 이를 실현하기 위해 국가대표급 크로스컨트리 스키 남·녀 선수 1명을 대상으로 상용화된 웨어러블 센서와 자체 개발한 센서를 활용하였으며, 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 구간 별로 두 선수의 더블 폴링 시간이 단축하여 코스 후반부로 갈수록 빠른 속도로 질주하였고 더블 폴링 길이는 점차 증가하는 등 유사한 결과를 보였으나 여자 선수의 경우 심박수는 감소하는 경향을 보여 남자 선수의 운동강도가 더 높았음을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제시한 더블 폴링 기술의 운동학적 정보와 심박수의 관계는 트레이닝 효과 검증 및 방향 설정에 활용할 수 있을 것이다.

둘째, 고관절 ROM의 경우 구간 별로 점차 감소하는 경향을 보였으나 여자 선수의 경우 남자 선수보다 감소하는 변화 폭이 컸으며 이는 급격한 체력 저하와 상지 파워의 감소로 인하여 고관절의 굴곡에만 의존하는 것으로 판단된다. 또한 무릎 관절 ROM의 결과 코스 전·후반 구간이 중반보다 가동범위가 감소하였던 남자 선수의 경우 우수한 선수들의 선행 연구와 유사한 경향을 보여 더블 폴링 기술의 특성이 자세히 반영되었다.

셋째, 출발 후 남자 선수의 평균 속도는 여자 선수 보다 다소 높았다. 첫 번째 오르막 진입 시 남자 선수의 평균 속도가 여자 선수보다 높았으며 이후 언덕에서는 큰 차이가 없었으나

내리막 구간에서 남자 선수의 평균 속도가 여자 선수에 비하여 높은 결과로 나타났다. 따라서 내리막에서의 빠른 전이 기술 전략은 선수들의 경기력에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

넷째, GPS 센서를 활용하여 3개 지점에 대한 변위 차이를 분석한 결과 남녀 선수 모두 3 m 이내의 오차범위를 보이고 있기 때문에 실제 스프린트 코스에서 이 정보를 활용하기에 문제가 없었다. 하지만 사전에 고도가 정해지지 않은 코스에서 훈련할 경우 대기압 센서를 활용하여 보다 정확한 코스의 특성을 파악할 필요가 있다.

다섯째, 스프린트 코스 2.5 km 전 구간 선수들의 위치와 코스 상황을 실시간으로 분석한 국내 첫 사례 연구로 다양한 웨어러블 센서를 활용하여 현장에서 정량적인 평가 통한 경기력 향상을 위한 피드백 제공이 가능하였음을 확인하였다. 하지만 본 연구의 특성상 많은 연구대상자의 정보를 수집하여 일반화한 정보를 제공하지 못하였다. 또한 운동강도를 최대 수준으로 요구하였기 때문에 추후 연구에서는 본 연구에서 수행하지 못한 내용을 보완하여 크로스컨트리스키 경기력 향상을 위한 양질의 정보가 제공되길 기대한다.

## ACKNOWLEDGEMENT

이 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014M3C1B1034027).

## REFERENCES

- Bilodeau, B. E. R. N. A. R. D., Boulay, M. R. & Roy, B. (1992). Propulsive and gliding phases in four cross-country skiing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(8), 917-925.
- Bilodeau, B., Rundell, K. W., Roy, B. & Boulay, M. R. (1996). Kinematics of cross-country ski racing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(1), 128-138.
- Bolger, C. M., Kocbach, J., Hegge, A. M. & Sandbakk, Ø. (2015). Speed and heart-rate profiles in skating and classical cross-country-skiing competitions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(7), 873-880.
- Caruso, M., Knafitz, M. & Cereatti, A. (2018). An innovative MIMU-based procedure for the estimate of the knee flexion-extension angle. Proceedings of the GNB2018. Milan, Italy.
- Choi, S. B. & Ryu, J. K. (2011). A kinematic analysis of the national elite cross-country skiers' double poling technique. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(3), 259-268.
- Choi, S. B. & Ryu, J. K. (2012). The kinematic analysis about double poling technique of national cross-country skiers at start & finish phases. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 22(1), 95-104.
- Hoffman, M. D., Clifford, P. S. & Bender, F. (1995). Effect of velocity on cycle rate and length for three roller skiing techniques. *Journal of Applied Biomechanics*, 11(3), 257-266.
- Holmberg, H. C., Lindinger, S., Stöggl, T., Eitzlmair, E. & Müller, E. (2005). Biomechanical analysis of double poling in elite cross-country skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(5), 807-818.
- Kim, K. S. & Yang, D. Y. (1997). The kinematic analysis of V1 skating technique of cross-country ski in uphill slope. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 7(1), 35-52.
- Lindinger, S. J., Stöggl, T., Müller, E. & Holmberg, H. C. (2009). Control of speed during the double poling technique performed by elite cross-country skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 210-220.
- Lindinger, S. J. & Holmberg, H. C. (2011). How do elite cross-country skiers adapt to different double poling frequencies at low to high speeds? *European Journal of Applied Physiology*, 111(6), 1103-1119.
- Millet, G. Y., Hoffman, M. D., Candau, R. B. & Clifford, P. S. (1998). Poling forces during roller skiing: effects of grade. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(11), 1637-1644.
- Mikkola, J., Laaksonen, M., Holmberg, H. C., Vesterinen, V. & Nummela, A. (2010). Determinants of a simulated cross-country skiing sprint competition using V2 skating technique on roller skis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(4), 920-928.
- Moon, J., Kim, J., Kim, J., Kim, J., Kim, C. & Kim, H. (2018). Roller skiing biomechanical information analysis using GPS, IMU, and atmospheric pressure sensors: a case study. *Sports Engineering*, 21(4), 341-346.
- Nilsson, J. E., Holmberg, H. C., Tveit, P. & Hallen, J. (2004). Effects of 20-s and 180-s double poling interval training in cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology*, 92(1-2), 121-127.
- Roetenberg, D., Luinge, H. & Slycke, P. (2009). Xsens MVN: full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors. *Xsens Motion Technologies BV, Tech, Rep*, 1.
- Roetenberg, D., Luinge, H. & Slycke, P. (2013). Xsens MVN: Full 6DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors. *Xsens-yhtiön julkaisu*, 3.
- Sandbakk, Ø., Sandbakk, S. B., Supej, M. & Holmberg, H. C. (2014). The velocity and energy profiles of elite cross-country skiers executing downhill turns with different radii.

- International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(1), 41-47.
- Sandbakk, Ø. & Holmberg, H. C. (2014). A reappraisal of success factors for Olympic cross-country skiing. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(1), 117-121.
- Stöggl, T., Lindinger, S. & Müller, E. (2007). Analysis of a simulated sprint competition in classical cross country skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17(4), 362-372.
- Stöggl, T., Möller, E. & Lindinger, S. (2008). Biomechanical comparison of the double-push technique and the conventional skate skiing technique in cross-country sprint skiing. *Journal of Sports Sciences*, 26(11), 1225-1233.
- Vesterinen, V., Mikkola, J., Nummela, A., Hynynen, E. & Häkkinen, K. (2009). Fatigue in a simulated cross-country skiing sprint competition. *Journal of Sports Sciences*, 27(10), 1069-1077.
- Wieczorek, J., Guo, Q. & Hijmans, R. (2004). The point-radius method for georeferencing locality descriptions and calculating associated uncertainty. *International Journal of Geographical Information Science*, 18(8), 745-767.
- Zory, R., Millet, G., Schena, F., Bortolan, L. & Rouard, A. (2006). Fatigue induced by a cross-country skiing KO sprint. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(12), 21-44.
- Zory, R., Vuillerme, N., Pellegrini, B., Schena, F. & Rouard, A. (2009). Effect of fatigue on double pole kinematics in sprint cross-country skiing. *Human Movement Science*, 28(1), 85-98.