

# 국가대표 크로스컨트리 스키 선수들의 Start & Finish 구간에 대한 Double poling 기술의 운동학적 분석

최슬비<sup>1</sup> · 류재균<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 대학원 체육학과 · <sup>2</sup>경희대학교 체육대학 스포츠지도학과

## The Kinematic Analysis about Double Poling Technique of National Cross-Country Skiers at Start & Finish Phases

Seul-Bi Choi<sup>1</sup> · Jae-Kyun Ryu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Education, Graduate School of Kyung Hee University, Kyungki-do, Korea

<sup>2</sup>Department of Coaching, College of Physical Education, Kyung Hee University, Kyungki-do, Korea

Received 31 January 2012; Received in revised form 10 February 2012; Accepted 20 March 2012

### ABSTRACT

The purpose of this study targeted to national cross-country skiers representatives was to implement hypothetical experiment on their patterns of the movements and analysis on kinematic variables occurred while double poling was conducted between starting and finishing phase of 56 meters. Furthermore, it aimed to provide a set of quantitative data to illustrate how to improve one's skill and performance of sprint. In our experiments, we conducted 3-dimension analysis of cycle characteristics, joint angle(hip, knee and elbow), and pole angle. The results showed that at the starting phase, the players did not show a significant difference in attributes of time and distance. In heat 1 where elbow angle and polling starts, the pole angle was noticeably high in heat 1. At the finishing phase, there was a considerable distinction with a high frequency in performing a short polling time and high speed in heat 3. The players showed large extension between the flexion and of the hip angle which indicates high contribution given from the movement of lower body(hip, knee).

**Keywords :** Cross-Country Ski, Double Poling, Ski, Sprint, Roller Ski

## I. 서론

크로스컨트리 스키는 빠른 속도의 주행을 위해 코스지형에 따라 다양한 기술을 요구하는 스포츠 경기이다(Bilodeau, Boulay & Roy, 1992). 따라서 선수들은 경기에서 외부저항과 지형변화에 따라 끊임없이 기술과 속도를 변형 할 수 있는 능력이 요구된다(Andersson et al., 2010; Smith, 1992).

크로스컨트리 스키경기는 장거리와 단거리로 구분되며 장거리는 5-50 km이고, 단거리는 2 km이내의 거리로 규정하고 있다(Choi & Ryu, 2011; Zory, Millet, Schena, Bortolan & Rouard, 2006). 장거리 경기는 여자가 5-30 km, 남자는 10-50 km가 공식 거리이고, 단거리 경기는 여자가 800-1400 m, 남자가 1000-1800 m이다(Vesterinen, Mikkola, Nummela, Hynynen & Häkkinen, 2009).

스프린트 경기의 시작은 2001년 Lathi 세계선수권에서 스케이트 종목의 스프린트 경기가 처음 도입되어 다음 해 2002년 Salt-Lake City 동계올림픽 정식 종목으로 채택되었다. 그 후, 2005년 Oberstdorf 세계선수권에서 클래식 종목의 스프린트 경기가 처음 도입되기 시작하였다(Stöggli, Lindinger, & Müller, 2006).

본 논문은 최슬비(2012)의 석사학위 중 일부를 발췌하였음.  
Corresponding Author : Jae-Kyun Ryu  
Department of Coaching, College of Physical Education, Kyung Hee University,  
1 Seochun-dong, Kihung-gu Yongin-city Kyungki-do, Korea  
Tel : +82-31-201-3765 / Fax : +82-31-204-8117  
E-mail : ryu69kor@khu.ac.kr  
2011년도 경희대학교 창조21사업 지원에 의한 결과임(KHU-20111209).

크로스컨트리 스키는 기술유형에 따라 클래식(Classic)과 스케이트(Skate) 두 종목으로 나누어지고, 지형의 특징에 따라 사용하는 대표적인 3가지 주행기술과 공통으로 사용하는 활강기술이 있다(Nilsson, Holmberg, Tveit, & Hallén, 2004; Stöggel, Müller, & Lindinger, 2008). 그중에서 더블폴링 기술은 평지에서 사용하는 대표적인 기술이며, 클래식과 스케이트 종목의 스프린트 경기와 단체출발(Mass start)하는 모든 경기에서 스타트 기술로 사용하고 있다. 뿐만 아니라 클래식 경기에서 100 m 이상의 피니쉬 구간에서 마지막 최대 속도를 내기 위한 주요기술로 사용되고 있다(Choi & Ryu, 2011).

클래식 경기의 코스는 두 트랙으로 구성되어있고 중앙에서 측면으로 폭이 17-30 cm, 한 트랙의 깊이가 2-5 cm인 평행한 11차 주로(parallel tracks) 안에서 스키주행이 이루어진다. 주로 안에서 사용하는 더블폴링은 양발을 11자로 유지한 상태로 양팔은 평행하게 진행방향으로 들어 올린 후, 폴 끝으로 설면을 찍어 뒤로 미는 동작이다. 이때 고관절과 어깨 그리고 주관절이 순차적으로 크게 굴곡·신전하여 운동방향으로 추진한다(Smith, 2002).

50km의 장거리 경기에서는 더블폴링이 경기력에 큰 영향을 미치지 못 했지만(Bilodeau, Rundell, Roy & Boulay, 1996), 스프린트 경기에서는 단시간 최대속도에 도달하기 위한 폭발적인 파워능력이 요구되면서 폴이 설면에 접촉해 있는 시간이 감소하였고, 스윙시간과 사이클 거리가 증가하는 기술변화가 나타나게 되었다(Stöggel, Müller, Ainegren, & Holmberg, 2010).

선행연구자들은 스프린트 경기에서 가장 빠른 속도로 동작이 이루어지는 스타트와 피니쉬 구간의 더블폴링 기술을 연구하는데 초점을 맞추게 되었고, 3회차의 스프린트 예선경기(heat 1, heat 2, heat 3)를 가상으로 통제하여 실외 또는 실내에서 실험하고 있다. 실내실험은 실험실 안에서 FIS(Federation International de Ski)경기의 스프린트 코스와 경기 기록의 정보를 참고하여 회전 속도와 경사도를 조절한 대형 트레이드밀 위에서 롤러스키를 이용하여 실험을 하고 있으며(Holmberg, Lindinger, Stöggel, Eitzlmair, & Mülleret, 2005; Mikkola, Laaksonen, Holmberg, Vesterinen, & Nummela, 2010; Stöggel, Lindinger, & Müller, 2007), 실외실험은 실제 경기장에서 스키를 이용하거나(Zory, Vuillerme, Pellegrini, Schena & Rouard, 2009; Zory, Molinari, Knaflitz, Schena & Rouard, 2010) 도로 또는 트랙 위에서 롤러스키를 사용하고 있다(Choi & Ryu, 2011; Vesterinen et al., 2009).

스프린트 경기를 가상으로 실험한 선행연구들을 살펴보면, Stöggel et al.(2007)은 12명의 오스트리아 엘리트 크로스컨트리 스키 선수들을 대상으로 트레이드밀 위에서 롤러스키를 착용하여 스프린트를 가상 실험하였다. 가상 실험은 2001년부터 2004년까지 개최된 국제대회의 경기코스를 시뮬레이션하여 트레이드밀

이 자동으로 움직이도록 설정하였고, 통제 상황으로 경사도, 속도, 시간, 거리, 경기 결과 등을 설정하였다. 이러한 가상 실험에서 선수들의 더블폴링 속도와 스프린트 기록과의 관계를 비교하였고, 그 결과 1차 주행 속도가 높았고, 주행속도가 빠른 선수들이 폴링빈도가 동일하였으며, 긴 사이클 거리를 나타낸다고 보고하였다. 또한 스프린트 경기력을 높이기 위해서는 최대 더블폴링 속도와 근지구력 향상이 중요하다고 강조하였다.

Zory et al.(2006)의 연구에서는 동계올림픽이 개최된 이탈리아 Pragalato 경기장의 스프린트 코스에서 이탈리아 남자 선수들을 대상으로 가상 스프린트 경기 실험과 경기 전·후 상지 파워 테스트를 실시하였다. 그 결과 선수들의 스프린트 1차와 3차 사이의 평균속도와 폴링시간은 유의한 차이가 없었으며, 경기 전·후 파워테스트에서 슬관절의 굴곡과 신전 각이 작아지고, 폴링 힘이 감소되었다고 보고하였다.

Zory et al.(2010)의 연구에서도 이탈리아 남자 선수들을 대상으로 스프린트 1차와 3차를 비교한 결과 사이클 시간(1회차  $0.87 \pm 0.06$  sec, 3회차  $0.87 \pm 0.10$  sec)과 폴링비율(1차  $40.5 \pm 6.3\%$ , 3차  $42.3 \pm 6.8\%$ )이 유의한 차이가 없는 것으로 보고하였다.

위에서 기술한 국외선행연구들의 공통적인 결과는 스프린트 회차 사이에 속도변화 차이가 적을수록 경기력이 우수하다고 평가하였다.

국내에서는 Choi와 Ryu(2011)가 국가대표 크로스컨트리 스키 남자선수들을 대상으로 30 m 최대 더블폴링 속도에서 운동학적 변인들을 분석함으로써 국내선수들의 기술 및 동작패턴에 대한 정보를 제공하였다. 그러나 스프린트 경기를 가상으로 실험한 연구는 국내에서 이루어지지 않았고, 현장지도자들은 스프린트 경기력과 관련하여 훈련에 적용하거나 활용할 수 있는 자료가 부족한 실정이다.

국외 선행연구자들은 현장지도자 그리고 엘리트 선수들과 경기력 향상을 위한 공통의 목적으로 연계를 이루어 실험 및 분석을 하고 있으며, 훈련과 경기에 직접적으로 적용하고 있다. 최근 세계 월드컵과 FIS 등의 국제경기에서 스프린트 선수가 전문화되면서 경기수준이 높아지고 있는 추세도 이러한 결과물이라고 볼 수 있다.

2018년 평창 동계올림픽 유치를 확정하였지만 세계 엘리트 선수들과 동등한 수준으로 경쟁하기 위해서는 국내 선수들의 경기력을 향상 시킬 수 있는 기술개선과 훈련의 질을 높이기 위한 정량적인 자료 확보가 절대적으로 필요한 시점이다. 따라서 본 연구의 목적은 스프린트 경기 시 스타트와 피니쉬 구간에서 수행되어지는 더블폴링 기술의 운동학적 변인들을 분석하여 국내 선수들의 동작패턴을 조사하고, 스프린트 경기력 향상을 위한 정량적 자료를 제공하는데 있다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상자

이 연구는 2011/2012 크로스컨트리 스키 국가대표 남자선수 4명을 대상으로 선정하였다. 참가한 선수들의 신체적 특성 및 폴 길이는 <Table 1>과 같다.

Table 1. Biographical information of participants

subjects	age (yrs)	height (cm)	weight (kg)	career (yrs)	pole (cm)
A	19	178	68	12	152.5
B	21	169	64	10	145.0
C	20	170	63	15	142.5
D	18	181	63	10	152.5
Mean	19.5	174.5	64.5	11.8	148.1
±SD	±1.3	±5.9	±2.4	±2.4	±5.2

### 2. 실험 장비 및 절차

본 실험은 알펜시아 바이에슬론 경기장(Alpensia resort)의 약 1000 m 스프린트 코스에서 실행하였으며, 더블폴링 기술동작을 촬영하기 위하여 JVC 디지털 비디오카메라 5대와 SONY 디지털 비디오카메라 7대를 사용하였다. 카메라 위치는 56 m의 직선로에서 스타트와 피니쉬 구간을 정하였고, 촬영 범위가 겹치도록 배울기법을 적용하여 진행 방향의 좌·우 각각 4대와 전·후 2대씩 설치하였다. 임의로 정한 스타트 지점부터 피니쉬까지 가로 1 m, 세로 1 m, 높이 2 m인 통제점 틀을 10-12 m 간격으로 총 5대의 틀을 설치하였고, 촬영 후 제거하였다. 각 카메라의 필름속도는 60 fields/sec, 노출시간은 1/250 sec로 설정하였다. 실험 코스 및 카메라 설치는 <Figure 1>과 <Figure 2>와 같다.

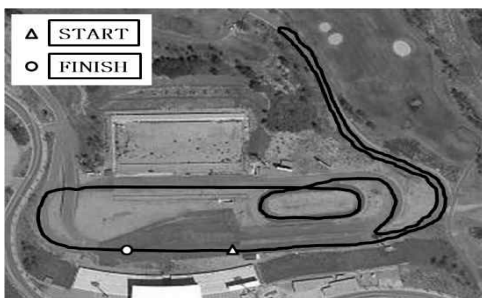


Figure 1. 1000 m sprint course

실험에 앞서 참가선수들은 모두 동일 모델의 클래식 롤러스키를 착용하도록 하였고, 폴은 카본 재질의 경기용 폴을 사용하도록 하였으며, 길이와 모델은 선수 개인이 선호하는 폴을 자유롭게 사용하도록 제한하지 않았다. 분석 시 수치화 과정의

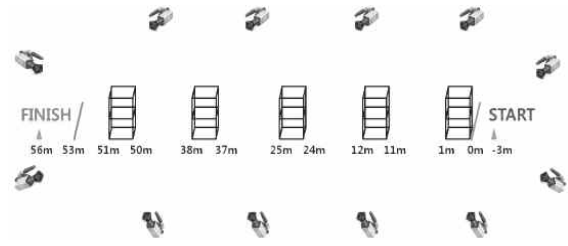


Figure 2. Camera & control object setting

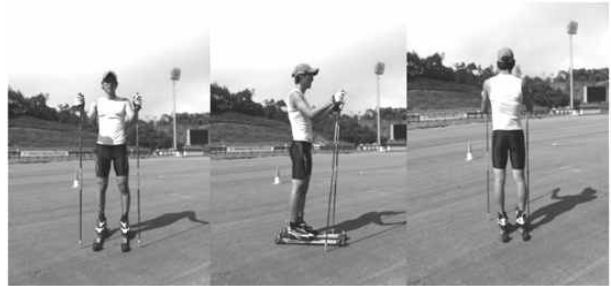


Figure 3. Players wearing roller-ski

오류를 최소화하기 위하여 참가선수들 모두 타이즈 복장을 착용하도록 하였다. 참가자들의 장비착용 모습은 <Figure 3>과 같다.

실험 전에 참가선수들에게 실험내용을 숙지하도록 안내하였고, 실제 스프린트 경기를 재연하기 위하여 선수들 모두 최대 경기력을 발휘하도록 요구하였다. 약 1000 m 거리의 코스에서 3번의 가상 스프린트경기를 수행하기 위해 참가선수들은 롤러스키로 25 min 준비운동을 한 후, 한명씩 시간 간격을 두고 출발하였다. 3번의 회차 사이에 12 min 휴식을 취하게 하였고, 선행연구들의 실험방법을 참고하여 동적인 휴식(active recovery) 7 min과 정적인 휴식(passive recovery) 5 min으로 가상 경기를 통제하였다(Vesterinen et al., 2009; Zory et al., 2009; Zory et al., 2006). 스프린트 가상경기는 다음 <Figure 4>와 같이 진행하였다.



Figure 4. Sprint simulation.

### 3. 자료 처리

촬영된 영상에서 각 관절점의 3차원 위치 좌표값은 Kwon3D version 3.1 프로그램을 사용하였다. 공간 좌표값을 산출하기 위해 Abdel-Aziz & Karara(1971)가 고안한 DLT(direct linear transformation) 방법을 사용하였다. 3차원 좌표에 포함되는 디지털 타이핑 오차와 기자재 자체에서 생기는 노이즈는 Butterworth 4차 저역 통과 필터(low-pass filter)방법으로 스무딩(smoothing)하였고, 이때 차단 주파수는 7.4 Hz로 설정하였다.

분석범위는 56 m의 촬영범위 가운데 53 m 내에서 마지막 사이클이 완벽하게 끝날 때까지로 정하였다. 12대의 카메라에서 촬영된 영상을 한 공간좌표로 산출하기 위하여 고정된 두 대 이상의 카메라 영상이 서로 겹치는 부분을 anchor point로 이용하였고, 6대의 카메라를 한 그룹으로 분리하여 디지털화하였다. 3차원 위치 좌표값을 산출하기위해 좌-우 X축과 진행 방향 Y축 그리고 수직방향을 Z축으로 정의하였다.

4. 통계처리

수집된 자료는 SPSS(version 18.0) program을 이용하여 모든 변인들의 기초통계량을 산출하였고, 스타트와 피니쉬 구간에서 산출된 운동학적 변인들의 스프린트 회차 간 평균 차이를 비교하기 위하여 반복이 있는 일원분산분석(one-way repeated measurement ANOVA) 통계기법을 사용하였다. 유의한 차이가 있을 경우 사후검증 방법으로 Bonferroni의 다중비교를 실시하였으며, 모든 통계적 유의수준은  $p < .05$ 로 설정하였다.

5. 국면 및 이벤트 설정

1) Cycle 정의

한 번의 사이클(cycle)은 폴링구간(poling phase)과 스윙구간(swing phase)으로 나누었다. 폴링구간은 폴 끝이 지면을 찍고, 폴을 뒤로 밀어서 폴 끝이 지면에서 떨어지는 시점까지로 정의하였고, 스윙구간은 폴 끝이 지면에서 떨어지고 다음 폴을 찍기 위해 운동방향으로 돌아온 폴 끝이 다시 지면을 찍는 시점까지로 정의하였다. 자세한 구간 및 시점은 <Figure 5>와 같다.

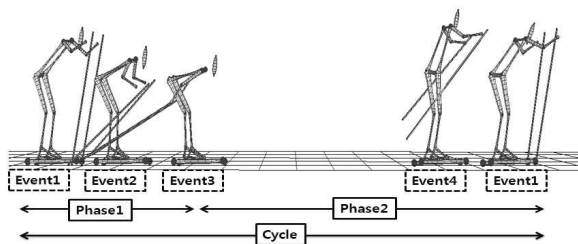


Figure 5. Event & phase

2) Event 설정

- Event1 : 폴링이 시작되는 시점
- Event2 : 폴링구간에서 각 관절의 최소각
- Event3 : 폴링이 끝나는 시점
- Event4 : 스윙구간에서 각 관절의 최대각

3) Phase 설정

- Phase1 (polling phase) : Event 1-Event 3
- Phase2 (swing phase) : Event 3-Event 1

6. 관절각 정의

관절각 정의는 <Figure 6>과 같다.

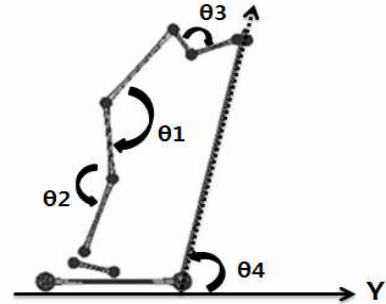


Figure 6. Joint angle definition

- 고관절각( $\theta_1$ ) : 상체와 대퇴가 이루는 상대각
- 슬관절각( $\theta_2$ ) : 대퇴와 하퇴가 이루는 상대각
- 주관절각( $\theta_3$ ) : 상완과 전완이 이루는 상대각
- 폴각( $\theta_4$ ) : 폴과 Y축이 이루는 절대각

III. 결 과

1. 사이클 특징

스타트 구간과 피니쉬 구간에서 더블폴링 기술의 사이클 특징은 속도, 시간, 거리, 빈도요인으로 동작의 패턴과 3회차 사이에 평균차이를 비교하였고, 다음 <Table 2>와 같다. 스타트 구간에서 사이클 속도는 3회차 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 사이클 시간은 1차( $0.84 \pm 0.06$  sec)와 2차, 3차( $0.79 \pm 0.06$  sec,  $0.80 \pm 0.05$  sec)가 각각 유의한 차이를 나타냈고( $p < .05$ ), 사이클 거리는 3회차 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 폴링 시간은 1차( $0.27 \pm 0.03$  sec)와 동일한 폴링시간을 보인 2차, 3차( $0.26 \pm 0.02$  sec,  $0.26 \pm 0.02$  sec)가 각각 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ). 스윙비율에서는 3회차 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았고, 폴링빈도는 1차( $1.20 \pm 0.09$  Hz)와 2차, 3차( $1.27 \pm 0.10$  Hz,  $1.25 \pm 0.08$  Hz)가 각각 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ).

피니쉬 구간에서 사이클 속도는 1차, 2차( $7.19 \pm 0.28$  m/sec,  $7.22 \pm 0.33$  m/sec)와 3차( $7.46 \pm 0.25$  m/sec)가 유의한 차이를 나고( $p < .05$ ), 사이클 시간도 1차, 2차( $1.01 \pm 0.07$  sec,  $0.99 \pm 0.07$  sec)와 3차( $0.96 \pm 0.06$  sec)가 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ). 사이클 거

Table 2. Kinematic cycle characteristics of double poling at start & finish

Variables	Start			Finish		
	1 heat	2 heat	3 heat	1 heat	2 heat	3 heat
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
Cycle Velocity(m/sec)	6.95±0.59a	7.09±0.55a	7.09±0.59a	7.19±0.28a	7.22±0.33a	7.46±0.25b
Cycle Time(sec)	0.84±0.06a	0.79±0.06b	0.80±0.05b	1.01±0.07a	0.99±0.07a	0.96±0.06b
Cycle Length(m)	5.88±0.58a	5.61±0.57a	5.66±0.58a	7.22±0.51a	7.16±0.45a	7.13±0.51a
Poling Time(sec)	0.27±0.03a	0.26±0.02b	0.26±0.02b	0.27±0.02a	0.27±0.06ab	0.26±0.02b
ST(%CT)	67.58±3.80a	67.55±4.27a	67.09±3.47a	72.77±2.25a	72.47±2.13a	72.56±2.38a
Poling Frequency(Hz)	1.20±0.09a	1.27±0.10b	1.25±0.08b	1.00±0.07a	1.01±0.07a	1.05±0.07b

The same alphabets as superscripts in the same column are not significantly different from each other( $p<.05$ ).

Table 3. Hip, knee and elbow flexion-extension range of motion during double poling at start & finish.

(unit: deg)

Joint	Variables	Start			Finish		
		1 heat	2 heat	3 heat	1 heat	2 heat	3 heat
		Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
Hip	Flexion	54.50±12.05a	50.58±14.18a	61.41±7.51a	55.60±6.89a	53.92±8.12ab	59.08±9.20ac
	Extension	96.98±11.67a	91.79±17.82a	100.54±10.25a	98.00±12.30a	95.65±8.41ab	99.72±7.47ac
knee	Flexion	11.62±4.73a	11.01±6.33a	14.20±7.87a	7.57±3.80a	6.50±4.47ab	11.27±6.77ac
	Extension	28.35±4.94a	24.68±9.41a	30.38±9.49a	18.46±4.88a	16.98±6.87ab	21.47±5.02ac
elbow	Flexion	15.33±9.71a	20.23±5.27a	15.62±17.63a	15.84±20.91a	11.49±9.38a	12.41±8.40a
	Extension	67.70±20.18a	75.28±6.39a	80.18±17.15a	93.00±19.62a	89.75±10.22a	88.81±15.91a

The same alphabets as superscripts in the same column are not significantly different from each other ( $p<.05$ ).

Flexion; flexion range of motion during poling phase, Extension; extension range of motion during poling phase.

리는 3회차 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 폴링시간은 1차(0.27±0.02 sec)와 3차(0.26±0.02 sec)가 유의한 차이를 나타냈고( $p<.05$ ), 스윙시간 비율은 3회차 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 폴링빈도는 1차(1.00±0.07 Hz)와 3차(1.05±0.07 Hz)가 유의한 차이를 나타냈다( $p<.05$ ).

## 2. 관절각

스타트와 피니쉬 구간에서 더블폴링 동작의 4개의 이벤트 시점(E1, E2, E3, E4)에서 고관절, 슬관절, 주관절, 폴의 각 변화는

<Table 3>과 같으며, 관절의 굴곡과 신전은 <Table 4>와 같다.

### 1) 고관절각

스타트 구간에서 고관절각은 E1과 E4에서 3회차 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다. E2는 1차, 2차(61.03±6.64°, 61.58±9.11°)와 3차(55.64±5.21°)가 각각 유의한 차이를 나타냈다( $p<.05$ ). E3은 1차(61.76±6.62°)와 3차(56.38±5.67°)가 유의한 차이를 나타냈고( $p<.05$ ), 굴곡과 신전은 3회차 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다.

피니쉬 구간에서 고관절각은 E1에서 3회차 사이에 유의한 차

이가 나타나지 않았다. E2는 1차, 2차( $60.36 \pm 3.17^\circ$ ,  $60.51 \pm 4.51^\circ$ )와 3차( $52.80 \pm 5.34^\circ$ )가 각각 유의한 차이를 나타냈고( $p < .05$ ), E3에서도 1차, 2차( $60.41 \pm 3.22^\circ$ ,  $60.66 \pm 4.66^\circ$ )와 3차( $53.00 \pm 5.52^\circ$ )가 각각 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ). E4도 1차, 2차( $158.51 \pm 12.02^\circ$ ,  $156.36 \pm 8.23^\circ$ )와 3차( $152.97 \pm 10.50^\circ$ )가 각각 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ). 굴곡과 신전은 2차( $53.92 \pm 8.12^\circ$ ,  $95.65 \pm 8.41^\circ$ )와 3차( $59.08 \pm 9.20^\circ$ ,  $99.72 \pm 7.47^\circ$ )가 각각 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ).

## 2) 슬관절각

스타트 구간에서 슬관절각은 4개의 이벤트와 굴곡·신전 모두 3회차 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다.

피니쉬 구간에서 슬관절각은 E1에서 3회차 사이에 유의한 차이가 없었다. E2는 2차( $143.14 \pm 4.45^\circ$ )와 3차( $138.56 \pm 6.41^\circ$ )가 유의한 차이를 나타냈고( $p < .05$ ), E3은 1차, 3차( $143.53 \pm 5.94^\circ$ ,  $141.06 \pm 6.91^\circ$ )와 2차( $147.15 \pm 6.69^\circ$ )가 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ). E4는 2차( $164.27 \pm 6.91^\circ$ )와 3차( $160.66 \pm 8.10^\circ$ )가 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ). 굴곡과 신전은 2차( $6.50 \pm 4.47^\circ$ ,  $16.98 \pm 6.87^\circ$ )와 3차( $11.27 \pm 6.77^\circ$ ,  $21.47 \pm 5.02^\circ$ )가 각각 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ).

## 3) 주관절각

스타트 구간에서 주관절각은 E2를 제외한 다른 시점에서는 3회차 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다. E2는 1차( $87.92 \pm 14.95^\circ$ )와 2차( $71.66 \pm 17.35^\circ$ )가 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ). 굴곡·신전은 3회차간 유의한 차이가 나타나지 않았다.

피니쉬 구간에서 주관절각은 4개의 이벤트와 굴곡·신전 모두 3회차 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다.

## 4) 폴각

스타트 구간에서 폴각은 E1에서 1차( $72.64 \pm 4.17^\circ$ )와 2차( $68.39 \pm 5.62^\circ$ )가 유의한 차이를 나타냈고( $p < .05$ ), E2와 E3은 3회차간 유의한 차이가 나타나지 않았다.

피니쉬 구간에서 폴각은 E1에서 1차( $78.41 \pm 2.05^\circ$ )와 2차( $76.35 \pm 3.13^\circ$ )가 유의한 차이를 나타냈고( $p < .05$ ), E2는 1차, 2차( $23.35 \pm 3.00^\circ$ ,  $22.71 \pm 2.45^\circ$ )와 3차( $21.80 \pm 2.33^\circ$ )가 각각 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ). E3도 1차, 2차( $24.91 \pm 2.32^\circ$ ,  $24.78 \pm 1.90^\circ$ )와 3차( $23.53 \pm 1.86^\circ$ )가 각각 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ).

# IV. 논 의

## 1. 사이클 특징

본 실험에서 사이클 특징을 분석하기 위하여 총 3회 가상 스프린트를 실행하였고, 한 번의 사이클을 속도, 시간, 거리, 빈도

요인으로 비교·분석하였다.

Zory et al.(2006)은 엘리트 선수들일수록 회차 사이에 속도 차이가 작고, 일정한 속도패턴을 보여주는 것이 좋은 경기력을 발휘할 수 있다고 하였다. 스타트구간에서 3회차 사이의 속도 요인이 유의한 차이가 없었던 결과는 선수들이 스타트시 일정한 속도패턴을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

스타트구간에서 1차의 사이클 시간이 가장 길었고, 회차가 거듭되면서 스타트에 적용한 선수들이 2차에서 사이클 시간이 감소한 것으로 사료되며, 3차에서도 2차의 사이클 시간을 유지한 것으로 판단된다. 스타트가 가장 늦었던 1차의 문제점을 파악하기 위해 엘리트 선수들의 최대 더블폴링의 특징을 분석한 Holmberg et al.(2005)의 결과와 비교해보면 사이클 시간이 평균  $1.13 \pm 0.09$  sec인 것과 비교해 본 연구 결과가  $0.29$  sec 긴 사이클 시간을 나타내었으며, 스윙시간의 비율이  $73.1 \pm 2.9\%$ 로 본 연구 결과에서 가장 큰 비율을 보인 1차( $67.58 \pm 3.8\%$ )와 비교해 보았을 때 본 연구 결과가 약  $5.5\%$ 정도 작은 스윙비율을 보였다. 이러한 차이는 폴링시간이 길수록 스윙시간 비율이 상대적으로 감소하게 되고, 빠른 폴링동작이 이루어지지 않기 때문이다. 최근 Choi와 Ryu(2011)가 국가대표 선수들을 대상으로  $30$  m의 최대 더블폴링 실험에서 보고한  $67.44 \pm 2.60\%$ 의 스윙비율과 본 실험결과가 유사한 결과를 보이면서 참가선수들이 빠른 더블폴링시에 폴링과 스윙비율이 세계 엘리트 선수들과 차이가 있었으며, 전년도 국가대표 선수들과는 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 참가선수들은 1차 스타트에서 폴링시간을 줄이고 스윙비율을 증가시켜야 할 것으로 판단된다.

스타트구간에서 사이클 거리는 회차간에 유의한 차이가 없었고, 사이클 범위는  $5.88$ - $6.66$  m로 나타났다. Lindinger, Stöggl, Müller와 Holmberg(2009)는 엘리트 선수들이 약  $7.5$  m/sec에서 더블폴링을 수행 할 때 사이클 거리가  $7.33 \pm 4.0$  m로 보고하였던 결과와 비교해 참가선수들이 사이클 거리가 짧은 것을 알 수 있다. Choi와 Ryu(2011)은 사이클 거리와 속도 사이에 높은 상관관계가 있으며 짧은 폴링시간과 긴 스윙거리를 이루는 동작이 높은 속도에 도달할 수 있다고 하였다. 따라서 선수들이 사이클 거리를 증가시키기 위해서는 폴링속도를 빠르게 하고, 폴링시간 단축과 동시에 스윙시간을 증가시켜 긴 사이클 거리로 주행할 수 있도록 해야 한다.

스타트구간에서 빈도요인은 1차의 폴링빈도( $1.20 \pm 0.09$  Hz)가 가장 낮고, 2차의 폴링빈도( $1.27 \pm 0.10$  Hz)는 가장 높은 결과를 보여주어 선수들이 2차의 스타트에서 가장 빠른 폴링동작을 수행한 것을 알 수 있다.

스프린트 경기에서는 각 조에 6명이 경쟁하여 경기기록이 가장 빠른 2명의 선수만 다음 예선에 진출 할 수 있기 때문에 (Stöggl et al., 2007; Vesterinen et al., 2009), 스프린트 경기에서는 1차에서 가장 빠른 속도의 경기운영 능력이 요구된다. 따라

서 참가선수들은 스타트구간에서 더블폴링 속도를 증가시켜 1차의 경기력을 높여야 할 것으로 판단되며, 속도를 증가시키기 위해서는 짧은 폴링시간과 긴 스윙거리 사이에 높은 상관관계(Choi & Ryu, 2011; Zory et al., 2009)를 이용하여 폴링빈도를 높일 수 있는 짧은 구간 인터벌훈련이 이루어져야 할 것이다. 이러한 훈련으로 폴이 지면에 접촉하는 시간을 단축하고, 추진력을 높일 수 있는 빠른 빈도의 폴링동작으로 기술을 개선한다면 스프린트 경기력을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

피니쉬 구간에서 사이클 속도는 3차가 1차, 2차와 각각 유의한 차이로 가장 높은 속도를 보여주었다. Stöggel et al.(2007)의 연구에서는 유의한 차이로 1차에서 속도가 가장 높았고, 2차에서 속도가 가장 낮았던 결과와 비교해 본 연구에서는 3차에서 가장 높은 속도를 보여주어 선행연구 결과와 일치하지 않은 것으로 나타났다. 이러한 차이는 1차와 2차에서 일정한 속도패턴을 보였던 참가선수들이 마지막 3차에서 스퍼트를 의도한 것으로 판단되며, 3차에서 가장 짧은 시간으로 더블폴링 동작을 수행하였기 때문에 사이클 속도가 빠르게 나타난 것으로 사료된다. 속도가 가장 높았던 3차에서 7.45 m/sec의 사이클 속도 일 때 0.96 sec의 사이클 시간 동안 5.66 m의 사이클 거리로 1.05 Hz 폴링빈도를 보여주었다. Lindinger et al.(2009)의 연구에서 세계 수준의 엘리트 선수들이 8.2 m/sec의 사이클 속도로 0.93 sec의 사이클 시간 동안 7.5 m의 사이클 거리와 1.08 Hz의 폴링빈도를 수행한 결과와 비교해본다면 본 연구에서 국내 선수들이 세계수준의 엘리트 선수들 보다 사이클 속도가 낮고, 거리가 짧은 것을 알 수 있다. 사이클 시간은 0.03 sec 차이를 보였지만 폴링시간이 0.26 sec로 동일하고 스윙시간의 비율 또한 72.7%와 72.2%로 차이가 근소하여, 폴링시간과 빈도가 동일함에도 불구하고 국내 선수들이 사이클 거리가 짧았던 이유는 사이클 속도가 낮았기 때문인 것으로 판단된다.

최근 국제대회를 비롯한 월드컵 스프린트 경기에서 선수들의 평균 스키속도는 계속해서 증가하고 있으며, 클래식 스프린트 평균속도가 9.5 m/sec에 도달하였다(Stöggel et al., 2008). 본 연구에서는 선수들이 스타트와 피니쉬 구간에서 평균 7-7.5 m/sec의 속도를 보여준 결과로 미루어 볼 때 국가대표 선수들이 세계수준의 경기력으로 향상시키기 위해서는 지금보다 평균 속도를 높여야 할 것으로 판단된다.

현재 세계 엘리트 선수들이 사용하는 기술이 과거에 사용되었던 기술보다 높은 스키 속도를 낼 수 있는 이유는 상지와 하지의 근력이 강화되고 폴이 지면을 찍는 시간이 짧아졌기 때문이다. 즉, 변화된 더블폴링 기술에서 대표적인 특징으로 짧은 폴링시간과 긴 스윙시간 그리고 긴 사이클 거리를 이룰 수 있는 동작이 강조되고 있다(Stöggel et al., 2010, Stöggel & Holmberg, 2011).

세계 스프린트 선수들은 상체의 근력이 경기력에서 높은 기여를 하기 때문에 상지훈련에 많은 비중을 두고 있다(Nilsson et

al., 2004). Alsobrook과 Heil.(2009)은 60 sec와 4-12 min의 상지훈련이 파워를 요구하는 스타트구간에서 큰 효과를 나타내고 빠른 속도에 도달하기 위해 중요하다고 보고하였으며, Terzis, Stattin과 Holmberg.(2006)는 상지훈련을 통해 근육의 크기와 질량을 증가시키는 것이 더블폴링의 파워 있는 동작을 가능하게 한다고 하였고, Bortolan, Pellegrini, Finizia와 Schena(2008)는 상지파워와 더블폴링 속도에 높은 상관관계가 있다고 주장하였다. 국가대표 선수들의 스프린트 경기력 향상을 위하여 현장지도자들은 선수들의 상지훈련이 어떻게 이루어지고 있는지 점검해 볼 필요가 있다.

더불어 참가선수들은 스프린트 경기력을 높이기 위해 스타트와 피니쉬 구간에서 사이클 거리를 증가시켜야 하며, 특히 스윙구간의 거리와 시간비율을 증가시킬 필요가 있다. 또한 상대적으로 폴링시간을 단축하는 것이 지금보다 파워 있는 폴링 동작을 수행하는데 도움이 된다고 판단된다. 참가선수들은 스프린트 경기력 향상을 위해 상지훈련의 강화가 필요하며, 상지훈련으로 향상된 상체 힘은 동일한 폴링빈도에서 긴 사이클 거리를 유지하는데 도움이 될 것이다.

## 2. 관절각

본 연구에서 관절각의 특징을 평가하기 위해 총 3회 스프린트를 실행하였고, 1회의 사이클을 4개의 시점(E1, E2, E3, E4)으로 나누어 각 시점의 고관절, 슬관절, 주관절 그리고 폴각과 함께 폴링구간의 굴곡과 스윙구간의 신전각을 분석하였다.

스타트 구간에서는 폴링이 시작될 때 고관절각(E1)은 회차간 유의한 차이 없이 평균 113-118°의 범위내에 있었으며 Holmberg et al.(2005)이 보고한 136±14°와 Lindinger et al.(2009)이 보고한 132±14°의 고관절각과 비교해 국가대표 선수들이 선행연구보다 작은 고관절각으로 폴링을 시작하는 것으로 나타났다. 폴링구간의 고관절 최소각(E2)과 폴링이 끝나는 시점의 고관절각(E3)은 1차(61.03±6.64°, 61.76±6.62°)와 3차(56.64±5.21°, 56.38±5.67°) 사이에 유의한 차이로 3차의 고관절각이 가장 작은 각을 나타냈다. 이러한 결과는 3차에서 고관절각이 작아졌다고 보고한 Zory et al.(2009)의 결과와 일치하는 것을 보여주어 선수들이 3차에서 속도차이는 크지 않았지만 회차가 거듭되면서 체력이 저하되었기 때문으로 판단된다. Holmberg et al.(2005)의 연구결과인 폴링구간 고관절 최소각(101±16°), 폴링이 끝나는 시점의 고관절각(102±17°) 그리고 스윙구간 고관절 최대각(170±8°)을 비교해보면 본 연구의 결과는 Holmberg et al.(2005)의 결과보다 폴링구간 동안 각 시점에서 40° 이상의 작은 각을 보였다. 이러한 차이는 선수들이 상지파워가 약하여 고관절의 큰 굴곡에 의존하는 것으로 판단된다. 스윙구간의 최대 고관절각(E4)은 평균 153-156°의 각을 보인 결과와 비교해 15° 이상의 차이를 보였

다. 본 연구에서 참가선수들은 폴링동작이 51-61° 내에서 굴곡하였고, 스윙동작에서 92-101°의 범위로 신전하였다. 최근 국내 선수들의 더블폴링 특징을 분석한 Choi와 Ryu(2011)가 국내 선수들은 빠른 폴링동작에서 고관절의 각변위의 범위가 68°라고 보고한 결과와 약간의 각변위 차이는 나타났지만 선행연구(Holmberg et al., 2005)의 35° 보다 크게 나타나 큰 각 변위를 일으키는 것은 높은 속도에 도달하는데 부정적인 영향을 주장한 결과와 일치하였다. Holmberg et al.(2005)은 스윙구간 동안 신체 무게중심이 진행방향으로 높은 위치에 있을 때 다음 폴링을 수행하는 동안에 큰 폴 힘을 발생시킬 수 있다고 보고하였으며, 이를 위해서는 스윙구간 동안 고관절과 슬관절 그리고 발목의 큰 신전을 유지하여야 한다고 보고하였다. 참가선수들은 폴링구간에서 굴곡범위가 크기 때문에 폴링시간이 길어진 결과가 나타난 것으로서 지금보다 굴곡범위를 작게 하고, 스윙구간 동안 큰 신전을 이루어 스윙시간을 증가시키는 것이 빠른 폴링동작을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

스타트 구간에서 슬관절의 각도변화는 모든 시점에서 3회차 사이에 유의한 차이가 없었다. 폴링이 시작할 때(E1) 3회차 평균 146°이고, 폴링의 최소각(E2)과 폴링이 끝나는 시점(E3)이 132-138°의 범위에 있었으며, 스윙구간 최대 슬관절각(E4)은 162°를 나타냈다. 모두 4개의 이벤트 시점에서 Holmberg et al.(2005)은 각각 평균 150°, 138°, 141°, 167°를 보고하였다. 스윙구간의 최대 슬관절각이 본 연구와 약 30° 이상의 차이를 보이고 있어 고관절 결과에 이어서 슬관절도 스윙구간 동안 신전이 크지 못한 것으로 나타났다. Lindinger et al.(2009)의 연구에서 스윙구간의 슬관절 최대각은 163°로 보고되어 있으며, 더블폴링 동작에서 슬관절의 기여는 크지 않지만 작은 범위의 굴곡과 신전은 더블폴링 속도에 기여한다고 하였다. 본 연구에 참가선수들은 슬관절의 굴곡각을 작게 하고, 신전각은 크게 동작수행을 해야 할 것으로 판단된다.

스타트 구간에서 주관절각도는 폴링이 시작될 때(E1) 1차는 105.73±22.79°로 큰 편차를 보이며 유의한 차이는 아니지만 가장 작은 각을 나타냈다. 같은 시점에서 Lindinger et al.(2009)이 동일하게 106°를 보고하였고, Smith(1992)는 104-106°를 보고하여 본 연구 결과와 일치하였다. 1차에서 폴링구간의 최소 주관절각(E2)이 2차와 유의한 차이를 보이면서 87.92±14.95°로 가장 큰 각을 나타냈다. 폴링이 끝나는 시점(E3)에서 주관절각은 149-152°를 보였고, 스윙구간 최대 주관절각(E4)이 155-165°의 범위에 있었다. 참가선수들은 회차 사이에 주관절각의 차이가 크지 않은 것으로 보아 동일한 패턴으로 동작을 수행하는 것으로 판단된다. Smith(1992)는 폴링동작에서 견관절과 주관절의 신전 근육들이 순간적으로 빠르게 이완하여야 높은 폴 힘을 발생시킬 수 있다고 하였다. 따라서 참가선수들은 지금보다 주관절의 신전각을 크게 하여 폴링 힘을 증가시켜야 할 것으로 판단된다.

스타트 구간에서 폴링이 시작 될 때(E1) 폴각은 1차에서 72.64±4.17°로 2차와 유의한 차이를 보이면서 가장 큰 각을 나타냈으며, 2차, 3차는 약 68°의 폴각을 유지하였다. Smith(2002)는 폴링이 시작 될 때, 폴각이 수직에 가까울수록 빠른 폴링을 이룬다고 하였다. 선수들은 주관절과 폴각이 일정한 것으로 나타나 상지의 동작패턴은 회차에 따라 큰 변화가 없었고, 고관절과 슬관절의 큰 굴곡과 신전으로 더블폴링 기술을 사용하고 있는 것으로 판단된다.

피니쉬 구간에서는 폴링이 시작될 때 고관절각(E1)이 3회차간에 유의한 차이가 없었으며 평균 112-115°의 범위를 보였다. 평균 148-157°를 나타낸 Lindinger과 Holmberg(2011)의 결과보다 상대적으로 작은 각을 보였다. 폴링구간의 최소각(E2)과 폴링이 끝나는 시점의 각(E2) 그리고 스윙구간의 최대각(E3)이 3차에서 각각 52.80±5.34°, 53.00±5.62°, 152.97±10.57°로 1차, 2차와 유의한 차이를 보이면서 가장 작은 각을 나타내었고, Zory et al.(2008)이 1차보다 3차에서 고관절각이 감소하였다는 보고와 일치하였다. 폴링구간의 굴곡과 스윙구간의 신전 역시 2차와 유의한 차이를 나타내어 3차에서 가장 크게 고관절이 굴곡(59.08±9.20°)한 후 크게 신전(99.72±7.47°)하였다. 참가선수들이 빠른 폴링동작에서 고관절 굴곡의 범위가 큰 것으로 나타났다. Lindinger et al.(2011)의 연구에서는 스윙구간 고관절 최대각이 165-179°로 크게 신전하였다고 보고한 결과와 비교해 본 연구에 참가선수들은 작은 각으로 시작하여 크게 굴곡한 고관절각 때문에 큰 범위로 신전하였음에도 불구하고 스윙구간의 최대각이 크지 못한 것으로 판단된다. 이러한 굴곡과 신전의 큰 각 변위는 비효율적인 에너지 소모가 따를 것으로 예상된다.

피니쉬 구간에서 폴링이 시작되는 시점(E1)의 고관절각과 슬관절각은 회차간에 유의한 차이가 나타나지 않았지만 3차에서 폴링구간의 슬관절 최소각(E2)과 폴링이 끝나는 시점(E3), 그리고 스윙구간의 슬관절 최대각(E4)이 각각 138.56±6.41°, 141.06±6.91°, 160.66±8.10°로 유의한 차이를 보이면서 회차 가운데 3차에서 가장 작은 각을 보였고, 굴곡과 신전 각은 회차 가운데 가장 큰 결과를 나타냈다. Zory et al.(2009)은 사이클 특징이 우수한 선수(129±7°)가 비우수 선수(152±11°) 보다 폴링구간의 최소 슬관절각이 유의하게 작은 것을 보고하였다. 본 연구결과의 138.56±6.41°는 우수와 비우수의 중간 수준으로 평가 될 수 있다. 상대적으로 고관절의 굴곡이 크기 때문에 슬관절의 굴곡 역시 클 경우 힘이 상쇄될 수 있을 것으로 판단되므로, 슬관절의 굴곡을 최소로 유지하고 스윙구간에서 큰 신전을 하는 것이 빠른 폴링에 기여 할 것으로 판단된다.

피니쉬 구간에서는 주관절이 모든 시점에서 회차 사이에 유의한 차이 없이 일관성 있는 동작이 이루어진 것으로 사료되며, 이러한 결과로 유추할 수 있는 것은 선수들이 사용하는 더블폴링 동작의 특징이 하지의 기여가 큰 것으로 판단된다.



폴각은 폴링이 시작할 때(E1) 1차의 폴각이 2차와 유의한 차이로  $78.41 \pm 2.05^\circ$ 의 가장 큰 각을 보였고, 폴링구간 최소 폴각(E2)과 스윙구간의 최대 폴각(E4)이 3차에서 각각  $22.80 \pm 2.33^\circ$ 와  $23.53 \pm 1.86^\circ$ 로 가장 큰 각을 나타냈다. 이러한 결과는 1차에서 폴링이 시작할 때 폴각이 가장 크고, 폴링구간 폴의 최소각이 3차에서 감소하였다는 Zory et al.(2009)의 결과와 일치하였다. Zory et al.(2009)은 3차에서 폴각이 근육의 피로에 의해 감소하였다고 보고하였다. 본 연구에서도 선수들이 회차가 거듭되면서 폴각이 감소된 이유로 판단된다. Smith(2002)는 더블폴링 동작에서 상체와 주관절이 굴곡하는 타이밍이 중요하다고 하였으며 이때, 스윙동작에서 큰 신전을 이루어 상체와 폴의 각도가 수직에 가까운 위치에서 폴링을 시작하는 것이 폴링속도에 큰 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 또한 Smith(2002)는 상체의 질량이 높을수록 빠른 속도에 큰 영향을 미친다고 하였다. 따라서 선수들은 피니쉬 구간에서도 폴각이 기울지 않고 수직에 가까운 폴각으로 시작 할 수 있도록 하고, 상체훈련을 통한 근력향상으로 빠른 속도의 더블폴링을 수행하는 것이 경기력 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

빠른 폴링동작은 상체와 주관절의 작은 굴곡이 빠른 시간 안에 이루어지고, 상지와 하지의 상호협력으로 발생하는 모든 추진력을 이용해 스키가 주행하게 된다. 스프린트 경기에서는 폴링동작이 빠른 타이밍과 관절의 작은 굴곡으로 큰 힘을 발생시킬 수 있는 순간적인 큰 파워와 높은 폴링속도가 강조되고 있다. 따라서 앞으로 국내 선수들은 상지근력을 강화하고, 폴링시 관절의 움직임의 시간과 빈도 조절을 통하여 속도와 거리를 증가시키는 능력을 향상시켜야 폴링동작의 변화가 일어날 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 연구는 국가대표 크로스컨트리 스키 선수들을 대상으로 스프린트 경기를 가상 실험하여 56 m의 스타트와 피니쉬 구간에서 수행되어진 더블폴링 동작의 운동학적 변인들을 속도, 시간, 거리, 빈도의 사이클 특징과 고관절, 슬관절, 주관절 그리고 폴각을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 스타트 구간에서 선수들은 회차간에 속도요인과 거리요인이 유의한 차이가 나타나지 않았고, 1차의 시간과 빈도요인이 2차, 3차와 유의한 차이를 보이면서 가장 긴 시간과 낮은 빈도를 보였다. 따라서 스타트구간에서는 1차의 폴링동작이 빠르게 이루어지지 못한 것을 알 수 있었다.
2. 피니쉬 구간에서 선수들은 1차와 2차에서 동일한 폴링 빈

도를 유지하였지만 3차에서 유의한 차이로 높은 빈도와 짧은 폴링시간 그리고 빠른 속도로 동작을 수행하였다. 선수들은 피니쉬 구간에서 3차의 경기력이 높은 것으로 나타났다.

3. 폴링이 시작될 때 고관절은 회차간 유의한 차이가 없었으며 폴링구간의 고관절 최소각과 폴링이 끝나는 시점의 고관절각이 3차에서 가장 작은 각을 나타내면서 큰 신전을 이루지 못한 것을 알 수 있었다. 슬관절각은 모든 시점에서 3회차 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 1차에서 폴링구간의 최소 주관절각과 폴링이 시작될 때 폴각이 1차에서 유의한 차이로 가장 큰 각을 나타냈다.
4. 피니쉬 구간의 관절각 변화는 3차에서 폴링하는 동안 고관절과 슬관절의 최소각, 폴링이 끝나는 시점, 그리고 스윙구간의 최대각이 가장 작은 각을 나타냈다. 주관절은 회차 사이에 유의한 차이가 없었으며, 폴각은 3차에서 감소하였다. 선수들은 3차에서 고관절의 굴곡과 신전의 큰 범위를 나타냄으로서 하지동작의 운동범위가 큰 것을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- Abdel-Aziz, Y. I., & Karaha, H. M.(1971). *Direct linear transformation from comparator coordinates in object-space coordinates in close photogrammetry*. Proceedings of the ASP Symposium on Close-Range photogrammetry. Urbana: University of Illinois.
- Alsobrook, N. G., & Heil, D. P.(2009). Upper body power as a determinant of classical cross-country ski performance. *European Journal of Applied Physiology*, 105(4), 633-641.
- Andersson, E., Supej, M., Sandbakk, Ø., Sperlich, B., Stöggl, T., & Holmberg, H. C.(2010). Analysis of sprint cross-country skiing using a differential global navigation satellite system. *European Journal of Applied Physiology*, 110(3), 585-595.
- 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.
- Bilodeau, B., 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.

- Bortolan, L., Pellegrini, B., Finizia, G., & Schena, F.(2008). Assessment of the reliability of a custom built Nordic Ski Ergometer for cross-country skiing power test. *Sports Medicine*, 48(2), 177-182.
- 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.
- Holmberg, H. C., Lindinger, S., Stöggl, T., Eitzlmair, E., & Müller, E.(2005). Biomechanical Analysis of Double Poling in Elite Cross-Country Skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(5), 807-818.
- 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 and Science in Sports and 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.
- 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. *European Journal of Applied Physiology*, 24(4), 920 - 928.
- Nilsson, J. E., Holmberg, H. C., Tveit, P., & Hallén, 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.
- Smith, G. A.(1992). Biomechanical analysis of cross-country skiing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(9), 1015-1022.
- Smith, G. A.(2002). Biomechanics of cross country skiing. In H. Rusko (Ed.), *handbook of sports medicine and science: Cross-country skiing* (32-61). Oxford: Blackwell Science.
- Stöggl, T., Lindinger, S., & Müller, E.(2006). Reliability and validity of test concepts for the cross-country skiing sprint. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(3), 586-591.
- Stöggl, T., Lindinger, S., & Müller, E.(2007). Analysis of a simulated sprint competition in classical cross country skiing. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 17(4), 362-372.
- Stöggl, T., Müller, 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.
- Stöggl, T., Müller, E., Ainegren, M., & Holmberg, H. C.(2010). General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 1-13.
- Stöggl, T., & Holmberg, H. C. (2011). Force interaction and 3D pole movement in double poling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 1-12.
- Terzis, G., Stattin, B., & Holmberg, H. C.(2006). Upper body training and the triceps brachii muscle of elite cross country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 16(2), 121-126.
- 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.
- 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), 2144-2150.
- 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.
- Zory, R., Molinari, F., Knaflitz, M., Schena, F., & Rouard, A.(2010). Muscle fatigue during cross country sprint assessed by activation patterns and electromyographic signals time-frequency analysis. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 1-8.