KJAB
Korean Journal of Applied Biomechanics 2025; 35(4): 319-329
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2025.35.4.319
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752
ORIGINAL

Kinematical Comparison of A & H Type Start Stances in Speed Skating

스피드스케이팅 출발 자세(A형 & H형)에 따른 운동학적 특성 비교

Sihyun Ryu[1], Myung-Kyu Jun[1], Saewoo Park[1], Sukhoon Yoon[2]

[1]Department of Physical Education, Korea National Sport University, Seoul, South Korea
[2]Department of Community Sport, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Received : 26 November 2025
Revised : 27 November 2025
Accepted : 08 December 2025

Corresponding Author
Sukhoon Yoon
Department of Community Sport, Korea National Sport University, 1239, Yangjaedaero, Songpa-gu, Seoul, 05541, South Korea
Email : sxy134@knsu.ac.kr

Objective: This study aims to examine the kinematic differences between A-type and H-type start stances in speed skating.

Method: Nine collegiate speed skaters (Age: 22.4 ± 1.7 years, Height: 174.0 ± 5.4 cm, Body Weight: 69.3 ± 5.7 kg) performed three trials of each start stance (A-type, H-type). Start motions were recorded using a 9-camera infrared motion capture system (100 Hz) with 48 reflective markers attached to major body segments. Kinematic variables, including the center of mass (COM) displacement, COM velocity, Base of support (BOS)-COM horizontal distance, push-off angle, and lower-limb joint range of motion (ROM), were analyzed across nine event-based phases.

Results: The H-type stance showed a shorter execution time in the early phases (P1 and P3), whereas the A-type stance demonstrated greater anterior COM displacement and higher mean COM velocity in most phases (p<.05). The BOS-COM horizontal distance was significantly larger in the H-type stance (p<.05), indicating reduced initial stability. Push-off angles in the left (P4) and right (P6) push-off phases were greater in the H-type stance (p<.05). Additionally, the A-type stance exhibited greater hip and knee joint ROM during early push-off phases (p<.05).

Conclusion: These findings indicate that the A-type stance is advantageous for achieving greater forward momentum and acceleration through larger joint utilization, whereas the H-type stance is effective for rapid initial reactions and efficient force transmission during push-off. Therefore, the selection of start stance may be optimized by considering individual skaters' physical characteristics and performance requirements.

Keywords: Speed skating, Start stance, A-type, H-type, Kinematics

INTRODUCTION

스피드스케이팅은 빙면 위 일정 거리를 최단시간 내에 주파하는 기록 경기로, 롱트랙(400 m 트랙)과 쇼트트랙(111.12 m 트랙)으로 구분된다. 두 종목 모두 최대 속도를 내기 위하여 낮은 자세와 강력한 추진력이 요구하며, 특히 500 m와 같은

Copyright © 2025 Korean Journal of Applied Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

단거리 스프린트 종목은 육상 100 m 달리기와 유사하게 짧은 시간에 승부가 결정된다(Shin & Back, 1996). 선수들은 시작부터 전력으로 가속하여 직선과 곡선 구간을 빠르게 통과해야 하므로, 강인한 하체 근력과 폭발적인 추진력이 필수적이며(Song, Lee & Moon, 2017), 낮은 자세를 유지해 공기저항을 줄이고 얼음과의 마찰을 최소화하는 것이 스피드스케이팅의 핵심 기술이다(van Ingen Schenau, de Groot & Hollander, 1983). 특히, 출발 구간에서의 효과적인 움직임이 최종 기록에 큰 영향을 미친다(de Koning, de Groot & van Ingen Schenau, 1992). 롱트랙 500 m 경기에서 첫 100 m 또는 첫 코너 진입까지의 가속 능력이 최종 기록과 높은 관련성이 있다고 보고되었으며(Song et al., 2017), 쇼트트랙 경기에서도 출발 후 초기 14 m 기록과 최종 순위 간에 높은 상관관계가 있다고 보고됨에 따라(Haug, Drinkwater, Mitchell & Chapman, 2015), 스피드스케이팅의 단거리 종목에서는 초반 스타트 기술이 승패를 결정짓는 핵심 요소이다(de Koning, de Groot & van Ingen Schenau, 1989). 전통적으로 스피드스케이팅의 스타트 동작은 달리기에서 활주로의 전환 과정으로 설명되어 왔다. 올림픽 선수들을 대상으로 한 스타트 연구(de Koning et al., 1989)에서 첫 몇 걸음은 달리기와 유사한 형태로 추진하다가 약 4 m/s의 속도에 이르면 본격적인 글라이딩 동작으로 전환되는 것으로 보고되었으며, 한국 대표 선수들의 출발 구간의 기술 동작을 분석한 연구(Jun, 2010)에서도 출발선에서 약 30 m까지는 5-6회의 빠른 스트로크로 가속시킨다고 보고되었다. 이렇듯, 스타트 동작에서는 최대한 빠르게 가속하는 것과 글라이딩 단계로 부드럽게 전환하는 기술이 기록 단축에 필수적이다(de Koning, Thomas, Berger, de Groot & van Ingen Schenau, 1995).

스피드스케이팅 출발 자세를 살펴보면, 발을 놓는 형태에 따라 H형과 A형 자세로 구분된다. H형 출발 자세는 두 발을 서로 나란히 평행하게 놓고 선 자세로, 좁은 기준면 위에서 양발을 가깝게 모은 자세이다. 이 자세에서는 정면을 향해 폭발적으로 뛰어나가기 쉽다는 장점이 있으나, 두 발이 모아진 만큼 출발 순간 균형 잡기가 어려워 다리 간 간섭이나 미끄러짐이 발생할 우려가 있다(Back, Kwak & Chung, 2004). 반면, A형 출발 자세는 두 발을 어깨너비 정도로 벌리고 선 상태로, 발끝이 바깥쪽으로 향해 알파벳 'A' 모양과 유사한 자세를 말한다. 이 자세에서는 H형 자세에 비하여 기저면이 넓어 안정성이 높고, 출발 신호와 함께 앞발로 측면(push-off)으로 밀면서 다른 발을 앞으로 내딛는 동작이 자연스럽게 이루어진다(Jun & Kim, 2004). 이러한 차이로 인하여 H형 자세는 반응속도와 순발력에 의존하여 뛰면서 출발할 수 있다는 장점이 있으며, A형 자세는 초반 글라이딩 거리를 늘리고 추진 효율을 높일 수 있다(Back et al., 2004; Xueliana, Yingjieb & Hang, 2025). 특히, A형 자세가 경기 초반 속도 향상에 유리하다고 보고됨에 따라(Jun & Kim, 2004) 2000년대 초반 우리나라 스피드스케이팅 선수들은 주로 A형 자세를 구사해왔다.

그동안 스피드스케이팅 스타트 동작에 관한 연구들을 살펴보면, 쇼트트랙 500 m 스타트 동작의 운동학적 연구(Back & Lee, 1995)를 시작으로, 신체중심 이동, 푸시오프 각도, 다리 근력 등이 초기 가속에 영향을 미친다고 보고되어 왔다(Back et al., 2002; Back et al., 2004; Back, Jun, Lee & Moon, 2003; Jun & Kim, 2004; Jun, 2010; Song et al., 2017). 그럼에도 불구하고, 출발 자세 자체를 비교한 연구는 극히 드문 실정이다. 쇼트트랙 선수를 대상으로 출발 자세를 비교한 연구(Jun & Kim, 2004)가 있으나 사례수가 너무 적어 선수 개별적 특성의 차이로 인한 결과라는 한계가 있다. 최근 AI 기반 영상분석을 통하여 A형과 유사한 개방 형태의 출발 자세가 초기 가속에 유리할 가능성을 제시하였다(Xueliana et al., 2025). 이렇듯, 스피드스케이팅의 스타트는 경기력의 핵심 요소라는 측면에서 H형과 A형 출발 자세에 따른 초기 출발 구간의 운동학적 차이를 살펴보고, 어떤 자세가 초반 가속에 효율적인지 규명하는 것은 향후 스타트 기술 선택 및 훈련 지도에 반드시 필요하다.

이에 본 연구에서는 스피드스케이팅 출발 자세(A형 & H형)에 따른 운동학적 특성을 비교하고자 한다. 이때, 연구 가설은 다음과 같다. 첫 번째 가설은 출발 자세 간에 자세 안정성 및 신체중심의 변위와 속도는 차이가 있을 것이다. 두 번째 가설은 출발 자세 간에 푸시오프 각은 차이가 있을 것이다. 세 번째 가설은 출발 자세 간에 하지관절각은 차이가 있을 것이다.

METHOD

1. 연구 대상

연구 대상자는 대학 스피드스케이팅 선수 9명(Age: 22.4±1.7 years, Height: 174.0±5.4 cm, Body weight: 69.3±5.7 kg)을 모집하였다. 연구를 시작하기에 앞서 연구의 목적과 참여자의 신원 보호 방안에 대해 충분히 설명하였으며, 모든 참여자는 이에 대해 이해한 후 자발적으로 동의하여 연구에 참여하였다.

2. 실험 절차

스피드스케이팅 출발 자세별 스타트 동작은 9대의 적외선 카메라(Oqus 300, Qualisys, Sweden)를 사용하여 촬영하였으며, 촬영 속도(sampling rate)는 100 Hz로 설정하였다. 반사마커(reflection marker, 지름 1 cm)는 <Figure 1>과 같이 신체의 주요 분절과 관절점에 총 48개 부착하여 3차원 좌표 데이터

를 수집하였다. 실험 전, 참여 대상자에게 스타트 동작을 자연스럽게 수행할 수 있도록 충분한 설명과 연습을 제공하였으며, 출발 신호는 음성 신호와 함께 시각적 신호(깃발)를 병행하여 제시하였다. 실제 경기와 유사한 환경에서 각 출발 자세별로 3회씩 실시하여 분석하였다.

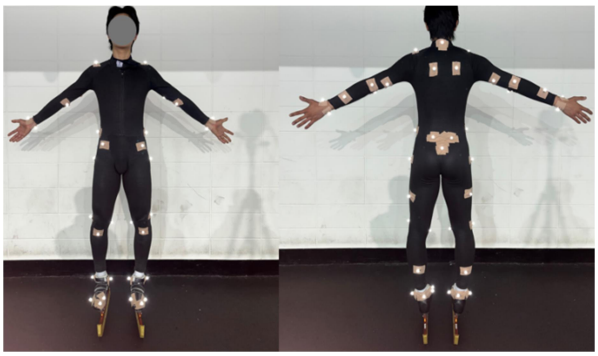

Figure 1. Placement of reflective markers on the body in a standing posture.

3. 자료 처리

스피드스케이팅 스타트 동작을 분석하기 위하여 신체 각 분절 및 관절점에 부착한 마커의 3차원 위치 좌표는 NLT (non-linear transformation) 방법으로 Qualisys Track Manager software (Qualisys, Sweden)에서 획득하였다. Visual3D (HAS-Motion, USA)를 이용하여 스피드스케이팅 스타트 동작의 운동학적 변인을 산출하였다. 이때, 영상 자료 수집 과정에서 발생한 오차(noise)를 제거하기 위하여 Butterworth 4th order low-pass filter로 smoothing하였으며, 차단주파수는 10 Hz로 설정하였다.

4. 분석 구간

스피드스케이팅 스타트 동작을 효율적으로 분석하기 위하여 <Figure 2>와 같이 분석 구간을 설정하였다. 우선, 시각적 신호인 깃발이 움직이는 순간(Event 1), 오른무릎관절이 신전되기 시작하는 순간(Event 2), 오른무릎관절이 최대 신전된 순간(Event 3), 왼무릎관절이 신전되기 시작하는 순간(Event 4), 왼무릎관절이 최대 신전된 순간(Event 5), 오른무릎관절이 신전되기 시작하는 순간(Event 6), 오른무릎관절이 최대 신전된 순간(Event 7), 왼무릎관절이 신전되기 시작하는 순간(Event 8), 왼무릎관절이 최대 신전된 순간(Event 9)으로 정의하고, 각 시점 사이를 구간(Phase)으로 설정하였다. 이때, 2구간(E2-E3)과 6구간(E6-E7)은 오른발 푸시오프(push off) 구간, 4구간(E4-E5)과 8구간(E8-E9)은 왼발 푸시오프(push off) 구간으로 살펴보았다.

5. 분석 구간

본 연구에서 스타트 진행 방향을 +Y축, 수직 위 방향을 +Z축, 우측 방향을 +X축으로 전역 좌표계를 설정하여 이를 기준으로 신체중심(center of mass, COM)을 산출하여, 진행 방향에 대한 변위와 속도를 비교하였다. 또한, 기저면(base of support, BOS) 중심과 COM 간의 수평거리는 <Figure 3>과 같이 양발의 중심점을 BOS 중심으로 정의하여 수평면에서의 BOS 중심과 COM 간의 수평거리를 산출하였다. 그리고 푸시오프(push off)는 빙면의 마찰력을 최대로 이용하여 신체중심을 추진시키는 과정을 의미하므로(van Ingen Schenau, de Groot & de Boer, 1985), 이때의 푸시오프 각(push off angle)은 <Figure 4>와 같이 수평면에서의 발분절 벡터와 CoM 속도 벡터의 사이각으로 정의하였다.

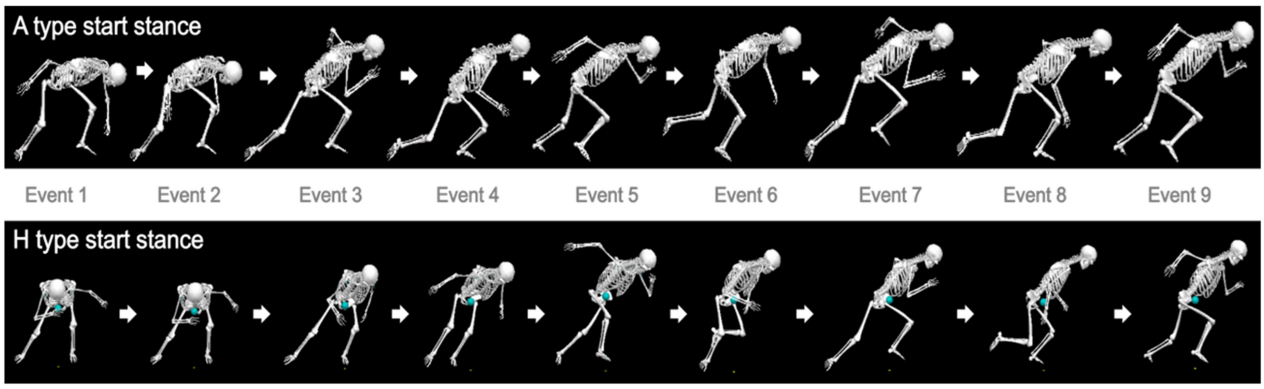

Figure 2. Event & Phase.

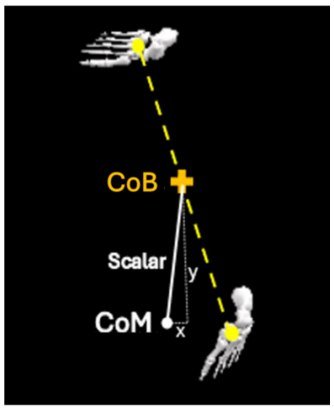

Figure 3. Distance of BOS_COM

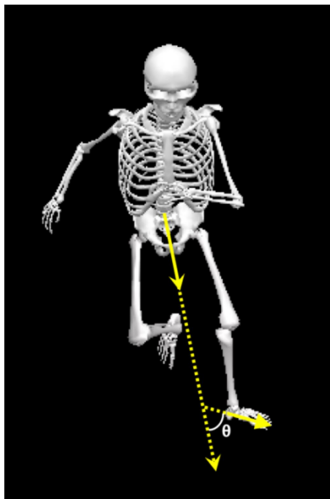

Figure 4. Push off angle

6. 통계 처리

본 연구에서는 스피드스케이팅 출발 자세에 따른 운동학적 특성을 비교하기 위해 대응표본 *t*-검정을 실시하였으며, 효과크기(*Cohen's d*)도 함께 제시하였다. 이때 통계적 유의수준은 α=.05로 설정하였다.

RESULTS

1. 소요시간

출발 자세 유형에 따른 구간별 소요 시간을 비교한 결과 <Table 1>, 대부분의 구간에서 A 자세가 H 자세보다 소요 시간이 더 길게 나타났다. 특히, 1구간(0.34±0.07초 vs. 0.26±0.06초)과 3구간(0.19±0.01초 vs. 0.12±0.02초)에서 두 자세 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(p<.05). 또한, 전체 구간의 총 소요 시간도 A 자세(1.41±0.08초)가 H 자세(1.24±0.09초)에 비하여 길게 나타났으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<.05).

2. 기저면 중심과 신체중심 간 수평거리

기저면 중심과 신체중심 간의 수평거리를 비교한 결과 <Table 2>, H 자세(0.18±0.03 m)가 A 자세(0.12±0.07 m)에 비하여 통계적으로 크게 나타났다(p<.05).

3. 신체중심 이동 변위

구간별 신체중심(COM) 변위를 비교한 결과<Table 3>, 좌

Table 1. Comparison of time between start stance types (unit: sec)

Phase	A type	H type	*p* value	*Effect size* (*Cohen's d*)
P1	0.34±0.07	0.26±0.06	*.027**	*1.260*
P2	0.23±0.06	0.18±0.03	*.053*	*1.079*
P3	0.19±0.01	0.12±0.02	*.000**	*3.614*
P4	0.11±0.02	0.12±0.02	*.066*	*1.133*
P5	0.09±0.04	0.13±0.03	*.079*	*0.968*
P6	0.18±0.05	0.14±0.04	*.147*	*0.728*
P7	0.11±0.02	0.12±0.01	*.172*	*0.649*
P8	0.16±0.04	0.16±0.03	*.169*	*0.260*
Total	1.41±0.08	1.24±0.09	*.000**	*2.140*

*Indicates statistically significant difference between start stance types

Table 2. Comparison of distance of BOS_COM between start stance types (unit: m)

Phase	A type	H type	*p* value	*Effect size* (*Cohen's d*)
Distance of BOS_COM	0.12±0.07	0.18±0.03	*.041**	*0.994*

*Indicates statistically significant difference between start stance types

Table 3. Comparison of COM displacement between start stance types (unit: m)

Direction	Phase	A type	H type	*p* value	*Effect size* (*Cohen's d*)
Medio-lateral	P1	0.01±0.01	0.01±0.01	*.191*	*0.745*
	P2	0.09±0.03	0.04±0.02	*.002**	*1.904*
	P3	0.07±0.03	0.03±0.02	*.001**	*1.824*
	P4	0.02±0.01	0.02±0.02	*.985*	*0.010*
	P5	0.03±0.02	0.03±0.01	*.415*	*0.292*
	P6	0.02±0.02	0.06±0.02	*.002**	*1.846*
	P7	0.05±0.02	0.08±0.02	*.001**	*1.677*
	P8	0.01±0.02	0.02±0.01	*.319*	*0.583*
	Total	0.32±0.07	0.29±0.06	*.228*	*0.446*
Antero-posterior	P1	0.03±0.03	0.02±0.01	*.103*	*0.697*
	P2	0.33±0.03	0.20±0.04	*.000**	*3.861*
	P3	0.49±0.07	0.25±0.06	*.000**	*3.633*
	P4	0.35±0.06	0.33±0.03	*.435*	*0.405*
	P5	0.34±0.15	0.38±0.11	*.432*	*0.369*
	P6	0.71±0.18	0.53±0.14	*.033**	*1.125*
	P7	0.49±0.08	0.48±0.03	*.851*	*0.096*
	P8	0.78±0.19	0.68±0.16	*.009**	*0.549*
	Total	3.52±0.31	2.88±0.36	*.000**	*1.906*

*Indicates statistically significant difference between start stance types

우 방향(Medio-lateral direction)에서는 일부 구간에서 차이가 나타났다. 특히, 2구간(0.09±0.03 m vs. 0.04±0.02 m), 3구간(0.07±0.03 m vs. 0.03±0.02 m), 6구간(0.02±0.02 m vs. 0.06±0.02 m), 7구간(0.05±0.02 m vs. 0.08±0.02 m)에서 두 자세 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(p<.05). 전후 방향(Antero-posterior direction)에서도 대부분의 구간에서 A 자세의 신체중심 전후 변위가 H 자세가 크게 나타났다. 특히, P2, P3, P8 구간에서 통계적으로 유의한 차이를 보였으며(p<.05), 전체 구간에서도 A 자세(3.52±0.31 m)가 H 자세(2.88±0.36 m)에 비하여 통계적으로 크게 나타났다(p<.05).

4. 신체중심 평균 속도

위 결과를 바탕으로 산출된 구간별 평균속도를 비교한 결과<Table 4>, 1구간을 제외한 모든 구간(2-8구간)에서 A 자세가 H 자세에 비하여 통계적으로 유의한 큰 값을 보였다(p<.05).

5. 푸시 오프 각도

추진 구간에서 나타난 발분절과 신체중심 속도 벡터 간의 각도(push off angle)를 비교한 결과<Table 5>, 왼발(P4)과 오

Table 4. Comparison of COM means velocity between start stance types (unit: m/s)

Phase	A type	H type	*p* value	*Effect size* (*Cohen's d*)
P1	0.09±0.08	0.07±0.04	*.333*	*0.339*
P2	1.48±0.27	1.13±0.22	*.005**	*1.415*
P3	2.60±0.18	2.04±0.19	*.000**	*3.061*
P4	3.34±0.19	2.70±0.26	*.000**	*2.813*
P5	3.54±0.20	3.00±0.22	*.000**	*2.610*
P6	4.05±0.27	3.64±0.18	*.000**	*1.782*
P7	4.34±0.25	3.93±0.18	*.000**	*1.897*
P8	4.72±0.26	4.34±0.20	*.000**	*1.633*
Total	3.02±0.17	2.61±0.17	*.000**	*2.379*

*Indicates statistically significant difference between start stance types

Table 5. Comparison of push off angle between start stance types (unit: deg)

Phase	A type	H type	*p* value	*Effect size* (*Cohen's d*)
P2 (right foot)	95.2±9.7	96.8±2.7	*.638*	*0.224*
P4 (left foot)	67.7±5.6	81.9±4.8	*.002**	*2.703*
P6 (right foot)	50.4±5.4	68.7±8.6	*.002**	*2.551*
P8 (left foot)	48.9±4.4	49.3±5.9	*.852*	*0.079*

*Indicates statistically significant difference between start stance types

Table 6. Comparison of joint angle between start stance types (unit: deg)

Direction	Phase	Movement	A type	H type	*p* value	*Effect size* (*Cohen's d*)
ROM of right hip joint	P2	F/E	52.0±8.5	34.3±8.0	*.000**	*2.146*
		A/A	12.2±5.3	3.8±1.3	*.000**	*2.206*
		I/E	25.4±7.3	18.4±5.8	*.021**	*1.049*
	P6	F/E	61.7±13.4	55.4±13.7	*.258*	*0.464*
		A/A	7.8±2.7	13.2±7.1	*.079*	*0.982*
		I/E	25.2±10.1	29.3±9.7	*.455*	*0.422*
ROM of right knee joint	P2	F/E	43.3±9.5	28.9±7.7	*.000**	*1.671*
	P6	F/E	47.7±14.1	40.3±10.7	*.066*	*0.584*
ROM of left hip joint	P4	F/E	38.0±7.7	39.2±4.5	*.752*	*0.182*
		A/A	5.9±1.8	4.7±2.0	*.189*	*0.619*
		I/E	19.8±4.7	4.7±3.2	*.000**	*3.777*

Table 6. Comparison of joint angle between start stance types (Continued) (unit: deg)

Direction	Phase	Movement	A type	H type	*p* value	*Effect size* (*Cohen's d*)
ROM of left hip joint	P8	F/E	55.8±10.8	50.3±9.0	*.019**	*0.552*
		A/A	11.6±5.8	9.5±6.6	*.094*	*0.335*
		I/E	21.7±6.9	23.5±5.7	*.595*	*0.289*
ROM of left knee joint	P4	F/E	89.4±9.9	51.6±14.1	*.000**	*3.108*
	P8	F/E	93.7±7.3	92.5±12.1	*.581*	*0.122*

ROM: range of motion, F/E: flexion/Extension, A/A: abduction/adduction, I/E: internal rotation/external rotation
*Indicates statistically significant difference between start stance types

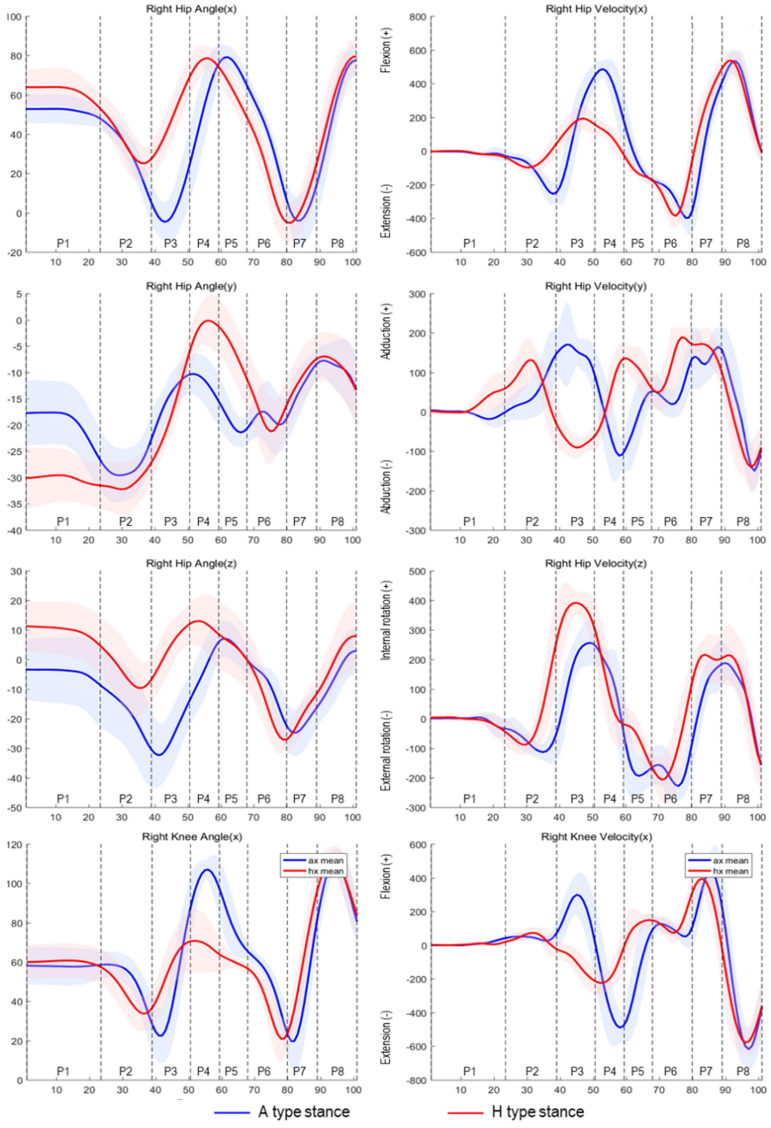

Figure 5. Patterns of joint angle between start stance types

른발(P6)에서 두 자세 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며(p<.05), 4구간(67.7±5.6 deg vs. 81.9±4.8 deg)과 6구간(50.4±5.4 deg vs. 68.7±8.6 deg)에서 모두 H 자세가 A 자세에 비하여 크게 나타났다.

6. 하지관절 각도 및 각속도

출발 자세에 따른 추진 구간의 하지관절 가동범위는 <Table 6>과 같으며, 하지관절 각도 및 각속도 변화는 <Figure 5, 6>와 같다. 첫 번째 추진 구간인 2구간을 살펴보면, 오른 엉덩관절의 굴곡/신전 가동범위를 비롯하여 내전/외전 가동범위와 내회전/외회전 가동범위에서 모두 A 자세가 H 자세에 비하여 통계적으로 크게 나타났으며(p<.05), 오른무릎관절의 굴곡/신전 가동범위도 A 자세가 H 자세에 비하여 통계적으로 크게 나타났다(p<.05). 두 번째 추진 구간인 4구간의 경우, 왼 엉덩관절의 내회전/외회전 가동범위와 왼무릎관절의 굴곡/신

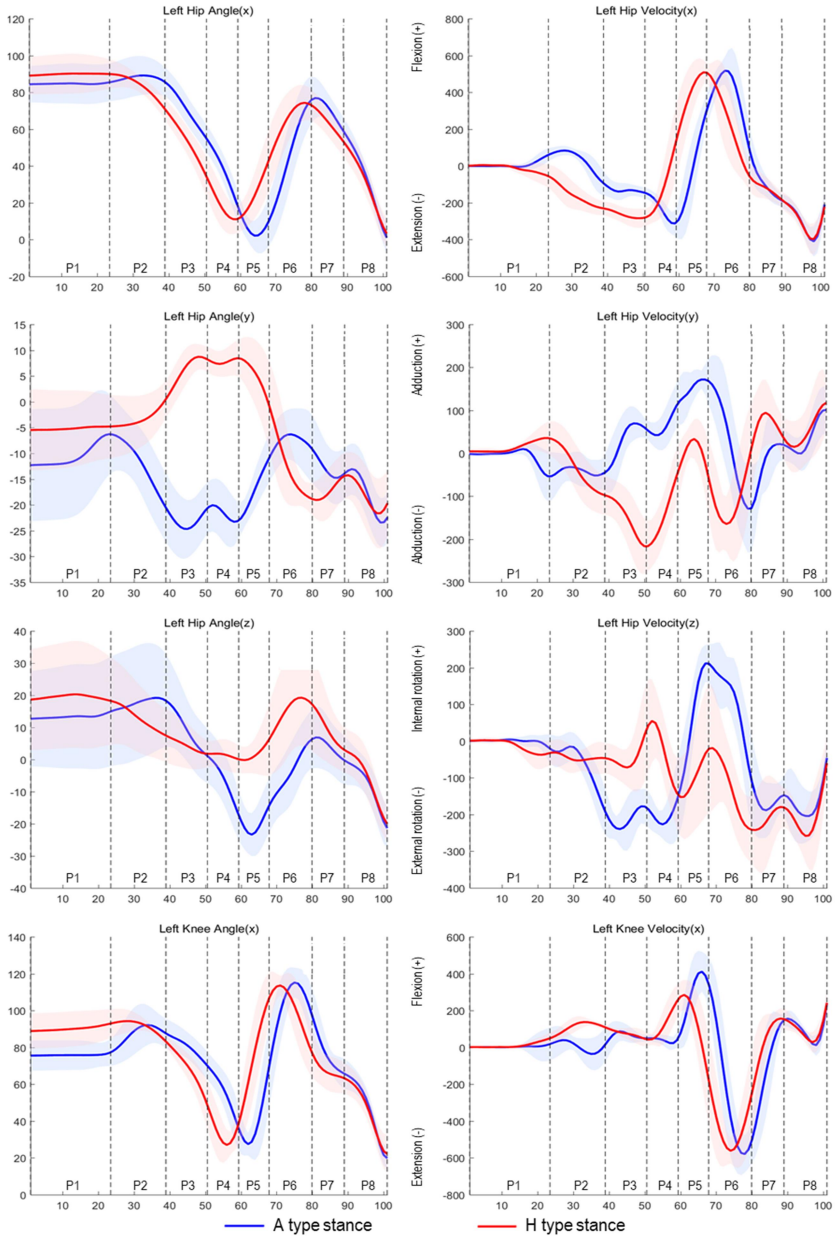

Figure 6. Patterns of joint angular velocity between start stance types

전 가동범위에서 A 자세가 H 자세에 비하여 통계적으로 크게 나타났다(p<.05). 세 번째 추진 구간인 6구간의 경우에는 자세 간 차이가 없었으며, 네 번째 추진 구간인 8구간의 경우, 왼엉덩관절의 굴곡/신전 가동범위에서 A 자세가 H 자세에 비하여 통계적으로 크게 나타났다(p<.05).

DISCUSSION

본 연구에서는 스피드스케이팅 출발 자세(A형 & H형)에 따른 운동학적 특성을 비교하고자 하였다. 스타트 기술은 500 m와 같은 단거리 스프린트에서 승패를 좌우하는 핵심 요소로 보고됨에 따라(de Koning et al., 1989; Haug et al., 2015) 몇몇 연구(Shin & Back, 1996; Back et al., 2004)에서 출발 구간의 신체중심 및 추진 동작이 기록에 미치는 영향이 보고되었으나, A형과 H형과 같은 출발 자세 간 운동학적 특성을 정량적으로 비교한 연구는 부족하였다는 점에서 본 연구 결과가 향후 선수들과 지도자에게 최적의 출발 자세를 선택하고 훈련에 유용한 지침이 될 것으로 기대된다.

우선, H형 자세는 두 발을 모은 좁은 기저면으로 인해 기저면 중심과 신체중심 간 수평거리가 A형보다 크게 나타났다. 또한, 초기 반응시간(P1)과 첫 오른발 푸시오프 시간(P2, P3)에서 H형 자세가 A형에 비하여 짧게 나타난 반면, 신체중심 이동거리는 A형 자세가 길게 나타났으며, 그에 따라 평균속도도 전반적으로 A형 자세가 크게 나타났다. H형 자세가 출발 순간 균형 유지가 어려워 다리 간 간섭이나 미끄러짐 위험이 있다는 보고한 연구(Back et al., 2003)와 같이 어깨너비로 발을 벌려 안정된 자세를 취하는 A형 자세에 비하여 불안정한 출발 자세임에도 초기 반응시간이 빠르게 나타난 것은 육상 100 m 경기에서도 출발 구간의 불안정한 자세가 초기 반응시간을 빠르게 만들어주는 것과 동일하다. 따라서 평소 출발 자세가 흔들림이 없는 선수에게는 H형 자세가 오히려 초기 출발 구간의 빠른 반응에 긍정적인 역할을 할 수 있다고 판단된다. 또한, A형 자세는 전체 구간 신체중심 전방 변위가 H형에 비하여 약 22% (3.52 m vs. 2.88 m) 크게 나타났으며, 신체중심 평균속도(3.02 m/s vs. 2.61 m/s)도 크게 나타났다. 쇼트트랙 출발기법에 관한 연구(Jun & Kim, 2004)에서 "새 출발기법"이라고 언급한 A형 자세가 단위시간당 이동변위가 증가한다고 보고한 결과와 일맥상통하다. 다만, A형 자세의 총 소요 시간이 H형에 비하여 다소 길게 나타났는데(1.41초 vs. 1.24초), 이것은 H형 자세가 첫 걸음과 3구간에서 시간을 크게 단축하며 폭발적인 출발을 보였고, A형 자세는 상대적으로 스타트 동작이 느리지만, 점차 큰 속도로 나아가는 경향을 보였다. 이러한 상반된 특징은 A형 자세가 초기 가속을 높이는 데 유리하다고 보고된 선행연구(Back et al., 2003; Xueliana et al., 2025)와 부합하는 결과인 동시에 H형 자세의 반응시간과 순간속도에 대한 장점이 확인된다. 따라서 자세 안정성 및 신체중심의 변위와 속도에서 출발 자세 간에 차이가 있을 것이라는 첫 번째 가설은 수용되었다.

두 번째로, 왼발로 추진하는 두 번째 푸시오프 구간(P4)와 이어 오른발로 추진하는 두 번째 푸시오프 구간(P6)에서 나타난 푸시오프(push-off) 각도는 H형 자세가 A형 자세에 비하여 크게 나타났다(H: 82° vs. A: 68°, H: 69° vs. A: 50°). 푸시오프 각도가 90°에 가까울수록 빙면을 밀어내는 발분절과 신체중심의 수평속도 벡터가 수직을 이루는 것으로, 빙면의 마찰력을 최대로 이용하여 신체중심을 전방으로 추진하는 것을 의미한다(Jun & Kim, 2004; van Ingen Schenau et al., 1985). 따라서 H형 자세가 신체중심의 진행 방향으로 발분절의 힘을 전달하기에 효율적인 것으로 판단된다. 따라서, 출발 자세 간에 푸시오프 각은 차이가 있을 것이라는 두 번째 가설도 수용되었다.

세 번째로, 초기 추진 구간(P2, P4)에서 A형 자세에서의 엉덩관절 및 무릎관절의 가동범위가 H형 자세에 비하여 크게 나타났다. 이것은 무릎관절각의 변화가 크게 나타났다고 보고된 연구(Jun & Kim, 2004)와 무릎관절의 가동범위가 클수록 푸시오프 각도의 변화가 크게 나타나고, 초기 100 m 구간 기록이 좋게 나타났다고 보고된 연구(Song et al., 2017)를 통하여 알 수 있듯이, A형 자세에서 무릎관절의 충분한 신전 움직임이 추진력을 증가시켜 초기 가속에 기여한다고 판단된다(Back & Lee, 1995; Shin & Back, 1996; Xueliana et al., 2025). 반대로 H형 자세에서는 하지관절의 가동범위를 줄여 상대적으로 제한된 관절 움직임으로 빠르게 디디면서 나가는 동작을 취한 것으로 판단된다. 출발 초기 몇 걸음까지는 두 자세의 운동학적 양상이 명확하게 다름을 의미하며, A형 자세는 관절 가동범위를 크게 활용하여 스타트 동작의 효율을 극대화하는 출발 기술인 반면, H형 자세는 짧고 빠른 움직임으로 순발력을 극대화하는 출발 기술임을 확인한 것이다. 따라서 출발 자세 간에 하지관절각은 차이가 있을 것이라는 세 번째 가설도 수용되었다.

위 내용을 종합하면, A형 자세에서는 안정된 기저면을 바탕으로 하지관절의 충분한 가동범위를 활용하여 출발 구간에서 더 큰 전진속도를 얻는 반면, H형 자세에서는 좁은 기저면으로 인한 불안정성이 순간적인 순발력을 통한 초기 반응시간을 단축하는 특성과 힘을 전달하기에 효율적인 푸시오프 각도를 보였다. 이것은 과거 우리나라 선수들이 주로 A형 자세를 채택했던 이유(Back et al., 2003)에 부합하듯, A형 자세가 전반적인 가속도 향상에는 유리한 측면이 있음에도 H형 자세가 초기 반응과 푸시오프 각도의 효율성에서 긍정적인 측면(Jun & Kim, 2004; van Ingen Schenau et al., 1985)이 있다. 궁극적으로 본 연구에서 스피드스케이팅의 스타트 기술 선택에 있어 양립하는 두 가지 자세를 과학적으로 규명됨으

로써, 선수 개개인의 신체조건과 강점에 맞춘 스타트 기술 지도에 활용되길 기대한다. 또한, 이러한 운동학적 차이가 실제 기록 향상으로 어떻게 연결되는지 추가적으로 연구할 필요가 있다.

CONCLUSION

본 연구에서는 스피드스케이팅 출발 자세인 A형과 H형 자세 간의 운동학적 차이를 비교하고자 하였다. 연구 결과, A형 자세는 넓은 기저면 기반의 높은 안정성을 바탕으로 신체중심(COM)의 전방 변위와 평균속도가 지속적으로 크게 나타나 전반적인 가속 능력에서 우수한 결과를 보였다. 특히, 초기 추진 구간에서 엉덩관절과 무릎관절의 가동범위가 H형보다 크게 나타나, 관절 움직임을 충분히 활용한 효율적인 추진 동작이 가능한 것으로 확인되었다. 반면, H형 자세는 좁은 기저면으로 인한 상대적 불안정한 출발 자세로 초기 반응시간이 짧게 나타났으며, 발분절과 신체중심 속도 간 각도인 푸시오프 각도가 A형보다 크게 나타나 빙면의 마찰력을 이용한 힘 전달 효율성이 높게 나타났다. 이는 H형 자세가 초기 순간속도 확보와 빠른 스타트 반응에 유리한 기술적 특성을 지님을 의미한다. 위 결과를 종합해보면, A형 자세가 전체적인 가속 유지에, H형 자세가 초반 반응 및 순간적인 추진력 향상에 각각 유리하다는 점을 시사한다. 따라서 단일한 출발 자세를 일률적으로 적용하기보다는, 선수의 신체조건, 기술적 강점, 초기 반응 특성 등을 고려하여 두 자세를 전략적으로 선택하거나 훈련에서 병행할 필요가 있다. 마지막으로, 본 연구는 출발 자세의 운동학적 차이를 정량적으로 제시하였으나, 실제 경기 기록과의 관계를 직접적으로 검증하지는 못했다는 한계가 있다. 향후에는 본 연구에서 확인된 운동학적 요소들이 실제 경기력 향상에 어떤 영향을 미치는지를 살펴볼 필요가 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the Academic Support Program for Education, Research, and Student Guidance of Korea National Sport University in 2025.

REFERENCES

Back, J. H., Kwak, C. S. & Chung, N. J. (2004). Analysis of the female 500 m sprint starting motion in short track speed skating. *Korean Journal of Sports Biomechanics*, *14*(3), 285-299.

Back, J. H., Jun, M. K., Chung, N. J., Jeong, H. K., Min, K. H., Lee, Y. J. & Lee, Y. S. (2002). The kinematical analysis of female 500 m sprint start in 2001 world short track speed skating championship. *The Korean Journal of Physical Education*, *41*(2), 753-762.

Back, J. H., Jun, M. K., Lee, S. H. & Moon, Y. J. (2003). Biomechanical evaluation on the new starting technique of title korean national short track speed skaters. *The Korean Journal of Physical Education*, *42*(2), 463-473.

Back, J. H. & Lee, Y. H. (1995). Kinematic comparative analysis of the starting phase in 500 m short-track speed skating. *Sport Science of Korea National Sport University*, *14*(1), 231-236.

de Koning, J. J., de Groot, G. & van Ingen Schenau, G. J. (1989). Mechanical aspects of the sprint start in Olympic speed skating. *Journal of Applied Biomechanics*, *5*(2), 151-168.

de Koning, J. J., de Groot, G. & van Ingen Schenau, G. J. (1992). A power equation for the sprint in speed skating. *Journal of Biomechanics*, *25*(6), 573-580.

de Koning, J. J., Thomas, R., Berger, M., de Groot, G. & van Ingen Schenau, G. J. (1995). The start in speed skating: from running to gliding. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *27*(12), 1703-1708.

Haug, W. B., Drinkwater, E. J., Mitchell, L. J. & Chapman, D. W. (2015). The relationship between start performance and race outcome in elite 500-m short-track speed skating. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(7), 902-906.

Jun, M. K. & Kim, M. S. (2004). Kinematic analysis on a new starting technique of short track speed skating. *Korean Journal of Sport Science*, *15*(4), 72-83.

Jun, M. K. (2010). Biomechanical analysis of starting motion during a 500-meter speed skating in the Korean speed skating team members. *Korean Journal of Sport Science*, *21*(4), 1510-1517.

Shin, S. H. & Back, J. H. (1996). Kinematical analysis of starting phase in 500 m short track speed skating. *Korean Journal of Sports Biomechanics*, *6*(1), 53-68.

Song, J., Lee, D. & Moon, J. (2017). Biomechanical analysis of speed skating 500 m start phase. *Korean Journal of Sport Science*, *28*(3), 760-767.

van Ingen Schenau, G. J., de Groot, G. & Hollander, A. P. (1983). Some technical, physiological and anthropometrical aspects of speed skating. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *50*(3), 343-354.

van Ingen Schenau, G. J., de Groot, G. & de Boer, R. W. (1985).

The control of speed in elite female speed skaters. *Journal of Biomechanics*, *18*(2), 91-96.

Xueliana, Z., Yingjieb, F. & Hang, L. (2025). Key body posture characteristics of short-distance speed skaters at the start based on artificial intelligence. arXiv preprint arXiv: 2502.15185.