

## 대학부 남자 단거리 선수의 수준별 30m 블록 스타팅 비교분석: 3D Markerless Motion Capture 기반 운동학적 분석

### Kinematic Analysis of Biomechanical Differences in 30m Block Starts Across Elite Collegiate Male Sprinters: A Study Using 3D Markerless Motion Capture

길호종(힐라홀딩스/차장) · 이정호\*(한국체육대학교/교수)

Ho-Jong Gil *FILA Holdings Corp.* · Jung-Ho Lee *Korea National Sport University*

#### 요약

본 연구에서는 대학부 남자 육상 단거리 선수를 대상으로 블록 출발법을 이용한 30m 기록에서 나타나는 운동학적 특성을 비교 분석하였다. 10명의 대상자를 두 개의 그룹(3초 그룹: 나이  $19.40 \pm 1.67$  세, 신장  $180.80 \pm 3.83$  cm, 체중  $74.94 \pm 4.72$  kg, 기록  $3.92 \pm 0.06$  초; 4초를 초과한 그룹: 나이  $19.80 \pm 1.30$  세, 신장  $182.32 \pm 2.28$  cm, 체중  $72.18 \pm 4.21$  kg, 기록  $4.13 \pm 0.12$  초)으로 구분하여 비교분석을 수행하였다. 비 마커형 Theia3D Markerless System을 이용하여 동작을 측정하였으며, 인체를 3차원 관절 좌표계로 변환하여 분석하였다. 두 집단 간 차이를 비교하기 위하여 소요 시간, 11개 관절(발목, 무릎, 고관절, 어깨, 팔꿈치, 허리)의 시상면 각속도 및 방향별 신체 중심위치와 속도, 전신의 각운동량을 분석하였다. 집단 간 비교는 독립 T-test를 사용하였으며, 구간 중 특정 구역의 선수 간 차이는 Statistical Parametric Mapping (SPM)을 사용하였다. 그 결과, 3초 그룹은 준비 자세에서 짧은 대기상태를 취했으며( $p < .05$ ), 블록 이탈 시 신체 중심이 낮았고( $p < .05$ ), 블록 이탈 시 비 주동 팔 팔꿈치의 굴곡 각속도가 빨랐다( $p < .05$ ). 또한, 4보 추진 시점에서 비 주동 팔의 팔꿈치 각속도에서 차이가 발생하였다( $p < .05$ ). SPM 분석은 P1, P3 구간의 전신 각운동량 변인을 제외하고 모든 구간에서 지역별로 통계 구간이 새롭게 매핑되었다. 따라서, 빠른 블록 출발을 위해서는 신체 중심을 낮게 유지하고 추진 시 비 주동 팔의 가속을 높게 시도해야 효과적이다.

#### Abstract

This study analyzed the kinematic characteristics of 30m records using block starts among male university short-distance track and field athletes. Ten subjects were divided into two groups for comparative analysis: a 3-second group (age  $19.40 \pm 1.67$  years, height  $180.80 \pm 3.83$  cm, weight  $74.94 \pm 4.72$  kg, record  $3.92 \pm 0.06$  seconds) and a 4-second group (age  $19.80 \pm 1.30$  years, height  $182.32 \pm 2.28$  cm, weight  $72.18 \pm 4.21$  kg, record  $4.13 \pm 0.12$  seconds). Movements were measured using the Theia3D Markerless System and analyzed in a 3D joint coordinate system. Differences between groups were assessed by analyzing the time taken, the sagittal plane angular velocity, and the direction of 11 joints, as well as the position and velocity of the Center of Mass and total angular momentum. Independent T-tests and Statistical Parametric Mapping (SPM) were used for comparisons. The 3-second group exhibited a shorter standby position in the set position ( $p < .05$ ), a lower Center of Mass at block starting ( $p < .05$ ), and faster flexion angular velocity of the non-dominant arm's elbow at block starting ( $p < .05$ ). A difference was observed in the angular velocity of the non-dominant arm's elbow at the 4-step propulsion point ( $p < .05$ ). SPM analysis revealed newly mapped statistical domains in all categories except for total angular momentum variables in the P1 and P3 sections. Thus, maintaining a low Center of Mass and accelerating the non-dominant arm are effective strategies for a fast block start.

Key word : Track and field, Block start, 100m, SPM

\* [sprint@knsu.ac.kr](mailto:sprint@knsu.ac.kr)

## I. 서론

육상경기는 다양한 분야와 기법이 결합한 복잡한 스포츠로서, 선수들의 신체 구조와 운동능력을 철저히 이해하는 것이 필수적이다. 특히 100m 경기는 짧은 거리를 가장 빠르게 이동하기 위한 인간의 폭발적인 잠재력을 확인하는 가장 대표적인 종목이다(백형훈, 2008). 육상경기에서 100m를 포함한 단거리 종목은 근육의 기능적인 효율을 극한까지 끌어올려서 짧은 시간 내 최대 효과를 얻어야 하므로 자기 신체 무게와 중력을 이겨낼 수 있는 강인함이 필요하다(Go, 2002).

육상의 꽃이라 불리는 이 100m 경기의 대한민국 남자 대학부 최근 기록 추이를 살펴보면(그림 1), 전자 계측 이전인 1979년 서말구가 기록한 10.34초(동아대학교) 및 전자계측 이후 최초 10.3초를 기록한 심덕섭(한국체육대학교; 10.39초), 이후 최대 10.6초에서 10.4초까지의 기록 추이가 20년간 이어졌다. 이후 2021년도 한국체육대학교의 이준혁 선수가 10.40초를 기록하면서 10.3초의 가능성을 보여주었고, 다음 해인 2022년도에는 10.18초를 기록, 부별 신기록을 달성하면서 대학부에서 10.1초 주파가 가능하다는 저력을 보여주었다. 눈여겨볼 점은, 당시 2위를 기록한 이재성(한국체육대학교) 선수도 10.32초를 주파했다는 점이다. 또한 최근 2023년도에는 무려 3명의 선수가 10.3초를 기록(이시몬, 10.30초; 이재성, 10.32초; 우인섭, 10.39초) 하면서 남자 대학부 100m 기록 수준이 한 층 상향된 것을 확인할 수 있었다. 이는 2023년 열린 25회 방콕 아시아 육상 챔피언십에서도 3위권에 진입할 수 있을 만큼 좋은 기록 수준이다(대한육상경기연맹, 2023).

2023년 현재 남자 일반부와 함께 남자 대학부 선수들이 동시에 경합을 펼친다면, 전체 11명의 선수(김국영, 10.25초; 박원진, 10.26초; 김태효, 10.28초; 이시몬, 10.30초; 이준혁,

10.32초; 이재성, 10.32초; 이용문, 10.35초; 모일환, 10.36초; 신민규, 10.39초; 이정태, 10.39초; 우인섭, 10.39초; 대한육상경기연맹, 2023)가 10.3 초 대를 유지하고 있어서, 그 경쟁의 수준과 한계선이 마이크로초 단위로 치열하다는 것을 알 수 있다. 이는 대학부가 1900년대 말 이후로 다시 최고의 전성기를 맞이했다는 결과를 넘어서, 한국 선수들의 전체 기량이 상향 평준화되고 있다는 것을 방증하는 결과라고 할 수 있다.

이처럼, 수천분의 1초를 다투는 100m 경기는 최단 경로로의 이동, 최대 지면반력의 활용(이정태, 오정환, 최수남, 2012), 전신 및 팔과 다리의 협응 등, 운동 역학적 측면에서 효율성을 높일 때 기록의 한계를 극복할 수 있다(Chelly & Denis, 2001; Coh, Peharec, & Bacic, 2007; Murphy, Lockie, & Coutts, 2003). 장재근 및 성봉주(2006)는 이러한 100m 선수가 갖추어야 할 효율적 움직임에 대해서, 출발 구간, 가속구간, 최대속도 구간, 피니쉬 구간까지 모든 구간에 걸쳐 감속도를 발생시키지 않는 것이 핵심이라고 주장 하였으며, Harrison, Keane & Cogan(2004)는 중점적으로 가장 긴 시간이 소요되는 스타트 부분에서 최대 근 파워를 활용한 강한 킥이 기록을 단축하는 방법일 수 있다고 제안하였다.

스타트와 관련된 선행연구를 살펴보면, 출발 동작 시 지면반력 수평성분의 중요도를 살펴본 연구(최수남, 2008; Chelly & Denis, 2001), 출발 시 신체 중심 및 하지관절들의 상태 각도를 살펴본 운동학적 연구(Kwon, 2005; Murphy et al., 2003), 스타트에 이은 질주 기술, 구간별 속도, 보폭 및 피치의 종합적인 상태를 살펴본 운동 역학적 연구(성봉주, 박미선, 유덕수 및 정범철, 2014; 윤석훈, 2016; 이용식 및 최수남, 2014; 장재근 및 성봉주, 2006) 등이 다수 존재한다. 그러나 본 연구들의 특징은 최대 속도 및 기록을 달성하기 위한 시점별 단편적인 형태학 연구가 대부분으로, 선수가 발휘한 연속적인 노력의 형태

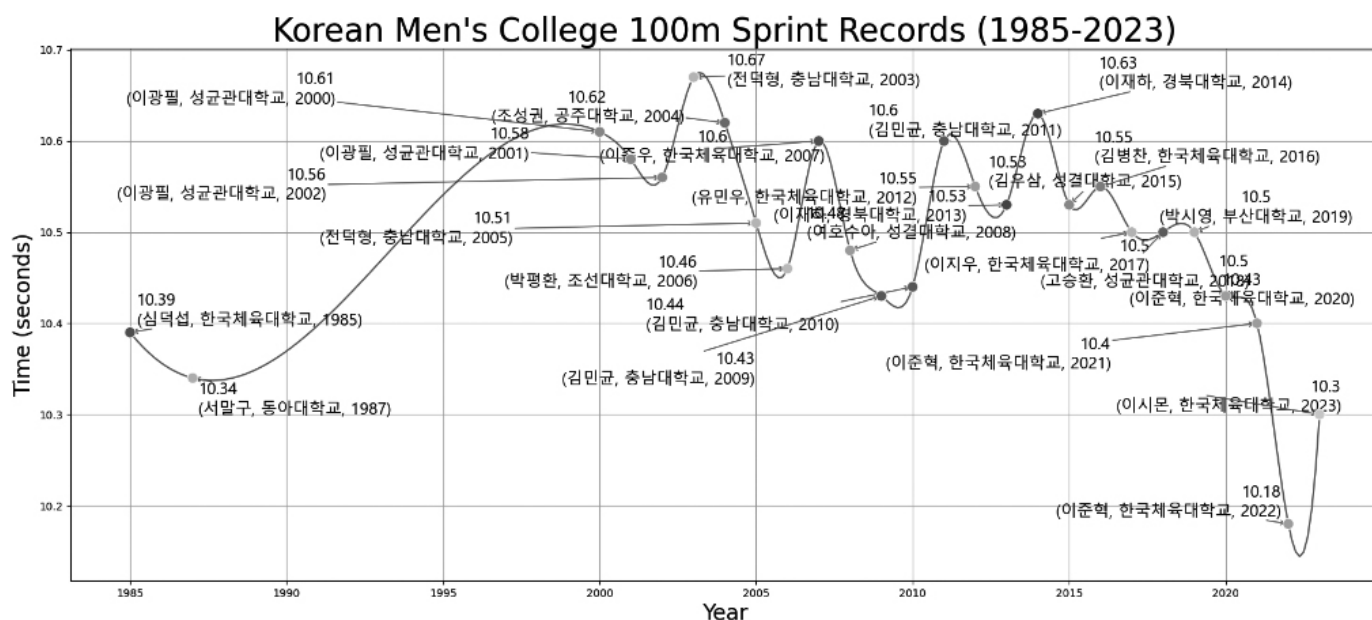


그림 1. 대한민국 남자 대학부 연도별 100m 최고 기록 추이.

를 전반적으로 파악하기 어렵고, 결과론적인 순간 비교가 많았다. 이와 같은 문제는 수천분의 1초를 극복해야 하는 선수 간의 노력이 단순한 착나의 자세 비교로 축소 해석될 우려가 있다.

따라서, 본 연구에서는 엘리트 선수들을 대상으로 30m까지의 최대 노력으로 측정된 기록만을 반영, 4초 이내 그룹, 4초 초과 그룹으로 나누고 5보 보폭까지를 주요 범위로 설정, 집단 간 추진(propulsion)하는 순간의 비교 및 그 과정을 나타내는 선수 전체 및 국면 전체에 대한 Statistical Parametric Mapping (SPM) 분석을 실시하여 보다 짧은 기록이 달성된 요인과 구간에는 어떤 점들이 있었는지 살펴보았다. 본 연구를 통해서 단편적인 자세의 차이점을 보았던 지난 연구들과 달리 보다 총체적인 기술의 차이가 어느 부분에서 나타나는지 범주화할 수 있을 것이다. 이를 통해, 선수들의 기록 향상에 있어서 어떤 요소가 중요한 역할을 하는지에 대한 깊이 있는 이해를 도모할 수 있을 것으로 기대한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 대한민국 남자 육상경기 단거리선수로 등록되어 있는 K 대학교 선수 10명으로 모집하였으며, 최근 3개월 이내에 부상 경력이 없고, 측정 시점으로부터 2023년도 1분기(3개월) 안에 단 1회라도 공식 경기에 출전한 경력이 있는 대상으로 선정하였다. 본 대상자들의 수준은 두 그룹으로 분리하였으며, 분리 기준은 블록 출발법을 사용하여 측정 선수의 가장 빠른 30m 기록을 바탕으로 4초 이내에 주파한 3초 그룹(나이:  $19.40 \pm 1.67$ 세, 신장:  $180.80 \pm 3.83$ cm, 체중:  $74.94 \pm 4.72$ kg, 기록:  $3.92 \pm 0.06$ 초), 4초를 초과한 그룹(나이:  $19.80 \pm 1.30$ 세, 신장:  $182.32 \pm 2.28$ cm, 체중:  $72.18 \pm 4.21$ kg, 기록:  $4.13 \pm 0.12$ 초)으로 구분하여 비교분석을 하였다.

### 2. 실험 절차

선수의 최대 컨디션 조건 상황에서 가장 빠른 움직임을 분석하기 위하여, 비 마커식 딥러닝 알고리즘을 사용하는 Theia3D Markerless 비디오 캡처 방식(Theia Markerless Inc,

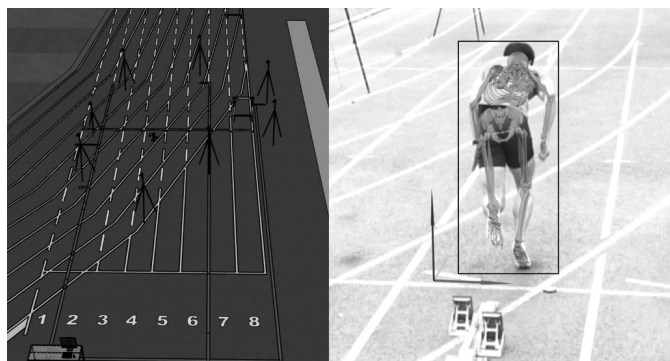


그림 2. 카메라 배치 및 분석구간 설정.

Canada)을 채택하였으며(그림 2), 공식 경기 상황과 동일한 환경 구축을 위해서 Mondo Track, 공인 출발 블록 조건에서 측정을 실시하였다. 이때, 대한민국 육상경기 단거리 공인 심판원이 출발 건을 사용하여 “제자리에”, “차렷” 구호 및 총성 신호로 측정을 진행하였다.

선수의 움직임을 분석하기 위한 동작 분석용 비디오카메라는 10대의 DSC-RX0 Mark2 (Sony Corporation, Tokyo, Japan)를 사용하였으며, 120Hz 촬영 속도로 1920x1080 해상도에서 녹화하였다. 비디오 간 동조(Synchronization)는 시간과 잔상까지 동일하게 수집하기 위해 DSC-RX0 Mark2에 CCB-WD1 Control Box (Sony Corporation, Tokyo, Japan)를 연동하고, Video Sync, Bullet-Time 기능을 적용하여 완벽한 동일 시점의 비디오 영상을 3차원 공간분석에 사용하였다. 공간 캘리브레이션은 체크보드 동적 추적형과 오브젝트 정적 캘리브레이션 중 오브젝트 방법을 선택하였다.

실험 절차는 각 10명의 선수에게 경기 상황과 동일하게 약 2시간 전에 기록측정 시간을 통보, 개별적으로 충분한 워밍업 시간을 갖도록 하였으며, 복장의 조건은 단거리 스파이크 및 하의 반타이즈 혹은 숏팬츠로 한정하였다. 상의는 긴 기장의 상의 길이만을 제외하고 탈의, 반소매 티셔츠 등 자유롭게 선택할 수 있게 하였다.

선수들에게는 총 3번의 30m 스프린팅 기회가 주어졌으며, 측정 간 간격은 최소 20분을 제공하여 피로가 충분히 회복될 수 있도록 하였다. 그중 가장 빠른 기록에 대해 동작분석을 실시하였다. 선수 간 정확한 기록측정의 신뢰도를 확보하기 위하여, 출발 시 손가락 압력이 사라지는 순간부터 30m까지 자동으로 측정되는 전자식 출발 기록시스템(Tx Touch Pro, FxChip BLE, Tx Track Pro, Swis; 그림 3)을 하의 밴드 및 손가락 하단에 사용하였다. 개인별 최고 기록을 순위로 랭킹하여 4초를 초과한 그룹을 “4s Group”, 4초 이내로 기록한 그룹을 “3s Group”으로 그룹화하여 분석을 실시하였다.



그림 3. 전자식 기록 측정 시스템.

분석 구간의 설정은 심판원의 “차렷” 신호 이후, Pelvis segment가 가장 높이 올라간 순간을 Event1 (E1), 두 손가락이 모두 떨어진 순간을 E2, 앞쪽 블록 발의 무릎이 신전되며 해당 발끝이 지면에서 떨어진 순간을 E3, 반대 발이 다시 추진하며 발끝이 떨어진 순간을 E4, 동일하게 발이 지면에 닿은 후 떨어지는 순간을 E5-E8까지로 하여 이 순간을 지면 추진력을 이



용한 시점으로 정의하고, 총 5 스텝의 보폭을 기준으로 마지막 발이 지면에 떨어지는 순간까지로 하였다(그림 5).

### 3. 자료 분석

카메라 간 렌즈의 왜곡이 없는 동일한 거리 측도와 Time-Sync로 동기화된 DSC-RX0 Mark 2에서 얻어진 영상은 Theia3D로 이전하여 분석하였다. Theia3D에서의 분석은 GPU의 Cuda System을 사용, 인체의 관절을 딥러닝 알고리즘으로 해석하여 분절 좌표계(Segment Coordination System [SCS])까지 구현하였다. 최종적으로 모든 관절에 대한 3차원 관절 좌표계(Joint Coordination System [JCS])를 형성하였으며, 본 자료는 다시 Visual3D (C-motion Inc., USA)로 이관하여 계산 처리하였다(그림 4).

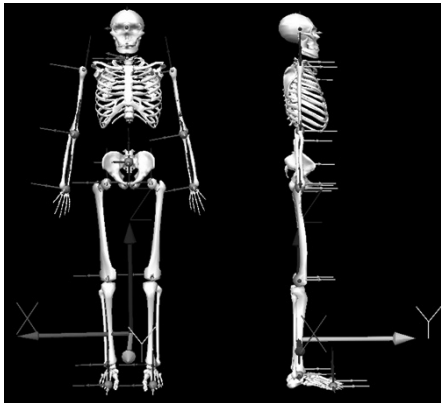


그림 4. 전역좌표 및 인체 3차원 관절 좌표계.

Visual3D로 이관한 Theia3D의 원자료는 Butterworth Low-Pass Filter로 스무딩하였으며, 이때 차단 주파수는 6Hz로 설정하였다. 분석 변인은 3차원 방향별 신체 질량 중심의 위치(Center of Mass [COM]), 신체 질량 중심의 속도(COM Velocity), 전신 각운동량(Body Angular Momentum), 11개 관절(Left-Right: Ankle, Knee, Hip, Elbow, Shoulder, Waist)의 방향별 요인 중 시상 면(sagittal plane)에 대한 각속도(angular velocity)를 비교 분석하였다. 모든 변인은 Event 순간의 그룹 간 비교를 하였으며, Event에서 통계학적 유의미한 차이를 보인 변인을 기준으로 바로 직전 Phase에 대해서 100% 길이로 노멀라이즈(Normalization)한 후, 선형보간(Interpolation)하여 표준화한 뒤 Statistical Parametric Mapping(SPM)을 이용해 해당 구간에 대한 분석 및 시각화를

실시하였다. Visual3D 자료추출 이후 모든 데이터의 비교 및 처리는 Python(버전 3.9; Van Rossum & Drake, 2009)으로 계산 처리 및 통계 처리하였다.

### 4. 통계 처리

두 집단을 “4s Group”과 “3s Group”으로 그룹화한 후 각 시점의 기능을 비교·분석하기 위하여 독립표본 t 검증(Independent Samples t-test)을 실시하였으며, 이때 t-통계량의 절댓값에 기반하여 양측 검정하여 p 통계량을 도출하였다. 또한 95% 신뢰구간 확인을 위해 상한(Upper), 하한(Lower)을 추출하였다. 추가로 특정 시점에서 유의미한 차이가 발생했을 때, 더욱 명확한 해석을 위하여 해당 변인의 이전 Phase에 대해 선수 전체를 대상으로 SPM(t) 분석을 실시하여 구간 중 매 순간(%)에서 선수들이 보이는 차이점을 범주화 및 시각화하여 분석하였다. 모든 통계 처리에 있어서 데이터 전처리(배열 연산)와 통계처리는 Numpy (버전 1.21.0; van der Walt, Colbert, & Varoquaux, 2011)와 SciPy (버전 1.11.3; Virtanen et al., 2020) 라이브러리를 사용하였으며, 결과 시각화에는 Matplotlib (버전 3.8.0, Hunter, 2007) 라이브러리를 사용하였다.

## III. 결과

### 1. 구간기록 차이

두 집단 간 최대 운동수행 시 측정된 구간별 소요 시간에서는 “차렷” 후 pelvis가 최대 높이로 위치한 후 두 손을 떼기까지의 구간인 Phase 1에서 3초 그룹이 0.524±0.029초의 기록으로 빠른 시간대를 보이며 통계적으로 유의한 차이가 나타났다 (p=.023; 표 1).

표 1. 소요시간 (unit: sec.)

Event	4s Group	3s Group	t	p (2tailed)	95%	
					Lower	Upper
P1	0.604±0.057	0.524±0.029	2.819	0.023*	0.002	0.158
P2	0.274±0.022	0.262±0.032	0.683	0.514	-0.035	0.059
P3	0.280±0.016	0.254±0.033	1.637	0.140	-0.018	0.072
P4	0.232±0.018	0.215±0.007	1.924	0.090	-0.007	0.041
P5	0.215±0.019	0.202±0.016	1.199	0.265	-0.017	0.044
P6	0.227±0.016	0.212±0.014	1.579	0.153	-0.011	0.041
P7	0.224±0.016	0.210±0.011	1.540	0.162	-0.011	0.037

\*means p<.05

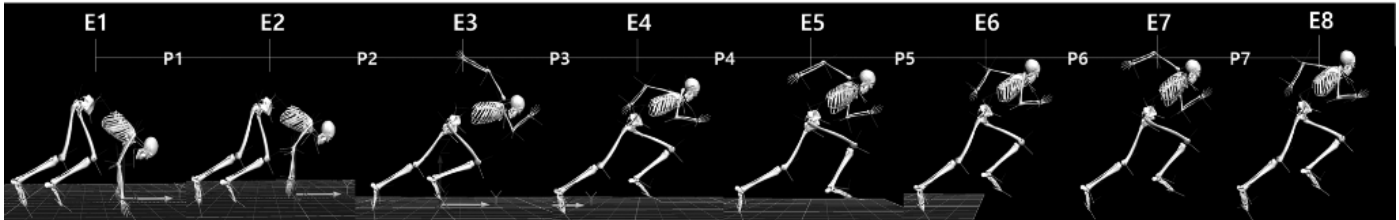


그림 5. 분석 국면(Event) 및 구간(Phase) 설정.

## 2. 신체 질량 중심 요인의 차이

각 시점별 두 그룹 간의 신체 질량 중심의 위치 및 신체 질량 중심 속도, 요인에 대한 통계학적인 차이는 오직 E3(충성 후 전방 다리추진 완료 시점 [Propulsion Phase])에서만 3s Group이 평균 0.026m 더 낮은 자세를 나타내며 유의한 결과가 도출되었다(4s Group,  $0.781 \pm 0.010$ m; 3s Group,  $0.755 \pm 0.022$ m;  $p=.042$ ; 표 2).

표 2. 신체 질량 중심의 수직 위치 (unit: m)

Event	4s Group	3s Group	t	p (2tailed)	95%	
					Lower	Upper
E1	$0.588 \pm 0.031$	$0.567 \pm 0.027$	1.132	0.291	-0.030	0.072
E2	$0.592 \pm 0.026$	$0.573 \pm 0.026$	1.164	0.278	-0.026	0.064
E3	$0.781 \pm 0.010$	$0.755 \pm 0.022$	2.423	0.042*	-0.004	0.057
E4	$0.834 \pm 0.027$	$0.818 \pm 0.027$	0.944	0.373	-0.031	0.063
E5	$0.871 \pm 0.030$	$0.848 \pm 0.015$	1.557	0.158	-0.018	0.064
E6	$0.888 \pm 0.024$	$0.867 \pm 0.011$	1.763	0.116	-0.012	0.053
E7	$0.908 \pm 0.023$	$0.884 \pm 0.023$	1.640	0.140	-0.016	0.063
E8	$0.924 \pm 0.018$	$0.904 \pm 0.028$	1.338	0.218	-0.021	0.060

\*means  $p < .05$

반면 추가로 해당 요인의 전 구간에 대한 SPM 시각화 분석을 실시한 결과 <표 3>, 모든 구간에서 선수 간에 차이점들이 크게 발생하는 것으로 나타났으며, 두 집단의 최대 차이 시점(두 집단 간 t-test,  $p < .05$ ; Peak SPM{t} 부분,  $p < .000$ )은 사전 지정한 Event에서 크게 벗어나 있었다(그림 6).

표 3. 신체 질량 중심의 수직 위치에 대한 최대 SPM{t} 위치 및 알파 영역

Phase	Alpha Areas (%)	Peak SPM{t} Location (%)	p-value
P1	0-100	99	.000**
P2	0-100	82	.000**
P3	0-100	0	.000**
P4	0-100	55	.000**
P5	0-100	99	.000**
P6	0-100	3	.000**
P7	0-100	99	.000**

\*means  $p < .001$  in SPM{t}

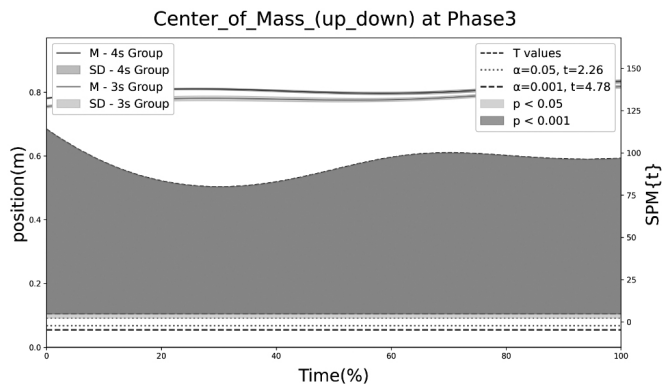


그림 6. 신체 질량 중심 수직 위치에 대한 Phase 3의 그룹별 평균 비교 및 SPM{t} 그래프.

## 3. 전신 각운동량 차이

출발 자세(E1, E2) 및 지면반력을 이용해 추진 후 신체가 이동하는 시점으로 선정한 각 순간(E3-E8)에서 두 그룹 간 전신 각운동량의 통계적인 차이는 시점을 기준으로 모든 방향에서 나타나지 않았다. 반면, 구간의 매 순간별 차이를 확인하는 SPM 분석에서, 다중 구간 범위가 발생하여 선수 간 유의한 수준으로 차이가 나타났으며( $p < .05$ ), 특히 최초 가장 큰 지면반력을 이용해 추진하는 Phase 2에서 3초 그룹이 전방으로 회전하려는 전신 각운동량이 크게 나타나며 E2-E3 간 2%-69%, 95%-97% 영역에서 차이가 나타났다. 그중 31% 지점에서 최대 SPM{t} 차이가 나타나며 ( $p=.014$ ), 최초 최대 지면 반력을 수행한 Phase 2 수행의 중요도가 부각되었다(표 4; 그림 7).

표 4. 전신 각운동량에 대한 최대 SPM{t} 위치 및 알파 영역

Phase	Alpha Areas (%)	Peak SPM{t} Location (%)	p-value
P1	—	—	—
P2	2-69, 95-97	31	.014*
P3	—	—	—
P4	73-100	86	.019*
P5	0-53, 79-100	0	.019*
P6	0-1, 44-63, 87-100	99	.039*
P7	0-50, 78-100	83	.020*

\*means  $p < .05$  in SPM{t}

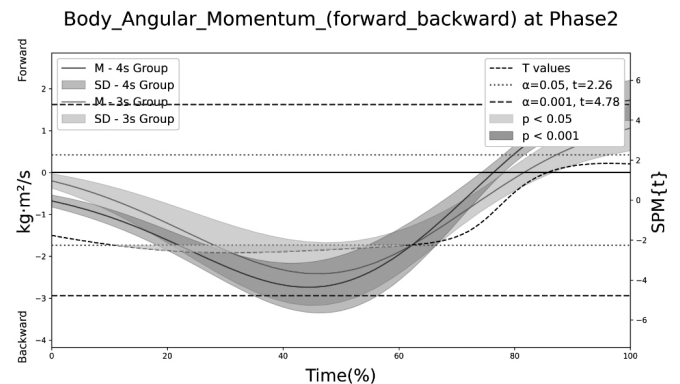


그림 7. 전-후방 전신 각운동량에 대한 Phase 2의 그룹별 평균 비교 및 SPM{t}.

## 4. 관절 각속도 차이

좌-우측 상하지 관절의 각속도에서 시점별 두 집단 간에 차이를 보인 요인은 최초 지면반력을 얻는 시점 E3 (4s Group,  $16.158 \pm 15.134$  deg./s; 3s Group,  $54.749 \pm 28.716$  deg./s,  $p=.029$ ) 및 4보 보폭 후 추진하는 E7(4s Group:  $-58.101 \pm 58.784$  deg./s; 3s Group,  $23.856 \pm 17.873$  deg./s;  $p=.018$ )에서 좌측 팔꿈치 굴곡-신전 각속도가 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < .05$ ; 표 5, 6; 그림 8).

표 5. 좌측 팔꿈치 관절 각속도

(unit: deg./s)

Event	4s Group	3s Group	t	p (2tailed)	95%	
					Lower	Upper
E1	2.035±1.272	10.031±22.363	-0.798	0.448	-35.559	19.566
E2	-20.610±13.194	-7.045±17.890	-1.364	0.210	-40.918	13.789
E3	16.158±15.134	54.749±28.716	-2.658	0.029*	-78.534	1.352
E4	49.338±42.712	39.820±32.138	0.398	0.701	-56.257	75.292
E5	-18.433±51.117	26.936±43.454	-1.512	0.169	-127.926	37.187
E6	63.276±46.840	23.522±18.923	1.760	0.117	-22.409	101.917
E7	-58.101±58.784	23.856±17.873	-2.983	0.018*	-157.561	-6.352
E8	30.119±57.385	18.242±43.553	0.317	0.759	-91.267	115.020

\*means p&lt;.05

표 6. 좌측 팔꿈치 관절 각속도에 대한 최대 SPM{t} 위치 및 알파 영역

Phase	Alpha Areas (%)	Peak SPM{t}	Location (%)	p-value
P1	12-15, 42-45, 89-100	96		.007*
P2	0-19, 66-100	96		.001*
P3	0-5, 80-100	99		.002*
P4	0-84	4		.001*
P5	78-100	96		.002*
P6	0-15, 32-91	0		.004*
P7	3-55, 69-100	87		.000**

\*means p&lt;.05 in SPM{t}, \*\*means p&lt;.001 in SPM{t}

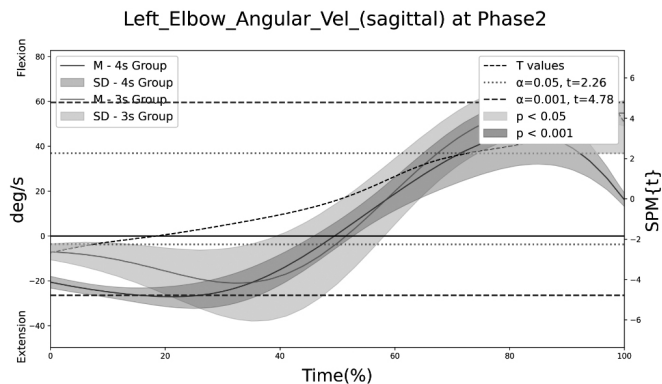


그림 8. 좌측 팔꿈치 굴곡-신전 각속도에 대한 Phase 2의 그룹별 평균 비교 및 SPM{t}.

## IV. 논의

본 연구는 최근 기록 수준이 1900년대 말 이후로 회귀하여 상향되고 있는 대한민국 남자 대학부 100m 선수들을 대상으로 30m의 최고 기록을 수집, 보다 빠른 기록을 기준으로 2분할(5명, 5명)로 구분하여 스타트 구간에 대해 동작 수행 시 나타나는 운동학적 차이점을 살펴보았다. 또한 그 시점을 보다 확대한 5보까지의 전 시점(매 프레임)에 대해서 구간 표준화한 값으로 선수 간 나타나는 차이점을 SPM 분석하여 해석의 폭을 넓히고자 하였다. 즉, 기존 방식의 end-to-end의 끊어진 시점에서 집단 비교는 물론, 그 사이에서 일어나는 통계적 차이점을 확인하기 위해 모든 시점을 표준화하여 전체 시각화로 분석하였다. 이러한 방법은 더욱 우수한 동작을 보인 집단의 특징을 확인하는 동시에 어느 범위에서 선수 간 차이(변동성)가 크게 발생하는

지 시각화로 알 수 있어서 추후 연구에서 더욱 쟁점이 될 수 있는 방향성까지 확보할 수 있다.

우선, 집단 간 객관적인 성능을 평가할 수 있는 구간별 소요 시간을 살펴보면, 전 구간에서 3초 그룹이 평균적으로 빠른 소요 시간을 보이는 기술통계 결과가 나타났다. 반면, 오직 “차렷” 자세를 잡은 뒤 신호에 반응하여 손가락이 떨어지는 P1 구간에서만 통계학적 차이가 나타났다. 이는 출발 신호에 따른 반응 시간과는 별개로 선수 개인이 온전한 “차렷” 포지셔닝을 마친 후 출발까지의 차이라고 볼 수 있으며, 본 결과에서는 4초 그룹이 보다 일찍부터 자세를 취하고, 3초 그룹은 더욱 늦게 자세를 취해 0.08초 보다 짧은 자세 대기상태 후 출발하였음을 알 수 있다. 이러한 결과는 여러 연구에서 출발 반응 시간이 중요하다는 제시(이정훈 및 최수남, 2010; 조필환, 2000; Hunter, Marshall, & McNair, 2004)에 추가하여 자세 선정에서 길게 안착하는 것은 지양해야 한다는 제안으로 귀결될 수 있다. 반응 시간은 차이가 나타나지 않았으며 결과에 포함하지 않았다. 추가로 P1을 제외 후 유일하게 p=.09 수준에서 차이 경향을 보인 P4 구간이 소요 시간 성능평가에서 유의해야 할 구간으로 사료된다. 즉, 최초 앞발의 스타트 점프 후 1보를 딛고 추진한 시점으로부터 2보를 딛고 앞으로 추진 직전 구간(2보 추진까지)이 차이 경향을 보인 것이다. 이러한 점은 아주 미세하게 차이 나는 엘리트 집단에서 스타트 후 2보 완성까지 최대한 시간을 단축해야 함을 시사한다고 할 수 있겠다. 이대형 등(2014)은 출발 시, 총 3 스텝까지의 소요 시간 및 거리는 우수 선수일수록 빠르게 거리가 길다고 하였다. 그러나 본 연구에서 시간을 제외한 보폭 거리의 특성은 나타나지 않았다.

한편, 방향별 신체 중심의 위치 및 속도에 대한 요인을 살펴보면, 신체 중심 속도는 모든 순간에서 차이가 나타나지 않았으며, 신체 중심 위치는 단일 시점 E3에서만 차이가 나타났다. 즉, 최초 블록의 앞발이 지면에서 떨어지는 순간에서 차이가 발생하며(4초그룹,  $0.781 \pm 0.010m$ ; 3초 그룹,  $0.755 \pm 0.022m$ ;  $p=.042$ ) 4초 그룹이 3초 그룹보다 0.026m 더 수직 방향으로 높게 위치한 것으로 나타났다. 이때, 다른 구간의 SPM을 살펴본 결과 각 지정된 순간을 제외한 대부분의 전 구간(1-99%)에서 차이가 나타났다. 특히 사향으로 SPM분석에서 손가락 이탈 후 첫발이 떨어지는 순간의 구간 P2중 82% 지점이 선수 간 가장 두드러진 차이를 보였으며( $p<.001$ ), 2보를 수행하는 P4의 중간 지점인 55% 지점에서 가장 큰 차이( $p<.001$ )를 보였다. 즉, 그동안 분석 구간으로 설정했던 지면 착지 및 지면이 자기의 Event 순간의 설정 기준을 보다 확대하여 중간 과정에서 수행하는 몸동작을 면밀히 살펴볼 필요성을 제기할 수 있다.

신체 중심의 요인과 함께 선수의 더욱 능동적인 결과를 유추할 수 있는 전신 각운동량의 차이를 살펴보면, 모든 시점(Event)에서 통계학적 차이가 나타나지 않았다. 그러나 구간별 SPM을 살펴본 결과 P1, P3를 제외한 전 구간에서 변동성이 나타났다. 특히, 손가락이 이탈된 후 지면을 박차고 최초 전방 점프하기 직전까지의 전신 각운동량 변동이 2%~69%, 95%~97%



의 두 지점에서 나뉘어서 차이가 나타났다. 이때 첫 번째 31% 지점에서 차이가 가장 컸으며( $p=.014$ ), 3초 그룹이 전방을 향해 보다 적극적으로 회전하려는 경향이 나타났다. 반면 95–97% 지점에서는 4초 그룹이 전방으로 향하려는 전신 각운동량 값이 커진 경향성이 나타났다.

Hubley & Wells(1983)은 단거리 출발에 기여하는 요인으로 총 동력 에너지(운동에너지, 각운동량)는 운동의 효율성을 설명한다고 하였으며 경기 시 효율성을 증가시키기 위해 최대화되어야 한다고 주장하였다. 또한 Slawinski et al. (2010)은 모든 세그먼트가 블록을 벗어날 때 변위 에너지를 생성하는 데 기여하며, 누름 단계에서 회전 동력을 최대한 생성해야 이득이라고 주장하였다. 본 연구 결과에서는 각 분절의 각운동량이 별도로 계산되지 않았지만, 종합된 전신 세그먼트 중 전방 회전에 관한 결과가 3초 그룹에서 크게 작용한다는 점이 나타났으며 이는 Slawinski et al. (2010)의 주장과 일맥상통한다. 그러나 본 결과는 그 기전이 명확히 밝혀지지 않은 상태로 결과가 도출된 것이며 추후 연구에서 더욱 확장하여 분절 각운동량, 전신 각운동량, 운동에너지에 연계하여 속도 및 기록과의 관계성을 보아야 할 것으로 사료된다.

마지막으로, 전신을 대변했던 COM 및 전신 각운동량을 제외한, 상–하지 관절 (좌–우, 발목, 무릎, 고관절, 어깨, 팔꿈치, 허리 각도 [Waist angle, between thorax and pelvis])에 대한 시상 면의 각속도 부분에서는 오직 E3(블록 앞발이 떨어진 순간), E7(4보 추진) 순간의 좌측 팔꿈치 부분에서만 차이가 발생했다. E3의 좌측 팔꿈치는 지면에 반력을 가하면서 최대한 앞 위쪽으로 팔을 뻗는 자세로, 구부린 상태를 의미하며, E7의 좌측 발꿈치도 팔을 앞으로 스윙하며 뒤에서 앞으로 위치하는 상황이다. 즉, 결과를 살펴보면, 최초 폭발적으로 추진할 때 3초 그룹이 전–상 방향으로 팔꿈치를 들어 올리며 구부리는 각속도가 높다는 것을 알 수 있으며( $p=.029$ ), E7에서도 마찬가지로 3초 그룹이 구부림 속도를 내고 있다( $p=.018$ ). 다만, 독특하게도 E7 지점에서는 4초 집단은 이미 좌측 팔꿈치가 편 상태의 각속도를 보인다는 것이다. 더욱 자세한 확인을 위해 SPM 결과를 확인한 결과, 좌측 팔꿈치 전 구간에 걸쳐 각 구간 내 매우 다른 분기 지점(SPM(t) 통계 범위)들이 발생했다. 이는 각 선수가 갖는 변동의 범주 영역들이 산발적으로 분리되어 있다는 점을 시사하고 개개인이 선호하는 전략이 좌측 팔꿈치에서 매우 다르다고 판단할 수 있다. 즉, 주동 팔이 아닌 반대 팔에서 기능적 차이가 나타난다고 할 수 있다. 이와 관련하여, Hubley & Wells (1983)은 동력 에너지를 변위 에너지로 전환하는 주자의 기능성은 상 하지와의 협응, 어깨 관절의 속도 등이 몸의 신장 운동에 연결된다고 하였는데, 본 결과에서는 최초 손가락을 이탈하여 블록에서 이탈하는 구간 중 후반부(66–100%)의 팔꿈치 전략이 매우 중요하며, 신체를 가속한 뒤 4보 수행 중 지면에서 이탈하는 추진까지 좌측 팔의 전방 굴곡 각속도를 높이는 것이 두 집단 간의 차이점이라고 할 수 있다.

## V. 결론 및 제언

본 연구에서는 대학부 남자 육상 단거리선수를 대상으로 블록 스타트 30m 기록 중 보다 빠른 집단의 특성을 살펴보고자 하였다. 또한 각 선수 간에 미세하게 조정되어 달라지는 변동성에 대해서 SPM분석을 이용하여 전 구간에 대해 면밀히 살펴보고자 하였다.

본 연구 결과를 토대로, 더욱 빠른 출발 기록을 위해서는 신체 중심을 낮게 유지해야 할 필요성이 제기되며, 최초 이탈 시 전신의 신장을 돕는 전방 팔의 팔꿈치를 빠르게 굴곡시켜서 전신 각운동량을 효과적으로 도모해야 하겠다. 또한 3보까지 속도를 가하며 주동 팔이 아닌 반대 팔의 스윙 가속도를 높여서 가속을 높여야 한다는 점이 도출되었다. 이 외에도 SPM 분석을 통해 기존의 연구에서 놓칠 수 있었던 주요 구간의 새로운 범위가 발견되었다. 이러한 점을 이용하여 추후 연구에서는 선수의 능동적 운동수행 구간과 기록과의 관계를 명확히 할 수 있을 것이며, 이를 통해서 수천분의 1초를 겨루는 대한민국 100m 기록 경신에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참고문헌

- 대한육상경기연맹(2003). **한국,아시아,세계기록**. 서울: 대한육상경기연맹.
- 백형훈 (2008). 육상도시 대구의 명과 암. **영남일보**. 스포츠 현장: 한국 육상.
- 이대형 김재운, 최수남 (2014). 자연과학편: 육상 여자 100 m Bunch Start 출발 구간의 운동학적 비교분석. **한국체육학회지**, 53(5), 457–466.
- 이용식, 최수남 (2014). 엘리트 육상 단거리 Running 속도요인에 기여하는 100m 구간속도 비교분석. **한국체육학회지**, 53(3), 731–737.
- 이정훈, 최수남, 김재운 (2013). **육상경기 지도서**. 서울: 레인보우북스.
- 이정태, 오정환, 최수남 (2012). 육상 100m Bunch Start 동작이 지면반력분석. **한국사회체육학회지**, 50, 845–855.
- 장재근, 성봉주 (2006). 엘리트 육상 단거리 선수들의 100m 달리기 구간속도 비교. **한국 스포츠 리서치**, 17(1), 293–300.
- 조필환, 김갑선 (2000). 단거리 스타트 동작에 대한 숙련자와 미숙련자간의 운동학적 비교분석. **한국운동역학회지**, 9(2), 103–116.
- 최수남 (2008) **육상 100m 출발 시 Starting Block 조건에 따른 신체 분절의 생체역학적 분석**. 미간행 박사학위논문, 충남대학교 대학원.
- 최수남, 성봉주, 박미선, 유덕수, 정범철 (2014). 육상 100m 국제 대회 결승진출자와 한국대회 결승진출자의 기록, 보수, 블록, 평균보속, 피치 및 반응시간 비교연구. **한국스포츠학회**,

- 12(1), 195–206.
- 윤석훈 (2016). 남자 육상 단거리 100 m 선수 기량 차이에 따른 질주 기술의 운동역학적 일관성 비교. *스포츠사이언스*, 33(2), 137–145.
- Chelly, S. M., & Denis, C. (2001). Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(2), 326–333.
- Coh, M., Peharec, S., & Bacic, P. (2007). The sprint start: Biomechanical analysis of kinematic, dynamic and electromyographic parameters. *New Studies in Athletics*, 22(3), 29.
- Go, S. G. (2002). *The study of interval velocity of 100m in elite sprinters*. Sungkyunkwan University, 15–25.
- Harrison, A. J., Keane, S. P., & Cogan, J. (2004). Force–velocity relationship and stretch–shortening cycle function in sprint and endurance athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 473–479.
- Hubley, C. L., & Wells, R. P. (1983). A work–energy approach to determine individual joint contributions to vertical jump performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50, 247–254.
- Hunter, J., & Dale, D. (2007). *The matplotlib user's guide* (Matplotlib 0.90.0 User's Guide). Retrieved from <https://matplotlib.org/stable/users/index.html>
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2004). Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(2), 261–271.
- Kwon, M. S. (2005). Kinetic Analysis of Athletes in crouching start Movement. *The Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(1), 19–28.
- Murphy, A. J., Lockie, R. G., & Coutts, A. J. (2003). Kinematic determinants of early acceleration in field sport athletes. *Journal of Sports Sciences and Medicine*, 2(4), 144–150. PMID: PMC3963247, PMID: 24688275.
- Slawinski, J., Bonnefoy, A., Leveque, J., Ontanon, G., Riquet, A., Dumas, R., & Cheze, L. (2010). Kinematic and kinetic comparison of elite and well–trained sprinter during sprint start. *Journal of Strength and Conditioning Research*, in press, doi:10.1519/JSC.0b013e3181ad3448.
- Van Der Walt, S., Colbert, S. C., & Varoquaux, G. (2011). The NumPy array: a structure for efficient numerical computation. *Computing in Science & Engineering*, 13(2), 22–30.
- Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2009). *Python 3 Reference Manual*. Scotts Valley, CA: CreateSpace.
- Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., ... & Van Mulbregt, P. (2020). SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17(3), 261–272.