

## 2011 대구세계육상선수권대회 남자 장대높이뛰기경기 우수/준우수선수 경기기술의 운동학적 요인 비교 분석

최규정 · 문제현\* (한국스포츠키개발원), 이경욱 (이화여자대학교), 정범철 (대한육상경기연맹)

이 연구는 2011 대구세계육상선수권대회 남자 장대높이뛰기경기에 참가한 선수의 경기기록 차이가 기술의 운동학적 변인과 어떻게 연계되는 가를 알아보기 위해 수행하였다. 결선에 진출한 8명(G1)과 예선경기 최하위 기록을 보인 7명(G2)이 각자의 최고기록을 낸 시기를 대상으로 2차원, 3차원 영상분석을 실시하였다. 5대의 비디오카메라를 사용하여 60 Hz로 영상자료를 수집하고, 디지털타이징하였다. Butterworth 2차 저역통과 필터(차단주파수 10 Hz)를 사용하여 원자료를 평활하고 운동학적 변인을 산출한 후, 두 집단의 독립표본 차이검정을 실시하였다. 분석 결과, 조주 단계에서는 스텝 수와 11-6 m 조주구간의 수평 속도가 G1이 G2보다 높다. 도약 단계에서는 G1이 G2보다 수평속도 감속이 적으며, 도약각도(바에 접근하는 각도)가 적어 전체적으로 G2보다 먼 지점에서 낮은 도약하는 기술적 특성을 보인다. 장대 구부리기 및 펴기 단계에서는 G1이 G2보다 수평속도가 대체적으로 높으며, 수직속도는 장대를 곧게 펴는 구간과 장대를 놓는 순간에 월등히 높기 때문에 G1이 높이 도약할 수 있었던 것으로 사료된다.

주요어: 남자 장대높이뛰기, 운동학적 분석, 2011 대구세계육상선수권대회

### 서 론

우리나라는 2011년 대구세계육상선수권대회를 개최함으로써 세계 3대 국제스포츠이벤트를 모두 유치하여 스포츠 강국 반열에 서게 되었다. 비록 경기력 측면에서 우리나라의 육상 경기력이 세계 수준과는 많은 격차가 있음을 확인하는 대회였지만, 성공적인 대회운영 경험과 경기장을 비롯한 제반 시설을 통해 육상 발전의 기틀을 마련했다는 의미가 있으며, 세계 톱 수준의 경기 기술을 보유한 선수의 기술자료를 확보할 수 있었다는 학술적 의미는 크다고 할 수 있다.

Linthorne & Weetman(2012)는 장대높이뛰기를 육상 종목 중 복잡한 동작 수행에 의한 종목으로 달리기, 도약 능력과 함께 바를 넘는 동작에서는 체조와 유사한 동작을 수행해야 한다고 하였다. 장대높이

뛰기 경기의 기술적 특성을 파악하기 위한 운동학적 분석에서는 Frere et al.(2010)이 제시한 조주(run-up), 도약(take-off), 장대 구부리기(pole bending), 장대 펴기(pole straight)의 4단계 구분동작이 가장 많이 인용되고 있다.

조주구간에서는 장대를 들고 달리는 동작을 수행하여 주로 수평속도와 기록과의 관계를 파악하려는 연구(김태완 등, 2012; Adamczewski & Perlt, 1997; McGinnis, 2004)와 도약을 준비하기 위한 폴 박스 주변에서의 감속에 대한 연구가 진행되었다(Linthorne, 1994). 도약 단계에서는 이륙 속도와 각도에 대한 연구를 중점적으로 진행하여 수평속도의 감속은 약 2 m/sec가 있었고(Angulo-Kinzler et al., 1994), 지면과 신체가 이루는 최적의 이륙각도는 18°라 하였다(Linthorne, 2000). 운동에너지가 장대를 통하여 위치에너지로 변환되는 과정에서 발생하는 에너지 손실에 대한 연구도 다수 진행되었는데, 폴 박스에 장대를 꽂을 때 발생하는 마찰과 장대 점탄성의 특성에 의하여 6-10%의 에너지 손실이 발생한다고 보고하였다(Arampatzis et al., 2004; Schade

논문 투고일: 2014. 08. 27.

논문 수정일: 2014. 10. 15.

게재 확정일: 2014. 11. 06.

\* 저자 연락처: 문제현(moonjeheon@snu.ac.kr).

et al., 2006).

지금까지 제시한 여러 선행연구에서는 장대높이뛰기 동작의 특성을 파악하기 위한 운동학적 분석을 수행하면서 실제 경기 장면을 촬영하여 분석하였다는 장점이 있지만, 경기라는 제한적 환경으로 인하여 정밀한 측정을 위한 연구 장비를 활용하지 못하였다는 한계가 있다 (Frere et al., 2010). 이로 인하여 대부분의 연구에서 분석 구간은 선수가 지면에서 이륙하기 2-3보 전부터 신체중심이 최고점이 도달하는 순간까지 분석한 것으로 사료된다(Bridgett & Linthorne, 2006; Linthorne & Weetman, 2012; Schade et al., 2004; Schade et al., 2006). 그러나 최규정 등(2011)의 연구와 최규정 등(2013)의 연구에서는 2011 대구세계육상선수권대회에 참가한 여자 장대높이뛰기 우수, 준우수 선수 기술의 전체 구간을 분석하여 세계 최고 수준의 경기력을 보유한 우수 선수들의 기술 특성을 파악한 사례라 할 수 있다.

2011 대구세계육상선수권대회가 우리나라에서 개최되어 대한육상경기연맹과 한국운동역학회가 공동으로 보고서를 발간하였다(KSSB, 2011). 이를 통하여 세계 수준의 기술을 보유한 선수의 자료를 축적할 수 있었던 좋은 기회가 되었다. 하지만 우리나라 선수와 유사한 기술 수준을 보유하고 있으며 결선 진출에 실패한 선수들의 자료는 아직 제시되지 않고 있다.

이에 본 연구는 2011 대구세계육상선수권대회에 참가한 남자 장대높이뛰기 중 결선에 진출한 8명의 우수 선수와 예선에서 최하위 기록을 보인 준우수 선수 7명을 대상으로 장대높이뛰기 경기 전 구간의 운동학적 분석을 실시하여 경기기록에 영향을 주는 기술 요인을 파악하는데 목적을 두었다. 다만 본 연구는 장대의 탄성에 대한 정보를 얻을 수 없어 이로 인한 역학적 분석이 가능하지 못했던 제한점이 있다.

## 연구방법

### 연구 대상

연구 대상은 2011 대구세계육상선수권대회에 참가한 남자 장대높이뛰기 선수 15명으로, 결선에 진출한 8명을 우수집단(이후 G1으로 표기), 예선에서 최하위 기록을

보인 A조 참가자 3명과 B조 참가자 4명, 총 7명의 선수를 준우수집단(이후 G2로 표기)으로 선정하였다. G1의 신장은 1.83±0.06 m, 연령은 28.63±1.77 yrs, 대회기록은 5.81±0.09 m 이었다. G2의 신장은 1.83±0.07 m, 연령은 30.14± 4.41 yrs, 대회기록은 5.50±0.12 m로 선수 개인별 세부내용은 <표 1>에 제시하였다.

표 1. G1과 G2의 신체정보와 대구대회 기록

구분	선수 (국가)	순위	신장 (m)	나이 (yrs)	기록 (m)
G1	Wojciechowski (POL)	1	1.85	26	5.90
	Borges (CUB)	2	1.78	29	5.90
	Lavillenie (FRA)	3	1.76	29	5.85
	Michalski (POL)	4	1.89	27	5.85
	Mohr (GER)	5	1.92	29	5.85
	Filippidis (GRE)	6	1.88	29	5.75
	Didenkow (POL)	7	1.80	28	5.75
	Silva (BRA)	8	1.78	32	5.65
평균			1.83	28.63	5.81
±표준편차			±0.06	±1.77	±0.09
G2	SAWANO (JPN)	A7	1.82	35	5.65
	Holzdeppe (GER)	A10	1.81	26	5.50
	Bergius (GBR)	A12	1.84	25	5.35
	Lewis (GBR)	B6	1.91	29	5.65
	Lukyanenko (RUS)	B9	1.89	30	5.50
	Lanaro (MEX)	B11	1.83	29	5.50
	Yurchenko (UKR)	B12	1.70	37	5.35
	평균			1.83	30.14
±표준편차			±0.07	±4.41	±0.12

### 연구 절차

2011 대구세계육상대회에 참가한 남자 장대높이뛰기 예선과 결선 경기 영상자료를 얻기 위하여 5대의 비디오 카메라를 관중석에 설치한 후 촬영하였다. 장대높이뛰기 경기는 A주로와 B주로로 나누어 진행되었는데, Cam 1

과 Cam 2는 조주동작을 2차원 분석하기 위해 A주로와 B주로 좌측에 설치하였다. 두 비디오카메라를 동기화시키기 위하여 주로 중반 약 2-5 m 구간을 겹치게 촬영하였다. Cam 3는 A주로 조주 후반의 동작부터 착지 동작까지 촬영하도록 매트 후면에 설치하였고, Cam 4는 B주로 조주 후반 동작부터 착지 동작까지 촬영이 가능하도록 B주로 매트 후면에 설치하였다. Cam 5는 조주 방향을 기준으로 좌측 10시 대각선 방향에 설치하여 A주로와 B주로의 도약 동작에서부터 착지 동작까지 촬영할 수 있도록 배치하였다(그림 1). 이후 공간좌표계 설정을 위하여 주로에는 1×2 m 통제점 틀(control objects) 6개를 5 m 간격으로 설치하였으며, 도약동작이 이루어지는 바(bar) 근처에는 1×1×6 m 통제점 틀을 설치한 후 30초 간 촬영하였다. 이후 남자 장대높이뛰기 예선과 결선경기 영상을 촬영하였으며, 촬영 중 비디오카메라가 움직이지 않도록 고정하였다.

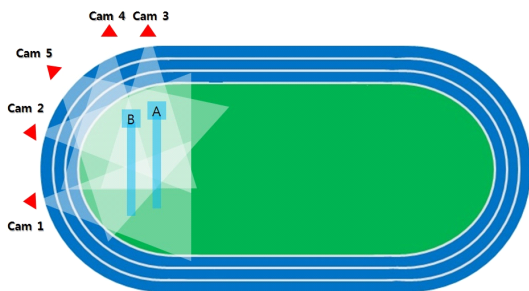


그림 1. 대구육상경기장에 설치한 비디오카메라 배치도(최규정 등, 2013)

## 자료 분석

A, B주로에 각각 3대의 비디오카메라로 촬영한 경기 영상은 Vegas 9.0b(Sony, Japan)을 사용하여 2차원, 3차원 분석용 디지털 영상으로 변환하였다. 운동학적 분석을 위하여 Kwon 3D 3.1(Visol, Korea)을 활용하여 디지털화(digitizing) 후, 획득된 원자료는 2차 저역 통과필터(Butterworth second order lowpass filter)를 사용하여 평활하였고(smoothing), 차단 주파수(cut-off frequency)는 10 Hz로 설정하였다(Bridgett & Linthorne, 2006).

분석 구간은 조주, 도약, 장대 구부리기, 장대 펴기, 4단계로 구분하여(Frere et al., 2010; 최규정 등, 2011; 2013) 이벤트별로 정리하였다. 조주단계는 착지 동작(touch down: TD)과 도약동작(take-off: TO)으로

구분하였고, 도약단계에서는 마지막 스텝의 착지동작(last touch down: TD1), 장대를 폴 박스에 꽂는 동작(pole plant: PP)과 마지막 발이 지면에서 떨어지는 순간(last take-off: TO1)이 포함한다. 장대 구부리기단계는 마지막 착지발이 도약하는 순간부터 장대가 최대로 구부러지는 순간(maximum pole bending: MPB)까지 포함된다. 그리고 장대 펴기단계는 장대가 최대로 구부러진 이후부터 바를 넘기 위해 신체중심이 가장 높이 올라간 지점에 있는 순간(peak height of COMV: HP)으로 폴이 다시 곧게 펴지는 순간(pole straight: PS)과 폴을 놓는 순간(pole release: PR)이 포함된다(그림 2 참조).

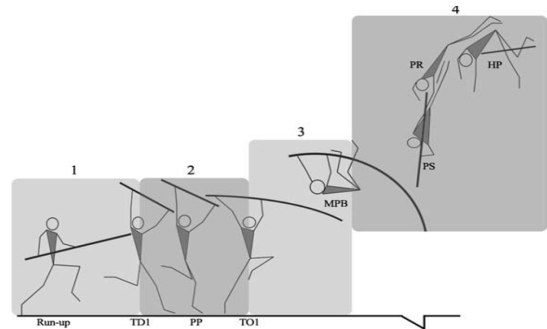


그림 2. 분석구간 및 이벤트 정의(Frere et al., 2010)

남자 장대높이뛰기 경기 기술 분석을 위하여 수집한 영상자료를 사용하여 출발부터 도약 전 마지막 스텝까지 총 이동한 거리, 총 스텝 수, 평균 보폭, 평균 이동속도, 폴 박스와 마지막 도약발까지의 거리 변인에 대해서는 2차원 분석을 실시하였다. 그리고 도약 단계에서는 신체중심의 속도, 신체중심이 지면과 이루는 도약 각도, 장대를 폴 박스에 꽂는 순간의 장대와 지면이 이루는 각도(PP 각도)를 3차원분석을 실시하였고, 장대 구부리기 및 펴기 단계에서는 장대의 굴곡 각도, 신체중심의 수평 및 수직 속도 변인에 대해 3차원 영상분석을 실시하였다. G1의 분석 자료는 최규정 등(2011)의 연구결과를 사용하였다.

## 통계 처리

자료 분석을 통하여 도출된 개인별 종속변인 결과는 SPSS ver. 19.0(SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 활용하여 기술통계를 실시하였고, G1과 G2 집단 간 비교를 위해서 독립표본 차이검증(independent

-test)을 실시하였다. 이 때 유의수준은  $p < .05$ 로 설정하였다.

## 연구 결과

본 연구는 세계 최고의 기량을 보유한 선수들의 장대높이뛰기 경기기술 특성을 파악하기 위하여 2011 대구 세계육상선수권대회 남자 결선 경기와 A, B조 예선 경기에 참여한 선수들의 2차원 및 3차원 영상분석을 실시하였으며, 연구 결과는 조주, 도약, 장대 구부리기, 퍼기 단계로 구분하여 제시하였다.

### 조주 단계

G1과 G2의 총 조주거리, 스텝 수, 평균 보폭 및 보폭의 신장대비 비율 및 두 집단의 차이검정 결과를 <표 2>에 제시하였다.

표 2. G1과 G2의 신장, 총 조주거리, 스텝 수, 평균 보폭의 기술통계 및 독립표본 차이검증 결과

구분	신장 (m)	총이동 거리(m)	스텝수 (step)	평균 보폭(m)	신장대비 비율(%)	
G1	1	1.85	33.34	16	1.96	105.9
	2	1.78	34.04	20	2.27	127.5
	3	1.76	33.59	18	2.10	119.3
	4	1.89	34.20	18	2.14	113.2
	5	1.92	35.62	16	2.23	116.1
	6	1.88	37.35	18	2.08	110.6
	7	1.80	33.42	16	1.97	109.4
	8	1.78	30.43	18	2.03	114.0
평균±	1.83	34.00	17.5	2.10	114.5	
표준편차	±0.06	±1.98	±1.41	±0.11	±6.67	
G2	A7	1.78	37.00	18	2.06	115.7
	A10	1.76	36.90	18	2.05	116.5
	A12	1.92	32.01	16	2.00	104.2
	B6	1.88	31.37	14	2.24	119.1
	B9	1.80	31.43	15	2.10	116.7
	B11	1.89	32.22	16	2.01	106.3
	B12	1.78	31.15	15	2.08	116.9
	평균±	1.83±	33.15±	16.00±	2.07±	113.6±
표준편차	0.06	2.61	1.53	0.08	5.84	
	0.305	1.062	2.085	0.597	0.261	
<i>p</i>	.385	.164	.041†	.286	.401	

※ G1의 자료는 최규정 등(2011)의 연구결과를 사용함

†  $p < .05$

총 조주거리는 조주를 시작한 지점으로부터 도약을 위한 마지막 발의 착지점까지의 이동거리를 의미하며, G1은 34.00±1.98 m, G2는 33.15±2.61 m를 이동하여 G1의 총 조주거리가 길었으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 조주 단계에서 G1 스텝 수는 17.50±1.41 step, G2의 스텝 수는 16.00±1.53 step로 G1의 스텝 수가 더 많았다( $p < .05$ ). 조주 단계에서 평균 스텝 길이는 G1이 2.10±0.11m, G2가 2.07±0.08m로 유사한 결과를 보였으며, 선수 개개인의 신장비로 표준화 시킨 결과에서도 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

장대높이뛰기 경기에서 폴 박스를 기준으로 11-6m 가 남은 구간에서는 수평 운동을 수직 운동으로 전환시키는 동작을 준비하는 단계로 매우 중요한 의미를 갖는

표 3. 기록, 스텝 수, 11-6 m 구간 내 수평속도, 폴 박스와 도약 발까지 거리의 기술통계 및 독립표본 차이검증 결과

구분	기록 (m)	스텝수 (step)	수평속도* (m/s)	도약발까지 거리**(m)	
G1	1	5.90	16	9.05	4.50
	2	5.90	20	9.48	4.55
	3	5.85	18	9.63	4.79
	4	5.85	18	9.09	4.51
	5	5.85	16	9.05	4.47
	6	5.75	18	9.34	3.80
	7	5.75	16	9.09	4.48
	8	5.65	18	9.31	4.45
평균±	5.81	17.50	9.26	4.44	
표준편차	±0.09	±1.41	±0.22	±0.28	
G2	A7	5.65	16	8.55	3.80
	A10	5.50	18	9.23	4.30
	A12	5.65	15	8.41	4.18
	B6	5.65	15	9.03	4.27
	B9	5.50	16	8.85	3.96
	B11	5.50	18	8.96	4.20
	B12	5.35	14	9.34	4.38
	평균±	5.54±	16.00±	8.91±	4.15±
표준편차	0.11	1.53	0.12	0.20	
<i>t</i>	8.741	2.085	1.950	2.036	
<i>p</i>	.000§	.041†	.049†	.044†	

※ G1의 자료는 최규정 등(2011)의 연구결과를 사용함

\* 폴 박스로부터 11-6 m 구간 내 수평속도를 의미함

\*\* 폴 박스와 도약발까지의 거리를 의미함

†  $p < .05$ , §  $p < .001$

다(Ferere et al., 2010; 최규정 등, 2013)는 관점에서 수평 속도와 폴 박스와 도약 발까지의 거리를 분석하여 <표 3>에 제시하였다. 11-6 m 구간 내 수평속도는 G1이 9.26± 0.22 m/s로 G2의 8.91±0.12 m/s 보다 높았으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다( <.05). 폴 박스에서부터 도약 발까지의 거리는 G1가 4.44±0.28 m, G2가 4.15±0.20 m로 G1의 거리가 더 멀었으며 통계적으로 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 이를 통해 G1의 수평 속도는 G2보다 높았으며 도약 지점은 G2보다 멀었다.

**도약 단계**

도약 단계는 마지막 발의 착지와 그 후 지면에서 떨어지는 순간까지의 동작이 포함되며, 이 구간에서는 신체 중심의 수평속도, 이륙각, PP각을 분석하였다.

<표 4>에는 TD2, TD1, TO1 순간의 신체중심 수평 속도와 이벤트별 차이를 제시하였는데 TD2와 TD1 순

간에는 G1과 G2 간에 차이를 나타내지 않았다. 그러나 TO1 순간의 신체중심 수평 속도는 G1이 8.24±0.56 m/s로 G2의 9.60±0.71 m/s 보다 낮은 결과를 보였으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<.01$ ). TD2와 TD1 순간의 속도는 G1과 G2 간 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 하지만 TD1과 TO1 간에는 G1이 0.86±0.43 m/s로 G2의 - 0.83±0.71 m/s 보다 높은 결과로 나타났다( $p<.001$ ). 이러한 결과는 G1의 경우 도약단계의 수평속도는 TD2-TD1-TO1을 지나면서 순차적으로 감소하였으나, G2의 경우 TD2와 TD1에서의 수평 속도는 감소하였다가 도약 순간인 TO1에서는 증가한 특성을 보였기 때문이다.

신체중심의 도약각도와 PP각도는 <표 5>에 제시하였다. TD1에서 G1의 도약각은 5.18±2.67°로 G2의 2.52± 2.60°보다 높았다( $p<.05$ ). 하지만 TO1에서는 G1의 도약각이 13.71±2.73°로 G2의 21.57±2.15°보다 낮았으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p$

표 4. 신체중심 수평 속도의 기술통계 및 독립표본 차이검증 결과 (단위 : m/sec)

구분	수평 속도			차이		
	TD2(1)	TD1(2)	TO1(3)	(1)-(2)	(2)-(3)	
G1	1	9.10	9.03	8.16	0.07	0.87
	2	9.52	9.19	8.46	0.33	0.73
	3	9.70	9.47	9.01	0.23	0.46
	4	9.03	9.06	8.57	0.03	0.49
	5	8.83	9.13	7.54	0.30	1.59
	6	9.43	8.69	7.56	0.74	1.13
	7	9.13	9.03	7.81	0.10	1.22
	8	9.27	9.15	8.77	0.12	0.38
평균±	9.25	9.09	8.24	0.16	0.86	
표준편차	±0.29	±0.22	±0.56	±0.30	±0.43	
G2	A7	9.86	8.52	8.97	1.34	-0.45
	A10	9.40	9.36	9.82	0.04	-0.46
	A12	8.16	8.84	10.84	-0.68	-2.00
	B6	9.20	8.69	9.91	0.51	-1.22
	B9	9.77	8.45	9.12	1.32	-0.67
	B11	8.54	8.95	8.76	-0.41	0.19
	B12	9.53	8.56	9.80	0.97	-1.24
평균±	9.21±	8.77±	9.60±	0.44±	-0.83±	
표준편차	0.64	0.32	0.71	0.82	0.71	
	.118	2.222	-9.629	-.503	7.339	
<i>p</i>	.455	.034	.000§	.316	.000§	

\* G1의 자료는 최규정 등(2011)의 연구결과를 사용함  
§  $p<.001$

표 5. 신체중심 도약각 및 PP각의 기술통계 및 독립표본 차이 검증 결과 (단위 : degree)

구분	도약각			
	TD1	TO1	PP	
G1	1	5.9	14.3	25.8
	2	10.1	19.0	26.5
	3	3.7	10.0	23.8
	4	3.0	14.3	28.1
	5	5.7	14.4	26.9
	6	1.5	10.7	30.8
	7	4.5	13.5	25.3
	8	7.1	13.4	23.6
평균±	5.18±	13.71±	26.35±	
표준편차	2.67	2.73	2.35	
G2	A7	-1.4	24.0	28.3
	A10	5.7	24.0	28.2
	A12	3.1	19.3	27.6
	B6	0.4	22.2	28.2
	B9	5.6	21.9	28.2
	B11	2.6	18.4	30.2
	B12	1.7	21.2	25.9
평균±	2.52±	21.57±	28.08±	
표준편차	2.60	2.15	1.26	
<i>t</i>	2.209	-13.650	-2.379	
<i>p</i>	.034†	.000§	.027†	

\* G1의 자료는 최규정 등(2011)의 연구결과를 사용함  
†  $p<.05$ , §  $p<.001$

( $<.001$ ). PP각도는 장대를 폴 박스에 꽂을 때 장대와 지면이 이루는 각도로서 G1은  $26.35\pm 2.35^\circ$ 로 G2  $28.08\pm 1.26^\circ$ 보다 낮게 나타났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $<.05$ ).

**장대 구부리기 및 펴기 단계**

장대 구부리기 및 펴기 단계는 도약을 위한 마지막 발이 지면에서 떨어진 순간부터 신체중심이 가장 높은 지점에 있는 순간까지 포함한다. 이 구간에서는 G1과 G2의 기술적 차이를 분석하기 위하여 신체중심 수평속도와 수직속도를 분석하여 <표 6>, <표 7>에 제시하였다.

장대가 가장 많이 구부러진 MPB 시점에서 G1의 신체중심의 수평속도는  $2.95\pm 0.46$  m/sec로 G2의  $1.39\pm 0.41$  m/sec 보다 높았으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<.001$ ). 구부러진 장대가 곧게 펴지는 PS 시점의 수평속도는 G1이  $1.66\pm 0.30$ m/sec로 G2의  $1.72\pm 0.16$ m/sec 보다 낮았으나, 통계적으로 유의한 차이는

나타나지 않았다. 바를 넘기 위해 폴을 놓는 PR 순간의 수평속도는 G1이  $1.46\pm 0.25$  m/sec, G2가  $1.06\pm 0.32$  m/sec로 G1이 매우 빨랐다( $p<.01$ ). 신체중심이 가장 높은 HP 순간에는 G1의 수평속도가  $1.23\pm 0.19$  m/sec로 G2의  $0.96\pm 0.64$ m/sec 보다 빨랐으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지는 않았다. 그러나 바를 넘기 위해서는 HP 순간에도 어느 정도 수평속도가 필요하다(최규정 등, 2013)는 점에서 G1의 경우 1 m/sec 이상의 수평속도를 유지했다는 결과를 눈여겨 볼 필요가 있다.

<표 7>에는 G1과 G2의 신체중심 수직속도를 제시하였다. MPB 순간, G1의 수직속도는  $2.44\pm 0.35$  m/sec로 G2의  $2.74\pm 0.35$  m/sec 보다 낮았으나( $p<.05$ ), G1의 경우 PS 순간에는  $4.72\pm 0.36$  m/sec로 G2의  $3.64\pm 0.48$  m/sec 보다 높았다( $p<.001$ ). 따라서 G1의 경우 높은 수평속도를 바탕으로 장대의 탄성을 극대화하여 PS 순간에 높은 수직속도로 전환시킨 결과라 할 수 있다. PR 순간에도 G1의 수평속도는  $2.39\pm 0.55$

표 6. 신체중심 수평 속도의 기술통계 및 독립표본 차이검증 결과 (단위 : m/sec)

구분	MPB	PS	PR	HP	
G1	1	3.44	1.71	1.65	1.13
	2	2.85	2.00	1.56	1.49
	3	2.86	1.70	1.30	1.15
	4	2.35	1.37	1.27	1.05
	5	2.86	2.04	1.94	1.55
	6	3.80	1.40	1.28	1.07
	7	2.58	1.80	1.46	1.16
	8	2.89	1.24	1.23	1.21
평균±	2.95	1.66	1.46	1.23	
표준편차	±0.46	±0.30	±0.25	±0.19	
G2	A7	1.59	1.90	1.44	0.38
	A10	1.14	1.78	1.25	0.63
	A12	1.37	1.39	0.53	1.79
	B6	1.93	1.76	0.92	1.57
	B9	0.65	1.66	1.25	0.67
	B11	1.51	1.77	1.24	0.19
	B12	1.56	1.79	0.79	1.51
평균±	1.39±	1.72±	1.06±	0.96±	
표준편차	0.41	0.16	0.32	0.64	
	6.242	-0.508	4.141	0.969	
<i>p</i>	.000§	.078	.003‡	.185	

\* G1의 자료는 최규정 등(2011)의 연구결과를 사용함

‡  $p<.01$ , §  $p<.001$

표 7. 신체중심 수직 속도의 기술통계 및 독립표본 차이검증 결과 (단위 : m/sec)

구분	MPB	PS	PR	HP	
G1	1	2.17	4.33	3.29	0.27
	2	2.86	4.33	1.51	0.34
	3	2.26	5.20	2.62	1.09
	4	2.42	4.85	1.91	0.38
	5	2.77	4.94	2.70	1.03
	6	2.07	4.54	2.21	0.48
	7	2.86	4.74	2.17	0.34
	8	2.07	4.85	2.71	0.02
평균±	2.44	4.72	2.39	0.49	
표준편차	±0.35	±0.36	±0.55	±0.37	
G2	A7	2.14	3.48	2.43	-0.21
	A10	2.83	3.00	1.06	0.08
	A12	2.73	4.49	1.65	1.84
	B6	3.17	3.24	0.07	-0.08
	B9	2.91	3.79	0.45	0.08
	B11	2.41	3.71	0.77	-0.06
	B12	2.97	3.79	1.16	0.00
평균±	2.74±	3.64±	1.08±	0.24±	
표준편차	0.35	0.48	0.78	0.71	
<i>t</i>	-2.303	8.771	5.371	1.649	
<i>p</i>	.030†	.000§	.002‡	.075	

\* G1의 자료는 최규정 등(2011)의 연구결과를 사용함

†  $p<.05$ , ‡  $p<.01$ , §  $p<.001$

m/sec로 G2의  $1.08 \pm 0.78$  m/sec 보다 높았으며 통계적으로 유의한 차이를 보였으나( $<.01$ ), HP 순간에는 집단 간 차이가 나타나지 않았다.

## 논 의

장대높이뛰기는 육상 종목 중 비교적 복잡한 기술을 요구하는 종목이라 할 수 있으며, 조주 구간의 체력적 요인, 도약 구간의 기술 요인, 바를 넘기 위한 유연성을 겸비해야 좋은 기록을 낼 수 있는 종목이다(Linthorne & Weetman, 2012). 이처럼 장대높이뛰기 경기기록이 다양한 경기기술 요인으로부터 영향을 받기 때문에 각국의 우수 선수라 할지라도 세계무대에 참가한 선수의 경기력에는 차이를 보이며, 이러한 차이가 어떤 요인에 기인하는가 알아보기 위하여 본 연구에서는 2011 대구 세계육상선수권대회 결선에 진출한 선수들과 예선에서 저조한 기록을 보인 선수를 대상으로 영상분석을 실시하고, 그 결과를 제시한 후 선행연구 결과와 비교 고찰하였다.

조주단계에서 총 스텝 수는 G1이 17.50 step으로 G2의 16.00 step 보다 높은 결과로 나타났으나( $p <.05$ ), 2009 베를린세계육상선수권대회 결선키의 평균 18.22 step에 비해 감소하였다. 이 결과는 11-6m 구간 내 수평속도와 관련지어 살펴볼 필요가 있다. 조주 구간의 수평속도는 G1이 9.26 m/sec로 G2의 8.91 m/sec 보다 현저히 높았으며, 베를린대회의 9.18 m/sec보다 높았다(IAAF, 2014). Adamczewski & Perlt(1997)는 남자 선수들의 인체중심 수평속도와 기록 사이에는 상관관계( $r=0.69$ )가 비교적 높다고 보고하여 수평 속도와 경기력과의 관계를 증명한 바 있다. 본 연구에서도 G1의 수평속도가 G2보다 0.35 m/sec 빠른 결과를 보여 임규찬(2001)이 제시한 선행연구와 일치하는 결과로 나타났다. 폴 박스로부터 도약 발까지의 거리는 G1이 4.44 m로 베를린대회의 4.22 m보다 먼 곳에서 도약한 결과로 나타났다(IAAF, 2014). 따라서 대구세계육상선수권대회 결선에 참가한 선수들은 조주 단계에서 스텝 수는 줄이고 폭발적인 힘을 바탕으로 가속하여 보다 먼 지점에서 도약한 기술적 특성을 보여준 것으로 분석된다.

Angulo-Kinzler et al.(1994), Gros & Kunkel

(1990), Linthorne(2000), McGinnis(2004)은 도약 단계에서는 수평속도의 감속과 도약각에 대한 연구를 하였다. Gros & Kunkel(1990), Angulo-Kinzler et al.(1994)은 1988년 서울올림픽과 1992년 바르셀로나올림픽 금메달리스트를 대상으로 수평속도를 분석하여 약 2 m/sec의 감속이 있었다고 보고하였다. 하지만 본 연구에서는 G1의 TD1과 TO1의 수평속도 차이는 0.85 m/sec로 선행연구 결과와 차이를 보였다. 이러한 결과의 원인은 도약각과 폴 박스로부터 도약 발까지의 거리에서 찾을 수 있는데, Linthorne(2000)의 연구에 의하면 최적의 도약각은  $18^\circ$ 로 제시하고 있으나, 본 연구에서는 G1의 TO1 시 도약각은  $13.71^\circ$ 로 선행연구에서 제시한 최적의 도약각과는 큰 차이를 보였다. 또한 전술한 바와 같이 본 연구에서 분석한 G1의 폴 박스로부터 도약 발까지의 거리는 4.44 m로 베를린대회의 4.22 m 보다 먼 곳에서 도약한 결과와 함께 종합하면, 대구대회 결선에 참가한 G1의 경우 최대의 운동에너지를 도약에 이용하기 위하여 높은 수평속도를 유지하여 먼 곳에서 낮은 도약각으로 바를 공략한 기술 특성을 보인 것으로 종합할 수 있다. 따라서 PP도 G1이  $26.35^\circ$ 보다 G2의  $28.08^\circ$  보다 낮은 결과로 나타나( $p <.05$ ), 대구세계육상선수권대회 결선에 진출한 G1의 기술 동작은 과거에 구사한 기술과는 많은 차이점을 발견할 수 있는 것으로 사료된다.

장대높이뛰기 경기기술을 분석한 최근 연구에서는 에너지 변환과 관련된 주제의 연구가 진행되었으며, 이들 연구에서의 공통점은 수학적 모델을 사용하여 운동에너지가 위치에너지로 변환되는 과정에서 장대를 매개 변수로 한 에너지 손실에 주된 관심을 두고 연구를 수행하였다(Arampatzis et al, 2004; Davis & Kukureka, 2012; Moore & Hubbard, 2004; Morlier et al., 2008; Schade et al., 2006). 그러나 여러 가지 가변적 요인들을 통제할 수 있는 실험상황이 아닌 실제 경기상황의 영상을 분석한 본 연구의 특성상 장대 구부리기 및 퍼기 단계에서는 신체중심의 수평속도와 수직속도를 분석하여 제시하였다. Frere et al.(2010)은 장대 구부리기 및 퍼기 단계에서 수평속도와 수직속도와와의 관계를 제시하였고, 장대가 가장 많이 구부러진 시점인 MPB에서 수평속도와 수직속도가 교차하는 자료를 제시하였다. 또한 장대가 구부러졌다가 다시 퍼지는 시점인 PS 시점에서는 수직속도가 가장 높았으며, HP 순간까지 여분의 약

1 m/sec 이상의 수평속도가 바를 넘는데 사용된다고 하였다. 본 연구 결과에 의하면 G1의 경우 MPB 순간의 수평속도가 2.95 m/sec로 G2의 1.39 m/sec 보다 높았고 ( $p < .001$ ), PR 순간에도 G1이 1.46 m/sec로 G2의 1.06 m/sec 보다 높았기 때문에( $p < .01$ ) Frere et al. (2010)이 제시한 바를 넘기 위한 수평속도를 유지하는 조건을 충족시켰다고 할 수 있다. 수직속도가 MPB 순간에는 G1이 G2보다 낮았으나, PS 순간에는 G1이 4.72 m/sec로 G2의 3.64 m/sec 보다 높았고( $p < .001$ ) PR 순간에도 G1이 2.39 m/sec로 G2의 1.08 m/sec 보다 높았기 때문에( $p < .01$ ) 보다 높이 도약할 수 있었던 것으로 판단된다.

## 결 론

본 연구는 2011 대구세계육상선수권대회에 진출한 남자 장대높이뛰기 선수 기술 동작의 운동학적 변인들 가운데 경기기록에 영향을 주는 것을 알아보기 위하여 결선경기에 진출한 선수 8명과 예선경기에만 참가한 선수 7명이 각자가 가장 높은 바를 넘었던 시기의 영상을 토대로 영상분석을 실시하였다. 본 연구의 결과와 선행 연구 고찰을 통하여 남자 장대높이뛰기경기의 기록 차이에 영향을 주는 운동학적 변인을 살펴본 결론은 다음과 같다.

첫째, 조주단계에서는 총 스텝 수, 조주구간 마지막 11-6 m 구간 평균속도, 폴 박스부터 마지막 착지밭까지의 거리 요인이며, G1이 G2보다 높다. 그러나 총 이동 거리, 평균 스텝 길이에에는 차이를 보이지 않는다.

둘째, 도약 단계에서는 장대를 폴 박스에 꽂기 위하여 수평속도가 줄어드는 감속량과 도약각도가 영향을 주는 변인이며, G1의 감속량은 G2보다 낮고, 도약각도도 적다. 그리고 적은 도약각도를 보인 결과는 G1의 선수들이 높은 조주속도를 이용하여 바에서 보다 먼 지점에서 도약을 시작하고, 적은 각도로 바에 접근하는 기술적 특성을 보인다.

셋째, 장대 구부리기 및 퍼기 단계에서는 인체중심의 수평 및 수직속도가 경기기록에 영향을 주는 변인이며, 장대가 가장 많이 구부러진 순간(MPB)과 장대를 놓는 순간(PR)의 수평속도는 G1이 G2보다 높다. 인체중심의 수직속도는 MPB 때에는 G1이 G2보다 낮지만 PS와

PR 때에 G1이 G2보다 월등히 높아 높은 기록을 보인다. 덧붙여 수평속도가 G1은 MPB 이후 지속적으로 감소되는 형태를 보이지만, G2는 PS에서 수평속도가 증가하였다가 다시 감소되는 형태로서 기술적 차이가 있다.

본 연구는 남자 장대높이뛰기 선수들의 기술 동작의 운동학적 변인들 가운데 경기기록에 영향을 주는 것을 알아보기 위하여 G1과 G2의 운동학적 차이를 규명하였지만, 장대를 폴 박스에 꽂을 때 손실되는 에너지와 운동에너지가 장대로 전달되어 위치에너지로 변환되는 일련의 과정은 영상분석의 한계로 인하여 파악하지 못하였다. 추후 장대높이뛰기에 대한 연구 수행 시 에너지 변환 측면에서의 연구가 진행되어 본 연구에서 밝히지 못한 연구가 진행되기를 기대한다.

## 참고문헌

- 김태완, 문영진, 박종철, 이진택, 이태현(2012). 엘리트 여자 장대높이뛰기 선수들의 운동학적 비교. *체육과학연구*, 23(1), 184-194.
- 임규찬(2001). 장대 높이뛰기의 이지 후 공중자세 동작분석. *한국운동역학회지*, 11(2), 117-131.
- 최규정, 이경옥, 김남희, 강지은, 김혜림(2011). 2011 대구 세계육상선수권대회 남자 장대높이뛰기경기 기술의 운동학적 분석. *한국운동역학회지*, 21(5), 551-560.
- 최규정, 이경옥, 김남희, 강지은, 김혜림, 문제현, 정범철(2013). 2011 대구 세계육상선수권대회 여자 장대높이뛰기 경기 참가선수 경기기술의 운동학적 요인 비교분석. *한국운동역학회지*, 23(3), 189-200.
- Adamczewski, H. & Perl, B. (1997). Run-up velocity of female and male pole vaulting and some technical aspects of women's pole vault. *New Studies in Athletics*, 12, 63-76.
- Angulo-Kinzler, R. M., Kinzler, S. B., Balius, X., Turro, C., Caubet, J. M., Escoda, J. & Prat, J. A. (1994) Biomechanical analysis of the pole vault event. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 147-165.
- Arampatzis, A., Schade, F., & Brüggemann, G. P. (2004). Effect of the pole-human body interaction on pole vaulting performance. *Journal of Biomechanics*, 37(9), 1353-1360.
- Bridgett, L. A. & Linthorne, N. P. (2006). Changes in long jump take-off technique with increasing run-up speed. *Journal of Sports Sciences*, 24(8), 889-897.
- Davis, C. L., & Kukureka, S. N. (2012). Effect of materials



- and manufacturing on the bending stiffness of vaulting poles. *Physics Education*, 47(5), 524.
- Frere, J., L'hermette, M., Slawinski, J., & Tourny-chollet, C. (2010). Mechanics of pole vaulting: a review. *Sports Biomechanics*, 9(2), 123-138.
- Gros, H. J. & Kunkel, V. (1990). *Biomechanical analysis of the pole vault*. In Brüggemann G. P., & Glad, B. (Eds.), Scientific Research Project at the Games of the 24th Olympiad. Seoul 1988, Final Report (pp. 219-260). Monaco: International Amateur Athletics Federation.
- International Association of Athletics Federations (2014). *The Official Athletics Website*, Retrieved August 3, 2014, from <http://www.iaaf.org>.
- Korean Society of Sport Biomechanics (2011). *Biomechanics Research Project in the IAAF World Championships Daegu 2011*. The Official KSSB Website, Retrieved July 10, 2014, from <http://www.kssb.or.kr>.
- Linthorne, N. P. (1994). Mathematical model of the takeoff phase in the pole vault. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 323-334.
- Linthorne, N. P. (2000). Energy loss in the pole vault take-off and the advantage of the flexible pole. *Sports Engineering*, 3, 205 - 218.
- Linthorne, N. P. & Weetman, A. H. G. (2012). Effects of run-up velocity on performance, kinematics, and energy exchanges in the pole vault. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11, 245-254.
- McGinnis, P. M. (2004). *Evolution of the relationship between performance and approach run velocity in the women's pole vault*. In M. Lamontagne, D. G. E. Robertson, and H. Sveistrup (Eds.), Proceedings of the 22th International Symposium on Biomechanics in Sports (pp. 531 - 534). Ottawa, ON: International Society of Biomechanics in Sports.
- Moore, A., & Hubbard, M. (2004). Modeling and real-time strain measurement of the non-uniform vaulting pole. *The engineering of sport*, 5, 312-318.
- Morlier, J., Mesnard, M., & Cid, M. (2008). Pole-vaulting: Identification of the pole local bending rigidities by an updating technique. *Journal of applied biomechanics*, 24 (2), 140.
- Schade, F., Arampatzis A., & Brüggemann G. P. (2004). Comparison of the men's and the women's pole vault at the 2000 Sydney Olympic Games. *Journal of Sports Sciences*, 22, 835 - 842.
- Schade, F., Arampatzis, A., & Brüggemann, G.-P. (2006). Reproducibility of energy parameters in the pole vault. *Journal of Biomechanics*, 39, 1464-1471.

## **Kinematical Analysis of 2011 Daegu IAAF World Championships Men's Pole Vault Event**

Kyoo-Jeong Choi<sup>1</sup>, Je-Heon Moon<sup>1</sup>, Kyung-Ok Yi<sup>2</sup>, & Bum-Chul Jung<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Korea Institute of Sport Science*, <sup>2</sup>*Ewha Womans University*, & <sup>3</sup>*Korea Association of Athletics Federations*

The purpose of the study was to investigate the relationship between the different kinematical variables with respect to the records and techniques performed by the participants during the 2011 Daegu IAAF World Championships Men's Pole Vault Event. Subjects chosen for the study were 8 male athletes who were selected for men's pole vault finals (highly skilled group) and 7 athletes who scored lowest record (skilled group) from the men's pole vault qualifying round. Personal best record of the each subjects were chosen to perform two dimensional (2D) and three dimensional (3D) video analyses. The data were obtained at 60 Hz with the use of five video cameras and digitizing was performed. Kinematical variables were calculated after smoothing the data using 2nd order Low-Pass Butterworth filter at cut-off frequency of 10 Hz and Independent samples *t*-test was performed to test any differences between two subject groups. The results: during the run-up stage, the horizontal velocity rate of the number of steps and run-up phase was obtained higher in highly skilled group than skilled group. During the take-off phase, deceleration in the horizontal velocity rate was observed in highly skilled group than skilled group. Distinct technical characteristics of distant and lower take-off of the take-off angle (angle of pole support) were also observed in highly skilled group than skilled group. During the pole bending and releasing phase, horizontal velocity was generally higher in highly skilled group than skilled group. It is considered that highly skilled group was able to jump higher as the vertical velocity during the pole bending as well as release phase was much higher in comparison to the skilled group.

**Key Words:** Men's Pole Vault, Kinematic Analysis, IAAF World Championships Daegu 2011 