

## 2011 대구 세계육상선수권대회 여자 장대높이뛰기 경기 참가선수 경기기술의 운동학적 요인 비교분석

최규정<sup>1</sup> · 이경옥<sup>2</sup> · 김남희<sup>2</sup> · 강지은<sup>2</sup> · 김혜림<sup>2</sup> · 문제현<sup>1</sup> · 정범철<sup>3</sup>

<sup>1</sup>국민체육진흥공단 체육과학연구원, <sup>2</sup>이화여자대학교 건강과학대학 체육과학과, <sup>3</sup>대한육상경기연맹

### Comparative Analyses on Kinematic Variables of Women's Pole Vault Competition at IAAF World Championships Daegu 2011

Kyoo-Jeong Choi<sup>1</sup> · Kyung-Ok Yi<sup>2</sup> · Nam-Hee Kim<sup>2</sup> · Ji-Eun Kang<sup>2</sup> · Hye-Lim Kim<sup>2</sup> ·  
Je-Heon Moon<sup>1</sup> · Bum-Chul Jung<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Sport Science, Korea Sports Promotion Foundation, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Department of Human movement studies, College of Health Science, Ewha Womans University, Seoul, Korea

<sup>3</sup>Korea Association of Athletics Federations, Seoul, Korea

Received 30 July 2013; Received in revised form 4 September 2013; Accepted 12 September 2013

#### ABSTRACT

The purpose of this study was to compare the kinematic analyses of the women's pole vault skills difference between skilled group (1st to 8th place) and less skilled group (10th to 15th place) who participated in IAAF World Championships Daegu 2011. To achieve this goal, 16 women's pole vault player's kinematic analyses was conducted. Player's best performance was recorded by five normal video cameras operating at 60 Hz. The results of this study through the research procedures above are as follows. First, Skilled group's average step length and the ratio of step length to her height were longer than less skilled's group in run-up phase. Second, Skilled group's horizontal velocity was faster than less Skilled group's results. And pole plant angle was lower than less Skilled group's results in take-off phase. Third, Maximum pole flexion angle did not show difference of between two groups in pole bending phase. However, Skilled group's vertical velocity was higher than less skilled group's results.

*Key words:* Women's pole vault, Kinematic analysis, IAAF World Championships Daegu 2011

## I. 서 론

2011 대구 세계육상선수권대회 개최를 통하여 우리나라는 국제 3대 스포츠 이벤트를 모두 유치한 일곱 번째 나라에 등록되었고, 대구광역시는 세계육상경기연맹(International Association of Athletics Federations [IAAF])이 정하는 국제육상도시에 세 번째로 지정되어 성공적인 대

회를 개최한 것으로 평가받았다. 그러나 이러한 외형적인 성과와는 달리 대구대회를 통하여 우리나라 육상 경기력이 세계적인 수준과 거리를 좁히지 못한 점은 오랜 기간 묵은 숙제를 여전히 남긴 것으로 사료되어 대단히 안타까운 실정이다. 그나마 다행인 것은 한국운동역학회가 대한육상경기연맹(Korean Association of Athletics Federations [KAAF])과 공동으로 대회 기간 중 영상분석 프로젝트를 수행하여 세계적인 선수의 기술 자료를 확보할 수 있었던 것이고, 대회 기간 내내 여러 종목에 걸쳐 간단한 운동학적 요인에 대한 분석자료 보급을 통하여 IAAF를 비롯한 세계 여러 나라에 우리나라의 스포츠과학 수준을 널리 알릴 수 있었던 점도 대회의 성공 요인으로 평가받았다는 점

Corresponding Author : Je-Heon, Moon  
Korea Institute of Sport Science, 223-19 Kongneung-Dong, Nowon-Gu, Seoul, Korea  
Tel : +82-2-970-9528 / Fax : +82-2-970-9686  
E-mail : jhmoon@sports.re.kr

이다(Korea Society of Sport Biomechanics, 2011 [KSSB]).

대구대회를 마치고 대구광역시와 국제육상도시의 위상에 걸 맞는 글로벌 면모를 갖추기 위해 다양한 노력을 기울이는 것처럼, 대구육상선수권대회를 준비해 가는 과정에서 이루지 못했던 육상 경기력 발전을 위해 대회 기간 중에 수집한 영상자료를 보다 체계적으로 분석하고, 이를 훈련 현장에 활용하게 제공하는 것이 필요한 것으로 사료된다. 이를 위해 참가선수의 경기력을 다양한 측면에서 분석하는 것이 필요한 바, 대회기간과 대회가 끝난 직후에 톱랭커들의 경기력에 관심을 가진 것과 달리, 톱랭커와 대비되는 예선탈락자의 경기력도 동시에 분석하여 비교함으로써 경기력에 관련된 요인 가운데 차이가 있는 것을 밝히는 것은 육상경기 발전을 위해 필요하며, 분석결과의 현장 활용도가 높을 것으로 사료된다.

장대높이뛰기 관련 선행연구를 살펴보면, 실제 경기 장면을 촬영하여 얻은 운동학적 정보를 토대로 경기기록과의 관계를 분석한 연구가 대표적이라 할 수 있다(Adamczewski & Perlt, 1997; Linthorne & Weetman, 2012; McGinnis, 2004). 특히, Adamczewski와 Perlt (1997), McGinnis (2004)의 연구에서는 조주 속도를 매우 중요한 요인으로 가정하고 수평속도와 기록과의 상관관계를 분석한 결과 비교적 높은 관련성을 밝혀냈고 Linthorne와 Weetman (2012)는 조주 전 구간에서의 스텝 길이, 수평속도, 기록 등의 결과를 곡선 적합(curve fitting)법으로 제시하여 1 m/s의 수평속도 증가가 0.54 m의 기록을 향상시킬 것으로 예상하였다. 이러한 관점에서 대구 세계육상선수권대회는 장대높이뛰기 경기에 참가한 세계 우수 선수들의 기술 동작 전 구간을 분석할 수 있는 절호의 기회였으며, 이 차이를 규명하는 것은 향후 훈련방향 설정과 자료로 갖는 큰 의의를 갖는다고 사료되는 바, 연구 필요성이 크다고 하겠다.

이에 본 연구는 2011 대구 세계육상선수권대회에 참가한 여자 장대높이뛰기선수 가운데 결승에 진출하여 8위 이내에 포함된 상위권 선수 8명과 예선전에서 경기력이 낮아 결승에 진출하지 못한 하위권 선수 8명을 대상으로 영상자료를 운동학적으로 분석하여 장대높이뛰기 경기에 사용하는 기술요인의 차이를 밝히는데 목적을 두었다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상

본 연구 대상은 2011 대구 세계육상선수권대회에 참가한 여자 장대높이뛰기 선수 16명이었다. 대구대회 여자장대높이뛰기 경기에 참가한 선수는 총 34명이었고, A조에 16명, B조에 18명으로 나누어 예선경기를 가졌다. 예선경기 결과, 4.50 m에서 결승진출자 12명이 확정되었다. 본 연

Table 1. Characteristics of two groups

Athlete (nations)	Rank	Height (m)	Age (yrs)	Record (m)
Muller F. (BRA)	1	1.72	30	4.85
Sturutz M. (GER)	2	1.60	30	4.80
Feoranova S. (RUS)	3	1.63	31	4.75
Suhr J. (USA)	4	1.83	29	4.70
G1 Silva Y. (CUB)	5	1.61	24	4.70
Isnvaeva E. (RUS)	6	1.74	29	4.65
Ptacnikova J. (CZE)	7	1.74	25	4.65
Kiriakopoulou N. (GRE)	8	1.67	25	4.65
Mean±SD		1.69 ±0.08	27.88 ±2.75	4.72 ±0.08
Sutej T. (SLO)	A10	1.73	23	4.40
Hendry K. (CAN)	A12	1.68	30	4.25
Tavares M. E. (POR)	A13	1.65	27	4.25
G2 Dahlsrtom M. (SWE)	A13	1.71	24	4.25
Yun-hee C. (KOR)	B10	1.72	26	4.40
Schwartz J. (ISR)	B13	1.73	33	4.25
Holm C. B. (DEN)	B13	1.78	22	4.25
Ling L. (CHN)	B15	1.81	27	4.25
Mean±SD		1.73 ±0.05	26.5 ±3.66	4.29 ±0.07

구에서는 확정된 결승진출자 가운데 결승경기를 통해 1-8위를 차지한 8명을 선정하였다(우수 집단 또는 G1로 표기). 이에 대비되는 집단(준우수 집단 또는 G2로 표기)은 결선 진출이 좌절된 최하위 8명이었다. 그러나 예선에서 한 차례도 성공하지 못하고 탈락한 선수는 분석에서 제외시켰다(각 조 3명). 덧붙여 녹화상태가 좋지 못한 2명은 동일한 4.40 m의 기록을 보인 차상위 선수로 대체하여 준우수 집단은 A조 10, 12, 공동 13위 4명(A10, A12, A13, A13으로 표기)과 B조 10, 공동 13, 15위 4명(B10, B13, B13, B15로 표기)으로 구성되었다. 우수 집단과 준우수 집단의 대회순위, 신체적 특성, 대구대회에서 기록한 개인별 최고 경기기록 등은 <Table 1>과 같았다.

### 2. 실험 방법

2011 대구 세계육상선수권대회 여자 장대높이뛰기 예선과 결선 경기 영상자료를 얻기 위하여 비디오카메라 5대로 촬영하였다. 비디오카메라 5대 중, Cam 1과 Cam 2는 2차원 분석을 위하여 조주로 정 측면에 설치하였다. Cam 1은 조주 전반부를, Cam 2는 조주 후반부를 촬영하도록 설치하였으며, 중반부 약 2-5 m의 거리가 겹치도록 배치하

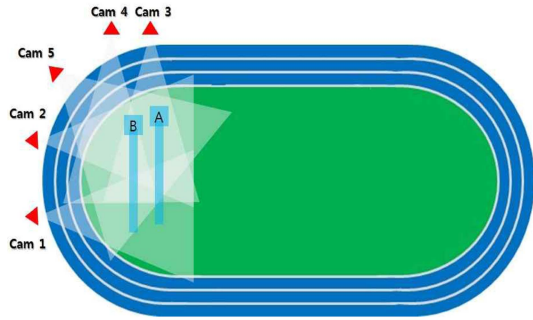


Figure 1. Position of five video cameras for two and three-dimensional analysis in Daegu stadium

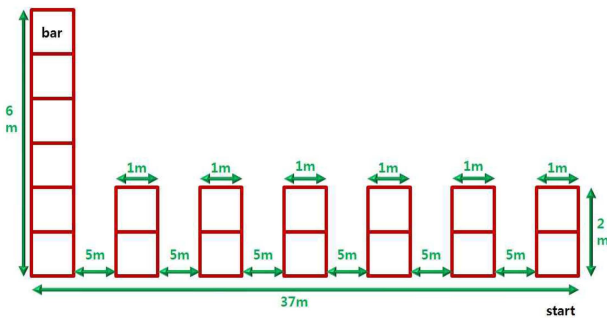


Figure 2. The layout of control objects for DLT calibration.

여 동기화하였다. 조주단계의 마지막 단계와 장대를 넘는 동작은 3차원 분석을 위하여 주로 A와 주로 B를 모두 포함할 수 있도록 위치를 선정하여 Cam 5를 설치하였다. Cam 3은 A 조주로 정면, Cam 4는 B 조주로 정면을 촬영하게 배치하여 Cam 5를 통해 얻은 영상과 동기화 하였다(Figure 1). 바를 포함한 전체 조주단계의 공간좌표 설정을 위하여 경기 시작 약 4시간 전에 1×1×2 m, 1×1×6 m 통제점 틀(control objects)을 설치하고(Figure 2) 촬영한 다음, 이를 제거한 후 예선경기와 결선경기를 촬영하였다.

### 3. 동작 구분 및 용어의 정의

장대높이뛰기 기술의 단계별 동작은 현재 가장 많이 사용되는 것으로서 Frere, L'hermette, Slawinski, & Tourny-chollet (2010)이 제안한 조주(run-up), 도약(take-off), 장대 구부리기(pole bending) 및 장대 펴기(pole straightening)의 4 단계며, 본 연구에서도 이 구분법을 사용하였다. 조주단계는 마지막 스텝을 제외한 모든 발의 착지동작(touch down [TD])과 도약동작(take-off [TO])이 포함된다. 도약단계는 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])까지 포함된다. 장대 구부리기 단계는 마지막 발이 도약하는 순간부

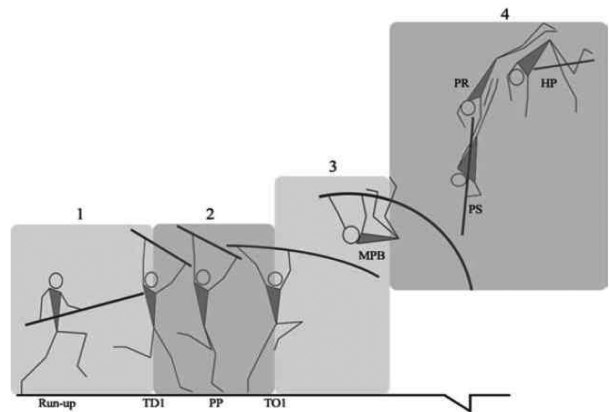


Figure 3. Four phase of pole vault model (Frere et al., 2010).

터 장대가 최대 구부러지는 순간(maximum pole bending [MPB])까지 포함된다. 그리고 장대 펴기 단계는 장대가 최대 구부러진 순간 이후부터 바를 넘기 위해 신체중심이 가장 높이 올라간 지점에 있는 순간(peak height of COM<sub>v</sub> [HP])으로 풀이 다시 곧게 펴지는 순간(pole straight [PS])과 풀을 놓는 순간(pole release [PR])이 포함된다(Figure 3).

### 4. 분석 변인

분석변인은 2차원과 3차원 운동학적 변인이었다. 2차원 변인은 출발부터 도약 전 마지막 스텝까지 전체 조주거리, 보수, 평균 보폭과 보폭의 신장대비 비율, 조주 3단계(전, 중, 후반부)의 평균보폭, 폴 박스로부터 5-10 m 구간의 평균 수평 속도, 폴 박스와 마지막 착지 발까지의 거리였다. 3차원 변인은 도약단계와 장대 구부리기 및 펴기 단계에 해당하며, 도약단계에서는 장대를 폴 박스에 꽂는 각도(PP 각도), 신체중심(center of mass [COM])의 속도 및 도약 각도를 포함시켰다. 장대 구부리기 및 펴기 단계에서는 장대의 굴곡 각도, 신체중심의 수평 및 수직속도를 분석하였다.

### 5. 자료 분석

녹화된 영상 자료는 Vegas 9.0b(Sony, Japan)를 사용하여 아날로그 형태의 자료를 디지털로 변환시킨 후, 2차원 분석을 위한 영상과 3차원 분석을 위한 영상을 별도 분류하여 분석용 컴퓨터에 저장하였다. 실제 영상분석을 위해 사용한 프로그램은 Kwon 3D 3.1 프로그램(Visol, Korea)이었다. 디지털라이징(digitizing)을 통해 얻은 원 자료(raw data)는 Butterworth 2차 저역통과필터(Butterworth second order lowpass filter)를 사용하여 평활(smoothing)하였고, 이를 위해 사용한 차단주파수(cut-off frequency)는 10 Hz (Bridgett & Linthorne, 2006)이었으며, 이를 2차원 및 3

Table 2. Competition results in relation to season's best 2011 (before the World Championships)

	Rank	SB 2011 (m)	PB (m)	Record (Daegu)	Difference (%)
G1	1	4.71	4.85	4.85	+2.9
	2	4.78	4.80	4.80	+0.4
	3	4.71	4.85	4.75	+0.8
	4	4.91	4.92	4.70	-4.5
	5	4.66	4.75	4.70	+0.9
	6	4.76	5.06	4.65	-2.4
	7	4.60	4.66	4.65	+1.1
	8	4.71	4.71	4.65	-1.3
G2	A10	4.54	4.61	4.40	-3.2
	A12	4.40	4.55	4.25	-3.5
	A13	4.50	4.50	4.25	-5.9
	A13	4.36	4.50	4.25	-2.6
	B10	4.40	4.41	4.40	0.0
	B13	4.50	4.72	4.25	-5.9
	B13	4.30	4.42	4.25	-1.2
	B15	4.40	4.50	4.25	-3.5

차원 위치좌표 값으로 계산하였다. 두 집단을 비교하기 위하여 분석한 자료 가운데 우수 집단에 대한 영상분석은 Choi, Yi, Kim, N. H., Kang과 Kim, H. L. (2011)이 제시한 결과를 사용하였다. 통계처리는 SPSS 16.0 (SPSS Inc., USA) 프로그램을 사용하였으며, 우수 집단과 준우수 집단의 분석변인의 차이를 규명하기 위하여 independent t-test를 실시하였다. 유의수준은  $p < .05$ 로 설정하였다.

### III. 연구 결과

2011 대구 세계육상선수권대회의 여자 장대높이뛰기경기에 참가한 우수 집단의 결선 경기와 예선 A, B조에서 하위기록을 보인 준우수집단의 최고기록을 나타낸 성공시기에 대한 영상분석을 실시하였고, 그 결과를 조주, 도약, 장대 구부리기 및 펴기 단계로 구분하여 제시하였다.

연구 대상자가 수립한 대구대회에서의 기록과 2011년 최고기록(season best [SB]), 개인최고기록(personal best [PB])을 <Table 2>에 제시하여 대구대회에서의 기록이 어느 수준인지 파악하도록 하였다(IAAF, 2012).

우수 집단 선수 중, 2명(Strutz M. & Silva Y.)의 선수가 개인최고기록을 수립하였고, 3명(Murrer F., Feofanova S., & Ptacnikova J.)의 선수는 시즌최고기록을 수립하였으나(Choi et al., 2011) 준우수 집단 선수 중, Yun-hee C. 선수만 시즌최고기록과 동일한 기록을 수립하였을 뿐, 나

Table 3. Athlete's height, total run-up distance, number of run-up steps, average step length and the ratio to her height

	Rank	Height (m)	Total Distance (m)	# of Steps (step)	Average Step Length (m)	Ratio (%)
G1	1	1.72	33.19	18	1.84	107.0
	2	1.60	30.42	16 *	1.79	111.9
	3	1.63	29.54	16	1.85	113.5
	4	1.83	32.27	18	1.79	97.8
	5	1.61	28.22	14	2.02	125.5
	6	1.74	31.29	16	1.96	112.6
	7	1.74	29.22	16	1.83	105.2
	8	1.67	30.20	16	1.89	113.2
Mean		1.69	30.54	16.25	1.87	110.8
±SD		±0.08	±1.64	±1.28	±0.08	±8.0
G2	A10	1.73	28.82	16	1.80	104.0
	A12	1.68	27.06	16	1.69	100.6
	A13	1.65	35.89	22	1.63	98.8
	A13	1.71	29.48	16	1.84	107.6
	B10	1.72	28.99	16	1.81	105.2
	B13	1.73	30.23	17	1.78	102.9
	B13	1.78	23.66	14	1.69	94.9
	B15	1.81	26.25	14	1.88	103.9
Mean		1.73	28.80	16.50	1.77	102.2
±SD		±0.05	±3.56	±2.56	±0.09	±4.0
<i>t</i>			1.260	-0.247	2.534	2.716
<i>p</i>			.114	.404	.012 †	.008 ‡

\*Additional 1 short step for preparation first step

†Means significant difference between G1 and G2 at  $p < .05$

‡Means significant difference between G1 and G2 at  $p < .01$

머지 하위권 선수들의 대구대회 기록은 개인최고기록이나 시즌최고기록보다 저조한 기록을 보여 대조를 이뤘다.

#### 1. 조주 단계

우수 및 준우수 집단의 조주단계에서 총 조주거리, 스텝 수, 평균 보폭과 신장대비 보폭의 비율을 구하여 <Table 3>에 제시하였다.

총 조주거리는 조주를 시작하여 도약 전까지 이동한 거리로서 우수 집단이 30.54 m, 준우수 집단이 28.80 m이었다. 우수 집단의 총 조주거리가 비우수 집단보다 다소 길었으나, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한 총 스텝 수도 우수 집단이 16.25, 준우수 집단이 16.50 스텝으로 우수 집단이 준우수 집단보다 약간 적었지만, 유의한 차이가 없었다.

Table 4. Average step length for the section of 12-9 step, 8-5 step and 4-1 step (unit: m)

Rank	Height	Average step length (The ratio of step length to her height)		
		The first period (Last 12-9 step)	The middle period (Last 8-5 step)	The latter period (Last 4-1 step)
G1	1	1.89 (109.9)	1.94 (112.8)	1.95 (113.4)
	2	1.87 (116.9)	1.77 (110.6)	1.75 (109.4)
	3	1.91 (117.2)	1.80 (110.4)	1.93 (118.4)
	4	1.91 (104.4)	1.97 (107.7)	1.91 (104.4)
	5	1.61 (128.6)	2.11 (131.1)	2.01 (124.8)
	6	1.74 (119.5)	2.09 (120.1)	1.94 (111.5)
	7	1.74 (104.6)	1.95 (112.1)	1.91 (109.8)
	8	1.67 (114.4)	1.94 (114.4)	1.92 (115.0)
Mean±SD	1.69	1.93±0.09 (114.4±8.12)	1.94±0.12 (114.9±7.49)	1.92±0.07(113.3±6.22)
G2	A10	1.78 (102.9)	1.98 (114.5)	1.85 (103.9)
	A12	1.70 (101.2)	1.83 (108.9)	1.78 (104.7)
	A13	2.06 (124.8)	2.06 (124.8)	1.93 (93.7)
	A13	1.84 (107.6)	1.99 (116.4)	2.08 (113.0)
	B10	1.72 (107.6)	1.98 (115.1)	1.91 (103.2)
	B13	1.73 (108.1)	2.01 (116.2)	1.90 (101.6)
	B13	1.78 (88.2)	1.83 (102.8)	1.93 (122.9)
	B15	1.81 (107.7)	2.00 (110.5)	1.87 (95.9)
Mean±SD	1.73	1.83±0.15 (106.0±10.1)	1.96±0.08 (113.7±6.5)	1.91±0.09 (104.9±9.4)
<i>t</i>		1.703 (1.856)	-0.277 (0.346)	0.242 (2.133)
<i>p</i>		.055 (.042) <sup>†</sup>	.393 (.367)	.406 (.026) <sup>†</sup>

<sup>†</sup>Means significant difference between final group and preliminary group at  $p < .05$

그러나 평균 보폭과 보폭의 신장대비 비율은 유의한 차이를 보였다. 평균 보폭은 우수 집단이 1.87 m, 준우수 집단이 1.77 m이었고, 두 집단 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < .05$ ). 보폭을 선수의 신장으로 표준화한 평균 보폭도 우수 집단이 평균 110.8%로 준우수 집단의 102.2%와 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < .01$ ). 이는 우수 집단이 준우수 집단보다 평균 신장이 작음에도 불구하고 보폭을 길게 하여 조주하는 것으로 해석할 수 있었다.

보폭 및 신장대비 비율이 유의한 차이를 보임에 따라 스텝 수에 따른 가속 형태를 파악하기 위해 조주구간을 3단계로 구분하였다. 일반적으로 선수는 14, 16, 18 스텝을 사용하며, 서로 다르기 때문에 조주구간도 다른 스텝수로 구분하는 것이 합리적이지만, 도약동작을 기준으로 조주 초기보다는 조주 후반부의 수평 이동속도가 가속형태를 평가하는데 더욱 중요한 의미를 가지며, 스텝 수를 결정하기 위해 일정 비율을 곱하게 되면 스텝 수가 정수로 구해지지 않고 선수마다 달라지기 때문에 마지막 스텝을 기준으로 4 스텝씩 나누어 구분하였다. 이에 따라 최종 12-9 스

텝을 전반부, 최종 8-5 스텝을 중반부, 최종 4-1 스텝을 후반부로 명명하였으며, 이 분류에 따른 평균 보폭과 신장대비비율을 <Table 4>에 제시하였다.

<Table 4>에서 보는 바와 같이 우수 집단의 전반부 평균 보폭은 평균 1.93 m로 준우수 집단의 평균 1.83 m 보다 긴 결과를 보였지만, 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. 그러나 평균 보폭을 신장에 대한 비율로 나타낸 결과에서는 우수 집단이 평균 114.4%, 준우수 집단이 평균 106.0%의 결과를 보임에 따라 우수 집단이 비우수 집단보다 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났다( $p < .05$ ).

중반부에서는 우수 집단의 평균 보폭과 신장대비 비율이 각각 1.94 m, 114.9%였으며, 준우수 집단은 1.96 m, 113.7%로 나타났으며, 두 집단 간에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그리고 조주단계 후반부에서는 전반부와 같이 우수 집단과 준우수 집단 간의 평균 보폭에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 신장비로 나타낸 결과에는 우수 집단이 평균 113.3%, 준우수 집단이 평균 104.9%로 유의한 차이를 보였다( $p < .05$ ).

Table 5. Jumping height, run-up velocity in section 10-5 m, number of run-up steps and take-off position

Rank	Records (m)	# of Steps	VA * (m/s)	AP ** (m)
1	4.85	18	8.27	4.04
2	4.80	16 ***	8.23	4.10
3	4.75	16	8.30	3.40
4	4.70	18	8.30	3.54
5	4.70	14	8.15	3.69
6	4.65	16	8.27	3.46
7	4.65	16	8.20	3.39
8	4.65	16	8.13	3.35
Mean±SD	4.72 ±0.08	16.30 ±1.30	8.23 ±0.07	3.62 ±0.30
A10	4.40	16	7.91	3.72
A12	4.25	16	7.75	3.14
A13	4.25	22	7.64	3.38
A13	4.25	16	7.92	3.25
B10	4.40	16	7.64	3.61
B13	4.25	17	7.38	3.32
B13	4.25	14	7.52	3.67
B15	4.25	14	7.54	3.35
Mean±SD	4.29 ±0.07	16.50 ±2.56	7.66 ±0.19	3.43 ±0.21
t		-0.247	8.020	1.484
p		.404	.000 §	.080

\* The velocity has analyzed in the run-up section between 0-5 m from the cut-in box

\*\* AP has analyzed the distance between cut-in box and the last heel strike

\*\*\* Additional 1 short step for preparation first step

§ Means significant difference between G1 and G2 at  $p < .001$

대구대회 결선 및 예선 A, B조에 참가한 선수의 경기 기록, 전체 조주 스텝 수, 폴 박스를 기준으로 마지막 5 m 구간의 평균 조주속도(VA), 폴 박스로부터 마지막 착지 발까지의 거리(approach position [AP])를 분석하여 <Table 5>에 제시하였다. 조주 스텝 수는 전술한 바와 같이 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 최종 5 m 단계의 평균 속도는 우수 집단이 8.23 m/s, 준우수 집단이 7.66 m/s로 분석되었으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < .001$ ). 폴 박스로부터 최종 스텝의 착지지점까지의 거리는 폴 박스에 접근한 거리를 의미하는데, 이 변인은 전체 스텝수와 같이 우수 집단이 3.62 m, 준우수 집단이 평균 3.43 m로 나타났으며, 두 집단 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

Table 6. The angle of pole at pole plant (unit: degree)

Rank	PP	Rank	PP
1	27.4	A10	27.4
2	23.7	A12	32.4
3	25.7	A13	29.3
4	29.4	A13	30.5
5	28.5	B10	30.1
6	28.5	B13	32.3
7	29.1	B13	31.2
8	29.8	B15	34.2
Mean±SD	27.8±2.1	Mean±SD	30.9±2.1
t		-3.029	
p		.005 †	

† Means significant difference between G1 and G2 at  $p < .01$

## 2. 도약 단계

PP각도는 조주 단계에서 마지막 발을 착지한 다음 장대를 폴 박스에 꽂을 때, 장대가 지면과 이루는 각도로서 <Table 6>에 분석결과를 제시하였다. 우수 집단의 PP 각도는 약 24°-30° 범위를 보였으며, 평균 27.8°로 나타났다. 준우수 집단은 약 27-34°의 범위를 보였으며, 평균 30.9°로 분석되었다. 그리고 우수 집단의 PP 각도가 준우수 집단보다 적었으며, 두 집단 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < .01$ ).

도약 단계에서 폴 박스에 장대를 꽂는 순간, 수평속도는 줄어들고 수직속도는 상승한다. 이는 도약종목의 공통적 특성으로 마지막 스탠스에서

최적의 도약 각도를 만들기 위해 수직성분을 증가시키기 때문이다(Choi et al., 2011). 조주속도에 의한 운동에너지를 장대 탄성에너지로 변환시키는 과정에서 수평속도가 감소하며, 감소량에 따라 폴 박스에 장대를 꽂는 도약 동작의 효율을 평가할 수 있다. 이러한 관점에서 마지막 착지 전 2보 순간, 마지막 스텝의 착지 및 도약 순간에 대해 신체중심의 수평속도를 구하여 <Table 7>에 제시하였다.

<Table 7>에서 TD2는 마지막 착지 전 2보 순간 수평속도, TD1은 마지막 착지 순간의 수평속도이고, TO1은 도약 직전의 수평속도를 의미한다. TD2에서 수평속도는 우수 집단이 8.27 m/s를 보였으며, 준우수 집단이 8.06 m/s로 분석되었고, 두 집단은 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < .05$ ). TD1에서 우수 집단의 수평속도가 7.86 m/s, 준우수 집단이 7.20 m/s로 분석되었으며, TD2처럼 두 집단은 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < .05$ ). 그리고 마지막 발을 지면에서 떼는 순간의 속도, TO1에서는 우수 집단이 7.19 m/s, 준우수 집단이 5.66 m/s로 분석되었으며,

Table 7. The difference of horizontal velocity (unit: m/s)

Rank	Horizontal velocity			Difference	
	TD2(1)	TD1(2)	TO1(3)	(1)-(2)	(2)-(3)
1	8.24	8.41	7.47	0.17	0.94
2	8.24	8.20	7.90	-0.04	0.30
3	8.21	8.39	6.91	0.18	1.48
4	8.33	8.02	6.57	-0.31	1.45
5	8.28	7.82	6.79	-0.46	1.03
6	8.50	8.05	7.29	-0.45	0.76
7	8.35	7.82	7.79	-0.53	0.03
8	8.00	6.14	6.82	-1.86	-0.68
Mean	8.27	7.86	7.19	-0.41	0.66
±SD	±0.14	±0.73	±0.49	±0.65	±0.74
A10	8.41	6.38	5.73	-2.03	0.65
A12	7.85	6.14	4.79	-1.71	1.35
A13	8.41	7.59	5.55	-0.82	2.04
A13	8.12	8.13	6.21	0.01	1.92
B10	7.84	7.69	6.73	-0.15	0.96
B13	7.62	7.26	6.14	-0.36	1.12
B13	8.22	7.36	5.22	-0.86	2.14
B15	7.98	7.04	4.94	-0.94	2.10
Mean	8.06	7.20	5.66	-0.86	1.54
±SD	±0.28	±0.67	±0.67	±0.72	±0.59
t	1.890	1.883	5.181	1.300	-2.607
p	.040 <sup>†</sup>	.040 <sup>†</sup>	.000 <sup>§</sup>	.107	.010 <sup>†</sup>

<sup>†</sup>Means significant difference between G1 and G2 at  $p < .05$

<sup>§</sup>Means significant difference between G1 and G2 at  $p < .001$

두 집단 사이에는 역시 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ( $p < .001$ ). 이러한 결과는 폴 박스에 장대를 꽂기 5-10 m 전 구간의 평균 수평속도 분석에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다는 결과를 통해 TD2, TD1, TO1이 이 구간에 포함된다는 점을 고려하면 충분히 짐작할 수 있는 것으로 사료되었다.

TD2-TD1은 마지막 두 번째 착지와 마지막 착지 사이에 발생하는 수평속도의 감소량으로서, 우수 집단이 0.41 m/s, 준우수 집단이 0.86 m/s로 나타났으며, 두 집단 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 마지막 발 착지와 도약 순간 사이, 즉 마지막 발이 지면에 닿고 있는 동안의 수평속도 차이에서는 우수 집단이 0.66 m/s, 준우수 집단이 1.54 m/s로 나타났으며, 두 집단 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ( $p < .01$ ). 이는 우수 집단이 조주단계에서 도약 직전까지 수평속도를 상대적으로 잘 유지한 것과는 달리 준우수 집단은 도약 직전 수평속도를 감소시키는 것으로 해석할 수 있었고, 특히, 마지막 발을

Table 8. The angle of take-off on COG (unit: degree)

Rank	event 1 (TD1)	event 2 (TO1)
1	5.10	14.07
2	6.76	12.06
3	6.76	17.18
4	4.83	13.06
5	7.31	18.76
6	6.47	13.00
7	6.25	18.93
8	4.83	16.32
Mean±SD	6.04±0.98	15.42±2.72
A10	6.70	22.47
A12	10.70	18.58
A13	4.59	20.09
A13	3.31	12.18
B10	3.72	12.56
B13	9.85	12.67
B13	3.89	21.91
B15	5.76	25.35
Mean±SD	6.06±2.84	18.23±5.15
t	-0.025	-1.362
p	.490	.097

지면에 착지하고 그 발을 떼는 사이에서 수평속도 감소량이 급격히 많아짐을 의미하여 조주구간에서 얻은 속도를 도약 동작까지 연결시키지 못하는 기술적 결함을 보인 것으로 해석되었다.

<Table 8>에는 신체중심의 수직 및 수평속도를 이용하여 신체중심이 바를 향하여 접근하는 각(향후 도약 각이라 함)을 계산하여 제시하였다. 도약 각은 조주단계에서 인체를 최대한 가속시켜야 하는 요인과 이어지는 도약 단계에서 수평속도를 수직성분으로 변환시켜야 하는 요인이 효율적인 조합을 이뤄야 하는 장대높이뛰기 기술의 가장 중요한 요소로 작용한다. 마지막 발이 지면에 착지하는 순간에서 도약 각은 우수 집단이 6.04°, 준우수 집단이 6.06°를 보였다. 그리고 두 집단 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다. 도약 순간에는 우수 집단이 15.42°, 준우수 집단의 평균 18.23°로 나타났으며, 역시 유의한 차이가 없었다.

### 3. 장대 구부리기 및 퍼기 단계

장대 구부리기 및 퍼기 단계는 마지막 착지 발을 지면에서 떼는 순간부터 바를 넘기 직전까지를 포함한다. 이 단계에서는 장대에 힘을 가한 정도를 파악하기 위하여 장대를 구부리는 각도(장대 굴곡 각이라 함)를 분석하였고

Table 9. The angle of pole bended (unit: degree)

Rank	Event 3	Event 4	Event 5	Event 6	
G1	1	95.5	170.7	172.9	174.8
	2	98.5	165.2	165.2	165.0
	3	105.2	169.5	172.1	170.1
	4	96.7	176.4	176.2	174.0
	5	107.1	168.7	172.6	172.0
	6	95.1	171.1	170.7	171.0
	7	103.0	166.7	173.8	173.7
	8	108.3	168.9	176.9	177.0
Mean	101.2	169.6	172.5	172.2	
±SD	±5.4	±3.4	±3.6	±3.6	
G2	A10	100.3	177.3	177.2	166.2
	A12	90.3	168.2	171.6	173.0
	A13	95.1	164.7	167.0	163.4
	A13	99.1	160.3	163.6	164.0
	B10	94.9	177.4	177.6	178.2
	B13	116.0	177.6	175.7	177.1
	B13	103.9	172.9	176.1	175.0
	B15	102.3	176.2	177.9	177.1
Mean	100.3	171.8	173.3	171.7	
±SD	±7.7	±6.7	±5.4	±6.2	
<i>t</i>	0.275	-0.832	-0.339	0.178	
<i>p</i>	.394	.210	.370	.431	

(Table 9), 인체중심이 상승하면서 수평, 수직성분의 속도가 변하는 형태(Table 10, 11)를 분석하였다. 표에서 Event 3은 장대에 힘을 가하여 장대가 최대로 휘는 시점, Event 4는 휨 장대가 곧게 펴지는 시점, Event 5는 장대를 놓는 시점, Event 6은 인체중심이 가장 높은 시점을 나타낸 것이다.

장대 굴곡 각은 Event 3에서 최소치를 보였으며, 이는 장대를 구부릴수록 그 각도가 줄어들기 때문에 당연한 결과로 사료되었다. 그리고 장대 굴곡 각은 그 값이 작을수록 장대를 많이 구부린 것을 의미하므로 우수 집단의 최대 장대 굴곡 각 101.2°, 준우수 집단 100.3°로 나타나 우수 집단이 준우수 집단보다 다소 많이 장대를 구부리는 것으로 나타났지만, 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. 집단 간의 비교와는 별도로 개인별 장대 굴곡 각을 보면, 비록 6위에 그쳤지만 Isnvaeva E. 선수가 장대에 많은 힘을 가하여 가장 많이 구부렸으며(95.1°), 이어서 1위를 차지한 Muller F. 선수가 95.5°, 4위를 차지한 Suhr J. 선수가 96.7°, 2위를 차지한 Sturutz M. 선수가 98.5° 순으로 나타났으며, 이들만 대상으로 하면 평균 96.5°를 보였다. 준우수 집단은 Hendry K.(A12), Tavares M.

Table 10. Horizontal velocity of COG (unit: m/s)

Rank	Event 3	Event 4	Event 5	Event 6	
G1	1	2.61	1.38	1.01	1.04
	2	2.50	1.54	1.59	1.32
	3	2.60	1.53	1.19	1.23
	4	2.95	1.45	1.23	1.25
	5	2.74	1.53	1.16	1.30
	6	2.76	1.87	1.63	1.62
	7	2.36	1.19	1.41	1.39
	8	2.49	1.26	1.24	1.20
Mean	2.63	1.47	1.31	1.29	
±SD	±0.19	±0.21	±0.22	±0.17	
G2	A10	1.95	2.50	0.59	2.21
	A12	1.16	2.25	1.43	1.40
	A13	1.86	2.54	0.82	0.94
	A13	2.05	3.18	0.70	1.39
	B10	1.77	0.89	1.14	0.55
	B13	2.01	2.23	1.60	0.49
	B13	1.19	2.22	2.32	2.10
	B15	1.04	1.81	1.12	0.86
Mean	1.63	2.20	1.22	1.24	
±SD	±0.42	±0.66	±0.57	±0.65	
<i>t</i>	6.094	-3.004	0.432	0.214	
<i>p</i>	.000 §	.005 †	.336	.417	

† Means significant difference between G1 and G2 at  $p < .01$

§ Means significant difference between G1 and G2 at  $p < .001$

E.(A13), Dahlsrtom M.(A13), Yun-hee C.(B10) 선수가 평균 94.9°를 보임으로써 우수선수 못지않았다.

장대가 최대로 구부러지고 난 이후 점차 장대가 펴지면서 장대 각도는 180° 가깝게 증가하지만, 완전히 180°를 보이지 않았으며, 이는 평소 장대를 사용하여 장대가 약간 구부러진 형태로 남아있기 때문으로 조사되었다. 그리고 장대를 놓는 시점과 인체중심이 가장 높은 시점 간의 장대 굴곡 각을 비교하면, 특정 시점에서 더 크게 나타나는 일관된 형태를 보이지 않고 상반된 결과를 보였으며, 두 집단의 장대 굴곡 각에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

<Table 10>에 신체중심의 수평속도와 수직속도를 제시하였다. 장대가 최대로 굽혀지는 시점에서 우수 집단의 수평속도가 2.63 m/s로 준우수 집단의 1.63 m/s보다 빠른 결과를 보였으며, 통계적으로 매우 유의한 차이를 보였다 ( $p < .001$ ). 공중동작이 이루어지는 도약 단계의 수평속도는 조주를 통해 얻은 가속도의 영향이며, 이 단계의 수평속도가 높다는 것은 도약을 위한 마지막 발의 착지 지점이 우수 집단이 약 0.2 m 길었다는 점(Table 5)을 고려할 때,



Table 11. Vertical velocity of COG (unit: m/s)

Rank	Event 3	Event 4	Event 5	Event 6	
G1	1	1.74	3.72	0.21	1.02
	2	2.52	4.38	1.54	0.11
	3	2.31	3.47	0.40	-0.26
	4	1.68	3.08	0.47	0.34
	5	2.53	3.83	0.82	0.24
	6	2.20	3.86	0.99	0.05
	7	2.19	3.12	0.18	0.29
	8	2.35	3.52	0.18	0.34
Mean	2.19	3.62	0.60	0.27	
±SD	±0.32	±0.42	±0.48	±0.36	
G2	A10	1.97	1.74	0.59	1.26
	A12	2.37	1.47	-0.34	-0.51
	A13	2.46	2.70	0.28	0.03
	A13	2.90	2.38	0.33	2.55
	B10	2.12	3.14	-0.79	0.24
	B13	3.08	2.17	0.26	0.00
	B13	1.88	2.10	0.49	-0.06
	B15	2.47	1.66	0.38	0.54
Mean	2.41	2.17	0.15	0.51	
±SD	±0.42	±0.56	±0.47	±0.97	
<i>t</i>	-1.149	5.836	1.879	-0.652	
<i>p</i>	.135	.000 §	.041 †	.262	

† Means significant difference between G1 and G2 at  $p < .05$

§ Means significant difference between G1 and G2 at  $p < .001$

바로부터 이 거리만큼 멀리 떨어진 곳에 착지했고, 따라서 그만큼 바에 더 많이 접근해야 하는 것으로 해석되며, 이는 바에 접근하는 기술적 차이와 관련되는 것으로 사료되었다. 구부러진 장대가 곧게 펴진 시점에서 우수 집단과 준우수 집단의 수평속도는 각각 1.47, 2.20 m/s로 나타났으며, 두 집단 사이에는 장대를 최대로 구부린 시점과 같이 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < .05$ ). 아울러 한 가지 중요한 차이점은 Event 3에서 Event 4로 넘어가면서 우수 집단은 수평속도가 감소하였지만, 준우수 집단은 수평속도가 오히려 약간 높아진다는 점이다. 즉 우수 집단은 장대를 구부리는 과정에서 바에 가까이 접근하는 형태인 반면, 준우수 집단은 바를 펴는 과정에서 많이 이동하는 형태를 보이는 것으로 해석되었다. 그리고 인체중심이 최대로 높은 순간에 인체중심의 수평속도는 우수 집단이 점차 줄어드는 경향을 보였으며, 비우수 집단도 이와 유사한 경향을 보였지만, 전체적으로 감소되는 경향을 보이지 않는 차이점을 알 수 있었다.

<Table 11>에는 도약 단계에서 신체중심의 수직속도를

분석하여 제시하였다. 주요 이벤트별(Event 3-6) 수직속도는 우수 집단이 각각 2.19, 3.62, 0.60, 0.27 m/s를 보임으로써 우수 집단은 장대를 최대로 구부렸다가 이를 곧게 펴면서 상승하는 동안에도 수직속도가 증가하여 장대가 곧게 펴는 시점(Event 4)에서 가장 빠른 수직속도를 보였다. 이에 반해 준우수 집단의 수직속도는 2.41, 2.17, 0.15, 0.51 m/s로 나타나 장대를 최대로 구부린 시점(Event 3)이 가장 빨랐다. 그리고 장대가 최대로 구부러진 이후 장대가 펴지면서 전반적으로는 수직속도가 감소하는 형태를 보였다.

두 집단의 주요 이벤트 수직속도를 비교해 보면, Event 3에서 우수 집단은 2.19 m/s로 준우수 집단의 2.41 m/s보다 약간 낮은 결과를 보였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 Event 4에서 우수 집단은 Event 3보다 수직속도가 증가하여 3.62 m/s로 나타났고, 준우수 집단은 우수 집단과 반대로 속도가 감소하여 2.17 m/s를 보임으로써 두 집단 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다( $p < .001$ ). 그리고 그 영향은 바를 놓는 순간까지 이어져 Event 5에서도 통계적으로 유의한( $p < .05$ ) 차이를 보였다.

#### IV. 논 의

장대높이뛰기는 육상경기 가운데 비교적 기술적 요인을 많이 포함하고 있는 종목 가운데 하나이다. 이에 본 연구에서는 2011 대구 세계육상선수권대회 여자 장대높이뛰기 경기 결선에 진출한 우수 집단과 그렇지 못한 준우수 집단의 기술적 차이를 운동학적으로 분석하였다. 그리고 이를 위하여 선수들이 발휘한 최고기록의 영상분석 결과를 토대로 선행연구의 운동학적 결과 및 장대높이뛰기 기술의 고유한 구조적 특성과 비교, 고찰하였다.

조주단계에서 총 스텝 수는 우수 집단이 16.25 스텝으로 준우수 집단의 16.50 스텝보다 적었지만, 2009 베를린 세계육상선수권대회의 15.9 스텝보다는 증가하였다(IAAF, 2013). 스텝 수의 증가는 보다 큰 힘을 얻기 위하여 조주 거리를 늘리는 경향으로 해석되어 경기력 향상을 위한 긍정적 현상으로 간주되었다. 전체 조주단계 평균 보폭은 우수 집단(1.87 m)이 준우수 집단(1.77 m)보다 10 cm 길었으며, 보폭을 신장에 대한 비율로 표준화 시킨 결과도 우수 집단(110.8%)이 준우수 집단(102.2%)에 비해 유의하게 컸다. 신장이 평균 보폭에 많은 영향을 주는 일반성을 고려할 때, 준우수 집단(1.73 m) 평균 신장이 우수 집단(1.69 m)보다 크지만, 여자 장대높이뛰기 경기에서 보여준 조주단계 평균 보폭은 반대로 나타났다. 그리고 스텝 수를 기준으로 조주단계를 3등분 할 때, 중반부를 제외한 초반부, 후반부에서 유의한 차이를 보였다. 장대높이뛰기 경기의 기술적 구조를 보면 조주 중반부에서 전력 질주를 통하여 가속시키는 형태를 보이기 때문에 이 부분에서는 두 그룹에 차

이가 없었지만, 폴 박스에 장대를 꽂기 위해 감속되는 부분에서 준우수 집단의 보폭이 우수 집단에 비해 많이 줄어드는 경향을 보임으로써 유의한 차이를 보이는 것으로 해석되었다. 아울러 이 부분의 감속이 이어지는 도약, 장대 구부리기 펴기 단계의 운동학적 요인에 영향을 주는 것으로 추측되지만, 장대높이뛰기 전체 조주단계를 분석한 선행연구가 없었기 때문에 언급된 내용과 연계하여 비교할 수는 없었다.

장대높이뛰기 경기기록에 영향을 미치는 중요한 운동학적 요인으로 조주단계의 수평속도라는 것은 많은 연구를 통하여 알 수 있다(Angulo-Kinzler, et al., 1994; Linthorne, 2000; Linthorne & Weetman, 2012). 그리고 Adamczewski와 Perlt (1997), McGinnis (2004)는 수평속도와 경기력의 상관관계 연구에서 여자선수들( $r=0.77$ )이 남자선수들( $r=0.69$ )보다 높다는 것을 제시하였다. 본 연구에서는 폴 박스를 기준으로 5-10 m 구간의 수평속도를 분석하였으며, 우수 집단이 8.23 m/s로 준우수 집단의 7.66 m/s 보다 높았고, 통계적으로 매우 유의한( $p<.001$ ) 차이를 보임으로써 도약 직전의 수평속도가 경기력에 영향을 미치는 변인이라는 선행연구와 유사한 결과를 보인 것으로 해석되었다.

조주구간에서 수평속도 외에 폴 박스로부터 마지막 착지 발까지 거리를 분석한 결과, 우수 집단과 준우수 집단이 각각 3.62, 3.43 m로 약 20 cm 차이를 보였지만, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 마지막 착지 발과 폴 박스 사이의 거리가 멀수록 장대가 지면과 이루는 각도(PP 각도)는 적어진다. PP 각도는 폴 박스에 장대를 꽂은 후, 바에 접근하는 형태를 파악하기 위하여 분석하였는데, 우수 집단이 27.8°, 준우수 집단이 30.9°로 분석되어 유의한( $p<.01$ ) 차이를 보였다. 우수 집단보다 준우수 집단의 신장이 4 cm가량 크지만 폴 박스로부터 먼 지점에 착지하지 못하고, PP 각도가 컸다는 점을 두고 예단하기 어렵지만, 준우수 집단은 도약 단계 초기에 수직상승을 도모하려는 경향이 상대적으로 강한 것으로 평가되었다. 이는 장대 구부리기 및 펴기 단계에서 장대가 최대로 구부러지는 순간(Event 3)과 곧게 펴지는 순간(Event 4)의 수평, 수직속도를 통해 유추할 수 있었다. <Table 10>과 <Table 11>에서 보는 것처럼 Event 3에서 수평속도는 우수 집단이 비우수 집단보다 높지만, 반대로 수직속도는 준우수 집단이 높다. 그리고 Event 4에서 준우수 집단은 수평속도가 오히려 증가했지만, 우수 집단은 감소하였고, 수직속도는 우수 집단이 최대로 증가한 형태를 보였지만, 준우수 집단은 감소하는 형태를 보였다. 이상의 결과를 종합해 보면, 우수 집단은 폴 박스에 장대를 꽂고 장대를 구부렸다 펴는 과정까지 조주 수평속도가 점진적으로 감소되는 반면, 준우수 집단은 장대를 꽂고 구부리는 과정에서 수평속도의 감소가 많았고, 장대를 펴는 과정의 수직속도는 우수 집단이

상승하는 것과는 달리 장대를 펼 때가 최대로 구부렸을 때보다 수직속도가 감소하는 대조를 이루었다. 이러한 점을 토대로 준우수 집단이 장대를 폴 박스에 꽂는 순간부터 장대를 구부렸다 펴는 과정에서 우수 집단과 기술의 구조적 차이가 있음을 짐작케 하며, 준우수 집단이 장대를 폴 박스에 꽂는 단계에서 수직 상승에 더 많이 집중하는 것으로 해석할 수 있었다.

조주를 통해 얻은 수평속도의 손실은 크게 두 가지 경우로 살펴볼 수 있다고 한다. 첫째, 장대를 운반해야 하기 때문에 자유롭게 달릴 때 보다 약 0.8-1.2 m/s의 감속이 있으며(Gros & Kunkel, 1990), 둘째 도약을 준비하는 과정에서 원하는 지점에 발을 정확히 착지시키기 위하여 보폭을 조절하는 기술적 과정이다(Angulo-Kinzler et al., 1997). 본 연구에서는 마지막 스텝을 착지하는 순간 두 집단 사이에 수평속도가 유의한 차이를 보이지 않았지만, 착지된 발을 지면에서 떼는 시점에서는 유의한 차이가 나타났다. 마지막 스텝이 지면에 닿고 있는 동안에 감소된 수평속도 성분에도 유의한( $p<.01$ ) 차이를 보였다. 하지만 두 집단 모두 Gros & Kunkel (1990)이 제시한 2 m/s보다 낮은 결과를 보여 조주속도를 높이려는 긍정적인 기술 변화가 있었던 것으로 해석할 수 있다(Choi et al., 2011). 그리고 Frere 등 (2010)에 의하면 수평속도를 향상시키기 위하여 조주단계에서 짧은 보폭을 사용하면 엉덩 관절과 무릎 관절의 굴곡 가동범위를 줄어든게 만들고, 그 결과 수평속도가 감소된다고 하였다.

장대높이뛰기 도약 단계에서는 운동에너지가 위치에너지로 전환되며, 대다수의 선행 연구는 선수가 보유한 운동에너지를 장대를 통하여 위치에너지로 전환시키는 효율과 타이밍에 관한 연구를 수행하였다(Arampatzis, Schade, & Brggemann, 2004; Linthorne, 2000; Schade, Arampatzis, & Brggemann, 2004). Schade 등 (2004)은 에너지 변환 과정은 장대에 효과적으로 근력을 가할 수 있는 기술이 필요하다고 하였으며, 어깨 주변의 근력 차이로 인하여 남자 선수의 장대 굽힘이 여자선수보다 컸다고 하였다. 본 연구는 에너지 변환과 관련하여 장대 굴곡 각을 분석하였는데, 우수 집단과 준우수 집단 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 선수 개개인의 신체와 근력의 차이로 인하여 탄성이 다른 장대를 선택한 결과로 사료된다. 그리고 조주 단계에서는 조주속도가 경기력에 중요한 요소로 작용하지만, 도약 단계에서는 조주속도 전환 효율성이 중요한 요소로 작용하기 때문에 수평속도 성분의 감소 형태를 비교할 때, 전체적으로 일정한 경향을 보이는 것이 더욱 효율적이라고 평가할 수 있으며, 이러한 관점에서 준우수 집단의 감소형태가 바람직하지 못한 것으로 평가되었다.

장대 구부리기와 펴기 단계에서는 수평속도와 수직속도의 관계를 함께 살펴볼 필요가 있다. Frere 등 (2010)에

의하면, 수평속도는 도약 직후 지속적으로 감소하고, 장대가 최대로 굴곡 되는 시점을 지나면서 약 1.5 - 2 m/s의 속도를 유지한다고 하였으며, Hay (1994)는 수직속도는 폴 박스에서 장대가 다시 곧게 펴지는 순간이 가장 빠르고 신체중심이 최고점에 도달하는 순간에 가장 낮다고 하였다. 본 연구에서는 장대가 최대로 구부러지는 시점에서 우수 집단의 수평속도가 준우수 집단보다 약 1 m/s 빨랐고, Choi 등 (2011)에 의하면 이러한 원인은 도약이 빠르게 일어나는 선수에게 나타나는 특징이라 하였다. 그리고 Angulo-Kinzler 등 (1997)은 장대가 펴지는 순간과 장대를 놓는 순간의 수직속도는 선수의 경기력을 가늠할 수 있는 중요한 요인이라 하였다. 본 연구에서도 장대가 곧게 펴지는 순간의 수평속도는 우수 집단이 준우수 집단보다 1.45 m/s 빨랐고, 장대를 놓는 순간 수직속도도 우수 집단이 약 0.45 m/s 빨랐다. 하지만 이러한 차이가 효과적인 에너지 활용에서 기인한 것인지 조주 단계의 수평속도가 주요한 원인인지 명확히 구분할 수는 없다. 추후 여자 장대높이뛰기 기록에 영향을 주는 조주속도, 장대를 잡는 높이, 바에 접근하는 거리 등의 요인에 대한 체계적인 설계를 통하여 경기력에 미치는 영향을 더욱 세밀하게 규명해 나가기를 기대한다.

## V. 결 론

본 연구는 2011 대구 세계육상선수권대회의 여자 장대높이뛰기 경기에 참가한 선수 중, 결선에 진출한 우수 집단 선수와 예선 경기에만 참가한 준우수 집단 선수의 동작에 대한 영상분석을 통하여 기술적 차이를 보이는 운동학적 요인이 어떤 것인지 조사하기 위하여 수행하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 조주단계에서 선수가 이동한 전체 조주거리와 스텝 수는 차이를 보이지 않지만, 평균 보폭과 신장대비 비율은 유의한 차이를 보이며, 우수 집단이 길다. 그리고 조주구간을 3등분 하였을 때, 조주 중반부보다는 초반부와 후반부의 평균 보폭에서 차이를 보인다. 또한 조주 마지막 부분에 나타나는 도약 직전 수평속도(approach velocity [VA])는 우수 집단의 속도가 빠르다.

둘째, 도약 단계에서 장대를 폴 박스에 꽂기 위하여 조주를 통해 증가시킨 수평속도가 감소되는데, 이 과정에서 유의한 차이를 보인다. 차이가 나타나는 운동학적 요인은 폴 박스에 장대를 꽂는 각도(PP 각도), 도약 전 2보와 1보 착지 순간 및 마지막 발 도약 순간의 수평속도이며, 마지막 스텝이 지면에 착지하고 있는 동안 수평속도의 감소량이다.

셋째, 장대 구부리기 및 펴기 단계에서 장대의 각도는 설정된 모든 이벤트에서 차이를 보이는 않지만, 인체중심의 수평속도 및 수직속도는 증감 형태와 속도의 절대치에

서 차이를 보인다. 우선 수평속도는 우수 집단이 장대를 최대로 구부린 순간을 기준으로 점차 감소되는 형태이지만, 준우수 집단은 장대가 곧게 펴지는 순간에 증가했다가 다시 감소되는 형태를 보이며, 수평속도 자체도 유의한 차이를 보인다. 그리고 수직속도는 우수 집단이 장대를 최대로 구부렸을 때보다 장대가 곧게 펴졌을 때가 큰 값을 보인다. 반면, 준우수 집단은 장대를 곧게 펴면서 오히려 수직속도가 감소하는 현상을 보임으로써 기술적으로 차이가 있음을 알 수 있다.

본 연구를 통해 여자 장대높이뛰기 경기를 수행하는 동안 우수 집단과 준우수 집단의 기술적 차이를 운동학적 변인을 중심으로 알아보았지만, 차이를 보이는 변인의 기술적 메커니즘을 정확히 파악하는 데는 한계가 있었다. 경기 기술의 차이가 선수의 체력적 요소에 기인한 것인지, 기술적 차이나 선수가 지닌 역량의 효율적 활용성에 기인한 것인지를 파악하는 것은 향후 경기력 향상을 위하여 매우 중요한 초석으로 사료되는 바, 체계적인 실험설계를 통해 이에 관한 연구가 지속되기를 기대한다. 특히 도약 이후 이루어지는 공중동작에 대한 연구를 통하여 운동역학적으로 기술의 효율성을 높일 수 있는 방안을 제시하는 것이 매우 절실해 보인다.

## 참고문헌

- Adamczewski, H. & Perlt, 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., Balias, 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., & Brggemann, 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.
- Choi, K. J., Lee, K. Y., Kim, N. H., Kang, J. E., & Kim, H. L. (2011). Kinematic Analysis of Women's Pole Vault in IAAF World Championships, Daegu 2011. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(5), 561-571.
- 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 Brggemann 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.
- Hay, J. G. (1994). *The biomechanics of sports techniques* (4th ed.). London: Prentice Hall International.

- International Association of Athletics Federations*, The Official Athletics Website, Retrieved June 11, 2013, from <http://www.iaaf.org>.
- Korea Association of Athletics Federations*, The Official Athletics Website, Retrieved June 11, 2013, from <http://www.kaaf.org>.
- Korean Society of Sport Biomechanics, *Biomechanics Research Project in the IAAF World Championships Daegu 2011*, The Official KSSB Website, Retrieved June 10, 2013, from <http://www.kssb.or.kr>.
- 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.
- Schade, F., Arampatzis A., & Brggemann 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.