2011 대구세계육상선수권대회 남자 멀리뛰기 경기의 운동학적 분석

서정석¹ · 우상연² · 김용운³ · 남기정⁴ · 박용현⁴ · 김호묵²

¹원광대학교 자연대학 스포츠과학부 · ²순천향대학교 자연대학 스포츠과학과 · ³경남대학교 사범대학 체육교육과

⁴서울대학교 사범대학 체육교육과

Kinematic Analysis of the Men's Long Jump in the IAAF World Championships Daegu 2011

Jung-Suk Seo¹ · Sang-Yeon Woo² · Yong-Woon Kim³ · Ki-Jeong Nam⁴ · Yong-Hyun Park⁴ · Ho-Mook Kim²

¹Division of Sports Science, College of Natural Science, Wonkwang University, Iksan, Korea

²Department of Sports Science, College of Natural Science, Soonchunhyang University, Asan, Korea

³Department of Physical Education, College of Education, Kyungnam University, Changwon, Korea

⁴Department of Physical Education, College of Education, Seoul National University, Seoul, Korea

Received 31 September 2011; Received in revised form 30 October 2011; Accepted 23 December 2011

ABSTRACT

The long jump motion of 8 finalist of men's long jump of IAAF World Championships Daegu 2011 were analysed and the kinematic characteristics of the technique were investigated. The kinematic characteristics of long jump motion of 8 finalist were as follows. In the run-up phase, the average length of 3, 2, and 1 stride were 2.21 ± 0.08 m, 2.46 ± 0.18 m, and 2.19 ± 0.16 m, respectively.

The change in the height of the center of gravity was 0.09 ± 0.02 m. The average velocity of 3, 2, and 1 stride was 10.37 ± 0.32 m/s, 9.63 ± 0.32 m/s, and 10.69 ± 10.69 m/s, respectively. In the take-off phase, the horizontal velocity, the vertical velocity, the reduction of horizontal velocity was 9.00 ± 0.37 m/s, 3.04 ± 0.27 m/s, and 1.69 ± 0.34 m/s, respectively. The minimum knee angle and the take off angle was $157 \pm 6.57^\circ$ and $18.5 \pm 2.24^\circ$, respectively. In the flight phase, the flight time and the maximum height of the center of gravity was 0.82 ± 0.05 s, and 1.70 ± 0.10 m, respectively. In the landing phase, the landing length was 0.51 ± 0.06 m. The body angle, the knee angle, and the hip angle was $71 \pm 20.93^\circ$, $136 \pm 19.19^\circ$, and $85 \pm 9.58^\circ$, respectively. The kinematic characteristics of long jump motion with good record were shown as follows. The reduction of the horizontal velocity in the take-off phase was minimized while the velocity of the run-up were maximally maintained. The vertical velocity in the take-off phase was increased with rapidly extended knee and the high center of gravity.

Keywords : Kinematic Analysis, Long Jump, Men, Run up, Take off, IAAF World Championships

I. 서 론

멀리뛰기는 도움닫기의 스피드를 이용한 발구름 동작을 통하여 수평방향으로 최대의 거리를 얻는 기록경기이다. 멀리뛰

기 경기는 도움닫기, 발구름, 공중동작, 착지의 단계가 상호 연계된 구조로 구성되어 있다(Hay, 1994).

도움닫기는 최대의 속도를 얻으면서 항상 일정한 보폭과 리듬을 유지하는 것이 중요하다(Park, Kim & Ryu, 2004). 발구름 구간에서 가장 중요한 기술적 요소는 수평속도의 감소를 최소화 하고 수직속도의 증가를 최대화 하면서 비행 거리를 증가시키기 위한 도약각도를 수평속도와 수직속도의 조합으로 만들어내는 것이다(Kim, 2004).

공중동작은 발구름 동작에서 발생한 전방 회전력을 줄이면

Corresponding Author: Ho-Mook, Kim
Department of Sports Science, Soonchunhyang University,
Sinchang-myeon, Asan, Chungnam, Korea
E-mail: mook114@empal.com

본 논문은 2011 대구세계육상선수권대회 운동역학 프로젝트로서 문화체육관광부와 대한육상경기연맹으로부터 지원을 받아 수행한 것임.

서 최적의 착지자세를 취할 수 있도록 공중에서 몸의 균형을 유지하는 것이다. 착지 시 신체의 어느 부분이든 지면에 가장 가까이 닿은 부분까지가 최종 거리가 된다. 따라서 비행 후 최적의 착지자세는 힘이 굽혀지고 두 다리는 쪽 뻗은 상태에서 상체는 적절히 앞으로 기울어지고 양팔은 상체 뒤로 가 있어야 한다(Hay, 1993).

남자 멀리뛰기의 세계 기록은 1991년 도쿄 세계육상선수권대회에서 마이크 포웰 선수가 작성한 8.95 m이다. 멀리뛰기 세계 기록은 20년 넘도록 경신되지 않고 있다. 멀리뛰기 기록 향상과 세계 기록을 달성하기 위해서는 우수 선수들의 경기에 대한 분석이 꾸준히 이루어져야 한다. 멀리뛰기 거리는 이륙 거리, 비행 거리, 착지 거리의 합으로 이루어진다.

비행 거리는 멀리뛰기 거리에서 가장 큰 비중을 차지한다. 지금까지 멀리뛰기에 대한 역학적 연구들은 도약순간 무게중심의 높이, 수평속도, 수직속도 그리고 도약각 등 비행 거리를 최대화 할 수 있는 최적의 조건을 찾기 위해 도움닫기와 발구름 동작에 중점을 두어 진행되어왔다(Bae, 1994; Hay & Miller, 1985; Hay & Nohara, 1990; Ko, 2009; Lee, Min & Son, 1994; Lees, Graham-Smith & Fowler, 1994; Nixdorf & Bruggeman, 1990; Park, Kim & Ryu, 2004; Sung, Ryu & Lee, 2003).

그러나 멀리뛰기에서 좋은 기록을 내기 위해서는 도움닫기와 발구름, 공중동작, 착지가 자연스럽게 연결되어야 한다. 멀리뛰기 동작의 자연스러운 연결 동작을 이해하기 위해서는 멀리뛰기 동작 분석 시 성공과 실패에 가장 중요한 요소인 도움닫기와 발구름 이외에 공중 동작, 착지까지 동작 전체에 대한 분석이 이루어져야 한다. 세계육상선수권대회는 육상의 시대적 흐름과 최고 수준의 경기력에 대한 정보를 얻을 수 있다. 세계육상선수권대회의 경기력 분석은 1997년 아테네대회, 2005년 헬싱키대회, 2007년 오사카대회, 최근의 2009년 베를린 대회 때까지 꾸준히 이루어져왔으며 이러한 연장선상에서 2011 대구세계선수권대회에서도 멀리뛰기 경기 분석이 이루어졌다.

본 연구는 2011 대구세계육상선수권대회 남자 멀리뛰기 종목 결선 라운드 최종기록 기준 상위 8명의 멀리뛰기 동작에서 나타난 요인들을 전 대회인 2009년 베를린대회의 요인들과 비교·분석하여 세계 수준의 남자 멀리뛰기 선수들의 특성을 규명하고자 한다. 본 연구 결과는 향후 국내 선수들에게 훈련을 위한 지침과 기록 향상 및 우수 선수를 발굴하는데 필요한 자료로 활용되어 낙후된 한국 육상의 발전에 기여할 것으로 기대된다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상은 2011 대구세계육상선수권대회 남자 멀리뛰기 최종 결승 진출자 상위 기록을 낸 8명이며 개인별 최고 기록을 분석하였다. 연구 대상의 성명, 순위, 국적, 나이, 공식 기록, 실제로 뛴 거리 등은 <Table 1>과 같다.

Table 1 Characteristics of subjects

Name	Rank	Country	Age	Official record	Real record
Phillips D.	1	USA	34	8.45	8.48
Watt M.	2	AUS	23	8.33	8.36
Makusha N.	3	ZIM	24	8.29	8.42
Berrabah Y.	4	MAR	30	8.23	8.23
Manyonga L.	5	RSA	20	8.21	8.24
Menkov A.	6	RUS	21	8.19	8.22
Tomlinson C.	7	GBR	30	8.19	8.25
Bayer S.	8	GER	25	8.17	8.30
M			26	8.26	8.31
SD			4.94	0.09	0.10

2. 실험 장비

촬영에는 60fields/s의 디지털 비디오 카메라 7대(Sony vx2100, Sony Fx 등)가 사용되었으며 셔터 속도는 1/1000 s로 설정하였다. 또한 4개의 통제점들(1 × 1 × 2 m)을 사용하였다.

3. 실험 절차

선수들의 경기 상황을 정확히 분석하기 위해 제일 먼저 촬영영역을 설정하였다. 베를린세계육상선수권대회(German Athletics Federation, 2009) 결과 보고서를 기준으로 하여 남자 멀리뛰기 선수들의 동작을 모두 포함시키기 위한 전체 범위는 20 m로 하였다.

전체 분석 구간(20 m)을 7 m씩 3개 구간으로 나눈 뒤 각 범위를 2대의 카메라로 촬영하였다. 또한 나머지 1대 카메라

Figure 1. Control box settings for the videotaping

Figure 2. Camera settings for the videotaping

는 전체적인 진행상황을 확인할 수 있도록 전체 구간을 촬영하였다(Figure 1, Figure 2).

4 자료 분석

3차원 동작 분석은 Kwon3D program ver. 3.10을 사용하였으며, 직접 선형 변환방법(Direct linear transformation, Abdel-Aziz & Karara, 1971)을 통해 3차원 좌표값을 얻었다. 영상 좌표화 과정에서 발생하는 노이즈를 최소화하기 위해 2차 Butterworth low-pass digital filter를 사용하였으며, 이때 차단 주파수는 7.4 Hz로 설정하였다(Yu & Hay, 1996).

촬영된 멀리뛰기 동작은 <Figure 3>과 같이 발이 지면에 닿는 순간과 떨어지는 순간을 기준으로 멀리뛰기 동작을 4구간으로 구분하였다. 도움닫기를 하는 발 구름 3보전 착지(3TD)부터 구름판 착지(JTD)까지를 도움닫기 구간으로 설정하였다. 발 구름 구간은 구름판에 착지하는 순간(JTD)부터 도약 순간(JTO)까지로 정하였다. 발 구름 후 구름발이 지면에서 떨어지는 순간(JTO)부터 모래에 착지하는 순간(LD)까지를 비행 구간으로 설정하였고, 착지구간은 양발이 지면에 착지하는 순간(LD)부터 동작이 완전히 끝나는 순간까지로 정하였다.

발 구름 구간과 착지 구간에서 선수의 동작 특성을 분석하

기 위하여 각 분절들이 이루는 신체 분절 각을 다음과 같이 정의하였다(Figure 4 참조).

도약각도(take-off angle) : 전신의 무게중심 속도벡터가 Y축(전후방향)과 이루는 상대각도

신체각도(inclination angle) : 발의 무게중심과 전신의 무게중심을 연결한 벡터와 Z축(수직방향)과 이루는 상대각도

무릎각도(knee angle) : 대퇴 분절의 벡터와 하퇴 분절의 벡터가 이루는 상대각도

몸통각도(trunk angle) : 몸통의 벡터가 Y축(전후방향)과 이루는 상대각도

고관절각도(hip angle) : 대퇴 분절의 벡터와 Z축(수직방향)과 이루는 상대각도

이 연구에서는 2011 대구세계육상선수권대회의 남자 멀리뛰기 동작을 도움닫기 구간, 발 구름 구간, 공중 구간과 착지구간으로 구분하여 각 구간들의 운동학적 요인들을 2009년 베를린대회의 요인들과 비교하였다.

Figure 4. Definition of inclination and take-off angle

Figure 3. Main events and phases of long jump

III. 결 과 및 논 의

1. 경기기록

2011 대구세계육상선수권대회와 2009 베를린세계육상선수권대회에서 최종 결승에 진출한 12명 중 8위까지의 경기 기록을 비교해보면 다음과 같았다<Table 2, Table 3, Figure 5>.

Table 2. Long jump records in Daegu 2011 (m)

Rank	Name	Official record	Loss	SB	Difference (%)
1	Phillips D.	8.45	0.03	8.32	1.6
2	Watt M.	8.33	0.03	8.54	-2.5
3	Makusha N.	8.29	0.13	8.40	-1.3
4	Berrabah Y.	8.23	0.00	8.37	-1.7
5	Manyonga L.	8.21	0.03	8.26	-0.6
6	Menkov A.	8.19	0.03	8.28	-1.1
7	Tomlinson C.	8.19	0.01	8.35	-1.9
8	Bayer S.	8.17	0.13	8.17	0.0
M		8.26	0.05	8.34	-0.94
±SD		0.09	0.05	0.11	1.28

SB = Season Best, Real = Measured Record

Loss = Real - Official Record

Difference = (Official Record - SB)/SB*100

Table 3. Long jump records in Berlin 2009(German Athletics Federation, 2009) (m)

Rank	Name	Official record	Loss
1	Phillips D.	8.54	0.05
2	Mokrena G	8.47	0.01
3	Watt M	8.37	0.07
4	Lapierre F	8.21	0.12
5	Rutherford G	8.17	0.06
6	Sdiri S	8.07	0.00
7	Garennamotse G	8.06	0.08
8	Tomlinson C	8.06	0.04
M		8.24	0.05
±SD		0.19	0.04

Loss = Real - Official Record

2011 대구세계육상선수권대회에서 상위 8명 선수의 평균 기록은 8.26 ± 0.09 m로 2009년 베를린대회 평균 기록인 8.24 ± 0.19 m보다 0.1% 향상된 것으로 나타났다. 그러나 대구 대회에서 최고 기록은 8.45 m로 2009년 베를린대회의 최고 기록인 8.54 m에 비하여 1.1% 감소한 것으로 나타났다.

대구세계육상선수권대회에 참가한 상위 8명 선수들의 기록은 시즌 최고 기록에 비하여 0.9% 감소한 것으로 나타났다.

대구세계육상선수권대회에서 상위 8명 선수 중에서 시즌 최고 기록을 경신한 선수는 Phillips D. 선수 1명이며 나머지 선수는 시즌 최고 기록에 못 미치는 결과가 나타났다. Phillips D. 선수의 기록은 본인의 시즌 최고 기록에 비하여 1.6% 향상된 것으로 나타났다. 2011년 대구대회에서는 2009년 베를린대회에 비하여 입상자 3인의 기록은 감소하였으나 하위권 3명의 기록은 향상된 것으로 나타났다.

Figure 5. comparison of records by ranking

2 도움닫기 구간

도움닫기 구간에서는 최고 속도를 내는 발 구름 전 3보부터 발 구름 직전까지의 운동학적 자료를 <Table 4>, <Table 5>에 제시하였다.

도움닫기 구간에서 보폭거리의 평균은 발 구름 전 3보 2.21 ± 0.08 m, 발 구름 전 2보 2.46 ± 0.18 m, 발 구름 전 1보 2.19 ± 0.16 m로 나타났다. 보폭거리는 지난 2009년 베를린대회에서 발 구름 전 3보 2.30 ± 0.08 m, 발 구름 전 2보 2.45 ± 0.16 m, 발 구름 전 1보 2.21 ± 0.12 m와 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 발 구름 전 2보에서 보폭거리가 가장 큰 것으로 나타났다. 대구 대회에서 1위인 Phillips D. 선수는 발 구름 전 3보 2.15 m, 발 구름 전 2보 2.36 m, 발 구름 전 1보 1.99 m로 지난 2009년 베를린대회에서 금메달을 획득 시 발 구름 전 3보 2.30 m, 발 구름 전 2보 2.62 m, 발 구름 전 1보 2.00 m와 비교해 볼 때 보폭 거리는 줄어들었으나 각 스텝 간의 거리 비율에서는 유사한 형태를 보였다. 이러한 결과는 Roger(1994)가 제시한 마지막 1보의 보폭이 2보의 보폭보다 작아야 한다는 연구결과와 일치한다.

발 구름 전 2보에서 발 구름 전 1보까지의 무게중심 변화의 평균은 0.09 ± 0.02 m로 나타났으며, 지난 2009년 베를린대회에서는 0.08 ± 0.03 m로 나타나 대구 대회와 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 대구 대회에서 1위인 Phillips D. 선수는 무게중심 변화가 0.12 m로 지난 2009년 베를린대회에서 금메달을

획득할 당시의 0.06 m에 비하여 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Nixdorf와 Bruggeman(1990)의 발 구름 동작 시에는 일정 수준만큼 무게중심 수준을 낮추어야 한다는 연구 결과와 일치한다.

도움닫기 속도의 평균은 발 구름 전 3보 10.37 ± 0.32 m/s, 발 구름 전 2보 9.63 ± 0.32 m/s, 발 구름 전 1보 10.69 ± 10.69 m/s로 나타났다. 도움닫기 속도의 평균은 지난 2009년 베를린 대회에서 발 구름 전 3보 10.46 ± 0.27 m/s, 발 구름 전 2보 10.49 ± 0.27 m/s, 발 구름 전 1보 10.40 ± 0.18 m/s에 비하여 발 구름 전 2보에서 도움닫기 속도가 느린 것으로 나타났지만 발 구름 전 1보에서는 큰 것으로 나타났다. 특히, 대구 대회에서는 발 구름 전 2보에서 가장 느린 속도를 보이고 있으나 지난 2009년 베를린대회에서는 발 구름 전 2보에서 가장 높은 속도를 보이고 있다. 이러한 현상은 2회 연속 우승한 Phillips D. 선수에게도 나타났다.

3. 발 구름 구간

멀리뛰기의 발 구름 구간에서 운동학적 변인들은 <Table 6>, <Table 7>과 같다.

이륙 순간의 수평속도의 평균은 9.00 ± 0.37 m/s로 지난

2009년 베를린대회의 8.78 ± 0.42 m/s에 비하여 큰 것으로 나타났다. 이륙 순간의 수직속도의 평균은 3.04 ± 0.27 m/s로 지난 2009년 베를린대회의 3.53 ± 0.39 m/s에 비하여 느린 것으로 나타났다. Ariel(1992)은 1991년 세계육상선수권대회에서 마이크 포웰이 8.95 m로 세계기록을 세우고 칼 루이스가 8.91 m를 기록할 당시 최대 도움닫기 속도는 각각 10.94 m/s, 11.26 m/s이며 발구름 순간 수평속도는 각각 9.27 m/s, 9.11 m/s이며 수직 속도는 각각 4.26 m/s, 3.37 m/s로 제시하고 있으며 마이클 포웰 선수가 세계 기록을 수립할 수 있었던 것은 이륙 순간에 도움닫기에 의한 수평 속도의 감소가 적었으며 수직 속도가 칼 루이스에 비하여 1 m/s 더 크기 때문이라고 보고하고 있다. 대구 대회에서 1위인 Phillips D. 선수의 기록이 이전 2009년 베를린 대회에 비하여 감소한 주요 원인은 이륙 순간의 수직속도가 2.92 m/s로 지난 2009년 베를린대회에서의 3.35 m/s에 비하여 느리기 때문인 것으로 사료된다.

발 구름 시간의 평균은 0.12 ± 0.02 초로 지난 2009년 베를린 대회의 0.12 ± 0.02 초와 동일한 것으로 나타났으며, 발구름 거리의 평균은 0.41 ± 0.04 m로 나타났다.

구름발의 최소 무릎각도의 평균은 $157 \pm 6.57^\circ$ 로 지난 2009년 베를린대회의 $141 \pm 5.57^\circ$ 에 비하여 작은 것으로 나타났다. Lees, Fowler & Derby(1993)는 구름판에서의 무릎 최소 각도

Table 4. Kinematic variables of the run-up phase in Daegu 2011

Rank	Name	Stride length [m]					Lowering of CM	Velocity [m/s]		
		3last	2last	1last	2last/3last[%]	1last/2last[%]		3last	2last	1last
1	Phillips D.	2.15	2.36	1.99	110	84	0.12	10.81	10.09	11.08
2	Watt M.	2.34	2.53	2.42	108	96	0.09	10.46	9.77	10.82
3	Makusha N.	2.22	2.57	2.22	116	86	0.08	10.60	9.76	11.12
4	Berrabah Y.	2.23	2.62	2.24	117	85	0.06	10.16	9.31	10.56
5	Manyonga L.	2.14	2.26	2.27	106	100	0.10	9.73	9.17	10.22
6	Menkov A.	2.21	2.34	2.01	106	86	0.10	10.49	9.87	10.62
7	Tomlinson C.	2.28	2.75	2.34	121	85	0.06	10.40	9.70	10.59
8	Bayer S.	2.07	2.24	2.06	108	92	0.09	10.29	9.34	10.49
	M	2.21	2.46	2.19	112	89	0.09	10.37	9.63	10.69
	SD	0.08	0.18	0.16	5.71	6.02	0.02	0.32	0.32	0.30

Table 5. Kinematic variables of the run-up phase in Berlin 2009(German Athletics Federation, 2009)

Rank	Name	Stride length [m]					Lowering of CM	Velocity [m/s]		
		3last	2last	1last	2last/3last[%]	1last/2last[%]		3last	2last	1last
1	Phillips D.	2.3	2.62	2	114	77	0.06	11.08	11.12	10.78
2	Mokrena G.	2.27	2.32	2.19	102	94	0.08	10.36	10.44	10.34
3	Watt M.	2.45	2.63	2.42	107	92	0.11	10.51	10.59	10.43
4	Lapierre F.	2.24	2.36	2.28	105	97	0.08	10.30	10.33	10.28
5	Rutherford G.	2.23	2.19	2.24	98	102	0.07	10.36	10.39	10.44
6	Sdiri S.	2.24	2.59	2.16	116	83	0.06	10.23	10.31	10.17
7	Garenamotse G.	2.3	2.38	2.22	104	93	0.06	10.51	10.31	10.41
8	Tomlinson C.	2.4	2.49	2.14	104	86	0.15	10.33	10.40	10.31
	M	2.30	2.45	2.21	106	91	0.08	10.46	10.49	10.40
	SD	0.08	0.16	0.12	6.02	8.05	0.03	0.27	0.27	0.18

가 수직속도에 중요한 요인이라고 제시하고 있다. 대구 대회에서 베를린 대회에 비하여 이륙 순간의 수직 속도가 낮은 것은 발구름 시 무릎각도가 덜 굴곡된 것과 관련이 있을 것으로 판단된다.

이륙 순간의 신체각도의 평균은 $28 \pm 1.36^\circ$ 로 지난 2009년 베를린대회의 $26 \pm 2.77^\circ$ 에 비하여 앞으로 더 많이 앞으로 기울이는 것으로 나타났다. Ryu와 Chang(2005)은 이륙 순간의 신체각도는 20° 이상이며 신체각도의 이동 범위가 크면 그룹판 이륙 후 신체의 전방회전이 갑자기 높아져 착지 동작으로 연결될 수 있는 단점이 있다고 보고하고 있다. 대구 대회에서 베를린 대회에서보다 이륙 시 신체각도가 더 큰 것은 낮은 도약 각도에 영향을 주었을 것으로 사료된다.

이륙 순간의 상체각도의 평균은 $89 \pm 5.19^\circ$ 로 지난 2009년 베를린대회의 $100 \pm 3.11^\circ$ 에 비하여 상체각도를 수직으로 유지하는 것으로 나타났다. Ryu와 Chang(2005)의 연구에서 상체각도는 구름발이 지면에 접촉하는 순간에는 모든 선수들이 후경자세를 취하지만 보다 좋은 기록을 위해서는 직립자세에 가깝게 하는 것이 구름판을 힘차게 차고 오를 수 있다고 보고하고

있다. 대구 대회에서 선수들은 상체각도를 거의 수직에 가깝게 유지하므로 베를린 대회에서 후경자세를 취하는 것보다 바람직한 상체각도를 유지하는 것으로 나타났다.

이륙 순간의 도약각도의 평균은 $18.5 \pm 2.2^\circ$ 로 지난 2009년 베를린대회의 $22.0 \pm 3.11^\circ$ 에 비하여 도약을 낮게 하는 것으로 나타났다. Lees et al(1994)은 국제경기에서 남자 멀리뛰기 선수들의 도약각도는 19.0° 에서 27.7° 범위에 있다고 보고하고 있다. 선행 연구에 비하여 대구 대회에서의 도약각도가 낮은 것은 도약 순간 수직속도의 감소에 의한 것으로 판단된다. 따라서 대구 대회에 참여한 선수들의 기록향상을 위해서는 도약각도를 더 높이는 것이 필요할 것이라 사료된다.

4. 공중 구간

멀리뛰기의 공중 구간에서 운동학적 변인들은 <Table 8>과 같다.

공중 구간에서 무게 중심의 최대 높이의 평균은 1.70 ± 0.01 m이며 무게 중심이 최대로 높은 선수는 2위 선수로 1.85 m,

Table 6. Kinematic variables of the take-off phase in Daegu 2011

Rank	Name	Velocity [m/s]			Duration[s]	Take off distance(m)	Angle[°]			
		Horizontal velocity	Loss at take-off	Vertical velocity			Minimal knee-angle	Inclination angle	Trunk-angle	Take-off angle
1	Phillips D.	9.27	1.81	2.92	0.11	0.43	133	28	90	17.3
2	Watt M.	8.39	2.43	3.60	0.11	0.43	156	29	87	22.8
3	Makusha N.	9.66	1.46	2.70	0.10	0.37	154	27	90	15.3
4	Berrabah Y.	8.78	1.78	3.20	0.13	0.42	146	27	86	20.0
5	Manyonga L.	8.85	1.37	3.05	0.15	0.42	163	29	81	18.8
6	Menkov A.	8.93	1.69	3.05	0.13	0.35	156	26	87	18.6
7	Tomlinson C.	9.07	1.52	2.89	0.13	0.45	151	30	99	17.2
8	Bayer S.	9.06	1.43	2.94	0.13	0.37	150	27	88	17.6
	M	9.00	1.69	3.04	0.12	0.41	151	28	89	18.5
	±SD	0.37	0.34	0.27	0.02	0.04	8.89	1.36	5.10	2.24

Table 7. Kinematic variables of the take-off phase in Berlin 2009(German Athletics Federation, 2009)

Rank	Name	Velocity [m/s]			Duration[s]	Angle[°]			
		Horizontal velocity	Loss at take-off	Vertical velocity		Minimal knee-angle	Inclination angle	Trunk-angle	Take-off angle
1	PhillipsD.	9.23	1.55	3.35	0.11	137	27	103	20.0
2	Mokrena G	8.67	1.68	3.79	0.11	143	26	99	23.8
3	Watt M	8.83	1.60	3.71	0.11	143	22	97	22.8
4	Lapierre F	7.99	2.30	4.23	0.12	147	28	102	27.9
5	Rutherford G	9.16	1.28	3.14	0.12	149	23	95	18.9
6	Sdiri S	8.69	1.48	3.15	0.12	139	23	98	19.9
7	Garennamotse G	9.17	1.25	3.17	0.12	136	26	99	19.1
8	Tomlinson C	8.53	1.78	3.72	0.13	132	30	104	23.6
	M	8.78	1.62	3.53	0.12	141	26	100	22.0
	SD	0.42	0.33	0.39	0.01	5.78	2.77	3.11	3.11

Table 8. Kinematic variables of the flight phase in Daegu 2011

Rank	Name	CM height(m)			Flight time (s)	Flight distance (m)
		Take off	Max	Landing		
1	Phillips D.	1.16	1.64	0.53	0.82	7.53
2	Watt M.	1.26	1.85	0.63	0.90	7.36
3	Makusha N.	1.16	1.54	0.53	0.75	7.40
4	Berrabah Y.	1.27	1.76	0.51	0.85	7.20
5	Manyonga L.	1.28	1.76	0.56	0.83	7.17
6	Menkov A.	1.20	1.63	0.46	0.82	7.28
7	Tomlinson C.	1.31	1.72	0.67	0.78	7.15
8	Bayer S.	1.27	1.69	0.65	0.78	7.19
	M	1.24	1.70	0.57	0.82	7.29
	SD	0.06	0.10	0.07	0.05	0.13

무게 중심이 가장 낮은 선수는 3위 선수로 1.54 m로 나타났다. 비행시간의 평균은 0.82 ± 0.05 초이며 비행시간이 가장 긴 선수는 2위 선수로 0.90초, 가장 짧은 선수는 3위 선수로 0.75초로 나타났다. 2위 선수의 이지 시 수직 속도는 3.60 m/s로 가장 빠른 것으로 나타났으며, 3위 선수의 이지 시 수직 속도는 2.70 m/s로 가장 느린 것으로 나타났다. Ariel(1992)은 마이크 포웰이 세계기록을 세울 당시 이지 시 수직 속도는 4.26 m/s이며 공중 구간에서 무게 중심의 최대 높이는 2.05 m로 칼 루이스보다 0.2 m 더 높다고 제시하고 있다. 따라서 공중에서 무게 중심의 최대 높이와 비행 거리는 이지 시 수직 속도와 관계가 있는 것으로 나타났다.

비행 거리의 평균은 7.29 ± 0.13 m로 나타났으며 1, 2, 3위에 입상한 선수들은 멀리뛰기 기록이 좋은 선수가 비행 거리도 좋은 것으로 나타났다. 그러나 비행 거리가 길지만 순위가 차이가 나는 3위, 6위, 8위 선수들은 이지 거리와 착지 거리에서 차이가 나기 때문인 것으로 나타났다. 따라서 멀리뛰기 기록은 비행 거리뿐만 아니라 이지 거리와 착지 거리와도 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

5. 착지 구간

멀리뛰기의 착지 구간에서 운동학적 변인들은 <Table 9>, <Table 10>와 같다.

착지 거리의 평균은 0.51 ± 0.06 m로 지난 2009년 베를린대의 0.53 ± 0.12 m에 비하여 조금 짧은 것으로 나타났으며 착지 시 몸통각도의 평균은 $71 \pm 20.93^\circ$ 로 지난 2009년 베를린대의 $76 \pm 21.33^\circ$ 에 비하여 더 작은 것으로 나타났다. 착지 거리는 무게중심의 위치와 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 1위와 2위 선수의 착지 거리가 다른 선수에 비하여 짧은 것은 착지 시 다른 선수에 비하여 상체가 앞으로 숙여지고 두 팔이 가슴 앞으로 든 상태로 착지하기 때문이며 7위 선수의 착지 거리가 가장 긴 것은 다른 선수에 비하여 착지 시 상체가 뒤

Table 9. Kinematic variables of the landing phase in Daegu 2011

Rank	Name	Landing			
		distance[m]	trunk angle [°]	knee angle [°]	hip angle [°]
1	Phillips D.	0.45	32	152	77
2	Watt M.	0.44	62	144	72
3	Makusha N.	0.59	85	138	86
4	Berrabah Y.	0.53	94	108	104
5	Manyonga L.	0.48	72	110	90
6	Menkov A.	0.50	69	131	84
7	Tomlinson C.	0.61	96	139	83
8	Bayer S.	0.47	61	164	80
	M	0.51	71	136	85
	SD	0.06	20.93	19.19	9.58

Table 10. Kinematic variables of the landing phase in 2009 Berlin(German Athletics Federation, 2009)

Rank	Name	Landing			
		distance[m]	trunk angle [°]	knee angle [°]	hip angle [°]
1	Phillips D.	0.44	51	129	55
2	Mokrena G	0.55	74	151	96
3	Watt M	0.59	92	148	115
4	Lapierre F	0.38	61	143	92
5	Rutherford G	0.40	49	143	64
6	Sdiri S	0.70	108	127	106
7	Garennamotse G	0.67	94	153	109
8	Tomlinson C	0.47	76	133	94
	M	0.53	76	141	91
	±SD	0.12	21.33	10.03	21.33

로 젖혀지면서 착지하기 때문인 것으로 나타났다.

착지 시 무릎 각도의 평균은 $136 \pm 19.19^\circ$ 로 지난 2009년 베를린대의 $141 \pm 10.03^\circ$ 에 비하여 더 작은 것으로 나타났으며 고관절각도의 평균은 $85 \pm 9.58^\circ$ 로 지난 2009년 베를린대의 $76 \pm 21.33^\circ$ 에 비하여 더 작은 것으로 나타났다. 상체를 앞으로 굽히면서 착지하는 1위와 2위 선수는 상대적으로 무릎 관절은 많이 신전되지만 고관절은 적게 굴곡 되는 것으로 나타났다. 그러나 착지 시 이러한 자세 변인들은 편차가 큰 것으로 보아 선수 개인별 다양한 착지 기술을 구사한 것이라고 사료된다.

IV. 결 론

본 연구의 목적은 2011 대구세계육상선수권대회 남자 멀리뛰기 결승 경기 상위 8위까지에 대한 운동학적 분석을 통해 멀리뛰기 기술의 시대적 흐름과 최고 수준의 기술에 대한 정보를 제공하는 데 있다.

도움닫기 구간에서 보폭거리의 평균은 발 구름 전 3보 2.21 ± 0.08 m, 발 구름 전 2보 2.46 ± 0.18 m, 발 구름 전 1보 2.19 ± 0.16 m 이며, 무게 중심의 높이 변화는 0.09 ± 0.02 m, 도움닫기 속도의 평균은 발 구름 전 3보 10.37 ± 0.32 m/s, 발 구름 전 2보 9.63 ± 0.32 m/s, 발 구름 전 1보 10.69 ± 0.69 m/s 이다. 대부분의 선수들이 발 구름 전 1보에서 최대 수평속도를 보이고 있으며 모든 선수들이 발 구름 전 2보의 보폭이 발 구름 전 3보, 1보에 비하여 넓은 것으로 보이고 있다. 발 구름 구간에서 이지 시 수평속도는 9.00 ± 0.37 m/s, 수직속도는 3.04 ± 0.27 m/s, 수평 속도의 감소량은 1.69 ± 0.34 m/s, 최소 무릎 각도는 $157 \pm 6.57^\circ$, 도약각도는 $18.5 \pm 2.24^\circ$ 이다. 2011 대구 세계육상선수권대회에서 2009년 베를린대회에 비하여 이지 시 수평 속도는 증가하고 수직 속도와 도약 각도는 감소하는 경향을 보이고 있어 도약 시 수평속도가 크게 되면 도약각도는 낮아지는 것으로 나타나고 있다. 공중 구간에서 무게중심의 최대 높이는 1.70 ± 0.10 m, 비행시간은 0.82 ± 0.05 초, 비행거리는 7.29 ± 0.13 m 이다. 착지 구간에서 착지 거리는 0.51 ± 0.06 m, 몸통 각도는 $71 \pm 20.93^\circ$, 무릎 각도는 $136 \pm 19.19^\circ$, 고관절 각도는 $85 \pm 9.58^\circ$ 이다. 결론적으로 멀리뛰기 기록향상을 위해서는 수평 속도의 감소를 최소로 하면서 수직 속도를 크게 하여 도약각도를 크게 할 수 있는 발구름 동작이 필요할 것이다.

참고문헌

- Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M.(1971). *Direct linear transformation from comparator coordinates in object-space coordinates in close-range photogrammetry*. Proceedings of the ASP Symposium of Close-Range Photogrammetry. Urbana, IL.
- Ariel, G. B.(1992). *Scientific Aspects in the Preparation of Elite Athletes*. [http://www.sportsci.com /topics/ articles/ Scientific% 20Aspects.htm](http://www.sportsci.com/topics/articles/Scientific%20Aspects.htm).
- Bae, S. J.(1994). The correlation between the kinematic variables and the flight distance on take-off long jump. *The Korean Journal of Physical Education*.
- German Athletics Federation(2009). *Biomechanics Report World Championships 2009 Berlin*.
- Hay, J. G. & Miller, J. A.(1985). Techniques used in the transition from approach to takeoff in the long jump. *International Journal of Biomechanics*, 1, 174-184.
- Hay, J. G. & Nohara, H.(1990). Techniques used by elite long jumper in preparation for takeoff. *Journal of Biomechanics*, 23(3), 229-239.
- Hay, J. G.(1993). Citius, altius, longius(faster, higher, longer) : The biomechanics of jumping for distance. *Journal of Biomechanics*, 26(Suppl. 1), 7-21.
- Hay, J. G.(1994). The current status of research on the biomechanics of the long jump. *Track Technique*. summer, 4089-4093.
- Kim, H. Y.(2004). Kinematic characteristics of the Asian long jumpers in 8m record. *The Korean Journal of Physical Education*. 43(3), 789-801.
- Ko, S. K.(2009). The kinematic analysis of the last and takeoff phase a classified performance in the male's long jump. *The Korean Journal of Physical Education*, 48(5), 463-471.
- Lee, K. C., Min, C. K. & Son, Y. S.(1994). Biomechanical Relationship between the long jump takeoff motion and flight distance performed by elite athletes. *The Korean Journal of Sports Biomechanics*. 4(2), 27-40.
- Lees, A, Fowler, N & Derby, D.(1993). A Biomechanical analysis of the last stride, touch-down, and take-off characteristics oh the women's long jump. *Journal of Sports Science*, 11, 303-314.
- Lees, A, Graham-Smith, P., & Fowler, N.(1994). A Biomechanical analysis of the last stride, touchdown, and take-off characteristics oh the man's long jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 61-78.
- Nixdorf, E. & Bruggeman, G. P.(1990). *Biomechanical analysis of the long jump*. In G. P. Bruggeman & B. Glad(Eds.), Scientific research project at the Games of the XXIXth Olympiad-Seoul 1988(pp. 263-302). Monaco: International Athletic Foundation.
- Park, Y. J., Kim, C. H. & Ryu, J. K.(2004). The Kinematic Analysis of the Transition Zon of the Approach of the Men's Long Jump. *The Korean Journal of Physical Education*, 43(3), 825-835.
- Roger, J.(1994). The long jump. *Track & Field*, 15-19.
- Ryu, J. K., & Chang, J. K.(2005). The Kinematic Comparison and Analysis between National Long Jumpers and Foreign Long Jumpers with record of over 8 meter. *The Korean Journal of Sports Biomechanics*. 15(3), 133-142.
- Sung, H. J., Ryu, J. K. & Lee, J. T(2003). The kinematic analysis of the last three strides of the approach and take-off motion in the men's Long Jump. *The Korean Journal of Physical Education*. 42(6), 963-971.
- Yu, B., & Hay, J. G.(1996). Optimum phase ratio in the triple jump. *Journal of biomechanics*, 29(10), 1283-1289.