2011 대구세계육상선수권대회 여자 멀리뛰기 경기의 운동학적 분석

김호묵¹ · 우상연¹ · 김용운² · 남기정³ · 박용현³ · 서정석⁴

¹순천향대학교 자연대학 스포츠과학과 · ²경남대학교 사범대학 체육교육과

³서울대학교 사범대학 체육교육과 · ⁴원광대학교 자연과학대학 스포츠과학부

Kinematic Analysis of Women's Long Jump at IAAF World Championships, Daegu 2011

Ho-Mook Kim¹ · Sang-Yeon Woo¹ · Yong-Woon Kim² · Ki-Jeong Nam³ · Yong-Hyun Park³ · Jung-Suk Seo⁴

¹Department of Sports Science, College of Natural Science, Soonchunhyang University, Asan, Korea

²Department of Physical Education, College of Education, Kyungnam University, Changwon, Korea

³Department of Physical Education, College of Education, Seoul National University, Seoul, Korea

⁴Division of Sports Science, College of Natural Science, Wonkwang University, Iksan, Korea

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

ABSTRACT

The long jump motions of 8 finalists in the women's long jump at the IAAF World Championships, Daegu 2011 were analyzed, and the kinematic characteristics of their techniques were investigated. The kinematic characteristics of the long jump motion of the 8 finalists were as follows. In the run-up phase, the length of the 2 stride was $108 \pm 6.92\%$ that of the 3 stride. The length of the 1 stride was $91 \pm 5.78\%$ that of the 2 stride. The change in the height of the center of gravity was 0.07 ± 0.03 m. The maximum velocity during the run-up phase was 9.44 ± 0.13 m/s at the 1 stride. In the take-off phase, the horizontal velocity, vertical velocity, reduction in horizontal velocity were 7.80 ± 0.15 m/s, 2.96 ± 0.14 m/s, and 1.64 ± 0.19 m/s, respectively. The minimum knee angle and take-off angle were $151 \pm 8.89^\circ$ and $20.7 \pm 1.03^\circ$, respectively. In the flight phase, the flight time and maximum height of the center of gravity were 0.78 ± 0.03 s, and 1.60 ± 0.05 m, respectively. In the landing phase, the landing length was 0.50 ± 0.07 m. The trunk angle, knee angle, and hip angle were $74 \pm 18.75^\circ$, $131 \pm 10.45^\circ$, and $82 \pm 9.03^\circ$, respectively. The kinematic characteristics of the motion of a good long jump were as follows. The reduction in the horizontal velocity in the take-off phase was minimized, and the maximum velocity of the run-up was maintained. The vertical velocity in the take-off phase was increased using a rapidly extended knee and high center of gravity.

Keywords : Kinematic Analysis, Long Jump, Women, IAAF World Championships

I. 서 론

멀리뛰기는 빠른 도움닫기 스피드를 이용하여 한 번의 짧은(약 0.5 초) 발 구름으로 최대 수평 거리를 겨루는 종목이다.

Corresponding Author: Jung-Suk Seo
Division of Sports Science, Wonkwang University, 460 Iksan dae-ro, Iksan, Korea

E-mail: snuseo@wku.ac.kr

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

이러한 멀리뛰기 동작은 도움닫기(approach), 발 구름(takeoff), 공중동작(flight), 그리고 착지(landing)의 4가지 상호 의존적인 단계로 구성되어있다. 최대 거리를 얻기 위해서는 4가지 단계의 전반적인 동작에서 기술 개선이 이루어져야 하지만, 이들 중에서 도움닫기 및 발 구름 동작 기술은 기록 향상 측면에서 아주 중요한 의미를 갖고 있다(Hay & Miller, 1985; Lees, Graham-Smith & Fowler, 1994).

이런 측면에서 도움닫기의 기술 중 수평속도를 발 구름 순간 수직속도로 얼마나 적절히 변환시키는가가 중요하다. 즉

도움닫기와 발 구름은 멀리뛰기의 성공과 실패를 좌우하는 중요한 구간으로 다양한 운동학적 변인들에 관한 많은 연구가 수행되어 왔다.

최근 20년 동안 멀리뛰기에 관한 연구 결과는 대부분 도움닫기 구간과 발 구름 구간에 관한 선수들의 운동학적 특성을 분석하였고, 기록에 영향을 미치는 운동학적 변인들을 선별하는데 집중되어 왔다(Kim, 2004; Ryu, Kim & Back, 2000; Coh, Kugovnik & Dolenec, 1997; Hay & Miller, 1985; Hay & Nohara, 1990; Lees, Fowler & Derby, 1993). 이러한 선행연구들에 의하면, 멀리뛰기 기록은 신장, 도움닫기 속력 및 발 구름 순간속도 등에 의해서 결정되며, 가장 큰 영향을 미치는 변인은 도움닫기 속력과 발구름 동작이다. 도움닫기는 보통 45~55 m 사이의 거리를 출발선에서 출발하여 약 6 초 후에 최대의 스피드를 내기 위한 동작으로서, 이륙 순간의 수평·수직성분 속도가 비행 거리를 좌우하기 때문에 선속도가 빠를수록 경기에 미치는 영향력이 매우 크다.

Hay & Nohara(1990)는 7.25 m에서 8.79 m의 기록 범위에 있는 남자 선수 20명과 5.92 m에서 6.91 m의 기록 범위에 있는 여자 선수 26명의 멀리뛰기 동작을 분석하여, 남녀 선수의 구분 없이 발 구름 전 4보의 도약거리와 1보 전의 착지거리 그리고 발 구름 순간의 신체 무게중심의 높이가 기록과 유의 있는 상관이 있다고 조사하였다. Kim(1994)은 우리나라 우수 여자 멀리뛰기 선수의 발 구름 동작을 분석하여 발 구름 순간에 무릎 관절각의 변위를 순간적으로 크게 하면서 이륙 속도를 높이고, 이륙 순간 신체 중심의 높이를 최대한 높이면서 일정한 이륙 각도를 유지하고, 신체 전경각을 크게 하여 이륙 거리를 늘리는 동작이 중요하다고 지적하였다. Bae(1994)는 국내 우수 여자 선수의 발 구름 동작을 조사하여 이와 관련된 운동학적 변인들을 분석하여 기록이 우수한 남자와 외국 여자 선수들의 발 구름 동작과 비교하여 효율적인 발 구름 동작을 제시하였고 이륙 각도의 중요성을 강조하였다.

이들 선행연구에서도 알 수 있듯이 멀리뛰기 경기는 도움닫기, 발 구름, 공중동작, 착지의 네 가지 동작으로 이루어져 있지만, 도움닫기와 발 구름 구간의 동작이 가장 중요하다는 것을 알 수 있다. 특히 도움닫기 속력 및 발 구름 순간속도 그리고 이륙 순간의 수평속도와 수직속도, 신체 무게중심의 높이가 멀리뛰기 동작에서 중요한 요소라고 할 수 있다. 국내외 선행연구들의 대다수가 남자 멀리뛰기에 국한되어 있고, 여자 멀리뛰기에 대한 연구는 아직도 미흡한 실정에 있다. 특히, 국내의 경우 여자 멀리뛰기 선수들의 기록이 저조하여 많은 연구자들로부터 소외되어 왔다. 현재 국내 여자 멀리뛰기 선수들의 기록이 전보다 많이 향상되고 있기 때문에 세계육상선수권대회에서 상위 8명의 기록을 분석하여 국내 여자 멀리뛰기 선수들에게도 기술향상에 따른 기록변화를 이끌어낼 수 있는

정보를 제공하는 운동학적 연구가 필요하다.

세계육상선수권대회는 올림픽과 더불어 최고의 육상 경연장으로서 세계 최고 수준의 경기가 펼쳐진다. 이에 세계선수권대회에 대한 운동학적 분석은 육상의 시대적 흐름과 최고 수준의 경기력에 대한 정보를 얻을 수 있다는 점에서 그 의미가 있으며, 특히 이들 자료는 낙후된 한국 육상의 발전을 위한 기초자료로 크게 활용될 수 있을 것이다. 실제 1997년 아테네 대회, 2005년 헬싱키대회, 2007년 오사카대회, 최근의 2009년 베를린대회 때까지 세계육상선수권대회의 경기력 분석은 꾸준히 이루어졌으며, 이의 연장선상에서 2011 대구세계선수권대회에서도 여자 멀리뛰기 경기 분석이 이루어졌다.

본 연구는 2011 대구세계육상선수권대회 여자 멀리뛰기 종목 결선 라운드 최종기록 기준 상위 8명의 멀리뛰기 동작에서 나타난 요인들을 전 대회인 2009년 베를린대회의 요인들과 비교·분석하였다. 세계 수준의 여자 멀리뛰기 선수들의 특성을 규명하고, 이를 토대로 향후 트레이닝 개선과 기록 향상 및 우수 선수를 발굴하는데 필요한 기초 자료를 제공하는 데 목적이 있다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상은 2011 대구세계육상선수권대회 여자 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
Reese B.	1	USA	25	6.82	6.93
Kucherenko O.	2	RUS	26	6.77	6.82
Radevica I.	3	LAT	30	6.76	6.85
Mironchyk-N.	4	BLR	22	6.74	6.79
Kluft C.	5	SWE	28	6.56	6.65
Deloach J.	6	USA	26	6.56	6.80
Klichina D.	7	RUS	20	6.50	6.61
Mey Melis K.	8	TUR	28	6.44	6.54
M			26	6.64	6.75
SD			3.29	0.14	0.13

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($1 \times 1 \times 2$ m)을 사용하였다.

3. 실험 절차

베를린세계육상선수권대회(독일육상경기연맹, 2009) 결과 보고서를 기준으로 여자 멀리뛰기 선수들의 동작을 모두 포함 시키기 위한 전체 범위는 18 m로 하였다. 전체 분석 구간(20 m)을 6, 6, 7 m씩 3개 구간으로 나눈 뒤 각 범위를 2대의 카메라로 촬영하였다. 각 구간이 인접하는 부분은 겹쳐지게 촬영을 하여 각 카메라 별 화면 동조 시 동작이 중복되는 부분이 생길 수 있도록 구성하였다. 또한 나머지 1대 카메라는 전체적인 진행상황을 확인할 수 있도록 전체 구간을 촬영하였다 <Figure 1>.

Figure 1. Camera settings for the videotaping

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 2>와 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 이륙 순간(JTO)까지로 정하였다. 발 구름 후 구름발이 지면에서 떨어지는 순간(JTO)부터 모래에 착지하는 순간(LD)까지를 공중 구간으로 설정하였고, 착지 구간은 양발이 지면에 착지하는 순간(LD)부터 동작이 완전히 끝나는 순간까지로 정하였다.

Figure 3. Definition of inclination and take-off angle

발구름 구간과 착지 구간에서 선수의 동작 특성을 분석하기 위하여 각 분절들이 이루는 신체 분절 각을 다음과 같이 정의하였다<Figure 3>.

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

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

Figure 2. Main events and phases of long jump

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

몸통각도(trunk angle) : 몸통의 벡터가 Y축과 이루는 상대각도

고관절각도(hip angle) : 대퇴 분절의 벡터가 Z축과 이루는 상대각도

III. 결 과 및 논 의

이 연구에서는 2011 대구세계육상선수권대회의 여자 멀리뛰기 동작을 도움닫기 구간, 발 구름 구간, 공중 구간과 착지 구간으로 구분하여 각 구간의 운동학적 변인을 분석하였다.

1. 경기기록

2011 대구세계육상선수권대회와 2009 베를린세계육상선수권대회에서 최종 결승에 진출해 8위까지 입상한 선수들의 경기 기록을 비교해보면 다음과 같다<Table 2, Table 3>.

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

Rank	Name	Official record	Loss	SB	Difference (%)
1	Reese B.	6.82	0.11	7.19	-0.37
2	Kucherenko O.	6.77	0.05	6.86	-0.09
3	Radevica I.	6.76	0.07	6.60	0.16
4	Mironchuk-I N.	6.74	0.05	6.85	-0.11
5	Kluft C.	6.56	0.09	6.73	-0.17
6	Deloach J.	6.56	0.24	6.99	-0.43
7	Klichina D.	6.50	0.11	7.05	-0.55
8	Mey Melis K.	6.44	0.10	6.66	-0.22
M		6.64	0.10	6.87	-0.22
SD		0.14	0.06	0.20	0.22

SB = Season Best, Loss = Real - Official Record
Difference = (Official record - SB)/SB*100

2011 대구세계육상선수권대회에서 상위 8위까지의 평균 기록은 6.64 m로 2009년 베를린대회 평균 기록인 6.80 m보다 감소된 것으로 나타났다. 대구대회의 최고 기록은 6.82 m로 2009년 베를린대회의 최고 기록인 7.10 m에 비하여 3.9% 감소한 것으로 나타났다.

대구세계육상선수권대회에서 상위 8위까지 선수들의 기록은 시즌 베스트 기록에 비하여 3.2% 감소한 것으로 나타났다.

대구세계육상선수권대회에서 상위 8명선수 중에서 시즌 베스트 기록을 경신한 선수는 Radevica I. 선수 1명이며 나머지 선

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

Rank	Name	Official record	Loss (m)
1	Reese B.	7.10	0.08
2	Lebedewa T.	6.97	0.00
3	Mey Melis K.	6.80	0.05
4	Gomes N.	6.77	0.09
5	Kucherenko O.	6.77	0.00
6	Protor S.	6.71	0.05
7	Maggi M.	6.68	0.13
8	Balta K.	6.62	0.02
M		6.80	0.05
SD		0.16	0.05

Loss = Real - Official Record

수는 시즌 베스트 기록에 못 미치는 결과가 나타났다<Table 2>. 2011 대구세계육상선수권대회에서 대부분의 여자 선수들의 기록은 2009 베를린세계육상선수권대회에 비해 순위별로도 기록이 전반적으로 감소한 것으로 나타났다<Figure 4>.

Figure 4. comparison of records by ranking

2 도움닫기 구간

멀리뛰기 선수들은 도움닫기 구간에서 수평 속도를 최대한 하기 위해서 빨리 달리면서 수직속도를 증가시키기 위해서 무게중심을 낮추어 파울선에 근접하여 발 구름을 한다(Hay, 1993). 도움닫기 구간에서 최고 속도를 내는 발 구름 전 3보부터 발 구름 직전까지의 운동학적 자료는 <Table 4>, <Table 5>와 같다.

보폭거리의 평균은 발 구름 전 3보 2.14±0.09 m, 발 구름 전 2보 2.31±0.10 m, 발 구름 전 1보 2.10±0.11 m로 나타났다. 보폭 거리는 지난 2009년 베를린대회에서 발 구름 전 3보 2.11±0.18 m, 발 구름 전 2보 2.31±0.17 m, 발 구름 전 1보 2.07±0.12 m와 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 발 구름 전 2보에서 보폭거리가 가장 큰 것으로 나타났다. 대

구대회와 베를린대회의 2회 연속 우승자인 Reese B. 선수도 발 구름 전 3보 1.98 m, 발 구름 전 2보 2.41 m, 발 구름 전 1보 1.95 m로 지난 2009년 베를린대회에서의 발 구름 전 3보 1.91 m, 발 구름 전 2보 2.45 m, 발 구름 전 1보 1.97 m와 비교하여 거의 비슷한 패턴을 보여주고 있다. 이 선수는 다른 선수에 비하여 발 구름 전 2보의 길이가 3보, 1보에 비하여 매우 큰 특성을 보이고 있는데, 이것은 Coh, Kugovnik & Dolenec(1997)와 Roger(1994)의 우수 선수는 마지막 3보의 보폭 중에서 마지막 1보보다 마지막 2보가 더 길다는 연구 결과와 정확하게 일치한다.

발 구름 전 2보에서 발 구름 전 1보까지의 무게중심 위치 변화의 평균은 0.07 m로 나타났으며, 지난 2009년 베를린대회에서는 0.06 m로 나타나 대구 대회와 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 메달리스트들의 무게중심 변화의 평균은 0.08 m로 본선에 진출한 나머지 선수들의 평균인 0.06 m에 비하여 큰 것으로 나타났다. 금메달리스트인 Reese B. 선수는 무게중심 위치 변화가 0.12 m로 지난 2009년 베를린대회에서 금메달을 획득할 당시의 0.09 m에 비해서 큰 것으로 나타났지만 평균 값을 훨씬 넘는 수치이다. 이러한 결과는 Tidow(1990)의

발 구름 준비구간인 2보에서 착지구간인 1보의 접지 순간에 착지하는 다리의 동작이 스윙 레그 스쿼트(swing leg squat) 동작이 되고, 이 동작으로 인해 무게중심 위치가 낮아진다는 연구결과와 일치한다.

도움닫기 속도의 평균은 발 구름 전 3보 9.22 m/s, 발 구름 전 2보 9.12 m/s, 발 구름 전 1보 9.44 m/s로 나타나 지난 2009년 베를린대회에서 발 구름 전 3보 9.40 m/s, 발 구름 전 2보 9.49 m/s, 발 구름 전 1보 9.33 m/s에 비하여 발 구름 전 3, 2보에서는 낮게 나타났으며, 발 구름 전 1보에서는 큰 것으로 나타났다. 특히, 대구대회에서는 발 구름 전 2보에서 가장 낮은 속도를 보이고 있으나 지난 2009년 베를린대회에서는 발 구름 전 2보에서 가장 높은 속도를 보이는 차이점이 있다. Reese B. 선수는 발 구름 전 3보에서 9.71 m/s로 최대속도를 보이고 있으나 지난 2009년 베를린대회에서는 발 구름 전 2보에서 9.89 m/s로 최대속도가 나타난 바 있다. 대구대회와 베를린대회의 기록을 토대로 볼 때, 이륙 전의 도약 속도가 경기 기록에 미치는 영향을 정확하게 규명하는 데에는 다소 일관성이 부족해 보인다. 따라서 추후 이륙(순간의) 속도 요인과 경기 기록 간에 대한 논의가 요구된다.

Table 4. Kinematic variables of the run-up phase in Berlin 2009(German Athletics Association, 2009)

Rank	Name	Stride length [m]					Lowering of CM	Velocity [m/s]		
		3last	2last	1last	2last/3last[%]	1last/2last[%]		3last	2last	1last
1	Reese B.	1.91	2.45	1.97	128	81	0.09	9.77	9.89	9.59
2	Lebedewa T.	2.04	2.21	2.17	108	98	0.12	9.38	9.53	9.34
3	Mey Melis K.	2.06	2.16	1.95	105	90	0.07	9.14	9.23	9.13
4	Gomes N.	2.41	2.61	2.08	108	80	0.08	9.33	9.47	9.43
5	Kucherenko O.	2.17	2.32	2.09	107	90	0.05	9.19	9.29	9.14
6	Protor S.	2.07	2.16	2.09	105	97	0.03	9.25	9.34	9.07
7	Maggi M.	2.3	2.44	2.28	106	93	0.01	9.58	9.60	9.52
8	Balta K.	1.91	2.15	1.94	112	90	0.03	9.57	9.55	9.39
	M	2.11	2.31	2.07	110	90	0.06	9.40	9.49	9.33
	±SD	0.18	0.17	0.12	7.66	6.58	0.04	0.22	0.21	0.19

Table 5. 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	Reese B.	1.98	2.41	1.95	122	81	0.12	9.71	9.69	9.56
2	Kucherenko O.	2.12	2.33	2.21	110	95	0.05	9.20	9.28	9.48
3	Radevica I.	2.16	2.41	2.18	112	90	0.07	9.17	9.12	9.44
4	Mironchik-I N.	2.14	2.34	2.15	109	92	0.03	9.08	9.12	9.41
5	Kluft C.	2.12	2.13	2.00	100	94	0.05	9.26	8.31	9.51
6	Deloach J.	2.20	2.31	2.18	105	94	0.09	9.21	9.26	9.47
7	Klichina D.	2.28	2.32	1.96	102	84	0.07	9.24	9.15	9.50
8	Mey Melis K.	2.11	2.21	2.16	105	98	0.07	8.91	9.05	9.15
	M	2.14	2.31	2.10	108	91	0.07	9.22	9.12	9.44
	±SD	0.09	0.10	0.11	6.92	5.78	0.03	0.23	0.38	0.13

3. 발 구름 구간

발 구름 구간에서 가장 중요한 기술적 요인은 수평 속도의 감소를 최소로 하면서 수직속도를 증가시켜 최적의 이륙 각도를 만들어 내는 것이다. 멀리뛰기의 발 구름 구간에서 산출된 운동학적 변인들은 <Table 6>, <Table 7>과 같다.

발 구름 구간에서 이륙 순간의 수평속도의 평균은 7.80 m/s로 지난 2009년 베를린대회의 7.91 m/s에 비하여 낮은 것으로 나타났다. 금메달리스트인 Reese B. 선수의 이륙 순간의 수평속도는 7.82 m/s로 지난 2009년 베를린대회에서의 8.31 m/s에 비해 많이 감소한 것으로 나타났다.

이륙 순간의 수평속도 평균 감소량은 1.64 m/s로 지난 2009년 베를린대회의 1.42 m/s에 비해 더 큰 것으로 나타났다. 금메달리스트인 Reese B. 선수의 수평속도 감소량은 1.74 m/s로 지난 2009년 베를린대회에서의 1.28 m/s에 비하여 큰 것으로 나타났다.

발 구름 구간에서 이륙 순간의 수직속도의 평균은 2.96 m/s로 지난 2009년 베를린대회의 3.16 m/s에 비하여 느린 것으로 나타났다. 금메달리스트인 Reese B. 선수의 이륙 순간의

수직속도는 3.05 m/s로 지난 2009년 베를린대회에서의 3.14 m/s에 비하여 느린 것으로 나타났다. 이러한 결과는 대구대회가 베를린대회 보다 기록이 저조한 것이 이륙 시의 속도가 중요한 요인으로 작용했다는 것을 반영하는 것으로, Hay & Miller(1985)의 연구에서도 경기 기록의 가장 중요한 요인은 이륙 속도(수평, 수직 속도)라고 제시하고 있다.

이륙 시 각도변인의 경우, 무릎 최소 각도(최대 무릎굴곡 각도), 몸통 각도, 이륙 각도를 제시하였다. 먼저 무릎 최소 각도의 평균은 151°로 지난 2009년 베를린대회의 136°에 비해 더 큰 것으로 나타났다. 단, 대구대회에서 금메달리스트인 Reese B. 선수의 무릎 최소 각도는 133°로 8명 중에서 가장 작은 수치를 보였으며, 이 선수는 전 대회인 베를린대회에서도 128°를 기록하면서 가장 작은 무릎 최소 각도를 나타낸 바 있다. 이러한 결과는 Lees, Fowler & Derby(1993)가 제시한 여자 멀리뛰기 선수의 경우 구름판에서의 무릎 최소 각도가 수직속도에 66%이상을 공헌한다고 것을 어느 정도 반영하는 것이라 판단된다.

몸통 각도의 평균은 92°로 지난 베를린대회의 99°에 비해 다소 작은 것으로 나타났지만 이륙 시에는 거의 수직이나 약

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

Rank	Name	Velocity [m/s]			Duration[s]	Angle[°]			Take-off angle
		Horizontal velocity	Loss at take-off	Vertical velocity		Minimal knee-angle	Inclination angle	Trunk-angle	
1	Reese B.	7.82	1.74	3.05	0.13	133	28	80	21.0
2	Kucherenko O.	7.72	1.76	3.07	0.13	156	29	104	21.9
3	Radevica I.	7.87	1.57	2.95	0.11	154	27	89	20.4
4	Mironchyk-I N.	8.10	1.31	2.94	0.11	146	27	102	20.0
5	Kluft C.	7.81	1.70	2.78	0.13	163	29	91	19.1
6	Deloach J.	7.57	1.90	2.99	0.11	156	26	88	21.3
7	Klichina D.	7.82	1.68	2.75	0.13	151	30	97	20.0
8	Mey Melis K.	7.70	1.45	3.14	0.11	150	27	90	22.1
	M	7.80	1.64	2.96	0.12	151	28	92	20.7
	±SD	0.15	0.19	0.14	0.01	8.89	1.36	7.88	1.03

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

Rank	Name	Velocity [m/s]			Duration [s]	Angle[°]			Angle of take-off
		Horizontal velocity	Loss at take-off	Vertical velocity		Minimal knee-angle	Inclination angle	Trunk-angle	
1	Reese B.	8.31	1.28	3.14	0.13	128	29	97	20.7
2	Lebedewa T.	7.62	1.71	3.40	0.11	134	25	101	24.0
3	Mey Melis K.	7.87	1.26	3.42	0.11	136	27	100	23.5
4	Gomes N.	8.10	1.33	3.22	0.12	137	28	99	21.7
5	Kucherenko O.	7.39	1.75	3.37	0.12	141	27	98	24.5
6	Protor S.	7.64	1.43	3.10	0.13	131	27	96	22.1
7	Maggi M.	8.30	1.22	2.64	0.11	142	21	102	17.6
8	Balta K.	8.04	1.35	2.96	0.11	138	27	97	20.2
	M	7.91	1.42	3.16	0.12	136	26	99	21.8
	SD	0.34	0.20	0.26	0.01	4.76	2.45	2.12	2.28

간의 후경자세가 요구됨을 보여주고 있다. 이륙 각도 평균은 20.7°로 지난 베를린대회의 21.8°와는 큰 차이가 없는 것으로 나타났는데, 이러한 본 연구의 결과는 Coh, Kugovnik & Dolenc(1997)의 우수 선수는 이륙 각도가 20.6° 정도라고 보고한 연구 결과와 거의 일치하는 것이다.

4. 공중 구간

공중 구간에서 공중 동작은 발 구름에서 발생한 전방 회전력을 줄이면서 최적의 자세로 착지할 수 있도록 하는 것이다. 멀리뛰기의 공중 구간에서 산출된 운동학적 변인들은 <Table 8>과 같다.

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	Reese B.	1.15	1.57	0.66	0.73	5.97
2	Kucherenko O.	1.17	1.66	0.64	0.78	5.81
3	Radevica I.	1.12	1.63	0.65	0.80	5.93
4	Mironchyk-I N.	1.13	1.62	0.60	0.80	5.84
5	Kluft C.	1.19	1.52	0.58	0.77	5.72
6	Deloach J.	1.12	1.65	0.54	0.82	6.11
7	Klichina D.	1.19	1.60	0.58	0.75	5.67
8	Mey Melis K.	1.09	1.54	0.61	0.75	5.70
	M	1.15	1.60	0.61	0.78	5.84
	SD	0.04	0.05	0.04	0.03	0.15

공중 구간에 대한 결과는 2009년 베를린대회에서도 제공하지 않았고, 더욱이 선행연구도 부족하기 때문에 논의하기 어렵지만, 추후 관련된 연구 수행 시 참고할 만한 사항으로 제시하였다. 공중 구간에서 무게중심의 최대 높이의 평균은 1.60 ± 0.05 m, 비행 시간은 0.78 ± 0.03 s, 비행 거리는 5.84 ± 0.15 m로 나타났다. 6위 선수는 비행 시간과 비행 거리가 가장 길었지만 순위는 하위 권으로 나타났다. 이러한 원인은 디딤발 착지 시 다른 선수에 비하여 발구름판에서 너무 뒤쪽으로 발을 디뎠기 때문인 것으로 나타났다.

5. 착지 구간

착지 구간에서 중요한 요소는 착지 시 무게 중심과 발 뒤꿈치간의 수평 거리(착지 거리)를 최대화 하면서 무게 중심의 높이를 최소화 하는 것이다. 멀리뛰기의 착지 구간에서 산출된 운동학적 변인들은 <Table 9>, <Table 10>과 같다.

착지 시 착지 거리의 평균은 0.50 m로 지난 2009년 베를린대회의 0.50 m와 동일한 것으로 나타났으며, 몸통각도의 평균

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

Rank	Name	Landing			
		distance [m]	trunk angle [°]	knee angle [°]	hip angle [°]
1	Reese B.	0.53	75	136	83
2	Kucherenko O.	0.58	98	120	94
3	Radevica I.	0.55	77	144	71
4	Mironchyk-I N.	0.54	76	141	72
5	Kluft C.	0.51	75	136	83
6	Deloach J.	0.34	33	126	80
7	Klichina D.	0.49	68	114	96
8	Mey Melis K.	0.47	87	134	80
	M	0.50	74	131	82
	±SD	0.07	18.75	10.45	9.03

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

Rank	Name	Landing			
		distance [m]	trunk angle [°]	knee angle [°]	hip angle [°]
1	Reese B.	0.55	68	150	83
2	Lebedewa T.	0.49	70	148	84
3	Mey Melis K.	0.53	87	158	106
4	Gomes N.	0.49	75	135	85
5	Kucherenko O.	0.46	60	158	79
6	Protor S.	0.44	77	128	82
7	Maggi M.	0.49	66	137	69
8	Balta K.	0.52	81	148	98
	M	0.50	73	145	86
	±SD	0.04	8.72	10.91	11.41

은 74°로 지난 2009년 베를린대회의 73°와 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 착지 거리가 가장 긴 2위 선수는 착지 시 상체가 뒤쪽으로 기울어진 상태로 착지하며 착지 거리가 가장 짧은 6위 선수는 상체가 앞으로 많이 굽힌 상태로 착지하는 것으로 나타났다. 따라서 착지 시 상체를 앞으로 많이 굽히면 착지 거리는 짧아지고 상체가 뒤쪽으로 기울어진 상태로 착지하면 착지 거리는 길어지는 것으로 나타났다.

착지 시 무릎 각도의 평균은 131°로 지난 2009년 베를린대회의 145°에 비해 더 작은 것으로 나타났으며 고관절 각도의 평균은 82°로 지난 2009년 베를린대회의 86°에 비하여 더 작은 것으로 나타났다. 착지 시 무릎을 상대적으로 많이 굽히면서 착지하게 되면 고관절 각도도 많이 굴곡되어 주저 않는 자세로 착지하게 된다. 따라서 착지 시 체공 시간을 길게 유지하면서 최적의 자세로 착지하기 위해서는 두 다리를 쭉 편 상태에서 가능한 한 상체가 앞으로 굽혀져 다리 가까이에 있어야 할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구는 2011 대구세계육상선수권대회의 여자 멀리뛰기 경기에서 최종 결승에 진출한 상위 8위까지 선수에 대한 멀리뛰기 동작을 운동학적으로 분석하여 2009년 베를린대회의 경기 결과와 비교·분석하였다.

도움닫기 구간에서 발 구름 전 2보의 보폭은 3보의 보폭에 비하여 $108 \pm 6.92\%$ 로 크게 나타났으며, 발 구름 전 1보의 보폭은 2보의 보폭에 비하여 $91 \pm 5.78\%$ 로 감소한 것으로 나타났다. 무게중심의 높이 변화는 0.07 ± 0.03 m로 나타났고, 도움닫기 최대 속도는 발구름 전 1보에서 9.44 ± 0.13 m로 나타났다. 기록이 좋을수록 도움닫기 속도가 빠른 것을 알 수 있으며, 발구름 전 2보의 보폭이 발 구름 전 3보, 1보에 비해 가장 크며 무게중심을 많이 낮추는 것으로 나타났다.

발 구름 구간에서 이륙 시 수평속도는 7.80 ± 0.15 m/s, 수직 속도는 2.96 ± 0.14 m/s, 수평 속도의 감소량은 1.64 ± 0.19 m/s, 무릎 최소 각도는 $151 \pm 8.89^\circ$, 이륙 각도는 $20.7 \pm 1.03^\circ$ 로 나타났다. 2011 대구세계육상선수권대회에서는 2009년 베를린대회에 비해 기록이 상대적으로 저조했던 주요 요인으로는 이륙 시 수평 속도와 수직 속도가 낮았기 때문이라고 판단되며, 기록 향상을 위해서는 도움닫기 속도를 빠르게 유지하면서 발 구름 시 수평속도의 감소량을 적게 하고, 무릎 관절을 최대한 굴곡시켰다가 빠르게 신전시켜 무게중심의 높이를 최대한 하면서 수직속도를 증가시켜야 한다.

공중 구간에서 비행시간은 0.78 ± 0.03 s, 무게중심의 최대 높이는 1.60 ± 0.05 m로 나타났다. 착지 구간에서 착지 거리는 0.50 ± 0.07 m, 몸통 각도는 $74 \pm 18.75^\circ$, 무릎 각도는 $131 \pm 10.45^\circ$, 고관절 각도는 $82 \pm 9.03^\circ$ 로 나타났다. 공중 동작은 비행시간이나 무게중심 높이에 의존할 것으로 사료되며, 효과적인 착지를 위해서는 선수 개인 별로 분절 각도 등을 활용한 착지 거리를 늘리기 위한 전략이 요구된다.

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.
- 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*. 33(1) 253-264.
- Coh, M, Kugovnik, O. & Dolenec, A.(1997, spring). Kinematic-dynamic analysis of the takeoff action in the long jump. *Track Coach*, 4443-4445.
- German Athletics Association(2009). *Biomechanics Report World Championships 2009 Berlin*.
- 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., Miller, J. A(1985). Techniques used in the transition from approach to take-off in the long jump, *International Journal of Sports Biomechanics*, Vol.1, No.2, 183.
- Kim, H. Y.(2004). Kinematic characteristics of the Asian long jumpers in 8m record. *The Korean Journal of Physical Education*, 43(3), 789-801.
- Kim, U. H.(1994). The kinematic analysis on take - off motion of the women's long jump. *The Korean Journal of Physical Education*, 33(2), 467-478.
- 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.
- Roger, J.(1994). The long jump. *Track & Field*. 15-19.
- Ryu, J. K., Kim, H. Y. & Back, J. H.(2000). A Kinematical Analysis of the Last 3 Strides of the Run-up and Takeoff in the Men's Long Jump. *The Korean Journal of Physical Education*. 39(3), 500-608.
- Tidow, G.(1990, fall). Medels for teaching techniques and assessing movement in athletics : the long jump. *Track Technique*, 3607-3615.
- Yu, B., & Hay, J. G.(1996). Optimum phase ratio in the triple jump. *Journal of Biomechanics*, 29(10), 1283-1289.