

여자 높이뛰기에서 경기력 간 도움닫기와 발구름 동작의 운동역학적 분석

김영숙¹ · 류재균² · 장재관³

¹경희대학교 대학원 체육학과 · ²경희대학교 체육대학 스포츠지도학과 · ³경희대학교 체육대학 골프산업학과

The Kinetic Analysis of the Approach and Take-off Motion between Performance in Woman's High Jump

Young-Suk Kim¹ · Jae-Kyun Ryu² · Jae-Kwan Jang³

¹Department of Physical Education, Graduate School of Kyunghee University, Yongin, Korea

²Department of Coaching, College of Physical Education, Kyunghee University, Yongin, Korea

³Department of Golf Management, College of Physical Education, Kyunghee University, Yongin, Korea

Received 30 January 2015; Received in revised form 9 March 2015; Accepted 16 March 2015

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study was to find some kinetic variable's relationships between personal records and low records in female high jump.

Methods: Collected data of the subjects(N=8, ages: 25.5±1.85, height: 173±5.83, mass: 54.75±6.36 personal record: 1.71±0.04, low record: 1.62±0.03) were used for the last three strides and take-off phase. Five video cameras set in 30frames/s were used for recording. After digitizing motion, the Direct Linear Transformation(DLT) technique was employed to obtain 3-D position coordinates. The kinematic and kinetic factors of distance, velocity, angle, impulse, jerk variables were calculated. A paired t-test was applied for the difference of variables between personal records and lower records and for correlation with performances and variables. The significance level was accepted at $p<.05$.

Results: There was no relationship between pattern of stride and performance. However, rate of change of velocity was related with cental of mass height(CMH) at peak point(PP). Knee, hip, backward lean, foot plant, approach and take off angle showed no difference between best record and low record. Vertical impulse momentum also showed no difference between performances.

Conclusion: According to a t-test result, there were significant differences in CMH at PP and jerk at touch down between best record and low record.

Keywords: High Jump, Kinetic Analysis, Take-off, Impulse, Jerk

I. 서 론

높이뛰기 경기는 선수가 가지고 있는 신체적 특성과 기술적 능력만을 이용하여 지면으로부터 수직으로 뛰어올라 바(bar)를 성공적으로 넘어 높이를 겨루는 도약경기 중 하나이다.

높이뛰기의 경기력에 영향을 미치는 기술 동작은 도움닫기(approach run), 발구름(takeoff), 바 넘기 혹은 공중동작(bar

clearance), 착지(landing)의 4가지 세부 단계로 분류하며, 높이뛰기를 수행하는 과정에서 신체 각 분절의 상호작용에 의해 발생하는 운동학적, 운동역학적 변인들이 서로 최적화된 조화를 이룰 때 최상의 기술을 발휘할 수 있으며, 최고의 경기력을 얻을 수 있다(Ae, 1990; Bothmischel, 1990; Dapena, 1980, 1988).

발구름 1보 전 패널티메이트 스트라이드와 마지막 스트라이드 변화 패턴은 길고 짧게 혹은 짧고 길게 하는 두 가지 패턴이 있으며, 지나친 스트라이드 거리의 증가는 수직속도 증가에 부정적인 영향을 초래할 수 있다(Park, 1999; Lee, 2003; Kim, Ryu, & Lee, 2012). 그러나 Ryu, Lee와 Kim (2004)의 연구에서는 마지막 스트라이드의 길이가 긴 경우도 제시하였는데, 이는 마지막 스트라이드의 길이를 길게 하여 신체중심을 낮추고 구

본 논문은 김영숙(2015)의 석사학위논문 중 일부를 발췌하였음.
Corresponding Author : Young-Suk Kim
Department of Physical Education, Graduate School of
Kyunghee University, Kyungki-do, Korea
Tel : +82-31-261-6593
E-mail : stockey@khu.ac.kr

름발 착지시 큰 수직속도를 얻는 유형이라고 하였다.

도움닫기 속도와 발구름하는 다리의 발이 발구름을 수행하는 속도는 발구름 이륙순간에 수직속도와 점프 높이를 결정하는 요인이며(Rizdorf, 1986), 발구름 시 지면에 큰 수직력을 발휘하기 위해서는 빠른 발구름을 통해 가속된 도움닫기 수평속도를 수직속도로 전환시키는 기술이 중요하다(Dapena & Chung, 1988). 그리고 발구름으로 향하는 도움닫기 수평속도를 높이기 위해서는 패들티메이드 스트라이드를 빠르게 수행하여야 한다(Myers, 1990). 도움닫기 수평속도와 도약순간 수직속도는 상관성이 높으며, 발구름시 수직속도가 신체중심의 최고 정점 높이에 영향을 미치기 때문에(Dapena, McDonald & Cappapert, 1990), 발구름 접지시에는 고관절각을 최대한 신전된 상태로 유지하여 신체중심을 높이고, 발구름을 하는 동안 발구름 다리를 곧게 유지하여야 수직 상승력을 크게 할 수 있다(Reid, 1986). 그리고 발구름 다리의 무릎 각은 접지와 이저시 각각 157~175°, 163~172°로 이륙시에도 무릎은 완전 신전이 되지 않으며(Dapena et al., 1986; Alexander, 1990; Ryu et al., 2004), 발구름 다리의 고관절각은 접지시 평균 140~163°, 이저시에는 평균 159~174°로 접지시보다 신전된다고 하였다(Ryu et al., 2004; Lee, Baek, & Kim, 2006).

발구름시 후경각은 발구름 이저시 바 쪽으로 신체의 움직임 을 결정하는데 영향을 미치며, 후경각이 작을 경우 신체가 상승 할 수 있는 공간이 부족하게 되고 도약 후 신체가 바를 밀며 비행할 수 있으며 아치(arch)동작이 바 위를 지나 형성된다는 단 점이 있다. 선행연구에서는 평균 20~36°(Alexander, 1990; Greig, 1998; Ryu et al., 2004; Lee et al., 2006)라고 하였다.

세계 기록 보유자였던 Zhu jianhua 선수와 Sotomyor 선수는 마지막 스트라이드에서의 수평속도가 각각 8.19m/s, 8.2m/s 등에 이르고 있다고 Xinwang et al. (1986)은 보고하였다. 최근 2011대구세계육상선수권대회에서 남자 높이뛰기에서 1위에 입상한 Jesse Williams 선수의 마지막 스트라이드 수평속도는 8.22m/s 였으며, 여자 높이뛰기 1위에 입상한 Anna Chicherova 선수는 7.32m/s였다(Kim et al., Bae et al., 2011). 선행연구들은 도움닫기의 속도가 빨라질수록 도약 높이가 증가한다고 보고하고 있지만 지나친 도움닫기 속도는 효율적인 발구름 동작 을 방해하는 요인으로 작용한다는 연구결과도 있다(Alexander, 1990; Greig & Yeadon, 2000).

도움닫기 속도증가와 더불어 경기력을 높이는데 영향을 미 치는 변인은 발구름시 지면에 가하는 충격력으로, 도움닫기의 수평속도가 발구름을 통해 수직속도로 전환될 때 수직속도는 수직 충격량과 비례관계를 이루며(Do, Lee, & Baek, 2002), 수직 충격력은 다른 기술 동작의 변인들과 함께 도약높이를 결정하는 중요한 변인이다. 그리고 발이 지면에 충돌하는 속

도는 충격력과 관련이 있으며, 발구름 발이 얼마나 빠르게 지 면에 충돌하는가를 나타내는 변인인 jerk가 경기력에 영향을 미친다(Lee, 2011). 그리고 지면에 가해지는 수직 충격력의 근 원은 빠른 수평속도와 발구름 다리의 강한 근력에 있고, 충격 력을 크게 하기 위해서는 발구름 지지시간을 길게 하여 breaking force를 유발해야 한다고 하였다(Lee, 2003; Lee et al., 2006). 반면에 Ryu 등(2004)은 다리가 신전된 상태로 발구름을 하여 브로킹 힘(blocking force)을 유발시켜야 도움닫기에서 얻은 수 평속도를 효과적으로 수직속도로 전환시킬 수 있다고 하였다.

이와 같이 높이뛰기 경기력 향상과 관련된 선행연구들이 중 점적으로 다루고 있는 도움닫기의 속도, 발구름 동작 및 바 위 에서의 운동학적, 운동역학적 변인들은 최고기록을 수립한 시 기를 선정하여 분석하였고, 그 결과를 다른 선수들과 비교하여 분석된 변인들을 판별하였다. 그러나 바의 높이가 올라감에 따 라 도움닫기, 발구름 동작에서의 운동학적, 운동역학적 변인의 차이가 발생할 것이라는 연구는 아직 미미한 실정이며, 더불어 바 높이 변화에 따른 운동수행의 변화를 조사하기 위해서는 선 수들의 최저기록과 최고기록에서 운동학적, 운동역학적 변인들 과 발구름 동작과 바(bar)사이에서 일어나는 각도 변인들을 분 석하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구는 경기력 간에 변인들 의 차이가 있다는 가설을 설정하고 변인 간의 상관관계를 조사 하여 국내 여자높이뛰기선수들의 최고기록과 최저기록에서의 도움닫기와 발구름 동작을 분석하는 데 목적을 둔다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

2011년 제 65회 전국 육상경기 선수권 대회 높이뛰기 결승 여자 일반부 선수들을 대상으로 하였으며, 대상자 중 KHS 선 수는 최고기록과 최저기록이 동일하여 배제하였다.

Table 1. Biographical information of subjects

Subject	Age (yrs.)	Height (cm)	Weight (kg)	Best performance record (m)	Worst performance record (m)	Rank
NJH	25	165	51	1.76	1.60	1
HDR	26	176	56	1.76	1.65	2
SMJ	26	170	46	1.73	1.60	3
CHJ	24	184	67	1.73	1.60	3
KYJ	28	170	52	1.70	1.60	5
PJH	28	177	51	1.70	1.65	6
KHS	23	172	59	1.65	1.65	7
KJH	24	170	56	1.65	1.60	8
<i>M±SD</i>	25.50±1.85	173±5.83	54.75±6.36	1.71±0.04	1.62±0.03	

2. 실험 절차

본 연구는 2011년 제 65회 전국 육상경기 선수권 대회 여자 일반부 높이뛰기 결승을 촬영하였다. JVC 비디오카메라 5대를 관중석에 설치하였으며, 1 m × 1 m × 2 m의 통제점 틀은 착지 매트 앞에 7 m 간격으로 설치하였으며 촬영 후 제거하였다. 각 카메라의 필름 속도는 30 frames/sec로 설정하였다.

3. 자료 처리 방법

촬영된 영상에서 각 관절점의 3차원 좌표는 Plagenhoef (1983)의 자료를 이용하여 20개의 관절점으로부터 14개의 연결된 강체로 정의하였으며, 바(bar)와 지주는 6개의 그래픽 점으로 3개의 강체로 정의 하였다. 3차원 위치 좌표값은 Kwon3D Version 3.1 프로그램을 사용하였고, Abdel-Aziz & Karara (1971)의 DLT(direct linear transformation) 방법을 사용하였다. 3차원 좌표에 포함되는 디지털 오차와 기자재 자체에서 생기는 노이즈는 Butterworth 4차 저역 통과 필터(low-pass filter) 방법으로 스무딩(smoothing)하였고, 이때 차단 주파수는 7.4 Hz로 설정하였다.

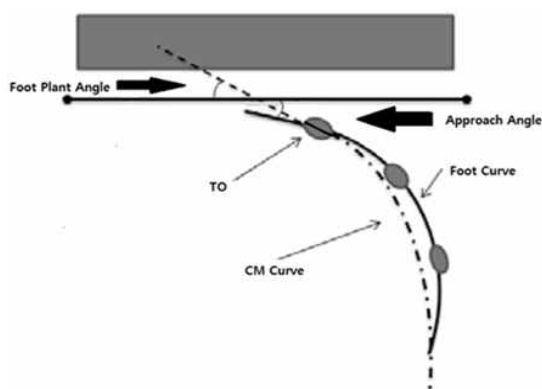


Figure 1. Approach angle and foot plant angle Dapena, et al.(1997)

이 연구에서 분석된 변인은 Kwon3D ver. 3.1 프로그램을 이용하여 성분별 신체 중심 속도, 도움닫기 보폭 길이와 신체 중심 높이변화, 각도요인에서는 발구름 다리의 고관절과 무릎 각에 대한 상대각과 후경각(Backward Lean Angle), 도약각 (takeoff angle), 입사각(Foot Plant Angle), 그리고 도움닫기 각 (Approach Angle)에 있어서는 축에 대한 절대각으로 분석하였다. 후경각은 발목 관절과 신체중심을 잇는 선과 전역좌표계의 Z축이 이루는 각, 입사각은 발구름 시 발의 발끝과 뒤꿈치를 연결한 벡터와 높이뛰기 바 사이의 각이며, 도움닫기 각은 takeoff 시 신체중심의 합성속도의 벡터와 높이뛰기 바 사이의 각으로 설정하였다(Figure 1). 운동역학적 요인과 관련된 발구름 시 충격력을 산출하기 위해 Hay(1997)가 제시한 다음 식 (1)을 이용하여 산출하였다.

$$\bar{F} \cdot t = m(V_f - V_i), \quad \bar{F} = \frac{m \cdot (V_f - V_i)}{t} \quad (1)$$

F는 힘, t는 지지시간, m은 선수의 체중, V_f는 이지 순간의 속도, V_i는 접지순간의 속도.

특히 발구름 국면에서 도움닫기 마지막 1보 접지순간부터 발구름 접지까지 충돌 빠르기와 관련된 Jerk를 분석하였는데, 이는 마지막 1보 접지순간부터 발구름 접지까지 가속도를 시간으로 미분하여, 아래와 같은 식(2)을 이용하여 산출하였다.

$$Jerk_{event} = \frac{d_a}{d_t}, \quad Jerk_{phase} = \left| \int_0^t \left(\frac{d^3 r}{dt^3} \right) dt \right| \quad (2)$$

t는 소오시간, a는 1보 접지순간부터 발구름 접지순간까지의 선가속도.

수집된 운동학적, 운동역학적 자료는 통계 프로그램(SPSS 21)을 이용하여 모든 변인들의 기초통계량을 산출하고, 도움닫기 마지막 3보 구간과 발구름 구간의 jerk와 충격력, 속도, 각도 변인이 경기력에 미치는 영향을 비교하기 위하여 paired t-test 실시 후 상관분석을 실시하였다.

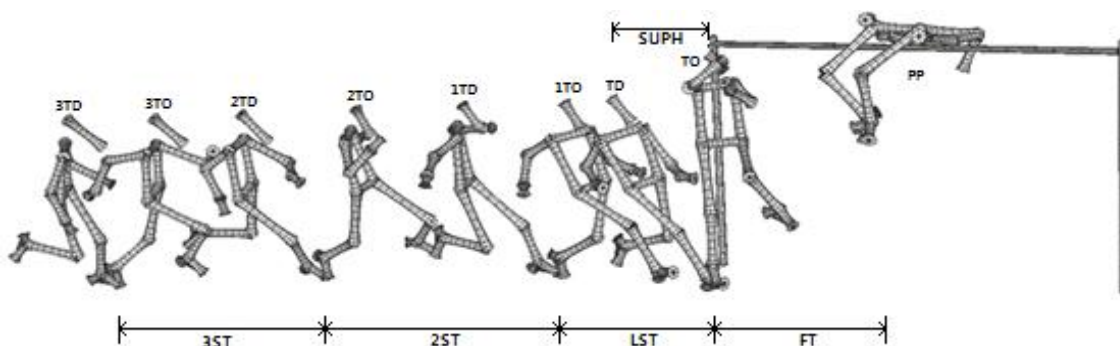


Figure 2. Set up of event and phase

모든 통계적 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하였다. 이 연구에서의 분석구간은 <Figure 2>와 같이 접지(touch down: 3TD, 2TD, 1TD, TD)와 이지(takeoff: 3TO, 2TO, 1TO, TO), 그리고 신체 중심 최고점(peak point :PP)으로 구분하여 9개의 Event와 5 Phase로 설정하였다.

III. 결 과

1. 운동학·운동역학적 변인

최고기록과 최저기록에서는 마지막 세 스트라이드의 보폭 변화 패턴은 평균적으로 보통 - 길게 - 짧게 형태로 동일하게 나타났으며, 수평속도는 발구름에 가까워질수록 점차 감소하였다. 그러나 기록이 증가할수록 2보와 1보에서 수평속도가

증가하였다. 수직속도는 경기력과 관계없이 2보 이지시 증가되었다가 이후 감소되었고, 경기력이 좋을수록 도움닫기에서 수직속도의 감소의 폭은 더 크게 나타났다. 신체중심의 높이는 경기력 간에 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 2).

발구름 접지에서 이지까지 수평속도는 경기력이 높아질수록 감소의 폭이 0.10 m/s 컸고, 수직속도의 증가 폭도 0.28 m/s 컸다. 신체중심 높이와 toe와 바 사이의 거리는 바의 높이가 높아질수록 증가하는 것으로 나타났다. 무릎각, 고관절각, 후경각, 발의 입사각, 도움닫기 각과 도약각은 평균적으로 경기력 간에 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다(Table 2).

발구름 발의 수평 충격량은 최저기록에서 높은 값을 보였으며, 선수들의 체중으로 표준화 한 결과 최고기록과 최저기록에서 수평 충격량은 각각 평균 체중의 1.47배, 1.54배로 최저기록에서 높게 나타났으며, 수직 충격량은 최고기록과 최저기록 모두에서 체중의 2.38배로 나타났다(Table 3).

발구름 접지시 jerk는 경기력이 좋을수록 더 큰 jerk 값인 97.8 m/s³로 나타났으며, NJH 선수의 경우 최저기록일 때 더 높은 jerk 값을 보였다. 1보 이지에서 발구름 접지국면의 jerk 값은 최저기록일 때 평균 662.7 m/s³로 더 높게 나타났으나 선수들 간에는 다르게 나타났다(Table 3).

Table 2. Means, standard deviation for the different performance of the kinematic variables at the takeoff phase

		Best performance		Worst performance		
		Mean	SD	Mean	SD	
A P P r o a c h	Length (m)	3ST	1.58	0.15	1.57	0.25
		2ST	1.67	0.19	1.70	0.19
		LST	1.50	0.14	1.48	0.17
	Velocity (m/s)	3ST Horizontal TO	6.54	0.42	6.57	0.39
		3ST Vertical TO	0.46	0.18	0.48	0.14
		2ST Horizontal TO	6.58	0.41	6.41	0.19
		2ST Vertical TO	0.56	0.19	0.64	0.23
		1ST Horizontal TO	6.33	0.38	6.22	0.35
		1ST Vertical TO	0.08	0.22	0.14	0.19
T a k e o f f	3ST TO	Horizontal TD	5.96	0.30	5.90	0.32
		Vertical TD	0.14	0.31	0.30	0.22
		Horizontal TO	3.89	0.22	3.93	0.30
	2ST TO	Vertical TO	3.47	0.16	3.35	0.16
		TD	0.91	0.04	0.91	0.05
		TO	1.22	0.04	1.18	0.04
	1ST TO	PP	1.76	0.04	1.71	0.04
		Length(m)	0.71	0.14	0.67	0.14
		Angle (deg)	Knee TD	173	4.27	176
Knee TO	174		5.15	175	3.76	
Hip TD	169		5.20	168	4.19	
Hip TO	170		6.64	168	6.07	
Backward lean	19		2.67	17	3.35	
Foot plant	11		13.91	10	12.02	
Approach	34		2.61	33	2.57	
Takeoff	42	1.11	41	2.44		

ST(stride), TD(touch down), TO(takeoff)

2. 최고기록과 최저기록 차이 검증 및 상관관계 분석

최고기록과 최저기록 두 그룹간의 평균 비교는 비행 최고 지점에서의 신체중심의 높이와 발구름 접지 순간의 jerk에서 만 통계적으로 유의한 차이를 보이고 나머지 변인들은 유의한 차이를 보이고 있지 않다(Table 4).

최고기록에서는 1보에서의 수직속도($r = .78$)와 최고높이에서의 신체중심($r = .78$)이 기록과의 정적상관을 보였다. 그리고 최저기록에서는 3보의 수직 속도($r = .88$)가 기록과 정적상관을 보였으며, 발구름에서의 후경각($r = .77$)은 기록과의 정적상관을 보였다(Table 5).

바(bar) 위에서 신체중심의 최고 정점의 높이와 각 변인간의 상관관계를 살펴보면, 최고기록과 최저기록의 도움닫기 구간 3보의 수평속도가 각각 ($r = .89$), ($r = .93$), 2보의 수평속도가 각각 ($r = .77$), ($r = .78$), 1보의 수평속도가 각각($r = .86$), ($r = 0.84$)에서 모두 정적상관을 보였다. 그러나 최고기록에서는 발구름 접지의 수평속도($r = .80$), 표준화된 수평 충격량($r = .87$), 1보 이지시 jerk($r = .77$), 1보 이지에서 발구름 국면의 jerk($r = .80$)가 바(bar) 위에서 신체중심의 최고 정점의 높이와 정적상관을 보였다. 반면에 최저기록에서는 도움닫기 각($r = .85$)과 바(bar) 위에서 신체중심의 최고 정점의 높이가 정적상관을 보였다(Table 5).

발구름 접지시 jerk와 상관을 보인 변인들은 발구름 접지시 고관절각($r = .80$)과 수평 충격량($r = -.87$)이 최고기록에서 정적상관을 보였고, 무릎각($r = -.90$)은 높은 부적상관을 보였다. 그리고 최저기록에서는 3보 스트라이드 거리($r = -.94$)가 발구름 접지시 jerk와 높은 부적상관을 보였다(Table 5).

IV. 논 의

도움닫기 마지막 스트라이드의 보폭은 짧게하여 발구름 발의 속도를 빠르게 하는 것이 이륙순간에 수직속도 증가와 신체중심을 높게 비행시키는 데 긍정적인 영향을 미치며, Ryu 등(2004)의 연구에서는 마지막 스트라이드의 길이가 긴 경우

에는 발구름 접지시 큰 수직속도를 얻는 유형이라고 하였다. 본 연구에서도 국내 여자선수들이 도움닫기 마지막 세 스트라이드 변화가 평균적으로 보통 - 길게 - 짧게 형태로 나타나 선행연구에서 제시한 스트라이드 변화와 일치하였다.

Antekolovic et al. (2006)는 Blanka Vlasic 선수의 경우 바의 높이가 1.80 m에서 2.00 m로 높아질 때 도움닫기 마지막 두 스트라이드구간에서의 수평속도가 각각 6.44 m/s, 6.23 m/s, 5.73 m/s에서 7.54 m/s, 7.57 m/s, 6.50 m/s로 14.5%, 17.7%, 11.8% 증가하고 발구름 이륙순간에는 5.02 m/s에서 4.33 m/s로 13.7% 감소한다고 보고하였으며, 본 연구 또한 전반적으로 최고기록에서 더 높은 수평속도를 보이면서 발구름에 가까워질수록 점차 감소하고 있었다. 특히, 페널티메이트 스트라이드에서 2보, 1보, 발구름 접지와 이륙순간에서는 각각 평균 6.58 m/s,

Table 3. Impulse momentum and jerk for the different performance at the takeoff phase

(unit: N, m/s³)

Subject	Impulse momentum		Jerk					
	Horizontal (BW)	Vertical (BW)	Event		Phase			
			ITD	ITO	TD	ITD - ITO	ITO - TD	
Best performance	NJH	-782.1 (1.56)	1223.4 (2.45)	104.8	176.7	95.8	582.2	970.9
	HDR	-803.5 (1.46)	1452.5 (2.65)	95.8	66.2	79.9	138.0	223.6
	SMJ	-789.5 (1.75)	1127.0 (2.50)	89.0	116.9	101.7	283.4	22.5
	CHJ	-1004.9 (1.53)	1364.3 (2.08)	146.8	110.9	134.8	40.4	357.6
	KYJ	-765.8 (1.50)	1379.4 (2.71)	154.5	118.2	103.5	50.2	7.0
	PJH	-591.9 (1.18)	1023.7 (2.05)	133.9	178.0	70.1	349.6	991.8
	KJH	-724.4 (1.32)	1232.8 (2.25)	147.1	218.9	98.6	525.0	1157.9
Mean	-780.3 (1.47)	1257.6 (2.38)	124.6	140.8	97.8	281.3	533.0	
Worst performance	NJH	-908.8 (1.82)	1204.7 (2.41)	146.7	242.7	108.6	660.4	1348.0
	HDR	-818.4 (1.49)	1416.6 (2.58)	133.1	86.3	61.5	152.0	113.1
	SMJ	-716.0 (1.59)	1076.5 (2.39)	85.2	113.1	57.4	287.4	347.1
	CHJ	-1105.5 (1.68)	1520.5 (2.32)	106.1	122.6	72.8	233.2	214.7
	KYJ	-806.2 (1.58)	1302.7 (2.56)	110.6	73.8	91.8	140.9	214.4
	PJH	-638.3 (1.28)	1146.2 (2.29)	124.1	178.1	56.4	411.3	1223.5
	KJH	-733.9 (1.34)	1147.1 (2.09)	118.0	182.2	77.1	504.3	1177.9
Mean	-818.2 (1.54)	1259.2 (2.38)	117.7	142.7	75.1	341.4	662.7	

ITD(last stride touch down), ITO(last stride takeoff), TD(touch down), TO(takeoff)

6.33 m/s, 5.96 m/s, 3.89 m/s로 나타났다. 그러나 Bae 등 (2011)은 여자선수들의 발구름 1보전의 수평속도가 5.97~7.32 m/s, Antekolovic 등(2006)은 엘리트 선수들의 경우 1보와 발구름 접지와 이륙순간에 각각 평균 6.30~7.50 m/s, 6.30~7.30 m/s, 2.60~4.10 m/s라고 보고하였다. 본 연구에서 국내 여자선수들은 패널티메이트 스트라이드에서의 1보와 발구름 접지와 이륙순간 수평속도가 Antekolovic 등(2006)의 연구 대상자인 Blanka Vlasic 와 엘리트 선수들의 결과의 범위 내에 있었다. 그러나 국내 여자선수들의 도움닫기 마지막 세 스트라이드에 대한 경기력 변화에 따른 수평속도 변화율은 각각

-0.5%, 2.6%, 1.7%, 1.0%로 나타나 3보에서는 오히려 최고기록에서 감속하였고 이후 수평속도는 증가되었으나 증가 폭이 세계선수들에 비하여 매우 작았으며 발구름에서의 수평속도 제어가 1.0% 밖에 되지 않았다. 이는 도움닫기 수평속도가 바의 높이 변화와 관계없이 거의 일정하게 달린다는 것을 의미하며 발구름에서의 제어 능력이 떨어진다고 할 수 있다. 따라서 세계적 수준에 도달하기 위해서는 도움닫기 수평속도를 증가시키는 것과 동시에 발구름에서 수평속도 제어가 필요하다고 판단된다. 도움닫기 마지막 세 스트라이드에서 이지기 수직속도는 경기력 간에는 차이가 없었으나 최고기록에서는 1보

Table 4. Result of t-test for the kinematic and kinetic variables between the best and the worst performance

	N	Best performance		Worst performance		T-test			
		Mean	SD	Mean	SD	t-value	p		
Length (m)	7	CM H 3TO	0.95	0.05	0.94	0.06	0.61	0.55	
		CM H 2TO	0.95	0.05	0.94	0.06	0.62	0.55	
		CM H 1TO	0.92	0.05	0.91	0.06	0.29	0.78	
		CM H TD	0.91	0.04	0.91	0.05	0.25	0.81	
		CM H TO	1.22	0.04	1.18	0.04	1.50	0.16	
		CM H PP	1.76	0.04	1.71	0.04	2.80	0.02*	
		3rd Stride Length	1.58	0.15	1.57	0.25	0.08	0.94	
		2nd Stride Length	1.67	0.19	1.70	0.19	-0.35	0.74	
		Last Stride Length	1.50	0.14	1.48	0.17	0.24	0.81	
		Toe-Bar Length	0.71	0.14	0.67	0.14	0.44	0.66	
Velocity (m/s)	7	COG_V r 3TO	6.54	0.42	6.57	0.39	-0.13	0.90	
		COG_V z 3TO	0.46	0.18	0.48	0.14	-0.17	0.87	
		COG_V r 2TO	6.58	0.41	6.41	0.19	0.99	0.35	
		COG_V z 2TO	0.56	0.19	0.64	0.23	-0.74	0.48	
		COG_V r 1TO	6.33	0.38	6.22	0.35	0.57	0.58	
		COG_V z 1TO	0.08	0.22	0.14	0.19	-0.54	0.60	
		COG_V r TD	5.96	0.30	5.90	0.32	0.32	0.76	
		COG_V z TD	0.14	0.31	0.30	0.22	-1.16	0.27	
		COG_V r TO	3.89	0.22	3.93	0.30	-0.26	0.80	
COG_V z TO	3.47	0.16	3.35	0.16	1.42	0.18			
Angle (°)	7	Left knee angle TD	173	4	176	7	-0.76	0.46	
		Left knee angle TO	174	5	175	4	-0.42	0.69	
		Left hip angle TD	169	5	168	4	0.28	0.78	
		Left hip angle TO	170	7	168	6	0.46	0.65	
		Backward lean angle	-19	3	-17	3	1.15	0.28	
		Foot plant angle	11	14	10	12	0.19	0.86	
		Approach angle	34	3	33	3	0.52	0.62	
		Takeoff angle	42	1	41	2	1.13	0.29	
Horizontal impulse momentum (N)		-780.3	122.4	-818.2	153.2	0.51	0.62		
Vertical impulse momentum (N)		1257.6	151.5	1259.2	161.6	-0.02	0.99		
Jerk (m/s ³)	7	event	1TD	124.6	27.3	117.7	19.8	0.54	0.60
		1TO	140.8	52.1	142.7	60.6	-0.06	0.95	
		TD	97.8	20.5	75.1	19.4	2.13	0.05*	
		phase	1TD-1TO	215.9	292.7	257.7	309.5	-0.26	0.80
		1TO-TD	-367.0	645.9	-601.4	631.8	0.69	0.51	

CM(Cental of Mass), COG_V(cental of gravity velocity), r(resultant), z(vertical), 1TD(last stride touch down), 1TO(last stride takeoff), TD(touch down), TO(takeoff)

수직속도가 통계적으로 상관이 있었고, 최저기록에서는 3보 수직속도가 통계적으로 상관이 있었다. 이와 같은 결과가 의미하는 것은 경기력이 높아질수록 1보에서의 수직속도가 작아야함을 의미하고 동시에 페널티메이트 스트라이드 보폭 변화 인해 신체중심의 높이 변화와도 관련이 있음을 의미한다. Antekolovic 등(2006)은 Blanka Vlastic 선수의 경우 바의 높이가 1.80 m에서 2.00 m로 높아질 때 도움닫기 구간에서의 신체중심의 높이 변화는 발구름에 가까워질수록 낮아지며 발구름 접지와 이륙순간에 신체중심의 높이가 접지시 0.95~1.01 m에서 이륙시 1.31~1.39 m로 이륙순간에 신체중심의 높이가 높을수록 경기력이 우수하다고 보고하였고, Kim 등(2012)도 발구름 접지시 0.83~0.93 m에서 이륙시 1.12~1.24 m로 이륙순간에 신체중심의 높이가 높을수록 경기력이 우수하다고 하였다. 본 연구에서 도움닫기 구간의 신체중심 높이 변화는 경기력 간에 크게 차이가 없었으나 발구름 이륙순간에 신체중심의 높이가 높을수록 경기력이 좋게 나타났으며, Antekolovic 등(2006)과 Kim 등(2012)의 연구 결과와 일치하며 경기력을 높이기 위해서는 발구름 이륙순간에 신체중심의 높이를 높게 하는 것

이 중요하다는 것을 알 수 있다. 비행 최고 정점에서의 신체중심 높이는 경기력 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 경기력 간에 공통적으로 도움닫기에서의 수평속도와 상관을 보였다(Figure 4). 경기력이 증가할수록 수평속도와 더불어 체중으로 표준화한 수평 충격량, jerk와 상관을 보였으며, 이는 발구름 이후 도약높이에 도움닫기에서의 수평속도의 증가와 발구름에서의 수평속도의 제어 능력이 영향을 미친다는 것을 확인 할 수 있었다. Antekolovic 등(2006)은 마지막 스트라이드의 수평속도와 이륙순간의 수평속도가 높은 선수일수록 바(bar)로부터 발구름의 위치 멀어져야하고 바의 높이가 올라갈수록 도움닫기 속도를 증가시키면서 동일하게 발구름 발의 위치가 멀어져야 한다고 하였다 그리고 세계 여자 엘리트 선수들의 평균 toe와 바 사이의 거리는 0.53m~1.08 m라고 하였으며, Blanka Vlastic 선수는 평균 0.86 m라고 보고하였다. 본 연구에서는 발구름시 Toe와 바 사이의 거리는 경기력 간에 차이가 평균 4 cm 였고 최고기록에서 평균 0.17 m로 세계 여자 엘리트 선수들의 평균 toe와 바 사이의 거리 범위 내에 있었다.

Table 5. The relationship between the different performance and the variables, correlation coefficients(r) for the showed the results of t-test

		Best performance			Worst performance			
		Record	CMH PP	Jerk TD	Record	CMH PP	Jerk TD	
Record		1	.784*	-.001	1	-.314	-.568	
Stride length	3ST	.577	.532	-.268	.639	.002	-.944**	
Cental of gravity velocity	3ST	Horizontal TO	.555	.888**	.416	-.179	.933**	.009
		Vertical TO	-.067	-.086	-.606	.879**	-.689	-.575
	2ST	Horizontal TO	.609	.767*	.332	-.623	.783*	.651
		Vertical TO	.378	.531	-.150	.158	.588	-.490
	LST	Horizontal TO	.475	.864*	.634	-.544	.837*	.134
		Vertical TO	.775*	.684	-.210	.116	.538	-.284
Takeoff	Horizontal TD	.487	.799*	.675	-.597	.631	.619	
Cental of mass height	PP	.784*	1	.366	-.314	1	.209	
Knee	TD	pearson <i>r</i> -.238	-.383	-.901**	.351	.255	.024	
	TO	-.101	.107	-.146	.026	-.075	.052	
	TD	-.247	.017	.800*	-.210	-.484	.369	
Angle	Hip	TD	.502	.096	-.618	-.032	.357	-.031
		TO	.114	.296	.427	-.771*	.688	.659
Backward lean	TD	.114	.296	.427	-.771*	.688	.659	
Approach	TO	-.145	.235	.268	-.379	.849*	-.063	
Horizontal impulse momentum	TD	.396	.583	.867*	-.400	.006	.402	
Horizontal impulse momentum(BW)	TD	.527	.866*	.512	-.563	.599	.639	
jerk	event ITO	-.644	-.768*	-.161	-.118	-.308	.419	
	phase ITO-TD	-.384	-.796*	-.315	.007	-.416	.311	

p*<.05, *p*<.01, ST(stride)

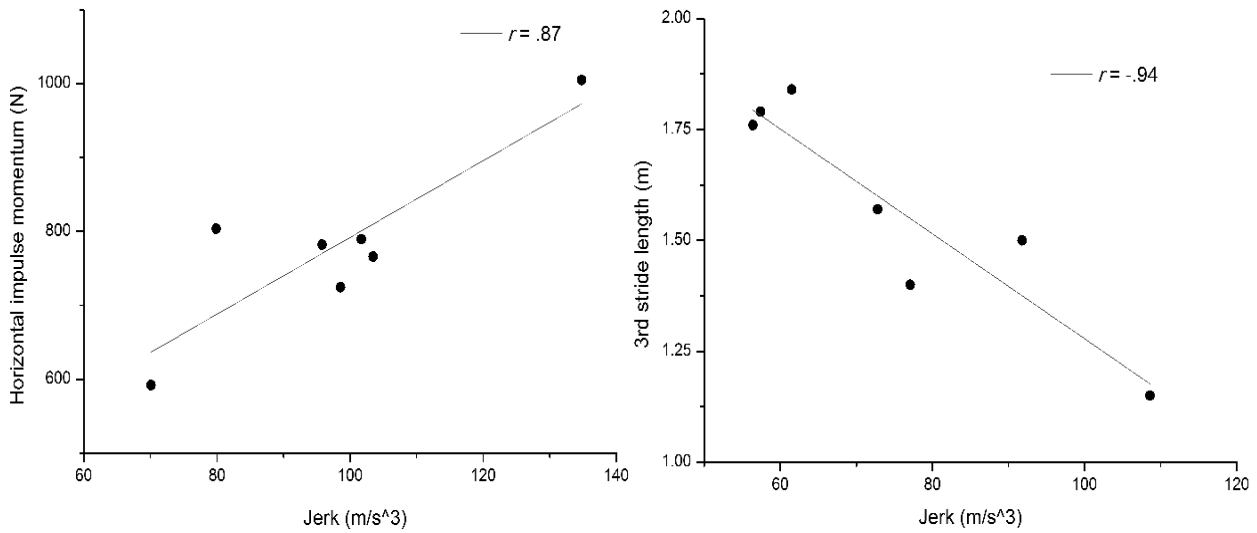


Figure 3. Relationship between jerk and Horizontal impulse momentum in the best performance(right), Relationship between jerk and 3rd stride length in the worst performance(left)

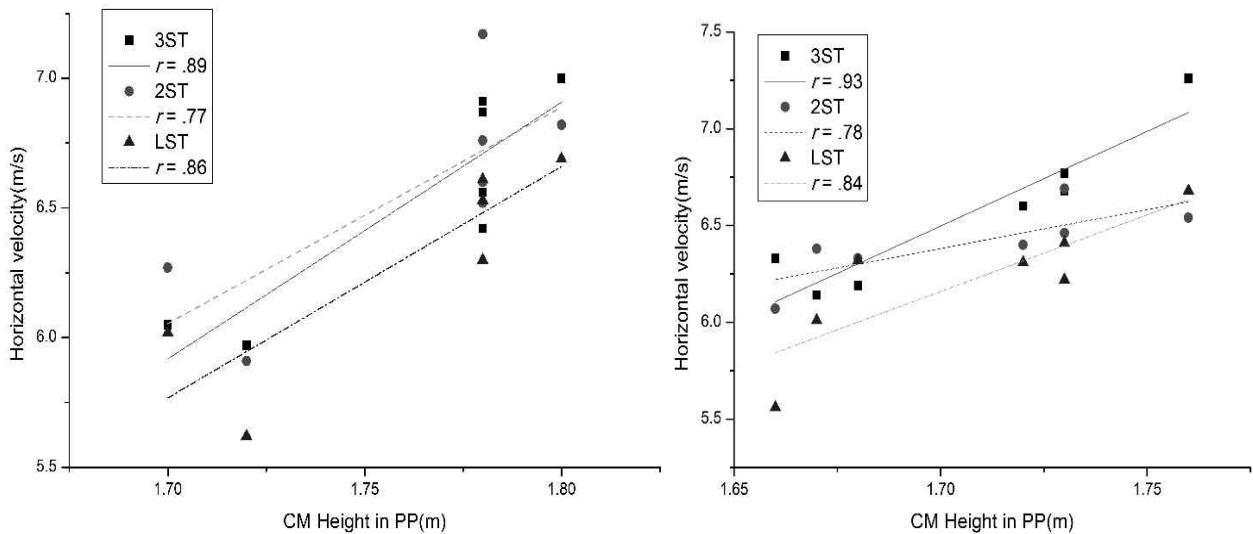


Figure 4. Relationship between cental of mass height in peak point and horizontal velocity in approach phase. the best performance (right), the worst performance(left)

그러나 바의 높이가 높아짐에 따라 충분히 도약할 수 있는 비행공간을 확보하기 위하여 toe와 바 사이의 거리가 멀어졌으나 이륙순간의 수평속도가 세계 엘리트 선수들 보다 작기 때문에 바를 빠르게 넘기 위해서는 이륙순간의 수평속도를 증가시킬 필요가 있다.

발구름다리의 무릎각은 접지와 이륙순간에 각각 157~175°, 163~172°의 범위에 고관절각은 접지와 이륙순간에 각각 140~163°, 159~174°의 범위에 있다고 하였다(Dapena et al., 1986; Alexander, 1990; Ryu et al., 2004). 본 연구의 대상

선수들은 선행연구의 범위에 속하나 발구름 동작에서 선행연구 보다는 신전된 상태로 발구름을 수행하였다(Table 2). Reid (1986)가 보고한 발구름에 있어서 고관절각을 최대한 신전된 상태로 유지하면 이륙순간에 신체중심을 높이고, 수직 상승력을 크게 할 수 있다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 고관절을 크게 신전시켜 발구름을 하였으나 수직속도를 크게 증가시키지 못한 것을 보면 발구름 동작에서의 발구름 발의 위치 및 입사각과 상체의 후경각에 의해 일어난 결과라고 판단된다. Bae 등(2012)은 세계 여자엘리트선수들의 후경각이 평균 25.2

~33.2°라고 보고하였는데, 국내 여자선수들은 최고기록에서 평균 19°, 최저기록에서 평균 17°로 선행연구의 범위보다 현저하게 작은 각도를 나타냈다. 일반적으로 후경각이 작은 경우에는 도약 후 신체가 바 쪽으로 빨리 기울게 되어 신체가 충분히 도약할 수 없기 때문에 발구름 순간에 큰 후경자세를 취하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구의 대상 선수들은 발구름시 후경각을 크게 할 필요가 있다고 판단된다.

Tidow(1993)는 발의 입사각은 평균 30°라고 하였으며, 김혜영 등(2012)의 연구에서는 세계 여자엘리트선수의 경우 평균 17°라고 보고하였는데, Kim 등(2012)의 연구에서 발의 입사각이 작게 나타난 것은 대부분의 선수들은 발의 입사각이 20°보다 큰 각도를 보였지만 두 선수가 거의 바와 평행하게 약 6°로 나타난 것에서 기인한 것이다. 본 연구의 선수들 또한 최고기록에서 11°, 최저기록에서 10°로 나타나 거의 바(bar)와 발이 평행하게 발구름을 수행하였는데, 국내 선수들은 발구름시 발을 들어서 바(bar)에 평행하게 놓기 때문이다. 따라서 부상 위험과 더불어 발구름 동작을 효율적으로 수행할 수 없으므로 국내 여자선수들은 도움닫기 진행 방향에서 발구름을 수행해야 할 것이다.

Antekolovic 등(2006)은 도움닫기 각을 25~40°라고 보고하였으며, Kim 등(2012)의 연구에서는 34~42°라고 보고하였다. 본 연구에서 국내 여자선수의 경우 최고기록에서는 34°, 최저기록에서는 33°로 나타나 선행연구 결과의 범위 내에 있었다. Kim 등(2012)은 발구름 이륙순간의 도약각이 42~48°라고 보고하였으며, Antekolovic 등(2006)은 엘리트 선수의 경우 42~52°라고 보고하였다. 본 연구에서는 최고기록과 최저기록에서 각각 42°와 41°로 엘리트 선수들의 도약각 범위 내에 있었다. 도움닫기 각과 도약각은 발구름 이륙 후의 신체의 비행궤적과 바 위에서 공중동작인 아치자세를 만드는데 영향을 미치는 변인이다.

본 연구에서 충격량과 표준화한 결과는 여자선수를 대상으로 한 선행연구의 결과가 없어 비교하기 어려우나 Lee(2011)의 세계 엘리트 남자선수를 대상으로 한 발구름시의 수평:수직 충격량이 -1306.4 N(1.88), 2044.8 N(2.94)이라고 보고 한 결과에 비교하면 여자선수가 낮음을 알 수 있다. Lee(2011)은 발구름을 하는데 있어서 수평 충격력은 도움닫기에서 획득한 수평속도를 수직으로 전환시키는 역할을 하고, 수직 충격력은 도약 높이를 결정하기 때문에 충격량은 경기력에 영향을 미치는 중요한 변인이라고 보고하였다. 그러나 본 연구의 대상선수들은 바의 높이가 올라갈수록 수평 충격량이 감소하였는데, 이는 바의 높이가 높아짐에 따라 수평속도도 증가되었으나 발구름에서 수평속도의 제어가 이루어지지 않았기 때문이며, 또한 수직 충격량이 경기력 간에 큰 차이를 보이지 않은 것은

발구름을 하는 동안에 발구름 하는 발과 다리의 신전이 수직 하방으로 지면을 향해 제어되지 않고 신체가 바 쪽으로 빠르게 기울어져서 일어난 현상이라고 판단된다.

Jerk 값 또한 여자선수를 대상으로 한 선행연구의 결과가 없어 비교할 수 없었으며, Lee (2011)은 세계 엘리트 남자선수의 경우 발구름 접지 순간의 jerk는 190.97 m/s³, 1보 이지에서 발구름 접지 구간에서의 jerk는 1225.07 m/s³라고 하였다. 본 연구에서 발구름 접지 순간의 jerk는 경기력 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였고, 경기력이 높을수록 더 크게 나타났다. 반면에 1보 이지에서 발구름 접지 구간에서의 jerk 값은 경기력이 낮은 경우에 높게 나타났다. jerk 값과 수평 충격량이 통계적으로 유의한 높은 상관성이 있다는 것이 발구름을 하는 동안에 경기력에 따라 수평속도의 증가로 인하여 발구름 순간의 jerk 값이 크게 나타난 것으로 판단된다. 그러나 1보에서 발구름 접지까지의 국면에서의 jerk 값은 경기력이 낮을수록 크게 나타났는데 이는 통계적으로 경기력 간에는 유의한 차이가 없었지만 도움닫기 수평속도의 차이와 달리기 동작에서의 자세 제어 능력에 따른 발구름 발을 빠르게 지면에 충돌하는 발구름 동작의 수행에서 나타난 것으로 판단된다.

V. 결 론

도움닫기 구간에서의 스트라이드 변화는 보통 - 길게 - 짧게로 수행되었고 경기력과 무관하게 나타났지만, 스트라이드 변화와 함께 일어나는 수평과 수직속도의 변화율은 발구름 이륙 이후 바 위에서 신체중심의 최고정점과 상관성이 있기 때문에 도움닫기 마지막 세 스트라이드에서 도움닫기 속도 증가는 경기력을 높이는 데 중요하다.

발구름 동작에서 무릎각, 고관절각, 후경각, 발의 입사각, 도움닫기 각과 도약각은 평균적으로 경기력 간에 큰 차이를 보이지 않았지만, 경기력을 향상시키기 위해서는 발구름 발이 지면에 접지하여 이륙할 때까지 후경각과 발구름 발의 입사각을 크게 하여 수평속도 감속의 폭과 수직속도의 증가 폭을 크게 하여야 한다. 더불어 바의 높이가 높아질수록 발구름 이륙순간에 신체중심 높이를 높이고, Toe와 바 사이의 거리 또한 넓혀야 한다.

발구름 접지 순간의 jerk는 경기력 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였는데 이는 경기력과 관련하여 발구름 하는 발의 jerk는 발구름 접지시 수평속도와 수평 충격량을 증가시켜야 하며, 수평 충격량을 증가시키기 위해서는 발구름하는 다리의 고관절각과 무릎각의 변화가 중요하다. 따라서 발구름 발을 빠르게 지면에 충돌시킬 수 있는 발구름 기술 동작의 개발이 필요하다.

참고문헌

- Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation : From comparator coordinates into object coordinates in close range photogrammetry. *Proceeding of ASPUI Symposium on Cross Range Photogrammetry, Urbana, Illinois(pp.1-19). Falls Church, VA : American Society of Phtogrammetry.*
- Ae, M. (1990). The use and the contribution of body segments for take-off of high jump and long jump. *Japanese Journal of Sports Science*, 9(3), 130-13.
- Alexander, R. McN. (1990). Optimum take-off techniques for high jumps and long jumps. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B*, 329, 3-10.
- Antekolovic, L., Blazevic, I., Mejovsek, M., & Coh, M. (2006). Longitudinal follow-up of kinematic parameters in the high jump - A case study. *New Studies in Athletics*, 21(1), 27-37.
- Bothmischel, V. E. (1990). Model characteristics of the high jump run-up. *Modern Athlete and Coach*, 28(4), 3-6.
- Dapena, J. (1980). Mechanics of translations in Fosbury flop, Part I. *Track Technique, Summer*, 104, 3307-3317.
- Dapena, J., Feltner, M., & Bahamonde, R.(1986). Biomechanical analysis of high jump #5 (Men). *Report for Scientific Services Project (USOC/TAC). U.S. Olympic Training Center, Colorado Springs.*
- Dapena, J., & Chung, C. S. (1988). Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jumping. *Medicine and Science and Sports Exercise*, 20, 290-302, London: University of London Press.
- Dapena, J., McDonald, C., & Cappaert, J. (1990). A regression analysis of high jumping technique. *Int. Journal of Applied Biomechanics*, 6, 246-261.
- Greig, M. P., Yeadon, M. R. (2000). The influence of touchdown parameters on the performance of high jumper. *Journal of Applied Biomechanics*, 16(4), 367-378.
- Hay, J. G. (1985). *The Biomechanics of Sports Techniques*(3rd ed.): Englewood cliffs, N.J.: prentice Hall,Inc.
- Myers, B.(1990). Improving the penultimate step in the jumping events. *New Studies in Athletics*, 112(3), 73-77.
- Plagenhoef, S., Evans, F.G., & Abdelnour, T. (1983). Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for Exercise and Sports*, 54(2), 169-178.
- Reid, P. (1986). The high jump. *New Studies in Athletics*, 1(1), 47-53.
- Tidow, G. (1993). Model technique analysis sheets Part VIII: the flop high jump. *New Studies in Athletics*, 8(1), 31-44.
- Xinwang, F. (1986). An analysis of zhu Jianhus's run-up technique. *Track & Field Quarterly Review*, 20(2), 73-74.
- Bae, Y. S., Kim, E. H., Kim, K. M., Lee, J. M., Kim, S. S., Kwon, M. S., & Wi, W. R. (2011). Biomechanical analysis of take-Off techniques of women's high jump winners at IAAF world championships, Daegu 2011. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(5), 585-593.
- Do, H. Y., Lee, J. T., & Back, J. H. (2002). A kinematic analysis of the last 3 strides of the run-up and take-off motion in men's high jump. *The Korean Journal of Physical Education*, 41(5), 837-850.
- Kim, E. H., Bae, Y. S., Kim, S. S., Kwon, M. S., Wi, W. R., Kim, K. M., & Lee, J. M. (2011). Biomechanical analysis of men's high jump medalists in IAAF world championships, Daegu 2011. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(5), 573-584.
- Kim, H. Y., Ryu, J. K., & Lee, J. T. (2012). The technical analysis of women high jumper's penultimate stride and takeoff motion. *The Korean Journal of Physical Education*, 51(2), 411-422.
- Lee, J. T.(2003). Comparative analysis on the approach run route of superior and general high jumpers. *The Korean Journal of Physical Education*, 42(6), 985-993.
- Lee, J. T. (2011). Analysis of impulse force and kinematic factors of the limbs during stefan holm's take-off phase and penultimate stride of high jump. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(1), 97-105.
- Lee, J. T., Baek, J. H., & Kim, T. S. (2006). The kinematic analysis of the take off phase about the male high jumpers in the 16th asian athletics championships. *Korean Journal of Sport Science*, 17(2), 134-143.
- Park, K. S. (1999). The kinematic analysis of five step approach running in the curved run-up of fosbury high jump. *The Korean Journal of Physical Education*, 38(3), 688-708.
- Ryu, J. K., Lee, J. T., & Kim, T. S. (2004). The kinematic analysis of the last approach stride and takeoff motion in male high jumper. *The Korean Journal of Physical Education*, 43(6), 563-573.