세계 정상급 여자 허들 선수들이 사용하는 허들 넘는 기술의 운동학적 분석

류재균¹ · 장재관²

¹경희대학교 체육대학 스포츠지도학과 · ²경희대학교 체육대학 골프경영학과

Kinematic Analysis of the Hurdle Clearance Technique used by World Top Class Women's Hurdler

Jae-Kyun Ryu¹ · Jae-Kwan Chang²

¹Department of Coaching, College of Physical Education, Kyunghee University, Yongin, Korea

²Department of Golf Management, College of Physical Education, Kyunghee University, Yongin, Korea

Received 29 April 2011; Received in revised form 11 May 2011; Accepted 23 June 2011

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the kinematic characteristics of 5th hurdle clearance during the 100m hurdle final competition at the 2010 Colorful DaeGu pre-championship meeting. This study was also intended to provide the technical data for better performance for preparing the 2011 world championship. Lee and Jung need to change technical movement by reducing the distance of the take-off point from the hurdle and by decreasing the vertical velocity of the C.G.(center of gravity) at the takeoff. Powell's angle of the take-off leg showed bigger at the touchdown and smaller at the takeoff comparing to Lee's and Jung's. Furthermore, Powell's horizontal velocity of the C.G. was maintained at the takeoff and touchdown. So, Lee and Jung need to change angle of the take-off leg the same as Powell's. Both Lee and Jung need to increase the angle of landing leg at the touchdown. In addition to increasing the angle Jung needs to improve the knee and ankle velocity with the hurdling leg.

Keywords : Hurdle Clearance, Kinematic, Touchdown, Takeoff

I. 서 론

최근 국내 100m 허들경기의 경기력은 2006년 아시아경기대회에서 한국기록 13초 23의 기록으로 상위에 입상하는 실적을 올린바 있으며, 제64회 전국육상경기선수권대회에서 새로운 한국 신기록 13초 00을 기록하며 2010년 아시아시리즈 최고기록을 달성하면서 아시안게임에서 우승을 하였다. 그러나 2011년 세계육상선수권대회를 대비하여 육성 종목으로써 경기력 향상을 위한 기술적 변인 연구가 아직 미비한 실정이며, 국제대회에서 내세울 수 있는 경기력을 발휘하지 못하고 있다.

여자 100 m 허들경기는 남자 110 m 허들 경기처럼 달리기 경기 종목에서 고도의 기술이 요구되는 종목으로 이 기술수준에 따라 승패가 좌우된다. 허들 경기는 가능한 최고의 스피드로 주기적인 동작인 달리기와 비주기적인 동작인 허들 넘기가 지속적으로 교차하는 특성을 가진 기록경기로 허들간 달리의 전력 질주와 허들을 넘는 정확한 기술적 동작사이의 최적의 발란스가 요구된다(Dapena, 1991; Hucklekemes, 1990; Taylor, 1992).

허들경기의 기술적인 요인들은 출발, 첫 허들까지의 가속도, 허들 넘기(hurdle clearance), 준비국면, 도약국면, 비행국면, 착지국면, 허들간 달리기, 결승점까지 달리가 있으며 경기력 변인으로는 크라우칭 스타트의 빠른 출발수행, 짧은 가속 구간을 통해 첫 허들까지 높은 속도에 도달, 4th/5th 허들까지 전체 가속 구간 중 가능한 가장 높은 스피드에 도달, 가능한 적은 속도 손실로 가장 낮은 허들을 넘는 고도의 능력, 허들사이의 달리기 동작으로의 전환 그리고 마지막 허들까지 높은 속도 유지이

본 논문은 2010년도 경희대학교 창조 21사업 지원에 의한 결과임(KHU-20101372).
Corresponding Author : Jae-Kyun Ryu
Department of Coaching, College of Physical Education, Kyunghee University,
1 Seochun-dong, Kihung-gu, Yongin, Kyungki-do, Korea
Tel : +82-31-201-3765 / Fax : +82-31-201-8117
E-mail : ryu69kor@khu.ac.kr

다(Coh, 2003; Coh & Dolenec, 1996; Hucklekemkes, 1990; Ryu, 2007; Ryu, Yeo & Chang, 2007; Lee & Ryu, 2007).

허들경기의 경기력 향상을 위한 선행연구들은 주로 기술적인 변인들의 분석 연구에 초점이 맞추어져 있으나 몇몇 연구자들(Coh, Kastelic & Pintaric, 1998; Hucklekemkes, 1990, 1992; Ryu, 2007)은 두 가지 측면을 모두 다루고 있다. 즉 허들을 넘는 기술은 가능한 최고 스피드를 유지하면서 각각의 허들을 최대한 짧은 시간에 부딪치지 않고 깨끗하게 넘는 것이 중요하며, 허들을 넘는 비행시간과 수평속도의 손실을 최소화하는 것이 경기력 향상을 위한 중요한 과제라 할 수 있다(Stein, 2000). 그러나 이들 연구자들도 기술적인 분석 측면에서는 어느 한 구간의 허들을 선정하여 분석하고 있다.

Ryu et al.(2007)은 국내외 우수 여자선수 100 m 허들동작의 운동학적 비교 분석이라는 연구에서 허들 전구간의 경기력 변인을 분석하였고 기술적인 분석에서는 5th/6th 허들의 넘는 동작을 분석하였다. Lee & Ryu(2007)은 엘리트 여자 100 m 허들선수들에 대하여 스타트에서 피니쉬까지 경기력 변인을 분석하였고 최고 속도에 도달하는 시점이 4th에서 6th 허들이라고 하였다.

Coh & Dolenec(1996)는 국제육상대회인 유럽피언컵 100 m 허들경기 결승에서 올림픽 우승자인 Brigita Bukovec선수를 대상으로 최고 속도에 도달하는 시점인 4th와 5th허들에 대한 운동학적 변인들을 조사하여 기술적인 변인을 제시하였다. 그리고 Hucklekemkes(1991)는 24회 서울올림픽 100 m 허들경기에서 우승한 Yordanka Donkova선수와 독일 육상선수권대회 그리고 유럽 주니어 선수권대회에서 우승한 선수를 대상으로 허들 기술에 관한 기술적 모델을 제시하여 경기력 향상을 위한 운동수행의 변인과 기술적 특징을 보고하였다.

각각의 허들을 넘는 기술은 허들과 이륙 위치에 따라 운동학적 변인들이 일관성 있게 나타나지 않기 때문에 허들간 질주 능력과 허들 넘는 기술에 의해 경기력이 결정된다(Coh et al., 1998).

국내외 선행연구들의 연구의 초점은 최고 속도에 도달하는 시점인 4th와 5th허들의 넘는 동작에 대한 기술적인 측면에 주안점을 두고 있으며 더불어 경기력을 분석하기 위하여 허들 전 구간을 허들과 허들 사이로 구분하여 소요되는 시간과 허들을 넘고 난 이후의 속도를 조사하고 있다.

남자 110 m 허들 경기는 스타트 후 3th 허들에서 속도가 최고에 이르면서 수평속도가 정점에 도달하고(Susanka, Miskos, Dostal & Barac, 1998) 여자 100 m 허들 경기는 4th와 5th 허들에서 가장 빠른 수평속도를 발휘하고 속도가 최고에 도달한다고 하였다(Muller & Hommel, 1997). 이러한 이유로 선행연구들이 남자는 3th 허들, 여자는 4th와 5th 허들을 분석 대상으로 한다. 이 연구에서도 선행연구와 동일한 분석 구간을 선정하였으며 부가적인 이유로는 여자 100 m 허들에서 5th 허들을 넘는

시점은 10개의 허들 중 중간에 위치하고 최고의 수평속도에 도달하면서 유지하는 구간이며 이후 6th에서 마지막 허들까지 속도의 유지 흐름을 좌우하는 중간 매개체 역할을 함으로 5th 허들을 넘는 동작은 경기력에 영향을 미치는 매우 중요한 운동수행 구간이라 판단되었기 때문이다. 따라서 국내 여자 100 m 허들 선수들이 좋은 경기력을 발휘하기 위해서는 이 구간에서의 기술적 요인 연구와 경기력 측면의 연구가 필요하다.

이 연구는 2010대구국제육상경기대회에서 100 m 허들 결승에 진출한 12초대 국외 우수선수들과 한국기록 보유자인 Lee와 국가대표인 Jung선수를 대상으로 5th 허들을 넘는 기술의 특성을 분석하였고, 나아가 2011년 세계육상선수권대회를 대비하여 국내선수들의 경기력 향상을 위한 기술적 개선 방향과 허들훈련 프로그램에 적용할 수 있는 정량적 자료를 제시하고자 함에 그 목적이 있다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

이 연구는 국내에서 개최한 2010년 대구국제육상경기대회에서 여자 100 m 허들 결승 출전자 6명을 연구대상자로 선정하였고, 이들의 특성은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Biographical information of the subjects

Subject	Years	National	Personal Best(sec)	2010 Best (sec)	Meeting record(sec)
Virginia Powell	27	USA	12.45	12.64	12.77
Perdita Felicien	30	CAN	12.46	12.54	12.80
Tiffani Ofili	23	USA	12.73	12.85	12.94
Yeon-Kyung Lee	29	KOR	13.03	13.03	13.12
Kellie Wells	28	USA	12.58	12.90	13.14
Hea-Rim Jung	23	KOR	13.13	13.13	13.14

2. 실험 장비

이 연구는 여자 100 m 허들 결승 경기에서 5th 허들을 넘는 동작의 운동학적 변인 산출은 KWON 3D Motion Analysis Package Version 3.1(Kwon, 2005)프로그램을 사용하였다. 2010년 대구국제육상경기대회에서 여자 100 m 허들 결승 경기의 촬영은 JVC비디오카메라(GR-HD1KR) 4대를 사용하였으며, 각 카메라에 광학렌즈(GL-V0752U 0.7 × 필터지름 55 mm)를 장착하여 촬영하였다. 4대의 카메라 위치는 다음과 같다(Figure 1).

Figure 1. Measurement procedure

실 공간 좌표 설정은 경기 중에 선수와 심판 이외에는 경기장에 들어 갈 수 없기 때문에 남자선수들이 넘는 허들을 통제점으로 사용하였다. 1레인에서 8레인까지 설치된 허들의 높이는 1.067 m이고, 가로는 9.70 m이며 세로는 허들과 허들 사이의 간격이 9.14 m로 4번째 허들부터 7번째 허들까지 27.42 m로 촬영 구간을 설정하였다. 총 통제점 수는 128개로 하였고 이 때 DLT 캘리브레이션 오차는 2.8 cm이었다. 촬영속도는 60 fields/sec, 노출 시간은 1/1000 sec로 설정하였다.

4대 카메라의 동조는 4대의 카메라가 공통으로 촬영되고 있는 5th 허들을 넘기 위해 피험자가 도약(takeoff)하는 순간을 동조시점으로 하였고 Kwon 3D 3.1프로그램의 perform software genlock 기능을 이용하였다.

3. 이벤트 정의

허들링 동작에 관한 분석구간은 5th 허들을 넘기 전 1보에서 허들을 넘은 후 1보까지 선정하였으며, 세부적인 분석구간은

<Figure 2>와 같이 용어의 정의(Coh, Kastelic & Pintaric, 1998)는 다음과 같다.

접지순간(at the touchdown) : 발구름 발이 지면에 착지하는 순간
 이지순간(at the takeoff) : 발구름 발이 지면에서 이륙하는 순간
 TFT(total flight time) : 전체 비행시간
 CT(contact time) : 발구름 발이 접지 후 이륙 할까지 소요되는 시간
 FT(flight time) : 이륙순간부터 착지순간까지 신체무게중심이 비행한 시간

H1(height of C.G. at the touchdown) : 발구름 발이 접지하는 순간에 신체무게중심의 높이

H2(height of C.G. at the takeoff) : 발구름 발이 이지하는 순간에 신체무게중심의 높이

H3(height of C.G. above the hurdle) : 허들 위 최고 정점의 신체무게중심의 높이

H4(height of C.G. at the landing after the hurdle clearance) : 허들을 넘고 착지순간에 신체무게중심의 높이

KSP(horizontal distance of C.G. in the knee swing phase) : 발구름 하는 발이 접지하고 이지하는 동안에 신체무게중심이 이동한 거리

W1(horizontal distance of C.G. at the takeoff) : 이지순간 발끝과 신체무게중심과의 수평거리

W2(horizontal distance of C.G. in the flight phase) : 이지순간부터 착지순간까지 신체무게중심이 비행한 수평거리

W3(horizontal distance of C.G. and the point of landing) : 허들을 넘고 착지하는 순간 발끝과 신체무게중심과의 수평거리

Figure 2. Hurdle clearance(Ryu et al., 2007)

XO(horizontal distance of C.G. at the touchdown from the hurdle) : 허들에서부터 발구름 발이 접지하는 순간 신체 무게중심까지 수평거리

X1(horizontal distance of C.G. at the takeoff from the hurdle) :
 허들에서부터 발구름 발이 이지하는 순간 신체무게중심
 까지 수평거리

L1(horizontal distance of the takeoff point from the hurdle) : 허들에서부터 이지하는 발구름 발끝까지 수평거리

L2(horizontal distance of landing point from the hurdle) : 허들
에서부터 착지하는 다리의 발끝까지 수평거리

4. 각 정의

5th 허들을 넘는 동작에서 발구름하는 다리와 허들을 넘고 착지하는 다리가 지면과 이루는 각도는 <Figure 3>와 같다.

Figure 3. Angles of takeoff leg at the touchdown and takeoff at the takeoff phase and angle of landing leg at the touchdown at the landing phase (Ryu et al., 2007)

Θ : 접지순간에 발구름하는 다리의 고관절과 발끝을 이은 벡터와 Y축이 이루는 각

Θ2 : 이시간에 발구름하는 다리의 고관절과 발끝을 이
은 벡터와 Y축이 이루는 각

03 : 착지순간에 착지하는 다리의 고관절과 발끝을 이은 벡터와 Y축이 이루는 각

5. 자료처리방법

인체관절 중심점의 좌표화는 신체를 총 20개의 관절점을 가진 14개의 분절로 연결된 강체 시스템(linked rigid body system)으로 정의하였다. 각 분절의 신체무게중심과 전신의 신체무게중심 위치의 위치를 산출하기 위하여 Plagenhoef(1983)의 신체 분절 모수치(body segment parameters) 자료를 사용하였다. 각 관절점의 3차원 위치 좌표값은 Kwon 3D 프로그램을 이용하여 산출하였다.

각 카메라에서 촬영된 영상자료를 이용하여 통제점과 인체 관절점을 디지털타이징(digitizing)한 후 동조된 2차원 좌표값으로 부터 3차원 좌표값을 산출하기 위해 공간좌표에서 이미 산출되어 있는 통제점의 좌표를 활용하는 DLT방법(Abdel-aziz & Karara, 1971)을 이용하였다. 3차원 좌표값을 산출하는 과정에서 나타나는 오차나 노이즈를 제거하기 위해 Butterworth 4차 저역통과필터(Low-pass filter) 방법으로 스무딩(smoothing)하였다. 이때 차단주파수(cut-off frequency)는 7.4 Hz로 정하였다. 전역좌표계(global reference frame)는 X축은 좌·우방향이며, Y축은 운동방향, Z축은 지면과 직교하는 수직방향으로 세 축이 직교가 되도록 정의하였다.

III. 결과

5th 허들을 넘는 동작에서 대한 거리, 시간, 각도, 속도 변인의 변화는 <Table 2> 와 같고 허들을 넘는 신체무게중심 높이와 순간속도는 <Figure 4>와 같다.

5th 허들을 넘는 동작에 대한 운동학적 변인들을 살펴보면, 허들을 넘는 전체 스트라이드 거리(L1+L2)는 Felicien 선수가 3.49 m로 가장 길었고 Wells선수가 3.13 m로 가장 짧았다. 허들로부터 이지 지점까지의 거리는 Lee선수가 2.42 m로 전체 스트라이드 거리의 71.2%로 선수들 중 가장 멀리서 도약하였고 Wells선수는 2.00 m로 63.9%로 허들에 가장 가깝게 도약하는 것으로 나타났다. 허들과 착지지점까지의 거리(L2)는 Jung선수가 0.86 m로 전체 스트라이드 거리에 26.4%였고, Powell선수는 0.89 m로 27.9%였다. 그리고 Lee선수는 0.98 m로 28.8%였다. 이 3명의 선수가 허들에서 착지지점까지 거리가 1 m 안에 있는 것으로 조사되었다. 허들을 넘기 위해 발구름 하는 발의 이륙시간은 Powell선수와 Lee선수를 제외하고 모든 선수가 0.10 sec였다. 그리고 허들을 넘는데 소요되는 비행시간은 Powell선수가 0.28 sec로 가장 짧은 비행시간을 보였고 나머지 선수들은 0.32 sec 이상을 소요하는 것으로 나타났다. 접지순간(H1)과 이지순간(H2)에서 신체무게중심의 높이 변화는 점진적으로 높아지는 상태에서 허들을 향해 이륙하는 것으로 나타났으며 이지순간에서 Powell과 Lee선수가 1.05 m와 1.06 m로 다른 선수들에 비해 높은 신체무게중심의 위치에서 이륙하는 것으로 나타났다. 접지순간과 이지순간에서 발구름 다리의 각도는 Powell선수가 접지순간에서 66.34°로 크고 이지순간에서 64.43°로 작게 나타나면서 신체무게중심의 이동거리(KSP)가 커지는 것으로 나타났다. 그러나 Lee선수의 경우는 접지순간의 각도가 62.30°로 작고 이지순간의 각도가 69.34°로 클 경우에도 신체무게중심의 이동거리가 길어지는 것으로 조사되었다. 이지순간 신체무게중심과 허들과의 수평거리(X1)는 접지순간 신체무게중심과 허들과의 수평거리(X0)에서 신체무게중심의 이동거리(KSP)를 뺀 거리로

Table 2. Kinematic parameters of clearing the 5th hurdle in the 100 meters hurdles

Variables	Subjects	Virginia Powell	Perdita Felicien	Tiffani Ofili	Yeon-Kyung Lee	Kellie Wells	Hea-Rim Jung
Takeoff Phase							
Distance of the takeoff point from the hurdle(L1)	m	2.30	2.38	2.12	2.42	2.00	2.40
Duration of takeoff(CT)	s	0.12	0.10	0.10	0.12	0.10	0.10
Angle of takeoff leg at the touchdown	°	66.34	60.65	64.52	62.30	68.14	62.79
Angle of takeoff leg at the takeoff	°	64.43	68.33	84.19	69.34	75.25	71.33
Height of C.G. at the touchdown(H1)	m	0.99	0.96	0.93	1.00	0.94	0.93
Height of C.G. at the takeoff(H2)	m	1.05	1.00	1.00	1.06	0.99	1.01
Horizontal distance of C.G. in the knee swing phase(KSP)	m	1.05	0.89	0.83	1.05	0.69	0.86
Horizontal distance of C.G. at the touchdown from hurdle(X0)	m	2.76	2.79	2.53	2.96	2.34	2.81
Horizontal distance of C.G. at the takeoff from hurdle(X1)	m	1.71	1.90	1.70	1.91	1.65	1.95
Horizontal distance of C.G. at the takeoff(W1)	m	0.59	0.48	0.42	0.62	0.35	0.45
Horizontal velocity of C.G. at the touchdown	m/s	9.37	8.83	8.61	9.04	8.40	8.34
Vertical velocity of C.G. at the touchdown	m/s	0.33	0.35	0.34	0.01	0.54	-0.04
Velocity resultant of C.G. at the touchdown	m/s	9.37	8.84	8.62	9.04	8.42	8.34
Horizontal velocity of C.G. at the takeoff	m/s	9.36	9.36	9.03	9.30	8.29	8.90
Vertical velocity of C.G. at the takeoff	m/s	0.87	0.55	0.93	1.20	0.72	1.40
Velocity resultant of C.G. at the takeoff	m/s	9.40	9.37	9.08	9.37	8.33	9.01
Takeoff angle of C.G. at the takeoff	°	5.31	3.36	5.88	7.35	4.96	8.94
Knee swing velocity at the touchdown	m/s	16.53	14.06	13.50	13.66	12.28	14.25
Ankle swing velocity at the touchdown	m/s	17.36	15.58	17.42	15.59	12.87	13.99
Knee swing velocity at the takeoff	m/s	10.41	11.03	9.80	10.27	10.46	9.86
Ankle swing velocity at the takeoff	m/s	15.26	13.15	15.74	15.80	13.34	18.22
Flight Phase							
Flight time(FT)	s	0.28	0.32	0.32	0.32	0.33	0.33
Horizontal distance of C.G. in the flight phase(W2)	m	2.60	2.89	2.70	2.73	2.76	2.75
Height of C.G. above the hurdle(H3)	m	0.29	0.22	0.28	0.33	0.25	0.29
Maximal height of C.G. before the hurdle	m	1.14	1.07	1.12	1.17	1.09	1.14
Landing Phase							
Distance of landing point from the hurdle(L2)	m	0.89	1.11	1.19	0.98	1.13	0.86
Height of C.G. at landing after the hurdle(H4)	m	1.07	1.01	1.02	1.09	1.02	1.04
Horizontal distance of C.G. and the point of landing(W3)	m	0.00	0.12	0.19	0.05	0.02	0.06
Horizontal velocity of C.G. in the landing event	m/s	8.22	7.87	8.16	8.33	8.05	7.90
Vertical velocity of C.G. in the landing event	m/s	-0.68	-0.55	-1.21	-1.27	-0.64	-1.04
Velocity resultant of C.G. in the landing event	m/s	8.25	7.89	8.25	8.43	8.07	7.97
Velocity of knee swing	m/s	9.95	11.28	12.26	12.98	9.80	9.59
Velocity of ankle swing	m/s	10.30	14.39	12.96	15.01	10.98	12.95
Angle of landing leg in the landing event	°	90.62	80.29	71.72	83.64	85.64	79.19

C.G. : Center of gravity

Figure 4. Dynamics of the athlete's CM velocity in clearing the 5th hurdle and trajectory of movement of CM over the 5th hurdle

서 Powell, Ofili, Wells 선수들이 각각 1.71 m, 1.70 m, 1.65 m로 나타났고 나머지 Felicien, Lee, Jung 선수들은 1.90 m 이상으로 조사되었다. 이 지점에서 신체무게중심까지 수평거리(W1)은 Lee 선수가 0.62 m로 가장 길었으며 다음으로 Powell 선수가 0.59 m로 길었다. 그리고 Wells 선수가 0.35 m로 가장 짧게 나타났다.

비행국면에서 신체무게중심의 수평거리(W2)는 Powell 선수가 2.60 m로 가장 짧으면서 비행 소요시간도 0.28 sec로 가장 짧았다. 반면에 비행국면에서 신체무게중심의 수평거리가 가장 긴 선수는 Felicien 선수로 2.89 m였으나 비행 소요시간은 0.32 sec로 Powell 선수를 제외한 나머지 선수와 유사하거나 동일하였다. 허들 위에

서 신체무게중심의 최고 정점은 Lee 선수가 0.33 m였고, 허들을 넘기 전 신체무게중심의 비행 포물선의 최고의 정점의 높이는 1.17 m로 가장 높았다. 반면에 Felicien 선수는 허들 위에서 신체무게중심의 최고 정점이 0.22 m였고, 허들을 넘기 전 신체무게중심의 비행 포물선의 최고의 정점이 1.07 m로 가장 낮았다.

착지국면에서 착지지점과 신체무게중심과의 수평거리(W3)는 Powell 선수가 0.00 m로 정확히 일치하는 것으로 나타났고 나머지 선수들은 착지하는 발보다 신체무게중심이 뒤에 있는 것으로 나타났다. 그리고 Powell(0.89 m), Lee(0.98 m), Jung(0.86 m) 선수처럼 착지국면에서 허들과 착지지점의 거리가 가깝거나

Powell(1.07 m), Lee(1.09 m), Jung(1.14 m)선수처럼 신체무게중심의 높이가 높으면서 이심순간에서의 착지 다리의 각도가 Powell(90.62°), Wells(85.64°)선수처럼 클수록 착지지점과 신체무게중심과의 수평거리(W3)가 가까워지는 것으로 조사되었다.

이륙국면에서 접지순간에 신체무게중심의 합성속도는 Powell 선수가 9.37 m/s로 가장 높았고 Jung선수가 8.34 m/s로 가장 작았다. 그러나 이심순간에 신체무게중심의 합성속도는 Wells선수가 8.33 m/s로 감속되었고 나머지 모든 선수들은 증가되는 것으로 나타났다(Figure 4). 이심순간에 신체무게중심의 도약각은 국외 선수인 Powell, Felicien, Ofili, Wells선수들은 각각 5.31°, 3.36°, 5.88°, 4.96°로 낮게 도약하는 반면에 국내 선수인 Lee과 Jung선수는 7.35°와 8.94°로 비교적 국외 선수보다 높게 도약하는 것으로 조사되었다.

이륙국면에서 접지순간에 무릎과 발목의 속도는 Powell선수가 16.53 m/s와 17.36 m/s로 가장 빨리 무릎과 발목을 끌어당기는 것으로 나타났고 Wells선수가 12.28 m/s와 12.87 m/s로 당기는 속도가 느린 것으로 나타났다. 그리고 Ofili선수는 무릎보다 발목을 치는 속도가 더 빠른 것으로 나타났다.

이심순간에 무릎과 발목의 속도는 Ofili와 Jung선수가 각각 9.89 m/s, 15.74 m/s, 9.86 m/s, 18.22 m/s로 무릎의 속도보다 발목의 속도를 증가시켜 리드하는 다리를 뺄는 것으로 조사되었다.

착지국면에서 착지순간에 무릎과 발목의 속도는 Lee선수가 12.98 m/s와 15.01 m/s로 가장 빨리 허들링하는 다리를 운동방향으로 끌어당기는 것으로 나타났다.

IV. 논 의

허들로부터 이지 지점까지의 거리(L1)은 2.00 m에서 2.42 m로 거리의 편차가 크게 나타났고 허들과 착지지점과의 거리(L2)도 0.86 m에서 1.19 m로 선수들 간에 편차가 컸다. 또한 허들을 넘는 스트라이드 길이(L1+L2)도 3.13 m에서 3.49 m로 선수들 간에 편차가 크게 나타났다.

Salo, Grimshaw & Marar(1997)는 허들로부터 이지 지점과 착지지점까지의 거리가 평균 2.09 m와 1.10 m내에 있다고 보고하였고, Hucklekemkes(1990, 1991)는 각각 1.90 m에서 2.00 m내에 있고 0.90 m에서 1.05 m내에 있다고 하였다. 그리고 허들을 넘는 스트라이드 길이는 2.80 m에서 3.05 m범위 내에 있다고 보고하였다. 허들로부터 이지 지점까지의 거리는 Wells선수만이 선행연구의 결과 범위 내에 있었고 나머지 선수들은 허들로부터 멀리에서 이륙하였다. 허들로부터 멀리서 이륙하는 동작은 허들을 넘을 때 신체무게중심의 비행궤적이 낮고 허들을 매우 효과적으로 넘을 수 있다. 그러나 이러한 동작을 수행하기 위해서는 허들간 스트라이드의 리듬과 스피드, 이륙순간의 파워

(power)를 발휘할 수 있는 수준 그리고 선수의 형태학적인 특성이 고려되어야 한다(Coh & Dolenec, 1996). 허들로부터 착지지점까지의 거리는 Ofili, Wells선수를 제외하고 선행연구의 결과 범위 내에 있었다. 허들로부터 착지거리는 이륙거리와는 반대로 착지거리가 짧을수록 허들을 넘는 스트라이드 길이가 작아지는데 이 거리는 이륙거리에 많은 영향을 받는다. 그리고 착지거리가 길면 다음 허들을 넘기 위해 준비하는 달리기 구간의 스트라이드에 변화를 주고 결과적으로 다음 허들의 이륙거리를 가깝게 하는 결과를 초래할 것이다.

이륙시간(CT)은 모든 선수들이 0.10 sec에서 0.12 sec범위 내에 있었다. Ryu(2007)은 Lee선수와 Bukovec선수의 이륙시간이 5th와 6th 허들에서 0.10 sec에서 0.12 sec라고 보고 하였다. 이 연구에서 이륙시간의 소요시간은 선행연구의 결과와 유사하게 나타났다.

비행시간은 Powell선수가 0.28 sec로 가장 짧은 비행시간을 보였으며 나머지 선수들은 0.32 sec와 0.33 sec를 비행시간에 소요하였다. Coh & Dolenec(1996)는 4th와 5th허들에서 Bukovec선수의 비행시간이 각각 0.32 sec와 0.30 sec라고 보고하였고 Donkova선수 0.29 sec, Dimitrova선수 0.30 sec, Devers선수 0.29 sec, Lopez선수 0.31 sec, Bauman선수 0.32 sec, Wolf선수 0.33 sec 그리고 Zaczekiewicz선수 0.31 sec라고 보고하였다.

Ryu et al.(2007)은 5th허들에서 Lee 선수의 비행시간이 0.32 sec라고 보고하였다. 이 연구의 결과에서는 Powell선수가 선행연구의 결과보다 짧은 소요시간을 보였는데 이는 허들 위에서의 속도와 스트라이드의 길이에 의한 결과 차이에서 발생하는 것이며 더불어 여자 허들 선수들은 허들을 넘는데 소요되는 비행시간이 다양한 운동학적 변인들에 의해 많은 영향을 받기 때문에 각 허들마다 소요되는 비행시간이 일정하지 않다(Coh & Dolenec, 1996). 그러나 허들을 넘는데 소요되는 비행시간이 짧으면 짧을수록 허들을 넘는데 감속되는 속도를 최소화 할 수 있어 경기력을 향상시킬 수 있을 것이다.

접지순간의 발구름 다리의 각도는 60.65°에서 68.14°로 선수들마다 편차가 크게 나타났다. 그리고 이심순간에서의 발구름 다리의 각도도 편차가 크게 나타났다. 접지순간에서 발구름 다리의 각도는 67.1°에서 68.7°이고 이심순간에서는 77.5°에서 74.8°라고 Coh & Dolenec(1996)는 보고하였다. 그리고 Coh & Dolenec(1996)는 접지순간에서 발구름 다리의 각도가 67° 전후 이면서 신체무게중심 아래에 발구름 발이 있을 경우 가장 추진력 있는 발구름을 할 수 있다고 하였다. 이 연구에서는 Powell와 Wells선수가 근접한 각도를 보였다. 접지순간에서 발구름 다리의 각도가 작다는 것은 허들을 향해 도약하는 다리의 발의 추진에 제동을 거는 동작이라고 할 수 있다. 이심순간에서 발구름 다리의 각도는 Viginia선수가 64.43°로 가장 작았는데 이러한 동작은 허들을 향해 신체를 공격적으로 던지면서 추진력을 얻기 위한 동작으로 신체무게중심의 이동거리(KSP)와 이지 지

점에서 신체무게중심까지의 수평거리를 길게 하고 이지순간에서의 신체무게중심 도약각도를 작게 하여 이지순간에서 신체무게중심과 허들과의 수평거리를 짧게 한다(Ryu et al., 2007).

접지와 이지순간에서 신체무게중심의 높이(H1, H2) 변화는 Jung선수가 8 cm로 가장 큰 변화를 보였고 Felicien선수가 4 cm로 가장 작은 변화를 보였다. Lee 선수의 경우 신체무게중심의 변화가 5 cm인데도 불구하고 신체무게중심의 높이가 허들 위와 허들을 넘기 전 최고 높이에서 다른 선수들에 비해 높았는데 이는 이지순간에서 수직속도가 1.20 m/s로 높았기 때문이라고 판단된다. 따라서 접지순간에서 이지순간으로 전환될 때 신체무게중심의 높이 변화가 크면 신체무게중심의 도약각이 높게 되고 허들 넘기 전 신체무게중심의 높이가 높아져 신체무게중심이 허들을 높게 비행하게 된다. 국내 선수인 Lee, Jung 선수는 접지에서 이지로 전환될 때 신체무게중심의 변화를 작게 하고 이지순간에서의 수직속도를 감속시켜야 할 것이다.

이지순간에 신체무게중심과 허들과의 수평거리(X1)는 허들로부터 이지 지점까지의 거리와 상관이 있으며 선수들마다 다르게 나타났다. 그러나 이 거리가 짧을수록 비행곡면에서 신체무게중심의 수평거리가 짧아지는 것으로 조사되었다. 결과적으로는 이지 지점에서 신체무게중심까지의 수평거리를 증가시키고 착지거리를 짧게 하면 비행거리가 짧아져 비행 소요 시간도 단축시킬 수 있을 것으로 판단된다.

접지순간에서 이지순간으로 전환될 때 신체무게중심의 수평속도 변화 경우, Wells선수는 8.40 m/s에서 8.29 m/s로 감속되는 것으로 나타났고 Powell선수는 9.37 m/s에서 9.36 m/s로 거의 유지하는 것으로 나타났다. 나머지 모든 선수들은 증가하였다. Wells선수의 경우는 허들을 너무 가까이에서 도약하고 이지 점에서 신체무게중심까지의 수평거리(0.35 m)가 짧았기 때문이라고 판단된다.

Coh et al.(1998)은 Bukovec선수의 접지순간의 수평속도가 8.39 m/s, 이지순간의 수평속도가 8.66 m/s로 감속된 속도를 이륙순간에 증가시키는 것이 속도를 효율적으로 가속시키는 것이라고 하였다. 이 연구의 결과에서도 유사한 속도 변화 유형이 나타났다. 그러나 Powell선수는 수평속도를 유지하는 것으로 조사되었다. 이러한 속도 유지 능력은 허들을 넘기 위한 도약준비 단계에서 수평속도의 감속을 최소화 하고 허들을 넘는 비행시간을 단축시킬 수 있어 Coh et al.(1998)이 보고한 효율적으로 속도를 가속시키는 것보다 속도 유지능력이 더 효율적이라고 판단된다.

접지순간에서 무릎과 발목의 속도는 Powell선수가 16.53 m/s와 17.36 m/s로 가장 빨랐고 Wells선수가 12.28 m/s와 12.87 m/s로 가장 느렸다. 접지순간에서 무릎과 발목의 속도는 허들을 향해 차는 다리를 신체무게중심 가까이로 끌어당기면서 이지순

간에 신체의 중심 높이를 높게 하고 허들을 향해 신체를 추진력 있게 던지게 한다. Coh & Dolenc(1996)는 허들을 향해 차는 다리의 발목의 속도가 17.90 m/s로 허들을 넘는 동안에 신체무게중심의 속도보다 2배 이상 빠르다고 하였다. 그리고 Coh et al.(1998)은 이지순간에 허들을 향해 차는 다리의 무릎 속도가 13.4 m/s이고 발목의 속도가 16.3 m/s로 신체무게중심의 수평속도의 약 2배라고 하였으며 허들을 넘는데 큰 영향을 미친다고 보고하였다.

이지순간에서의 무릎과 발목의 속도는 선행연구의 결과보다 작았으며 이는 허들을 향해 차는 다리의 동작이 힘차게 뻗지 못하다는 것을 의미한다고 할 수 있다. Jung선수는 발목의 속도는 높는데 무릎의 속도는 낮다. 이러한 동작은 무릎을 허들 높이 이상으로 충분히 끌어당기지 못하고 허들을 넘기 위한 비행공간을 충분히 만들지 못하여 하퇴를 빠르게 차는 동작에서 발생하는 현상으로 판단된다.

착지곡면에서 착지지점과 신체무게중심과의 수평거리는 Powell선수가 정확히 일치하여 0.00 m였고 이심순간에서 착지 다리의 각도가 90.62°로 수직인 점이 이를 뒷받침해준다. McDonald와 Dapena(1991)는 착지지점과 신체무게중심과의 수평거리가 짧을수록 착지 후 후속동작인 달리기 동작을 추진력 있게 할 수 있어 감속된 속도를 증가시킬 수 있다고 보고하였다. 그러나 Powell선수의 신체무게중심 수평속도는 Lee 선수보다 0.18 m/s 느린데 이는 무릎과 발목을 운동방향으로 끌어당기는 속도가 늦기 때문에 나타나는 결과라고 판단된다.

V. 결 론

이 연구는 2011년 세계육상선수권대회를 대비하여 경기력 향상을 위한 기술적 개선 방향과 허들훈련 프로그램에 적용할 수 있는 정량적 자료를 제시하기 위하여 수행되었다. 2010대구 국제육상경기대회에서 100m 허들 결승에 진출한 12초대 국외 우수선수들과 국내 우수선수인 한국기록 보유자 Lee과 Jung선수를 대상으로 5th 허들을 넘는 기술의 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

허들로부터 이륙지점까지의 거리는 Hucklekemkes(1991)와 Salo et al.(1997)이 제시한 평균 거리보다 더 멀리에서 이륙하였다. 선수들마다 이 거리의 편차가 크게 나타났지만 허들로부터 이륙지점까지의 거리가 가까우면 허들을 넘는 후 착지거리가 길어지는 것으로 나타났다. 반면 허들로부터 이지 지점까지의 거리가 너무 길면 착지거리는 짧아지지만 이지순간에서 신체무게중심의 수직속도가 증가되어 허들을 향해 이륙하는 도약각도가 높아지고 허들 위를 낮게 비행할 수 없는 것으로 조사되었다.

국내 우수선수인 Lee과 Jung선수는 허들로부터 이지 지점까지의 거리를 줄이고 이지순간에서의 수직속도 감속과 도약각을 낮추는 기술적 동작의 개선이 필요하다고 판단된다.

접지순간에서 발구름 다리의 각도를 높이고 이지순간에서 발구름 다리의 각도를 낮추면 접지와 이지순간에서 신체무게중심의 수평속도가 유지되는 것으로 조사되었다. 국내 우수선수인 Lee과 Jung선수는 접지와 이지순간 발구름 다리의 각도가 Powell선수와 상반되게 나타났는데 이 동작을 개선할 필요가 있다.

신체무게중심의 이동거리와 이지 지점에서 신체무게중심까지 수평거리가 길수록 이륙시간이 길어졌다. 그러나 이지순간에서 신체무게중심과 허들과의 수평거리는 짧아지고 비행국면에서 신체무게중심의 수평거리 또한 짧아진다. 결과적으로는 비행시간이 단축된다. 따라서 신체무게중심의 이동거리와 이지 지점에서 신체무게중심까지 수평거리를 길게 하면서 이지 시간을 단축시킬 수 있는 기술적인 동작의 개발이 필요하다.

접지순간에서 무릎과 발목의 속도는 우수한 경기력을 가진 선수일수록 높은 속도를 보였다. 그리고 이지순간에서 무릎과 발목의 속도는 접지순간보다 감속은 되지만 선수들마다 무릎 혹은 발목의 감속의 차이가 상이하게 나타났다. 그러나 국내 우수선수인 Lee과 Jung선수는 이지순간에서 발목의 속도가 접지순간보다 증가하였는데 이러한 결과는 허들을 향해 차는 다리를 뺄 때 하퇴에 비중을 두고 수행하는 동작으로 이에 대한 기술적 동작 수정이 필요하다.

접지순간에서 착지다리의 각도가 클수록 착지지점과 신체무게중심과의 수평거리가 작았다. 그리고 허들링하는 다리의 무릎과 발목의 속도가 높을수록 신체무게중심의 수평속도가 높았다. 국내 우수선수인 Lee과 Jung선수는 접지순간에서 착지다리의 각도를 증가시킬 필요가 있으며 Jung선수는 허들링하는 다리의 무릎과 발목의 속도를 증가시킬 수 있는 기술동작의 개선이 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, 1-19.
- Coh, M., & Dolenec, A.(1996). Three-dimensional kinematic analysis of the hurdles technique used by Brigita Bukovec. *New Studies Athletics. IAAF*, 11(1), 63-69.
- Coh, M., Kastelic, J., & Pintaric, S.(1998). A Biomechanical model of the 100 m-hurdles of Brigita Bukovec. *USA Track and Field Track Coach*. Winter, 142, 4521-4529.
- Coh, M.(2003). Biomechanical analysis of Colin Jackson's hurdle clearance technique. *New Studies Athletics. IAAF*. 18(1), 37-45.
- Dapena, J.(1991). Hurdle clearance technique. *Track and Field Quarterly Review*, 116(3), 710-712.
- Hucklekemkes, J.(1990). Model technique analysis sheets for the hurdles. PART VI: The Women's 100 meters Hurdles. *New Studies Athletics, IAAF*(4), 33-58.
- Hucklekemkes, J.(1991). Model technique for the women's 100-meter hurdles. *Track Technique*, Winter. 3759-3766.
- Hucklekemkes, J.(1992). Model technique for the women's 100 m-hurdles. *USA Track and Field*, Winter(118), 5759-5766.
- Kwon, Y. H.(2005). *Kwon 3D Motion Analysis Package*. Version 3.1 Seoul, Korea: Visol Corp.
- Lee, J. H., & Ryu, J. K.(2007). The kinematic analysis of horizontal velocity and records from start to finish of the elite women 100m hurdler. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(3), 31-39.
- McDonald, C., & Dapena, J.(1991). Linear kinematics of the men's 110m and women's 110m hurdles races. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(12), 1382-1391.
- Muller, H., & Hommel, H.(1997). Biomechanical Research Project at the VI World Championships in Athletics, Athens 1997: Preliminary Report. *New Studies Athletics. IAAF*. 12(2-3), 43-73.
- Plagenhoef, S.(1983). Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for Exercise and Sports*, 54(2), 169-178.
- Ryu, J. K.(2007). Comparison of biomechanical model of the Brigita Bukovec and Lee Yeon-Kyoung's 100m hurdles. *Korean Society of Sport and Leisure Studies*, 30, 493-506.
- Ryu, J. K., Yeo, H. C., & Chang, J. K.(2007). The kinematic analysis and comparison of foreign and domestic 100m elite woman's hurdling techniques. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(4), 157-167.
- Salo, A., Grimshaw, P. N., & Marar, L.(1997). 3-D biomechanical analysis of sprint hurdles at different competitive levels. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 231-237.
- Susanka, P., Miskos, G., Millerova, V., Dostal, E., & Barac, F.(1998). Time analysis of the sprint hurdle events at

the II World Championships in Athletics. *New Studies Athletics, IAAF*, 11(1), 63-69.

Stein, N.(2000). Reflections on a change in the height of the hurdles in the women's sprint hurdles event. *New Studies Athletics, IAAF*, 15(2), 15-19.

Taylor, T.(1992). Lead-leg snap down. *Track Technique*, summer, 3822-3843.