Korean Journal of Sport Biomechanics
Vol. 21, No. 5, Decenber 2011, 529-540

ISSN 1226-2226(Print), ISSN 2093-9752(Online)
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2011.21.5.529
http://www.kssb.or.kr

2011 대구세계육상선수권대회 110m 허들 선수의 허들링 기술 동작의 운동학적 분석

박영진[1] · 류재균[2] · 류지선[3] · 김태삼[4] · 황원섭[4] · 박상균[4] · 윤석훈[5]

[1]경희대학교 체육대학 골프경영학과 ·[2]경희대학교 체육대학 스포츠지도학과 ·[3]한국체육대학교 생활체육대학 스포츠건강관리학과 ·[4]한국체육대학교 스포츠과학대학 체육학과 ·[5]한국체육대학교 생활체육대학 사회체육학과

Kinematic Analysis of Hurdle Clearance Technique for 110-m Men's Hurdlers at IAAF World Championships, Daegue 2011

Young-Jin Park[1] · Jae-Kyun Ryu[2] · Ji-Seon Ryu[3] · Tae-Sam Kim[4] · Won-Seob Hwang[4] · Sang-Kyoon Park[4] · Sukhoon Yoon[5]

[1]Department of Golf Management, College of Physical Education, Kyung Hee University, YoungIn, Korea
[2]Department of Coaching, College of Physical Education, Kyung Hee University, YoungIn, Korea
[3]Department of Health & Exercise Science, College of Sport for Life, Korea National Sport University, Seoul, Korea
[4]Department of Physical Education, College of Sport Science, Korea National Sport University, Seoul, Korea
[5]Department of Community Sport, College of Sport for Life, Korea National Sport University, Seoul, Korea

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

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the kinematic characteristics of 5th and 6th hurdle clearances during the final of the 110-m hurdles at the IAAF World Championships, Daegu 2011. To this end, the hurdling motions of the top 4 ranked male hurdlers in the competition were analyzed. A total of 12 cameras were used to record their motions, with a sampling frequency of 120 Hz. The cameras were calibrated using 11 × 2 × 1 m control objects that covered all of the lanes (1st~8th lanes). After analyzing all the data, we arrived at the following results. In the take-off phase, all athletes revealed similar take-off times (CT), and similar distances from the take-off to hurdleto (L1) and hurdle to landing (L2). In particular, Turner, ranked 3rd, had an inconsistent L2 and may need further training to correct it. In the flight phase, Richardson, ranked 1st, showed the longest flight distance, whereas Xiang, who was ranked 2nd, showed the highest CG height from the hurdle. For the step patterns, to increase the pitch frequency, Richardson and Xiang used shorter 3-step lengths than Turner and Oliver.

Keywords : IAAF World Championships, 110-m Hurdles, Kinematic, Step pattern, CG height, Takeoff

Ⅰ. 서 론

남자 110m 허들 경기는 높이 1.067m인 10대의 장애물을 효율적으로 넘고 빠르게 달리는 기록경기이다. 허들의 간격은 9.14m로 설치되어 있으며, 다음 허들까지 3보 4스텝으로 반복적인 질주동작과 허들동작을 발휘해야 하는 고난도 기술 종목이라 할 수 있다.

이러한 허들 종목은 허들을 넘는 허들링 동작과 질주동작으로 구분할 수 있으며, 허들링 동작은 자연스러운 동작 발현을 위해 유연성과 리듬감이 적절하게 요구되는 신체적 능력을 가지고 있어야 한다(Lee & Ryu, 2007;Dapena, 1991; Hucklekemkes, 1990; Taylor, 1992).

즉 효율적으로 허들링 동작을 발현하기 위한 기술적 특징으

Corresponding Author: Sukhoon Yoon
Department of Community Sport, Korea National Sport University. 88-15 Oryun-Dong, Songpa-Gu, Seoul, Korea.
Tel : +82-2-410-6850 / Fax : +82-2-418-1877
E-mail: sxy134@knsu.ac.kr
본 논문은 2011 대구세계육상선수권대회 운동역학 프로젝트로서 문화체육관광부와 대한육상경기연맹으로부터 지원을 받아 수행한 것임.

로는 지속적인 스피드의 가속과 허들을 넘기 위한 정확한 동작이 얼마나 일관성 있고 최적의 발란스를 유지하는 가에 달려있다(Lee & Ryu, 2007; Coh, 2003; Coh, Kastelic & Pintaric, 1998; Salo, Grimshaw & Marar, 1997).

현재 국내 110m 허들종목은 2010년 제16회 아시아경기대회에서 한국기록 13초 48의 기록을 세우며 3위에 입상한바 있다. 그러나 세계기록 12초 87과 국제 우수선수에 비한다면 아직도 갈 길이 멀다고 할 수 있다.

2011년 대구국제육상경기 선수권대회에서 110m 허들경기에 출전한 국내허들선수는 1라운드에서 탈락하며 아직까지 세계적인 우수선수에 비해 기술적으로 상당히 부족한 점을 보였다. 따라서 국제 우수선수를 대상으로 허들링 동작을 분석하고 이러한 정보를 습득하여 한국남자 허들의 경기력을 발전시킬 필요가 있다고 생각한다.

110m 허들경기의 국내외 허들 기술적 요인을 분석한 연구를 살펴보면, Lee et al.(2008)은 국내외 엘리트 110m 허들선수를 대상으로 세 번째 허들링 동작에 관한 운동학적 변인을 분석하였으며, 기술적 특징으로 국외 우수선수는 신체중심의 이동경로와 수평거리 등 신체 무게중심의 수평거리가 허들 도약에서 국내선수보다 길게 도약하는 것으로 보고하였다. Lee & Ryu(2007)은 스타트에서 피니쉬까지 국내외 우수선수를 대상으로 수평속도의 변화와 기술적 특징을 분석하였으며, 경기력 향상을 위한 효율적인 기술동작의 중요성과 테크닉에 대하여 제시하였다. Ryu et al.(2007)은 국내외 우수 허들선수를 대상으로 5허들과 6허들의 허들링 동작에 대한 거리, 시간, 각도, 속도 변인 등 운동학적 변인을 분석하였으며, 경기력 향상을 위한 기술적 특징으로 신체중심의 포물선 궤도를 낮추고 허들을 넘기 위한 다리는 능동적으로 끌어당겨 착지순간 수평속도의 손실을 줄여야 한다고 허들 동작의 개선점을 제시하였다.

Coh(2003)는 110m 허들경기의 전 세계기록 12초 91을 보유한 콜린잭슨선수를 대상으로 2002년 슬로베니아 국제대회에서 우승한 4허들과 5허들의 신체중심 수평속도와 수직속도, 거리, 시간 등 기술적 변인을 분석하였으며, 효율적인 허들동작을 발휘하기 위해서는 도약 시 신체중심의 높이를 높이고 허들을 넘은 후 착지 시 신체중심의 상하 진동을 최소화해야한다고 정의하였다. Tsarouchas와 Papadopoulos, Kalamaras & Giavroglou (1993)은 국제대회에서 110m 허들경기에 우승한 선수를 대상으로 3허들과 4허들의 인터벌 구간과 허들동작을 운동학적으로 분석하였으며, 허들을 넘은 후 인터벌 구간에서 스피드를 증가시키기 위해서는 신체중심의 수직높이와 수평거리 지지시간을 짧게 함으로써 강한 도약을 발휘할 수 있다고 지적하였다. Huller & Hommel(1997)은 아테네에서 열린 제6회 세계육상선수권대회에서 110m 허들경기 결승의 제1허들부터 10번째 허들까지 구간기록의 운동학적 변인을 분석하였으며, 우수선수의 경우 3허들부터 5허들까지 최고의 스피드를 발휘하는 것으로 보고하였다. Lindeman(1995)의 연구에 의하면 효율적인 허들링 기술은 달리기 위한 동작의 변화로 일정한 스트라이드 패턴과 보폭의 일관성을 의미하며 상위 두 변인에 의해 경기력이 결정된다고 하였다.

이와 같이 110m 허들경기의 경기력 향상을 위한 연구는 다방면에서 진행되고 있다. 그러나 세계대회에서 상위에 랭크된 엘리트선수들의 핵심적 허들기술 및 기술적 변인을 연구한 자료는 부족한 실정이다. 따라서 엘리트 110 m 허들선수들의 최고 스피드를 발휘하는 구간에서 허들링 동작의 핵심적 기술을 분석하여 경기력을 향상시킬 수 있는 연구가 필요하다.

이 연구는 2011년 제 13회 대구세계육상선수권대회에서 110 m 허들경기 결승에서 상위에 입상한 선수를 대상으로 최고 스피드를 발휘하는 5허들과 6허들을 중점으로 허들을 넘는 동작과 운동수행에 관한 핵심적 기술을 분석하고자 하며, 나아가 국내 지도자 및 현장에서 국외 우수선수들의 기술적 동작의 테크닉을 허들 훈련 프로그램에 적용할 수 있는 정량적 자료를 제공하는데 의미가 있다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구 대상자

이 연구의 분석대상은 2011년 제13회 대구세계육상선수권대회 남자 결승 경기 중 1위부터 4위까지 총 4명의 선수를 분석대상으로 선정하였으며, 이들의 특성은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Subject Information

Rank	Name	Country	Result	Age (yrs.)	Height (m)	Weight(kg)
1	Jason Richardson	USA	13.16	26	1.90	73
2	Liu Xiang	CHN	13.27	28	1.89	82
3	Andrew Turner	GBR	13.44	31	1.82	77
4	David Oliver	USA	13.44	30	1.91	93

2. 실험 절차

5th 허들과 6th 허들 구간의 운동학적 변인을 분석하기 위해 KWON3D Motion Analysis Pagkage Version 3.1(Kwon, 2005)을 사용하였다. 본 연구에서는 총 12대의 Sony 비디오카메라

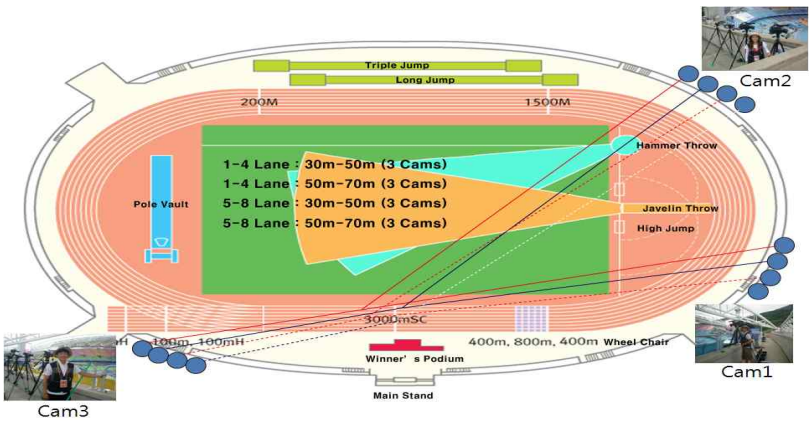

Figure 1. Camera setup position

(HXR-MC2000 6대, VX2100 6대)를 사용하여 동작을 120 Hz의 촬영속도로 촬영하였으며, 촬영 위치 및 촬영범위는 <Figure 1>와 같다. 전체 30m-70m 구간과 5th허들과 6th허들을 중심으로 촬영하기 위해 총 12대 카메라 중 1-4레인, 5-8레인을 기준으로 레인별 3대씩의 카메라를 사용하여 촬영하였다. 특히 3차원 공간좌표 형성을 위해 8레인을 포함할 수 있도록 폭 11 m, 높이 2 m, 길이 1 m의 통제점 틀을 조립한 후, 30 m 지점부터 5 m 간격으로 총 8구간에서 이동 촬영 후 3차원 좌표를 계산하였다<Figure 2>.

Figure 2. Control objects calibration method

3. 자료처리

각 관절점의 3차원 위치 좌표값은 DLT방법을 사용하는 Kwon3D 프로그램을 이용하여 산출하였다. 운동학적 자료를 얻기 위해 인체를 20개의 관절점과 14개의 분절로 연결된 강체 시스템으로 가정하였다. 각 분절의 무게중심과 전신 무게중심의 위치를 구하기 위한 인체분절지수(body segment parameter)는 Plagenhoef, Evans 와 Abdelnour(1983)의 자료를 이용하였다. 스무딩(smoothing)은 Butterworth 4차 저역통과필터(low-pass filter)방법으로 3차원 공간 좌표에 포함된 확률오차(random error)를 제거하기 위하여 사용하였다. 차단 주파수(cut-off frequency)는 Yu 와 Hay(1995)가 제시한 차단 주파수 수식을 이용하여 7.4Hz로 정하였다. 최대 가속구간의 5th허들 발구름 착지부터 6th허들링 착지까지 2개의 허들 구간으로 선정하였으며, 각 허들에 대한 도약국면(takeoff phase), 비행국면(flight phase), 착지국면(landing phase)으로 나누어 분석하였으며, 세부적인 분석내용은 <Figure 3>과 같고, 이와 관련된 용어의 정의(Coh, Kastelic & Pintaric, 1998)는 다음과 같다. 특히 이 연구에서 이 연구에서 발이 지면에 닿는 순간을 이심(eccentric), 발이 지면에서 떨어지는 순간을 동심(concentric)으로 정의하였다.

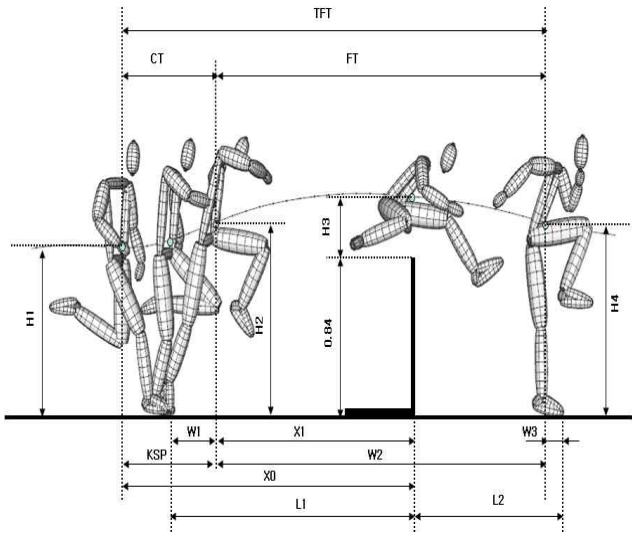

Figure 3. Hurdle clearance(Ryu, Yoe & Chang, 2007)

(1) TFT(total flight time): 전체 비행시간

(2) CT(duration of takeoff): 발구름 발이 접지 후 이륙 할까지 소요되는 시간

(3) FT(duration of flight phase): 이륙순간부터 착지순간까지 신체무게중심이 비행한 시간

(4) H1(height of C.G. in the excentric phase): 발구름 발이 접지하는 순간에 신체무게중심의 높이

(5) H2(height of C.G. in the concentric phase): 발구름 발이 이륙하는 순간에 신체무게중심의 높이

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

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

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

(9) W1(horizontal distance of C.G. in the takeoff phase) : 이륙순간 발끝과 신체무게중심과의 수평거리

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

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

(12) X0(horizontal distance of C.G. in excentric phase from the hurdle) : 허들에서부터 발구름 발이 접지하는 순간 신체무게중심까지 수평거리

(13) X1(horizontal distance of C.G. in concentric phase from the hurdle) : 허들에서부터 발구름 발이 이륙하는 순간 신체무게중심까지 수평거리

(14) L1(distance of the takeoff point from the hurdle) : 허들에서부터 이륙하는 발구름 발끝까지 거리

(15) L2(distance of landing point from the hurdle) : 허들에서부터 착지하는 다리의 발끝까지 거리

5. 각도 정의

5th와 6th 허들을 넘는 동작에서 발구름하는 다리와 허들을 넘고 착지하는 다리가 지면과 이루는 각도는 <Figure 4>에 제시되어있으며 그 정의는 다음과 같다.

θ1: 접지순간에 발구름하는 다리의 고관절과 발끝을 이은 벡터와 Y축이 이루는 각

θ2: 이지순간에 발구름하는 다리의 고관절과 발끝을 이은 벡터와 Y축이 이루는 각

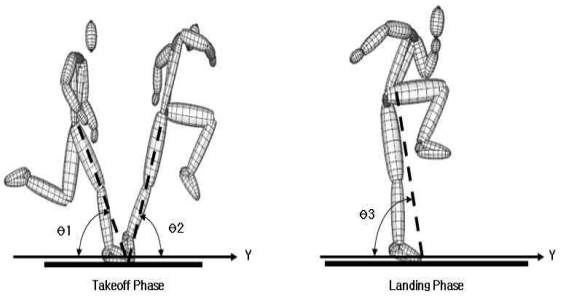

Figure 4. Angles of takeoff leg at the touchdown and takeoff at the takeoff phase and angle of landing leg at the touchdown at the landing phase (Ryu, Yoe & Chang, 2007)

θ3: 착지순간에 착지하는 다리의 고관절과 발끝을 이은 벡터와 Y축이 이루는 각

Ⅲ. 결 과

1. 도약국면의 운동학적 특성

도약국면에 대한 운동학적 요인에 대한 특성은 <Table 2>와 <Figure 5>에 잘 나타나 있다. 5th허들과 6th 허들 구간의 도약국면의 운동학적 변인에 대한 특성을 보면, 도약국면에 있어서 접지 시간은 5th허들이 0.11 sec를 보였고, 6th허들은 0.12 sec로 접지하는 특성을 보였다. 거리요인 중 허들로부터 이륙지점까지 거리(L1)에서는 5th허들이 2.13 m를 보였지만, 6th허들은 2.15 m로 5th허들에서 다소 짧은 특성을 보였다.

이심순간에서 C.G.의 높이(H1)는 5th허들과 6th허들에서 1.07 m로 유사한 높이를 보였고, 동심순간에서 C.G.의 높이(H2)에서도 1.20 m로 같은 높이에서 이륙하는 특성을 보였다. C.G.의 이동거리(KSP)에 있어서 5th허들은 1.07 m를 보였지만, 6th허들은 1.06 m로 5th허들보다 다소 짧은 길이를 보였고, 이심순간 C.G.와 허들과의 수평거리(X0), 동심순간 C.G.와 허들과의 수평거리(X1)에 있어서는 5th허들이 각각 2.54 m와 1.47 m를 보였지만, 6th허들은 각각 2.55 m와 1.49 m로 5th허들보다 6th허들에서 수평거리가 다소 증가된 특성을 보였다. 도약국면 동안 신체중심의 이동거리(W1)를 보면 5th허들은 0.65 m를 보였지만, 6th허들은 0.66m로 6th허들에서 신체중심의 수평이동이 다소 긴 특성을 보였다. 특히 Jason Richardson와 David Oliver의 경우 5th허들보다 6th허들에서 짧은 수평이동을 보인 반면에 Liu Xiang과 Andrew Turner는 5th허들보다 6th허들에서 긴 수평이동을 보였다.

Table 2. Kinematics parameters of takeoff phase

Factors \ Subject / No. of Hurdle	Richardson		Xiang		Turner		Oliver		*M*	
	5th	6th	5th	6th	5th	6th	5th	6th	5th	6th
Time Factor(sec)										
Duration of takeoff(CT)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.10	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12
Linear Distance Factors(m)										
Distance of the takeoff point from the hurdle(L1)	2.42	2.44	2.20	2.25	1.91	1.92	1.97	1.97	2.13	2.15
Height of C.G. in the excentric event(H1)	1.04	1.04	1.07	1.07	1.08	1.08	1.08	1.08	1.07	1.07
Height of C.G. in the concentric event(H2)	1.18	1.18	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.20	1.20
Horizontal distance of C.G. in the knee swing phase(KSP)	1.03	0.98	1.05	1.02	0.88	1.04	1.30	1.20	1.07	1.06
Horizontal distance of C.G. in the excentric event from hurdle(X0)	2.77	2.81	2.61	2.50	2.23	2.38	2.54	2.49	2.54	2.55
Horizontal distance of C.G. in the concentric event from hurdle(X1)	1.74	1.83	1.56	1.48	1.35	1.34	1.24	1.29	1.47	1.49
Horizontal distance of C.G. at the takeoff(W1)	0.68	0.61	0.64	0.77	0.56	0.58	0.73	0.68	0.65	0.66
Linear Velocity Factors(m/s)										
Horizontal velocity of C.G. in the excentric event	9.64	9.28	8.78	9.31	8.94	9.10	8.86	9.18	9.06	9.22
Vertical velocity of C.G. in the excentric event	0.61	0.42	0.40	0.55	0.92	0.68	0.51	0.21	0.61	0.47
Resultant velocity of C.G. in the excentric event of takeoff	9.67	9.29	8.79	9.33	8.99	9.13	8.88	9.18	9.08	9.23
Horizontal velocity of C.G. in the concentric event	8.53	8.46	8.89	8.31	8.68	8.67	8.58	8.88	8.67	8.58
Vertical velocity of C.G. in the concentric event	1.42	1.45	1.57	1.31	1.51	1.44	1.33	1.29	1.46	1.37
Resultant velocity of C.G. in the concentric event of takeoff	8.65	8.59	9.03	8.42	8.81	8.79	8.70	8.98	8.80	8.70
Knee swing velocity in the excentric event	15.84	15.38	13.34	16.10	14.31	14.37	12.98	14.55	14.12	15.10
Ankle swing velocity in the excentric event	14.79	14.90	14.00	14.53	14.98	15.21	15.79	14.67	14.89	14.83
Knee swing velocity in the concentric event	10.23	10.16	7.25	7.86	9.62	9.04	9.36	8.89	9.12	8.99
Ankle swing velocity in the concentric event	16.72	15.65	16.60	19.83	16.53	16.16	16.93	17.30	16.70	17.24
Angle Factors(°)										
Angle of takeoff leg in the excentric event	69.6	70.2	72.4	79.6	76.6	69.7	67.5	67.2	71.5	71.7
Angle of takeoff leg in the concentric event	57.9	59.4	59.1	53.2	62.2	61.2	54.9	57.9	58.5	57.9

Table 4. Kinematics parameters of landing phase

Factors \ Subject / No. of Hurdle	Richardson		Xiang		Turner		Oliver		*M*	
	5th	6th	5th	6th	5th	6th	5th	6th	5th	6th
Linear Distance Factors(m)										
Distance of landing point from the hurdle(L2)	1.43	1.38	1.51	1.49	1.66	1.79	1.40	1.40	1.50	1.52
Height of C.G. at landing after the hurdle(H4)	1.18	1.33	1.26	1.37	1.20	1.36	1.26	1.31	1.23	1.34
Horizontal distance of C.G. and the point of landing(W3)	0.06	0.04	0.01	0.07	0.08	0.07	0.05	0.06	0.05	0.06
Linear Velocity Factors(m/s)										
Horizontal velocity of C.G. in the landing event	8.81	8.52	8.58	8.74	8.56	8.69	8.50	8.39	8.61	8.59
Vertical velocity of C.G. in the landing event	-1.11	-1.21	-1.08	-0.99	-1.21	-1.01	-0.91	-0.86	-1.08	-1.02
Resultant velocity of C.G. in the landing event	8.88	8.60	8.65	8.79	8.64	8.75	8.55	8.44	8.68	8.65
Velocity of knee swing	11.21	10.98	11.65	11.57	10.17	10.34	11.98	10.15	11.25	10.76
Velocity of ankle swing	16.6	16.26	15.25	15.11	13.51	13.78	15.24	15.64	15.15	15.20
Angle Factors(°)										
Angle of landing leg in the excentric event	87.3	88.0	89.6	87.0	84.5	79.8	87.5	80.1	87.2	83.7

도약국면에서 신체중심의 속도 성분을 보면, 이심순간에서 C.G.의 수평속도는 5th허들보다 6th허들에서 큰 차이는 보이지 않았지만, 6th허들이 빠른 속도를 보였고, 동심순간에서 C.G.의 수평속도에서는 5th허들보다 6th허들이 다소 작은 속도를 보였다. 특히 허들링을 위해 스윙 다리의 무릎 속도를 보면, 이심순간은 5th허들에서 14.12 m/s를 보였지만, 6th허들에서는 15.10 m/s로 6th허들에서 다소 빠른 속도를 보였고, 발목관절의 이심순간에 있어서 5th허들과 6th허들은 유사한 속도를 보였지만, 동심순간에서는 16.70 m/s를 보인 5th허들보다 6th허들이 17.24 m/s로 다소 빠른 스윙 속도를 보였다. 특히 이심순간과 동심순간에서 발구름 다리의 자세각을 보면, 이심순간에서는 유사한 자세각을 보였고, 동심순간에서도 큰 차이는 보이지 않았지만, 5th허들은 58.5°, 6th허들은 57.9°로 5th허들이 다소 큰 자세각을 보였다. 특히 Liu Xiang의 경우 이심순간에서 5th허들은 72.4°를 보였지만, 6th허들에서는 79.6°의 큰 자세각으로 접지하는 특성을 보였지만, 동심순간에 있어서는 5th허들이 59.1°, 6th허들은 53.2°로 자세각이 작은 자세에서 이륙하는 특성을 보였다.

2. 비행국면의 운동학적 특성

<Table 3>은 비행국면에 대한 운동학적 요인에 대한 특성을 나타낸 것이다. 비행국면의 특성을 보면, 비행시간은 5th허들과 6th허들이 각각 0.33 sec로 유사한 비행시간을 보였지만, Jason Richardson의 경우 5th허들에서는 0.33 sec를 보였지만, 6th허들에는 0.35 sec로 다소 긴 비행시간을 보였다. 비행국면에서 C.G.의 수평거리(W2)를 보면, 5th허들에서는 2.990 m, 6th허들은 2.93 m를 보이면서 5th허들이 다소 긴 거리를 보였고, Jason Richardson은 5th허들보다 6th허들에서 긴 수평거리를 보인 반면에 Liu Xiang과 Andrew Turner는 5th허들보다 6th허들에서 수평거리가 짧아지는 특성을 보였다. 허들 위의 C.G. 높이(H3)에 있어서는 5th허들이 0.28 m로 6th허들의 0.27 m보다 신체중심이 다소 높은 자세에서 허들링 하는 것으로 나타났는데, Liu Xiang의 경우는 다른 선수들보다 5번과 6th허들에서 각각 0.30 m로 신체중심이 다소 높은 위치에서 허들링하는 특성을 보였고, David Oliver의 경우 5번은 0.27 m를 보인 반면에 6th허들은 0.24 m로 6th허들에서 낮은 자세로 허들링 하는 특성을 보였다.

3. 착지국면의 운동학적 특성

<Table 4>는 착지국면에 대한 운동학적 요인에 대한 특성을 나타낸 것이다. 착지국면에 대한 운동학적 변인의 특성을 살펴보면, 허들과 착지지점과의 거리(L2)에 있어서 5th허들은 1.50 m를 보인 반면에 6th허들은 1.62 m로 5th허들이 다소 짧은 거리를 보였는데, Andrew Turner의 경우 5번과 6th허들에서 각각 1.66 m와 1.79 m로 다른 선수들보다 긴 거리를 보였고, David Oliver의 경우는 5번과 6th허들이 각각 1.40 m로 짧은 수평거리에서 착지하는 특성을 보였다. 착지 순간 신체중심의 높이(H4)를 보면, 모든 선수들이 착지 시 5th허들보다 6th허들에서 신체중심이 높은 자세를 보였는데, 5th허들에서는 1.23 m로 낮은 자세에서 착지하는 특성을 보인 반면에 6th허들에서는 1.34 m로 5th허들보다 신체중심이 높은 자세에서 착지되는 특성을 보였고, Liu Xiang은 다른 선수들보다 신체중심이 높은 자세에서 착지하는 특성을 보였다. 착지 지점과 C.G.의 수평거리(W3)를 보면 5th허들에서는 0.05 m의 거리를 보였지만, 6th허들에서는 0.06 m로 신체중심과 발 착지점과의 거리가 다소 길어진 특성을 보였고, Liu Xiang은 5th허들에서 0.01 m로 짧은 거리를 보였지만, 6th허들에서는 0.07 m로 신체중심과 착지점과의 거리가 긴 특성을 보였다. 착지순간 C.G.의 수평속도를 보면, 5th허들에서는 8.61m/s를 보인 반면에 6th허들에서는 8.59 m/s로 6th허들의 수평속도가 다소 작은 특성을 보였지만, Liu Xiang과 Andrew Turnerd의 경우는 5th허들보다 6th허들에서의 속도가 다소 큰 특성을 보이면서 착지하는 것으로 나타났다. 허들링 후 빠른 추진를 위해 사용되는 스윙다리의 무릎과 발목의 속도를 보면, 5th허들이 각각 11.25m/s와 15.15m/s의 속도를 보였지만, 6th허들에서는 10.76 m/s와 15.20 m/s를

Table 3. Kinematics parameters of flight phase

Subject / Factors / No. of Hurdle	Richardson		Xiang		Turner		Oliver		*M*	
	5th	6th	5th	6th	5th	6th	5th	6th	5th	6th
Time Factor(sec.)										
Duration of flight phase(FT)	0.33	0.35	0.33	0.32	0.33	0.33	0.33	0.32	0.33	0.33
Linear Distance Factors(m)										
Horizontal distance of C.G. in the flight phase(W2)	3.11	3.17	3.06	2.90	3.19	3.06	2.59	2.60	2.99	2.93
Height of C.G. above the hurdle(H3)	0.26	0.26	0.30	0.30	0.29	0.29	0.27	0.24	0.28	0.27

보이면서 무릎의 경우는 6th허들에서 작은 스윙속도를 보였지만, 발목은 5th허들과 6th허들에서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 특히 무릎의 스윙 속도에서 큰 차이를 보이지 않는 선수들과 달리 David Oliver는 5th허들에서 11.98 m/s로 빠른 스윙을 보였지만, 6th허들에서는 10.15 m/s로 스윙 속도가 크게 감소된 특성을 보였다. 이심순간에서 착지 다리의 자세각을 보면, 5th허들이 87.2°를 보였지만, 6th허들에서는 83.7°로 6th허들이 다소 작은 자세각으로 착지하는 특성을 보였는데, Jason Richardson은 5th허들보다 6th허들에서 자세각이 커진 반면에 Liu Xiang, Andrew Turnerd, David Oliver는 5th허들보다 6th허들에서 자세각이 작아지는 특성을 보였다.

4. 5th허들과 6th허들간의 스텝 길이

<Table 5>은 허들 간 스텝의 길이와 전체 길이를 나타낸 것이다. 첫 번째 스텝에 있어서는 평균 1.51 m의 길이를 보이면서 David Oliver가 1.57 m로 가장 긴 스텝 길이를 보인 반면에 Jason Richardson는 1.43 m로 가장 짧은 길이를 보였다. 두 번째 스텝 길이에 있어서는 평균 2.06 m로 첫 번째 스텝보다 긴 길이를 보였는데, Andrew Turner는 2.07 m로 가장 긴 특성을 보인 반면에 Liu Xiang은 2.01 m로 가장 짧은 특성을 보였다. 그리고 세 번째 스텝 길이에 있어서는 평균 1.88 m로 두 번째 스텝보다 짧은 길이를 보였는데, David Oliver가 가장 긴 2.05 m를 보인 반면에 Jason Richardson은 1.77 m로 가장 짧은 스텝 길이를 보였다. 구간에 대한 전체 길이를 보면, 평균 5.45 m를 보였고, David Oliver가 5.68 m로 가장 긴 길이를 보인 반면에 Jason Richardson는 5.29 m로 가장 짧은 길이를 보였다.

Table 5. Steps length between 5th and 6th hurdle (unit: m)

Step \ Subject	Richardson	Xiang	Turner	Oliver	*M*
1 step length	1.43	1.52	1.53	1.57	1.51
2 step length	2.09	2.01	2.07	2.06	2.06
3 step length	1.77	1.81	1.90	2.05	1.88
Total length	5.29	5.34	5.50	5.68	5.45

Ⅳ. 논 의

이륙국면에 있어서 이륙시간은 0.12 sec로 Turnar 선수의 6th을 제외하고 모든 선수들이 두 허들에서 소요되는 시간이 같다. 허들로부터 이륙지점까지의 거리(L1)은 5th와 6th 허들에서 각각 평균 2.13 m와 2.15 m로 나타났고 선수들 간에 편차가 크게 나타났지만 선수들 내에서는 차이가 작았다. 허들과 착지지점과의 거리(L2)는 5th와 6th 허들에서 각각 평균 1.50 m와 1.52 m로 나타났고 선수들 간에 편차가 크게 나타났지만 선수들 내에서는 작게 나타났다. 다만 Turnar 선수만이 0.13 m의 다소 큰 편차를 보였다.

Coh(2003)는 Colin Jackson 선수의 4th와 5th 허들을 넘을 때 이륙시간이 0.01 sec, 허들로부터 이륙지점까지의 거리가 2.09 m, 허들과 착지지점과의 거리가 1.58 m라고 보고하였다. Tsarouchas & Papadopoulos(1993)는 3th와 4th 허들에서 이륙시간이 0.01 sec, 허들로부터 이륙지점까지의 거리가 평균 2.11 m, 허들과 착지지점과의 거리가 평균 1.50 m라고 보고하였다. Taylor(1992)는 허들을 향해 차는 다리가 허들을 위를 넘어 서는 순간에 허들 아래로 힘차게 끌어당기면(0.91 m)수동적으로 수행한 동작(1.22 m)보다 허들과 착지지점과의 거리가 가까워진다고 보고하였다.

이 연구의 결과와 선행연구 간에 허들의 위치가 다르기 때문에 비교하기에는 다소 차이가 나타날 수 있으나 패턴을 비교하는 측면에서 보면 이륙시간, 허들로부터 이륙지점까지의 거리, 허들과 착지지점과의 거리 모두가 유사하게 나타났다. 그러나 Richarson과 Xiang 선수들처럼 허들로부터 이륙지점까지의 거리가 멀면 C.G.의 비행궤적이 허들 위를 낮게 비행하여 넘을 수 있으나 이러한 동작을 수행하기 위해서는 허들 간 스텝의 리듬, 스피드, 이륙순간의 파워(power)가 잘 조화를 이루어야하고 선수의 형태학적인 특성이 잘 고려되어야 한다(Coh & Dolenec, 1996). 그리고 허들과 착지지점과의 거리는 Richarson과 Oliver 선수가 짧았는데 이는 리드 다리를 능동적으로 끌어내리는 동작에 의해 나타나는 것으로 달리기 동작에 추진력을 더하는데 좋은 동작이라고 판단된다.

이심순간(H1)과 동심순간에서 C.G.의 높이(H2)는 5th와 6th 허들에서 선수들 간에 C.G.의 높이 차이는 있었지만 선수들 내에서의 변화는 없었다.

Coh(2003)는 Colin Jackson 선수가 이심순간(H1)과 동심순간에서 C.G.의 높이가 각각 0.95 m, 1.08 m라고 보고하였다. 이 연구에서 선행연구와 C.G.의 높이 차이는 선수들의 신장이나 하지장의 길이에서 나타나는 것으로 판단되며 일정한 C.G.의 높이를 유지하는 것은 일관성 있는 달리기 동작을 수행하고 있다고 할 수 있다.

C.G.의 이동거리(KSP)는 5th와 6th 허들에서 평균 1.07 m와 1.06 m로 나타났고 Oliver 선수가 두 허들에서 1.20 m이상으로 가장 긴 이동거리가 나타났다. 동심순간 C.G.와 허들과의 수평거리(X1)는 Richarson 선수가 5th와 6th 허들에서 각각 1.74 m와 1.83 m로 가장 멀리서 도약하였는데 이 거리는 이심순간에 C.G.와 허들과의 수평거리(X0)가 멀수록 멀리서 도약하였기 때문이다.

Coh(2003)는 Colin Jackson 선수의 4th와 5th 허들을 넘을 때 C.G.의 이동거리가 0.84 m, 동심순간 C.G.와 허들과의 수평

거리가 1.72 m라고 보고하였다. 이 연구에서 C.G.의 이동거리는 Richardson, Xiang, Turner, Oliver 선수들 모두 선행연구보다 길었는데 이는 허들을 빠르고 낮게 넘기 위함이며 또한 상체를 숙여 허들을 향해 신체를 던짐으로서 C.G.의 도약각을 낮추기 위한 것으로 판단된다.

이륙지점에서 C.G의 수평거리(W1)는 5th와 6th 허들에서 평균 0.65 m와 0.66 m로 나타났고, 이심과 동심순간의 발구름 다리의 자세각은 각각 평균 71.5°와 58.59°, 71.7°와 57.9°로 동심순간에 자세각이 작아지는 것으로 나타났다.

Ryu와 Chang(2011)은 동심순간에 발구름 다리의 자세각이 이심순간보다 작아야 허들을 향해 신체를 공격적으로 던질 수 있고 C.G.의 이동거리와 이륙지점에서 C.G의 수평거리가 길어야 이륙순간 도약각이 작게 되어 허들을 낮게 넘을 수 있다고 하였다 Coh & Dolenec(1996)는 이심순간에서 발구름 다리의 자세각도가 67° 전후이면서 가장 추진력 있는 발구름을 할 수 있다고 하였다. Coh, Jost, & Skof(2000)은 동심순간의 발구름 다리의 자세각도이 평균 71.65°라고 보고하였다.

이 연구에서는 선행연구 결과의 진술과 일치하는 것으로 나타났고 Coh, Jost & Skof(2000)의 결과와는 다르게 나타났다. Richardson, Xiang, Oliver 선수들처럼 이심과 동심순간의 발구름 다리의 자세각이 클수록 이륙지점에서 C.G의 수평거리가 길어짐으로 Turner 선수는 이심과 동심순간의 발구름 다리의 자세각의 변화를 크게 할 필요가 있다고 판단된다. 그리고 Coh, Jost & Skof(2000)의 결과가 다른 이유는 선수들의 경기력(14.65 sec) 차이 때문이라고 판단된다.

이륙국면에서 이심순간에서 동심순간으로 전환될 때 C.G.의 수평속도는 Xiang 선수가 5th에서 8.78 m/s에서 9.03 m/s로 증가하였고 나머지 선수들은 감속되었다. 그리고 C.G.의 수직속도는 Xiang와 Turner 선수가 각각 1.57 m/s와 1.51 m/s로 높게 나타났다.

Coh(2003)는 Colin Jackson 선수가 이심순간에서 동심순간으로 전환될 때 8.81 m/s에서 9.11 m/s로 증가된다고 보고하였다.

Xiang 선수의 경우 동심순간에 수평속도가 증가된다는 것은 리드 다리가 허들을 향해 힘차게 차면서 발구름하는 다리가 추진력 있게 신체를 허들을 향해 강하게 밀어주었기 때문에 증가된다고 판단된다. 따라서 이 연구의 선수들은 동심순간의 수평속도를 증가시킬 수 있는 기술 동작의 개선이 필요하다고 판단된다.

C.G.의 비행시간은 5th와 6th 허들 모두에서 평균 0.33 sec로 동일한 비행시간을 보였고, Richardson 선수 만이 6th 허들에서 0.35 sec로 긴 비행시간을 보였다. 비행국면에서 C.G.의 수평거리(W2)는 Richardson 선수가 5th와 6th허들에서 각각 3.11 m와 3.17 m로 가장 긴 비행을 하였다. 허들 위의 C.G. 높이(H3)에 있어서는 Xiang 선수가 5th와 6th 허들에서 각각 0.30 m, 0.30 m로 가장 높이 허들을 넘는 것으로 나타났다.

Coh(2003)는 Colin Jackson 선수(13.47 sec)의 경우 비행시간이 0.36 sec, C.G.의 수평거리(W2)가 3.25 m, 허들 위의 C.G. 높이(H3)가 0.45 m라고 보고하였다. Coh, Jost & Skof(2000)은 경기력이 14.65 sec로 비행시간이 0.40 sec, 허들 위의 C.G. 높이(H3)가 0.34 m라고 보고하였다.

이 연구에서는 Coh(2003)의 연구 결과와 차이가 있었는데 이는 선수들의 경기력 차이라고 판단되며 Richardson 선수의 비행시간과 C.G.의 수평거리(W2)가 가장 긴 것은 허들로부터 이륙지점까지의 거리가 가장 길었기 때문이라고 판단된다. 그리고 Xiang 선수의 허들 위 C.G. 높이(H3)가 높은 것은 동심순간(5th)에 수직속도가 높았기 때문이며 또한 동심순간(6th)에 발목의 속도가 너무 높았기 때문에 다른 선수들에 비해 높게 허들을 비행한 것으로 판단된다.

허들과 착지지점과의 거리(L2)는 5th와 6th에서 평균 1.50 m와 1.52 m로 나타났고 Turner 선수만이 1.66 m와 1.79 m로 가장 긴 거리로 착지하였다. 착지시 C.G.의 높이(H4) 변화는 5th와 6th에서 선수 개개인마다 차이가 있는 것으로 나타났다. 착지국면에서 착지지점과 C.G.와의 수평거리(W3)는 Xiang 선수(5th)가 0.01 m로 이심순간의 발구름 다리의 자세각이 89.6°로 수직에 가까울수록 그리고 이 각이 클수록 착지지점과 C.G.와의 수평거리가 작아지는 것으로 나타났다.

Coh, Jost & Skof(2000)은 허들과 착지지점과의 거리가 1.32 m, 착지시 C.G.의 높이가 1.23 m, 그리고 착지지점과 C.G.와의 수평거리가 0.15 m라고 보고하였다. Coh(2003)는 Colin Jackson 선수가 허들과 착지지점과의 거리가 1.58 m, 착지시 C.G.의 높이가 1.15 m, 그리고 착지지점과 C.G.와의 수평거리가 0.05 m라고 보고하였다.

이 연구에서 허들과 착지지점과의 거리는 Coh, Jost & Skof(2000)의 결과보다 길었고 Coh(2003)의 연구 결과 보다는 짧았다. Turner 선수는 리드 다리를 허들을 넘은 후 지면을 향해 수동적으로 끌어당겼기 때문이며 나머지 선수들은 능동적으로 힘차게 끌어당겼기 때문에 이 거리가 짧아진 것으로 판단되며 이러한 동작은 다음의 달리기 동작으로의 가속을 증가시킬 수 있다. 그리고 이심순간의 발구름 다리의 자세각을 작게 하면 착지지점과 C.G.와의 수평거리가 작아지는데 이러한 동작은 상체를 빠르게 세울 수 있게하고 3 스텝의 속도를 증가시킬 수 있게 하는 좋은 자세라고 판단된다.

착지국면 시 이심순간에서 동심순간으로 전환될 때 C.G.의 수평속도 변화는 5th와 6th 허들 모두에서 평균 8.61 m/s에서 8.68 m/s, 8.59 m/s에서 8.65 m/s로 증가되는 것으로 나타났으며 착지순간에 수직 하 방향으로 수직속도가 높을수록 수평속도의 증가가 작은 것으로 나타났다.

Coh(2003)는 Colin Jackson 선수의 수평속도가 8.41 m/s에서 8.53 m/s로 증가되었고 수직속도는 -1.32 m/s라고 보고하였다.

이 연구에서 수평속도와 수직속도 모두 선행연구의 결과보다 더 좋았으며 Richardson, Xiang, Turner 선수들은 수직속도를 더 감속시키고 수직속도를 더 증가시키면 경기력이 더 좋아질 것으로 판단된다.

이지순간에서의 무릎과 발목의 속도는 5th와 6th 허들 모두에서 평균 11.25 m/s에서 15.15 m/s, 10.76 m/s에서 15.20 m/s로 증가되는 것으로 나타났다. 그러나 Turner 선수는 5th와 6th 허들에서 발목의 속도가 13.51 m/s와 13.78 m/s로 빠르게 운동방향으로 당기지 못하는 것으로 나타났다.

Coh(2003)는 Colin Jackson 선수의 무릎속도가 12.65 m/s, 발목속도가 13.16 m/s라고 보고하였다.

이 연구의 결과가 Coh(2003)의 결과보다 훨씬 빠르게 무릎과 발목을 운동방향으로 이동시켰고 발목의 속도가 빠르다는 것은 착지 이후 1 스텝의 달리기 속도를 증가시키기 위함이라고 판단된다.

허들과 허들 사이의 보폭 변화는 모든 선수들이 1 스텝이 가장 짧고, 2 스텝이 길고, 3 스텝이 다시 짧아지는 변화를 보였다. 세 보폭의 총거리는 평균 5.45 m였다.

Coh(2003)는 Colin Jackson 선수의 보폭 변화도 1 스텝이 가장 짧고, 2 스텝이 길고, 3 스텝이 다시 짧아진다고 하였고 총거리는 5.50 m라고 보고하였다. Tsarouchas & Papadopoulos (1993)는 1 스텝이 평균 1.62 m로 가장 짧고, 2 스텝이 1.99m로 길고, 3 스텝이 1.92m로 다시 짧아지는 변화를 보였다. 세 보폭의 총거리는 평균 5.53 m라고 보고하였다.

이 연구에서 보폭의 변화는 선행연구 결과와 일치하는 것으로 나타났지만 총거리에는 차이가 있었다. 경기력이 좋은 Richardson과 Xiang 선수는 3 스텝의 보폭이 상대적으로 짧고 총거리도 짧았는데 이는 피치 빈도와 관련이

있는 것으로 판단되며 Turner와 Oliver선수는 3 스텝의 보폭을 조금 줄여 피치 빈도를 높인다면 허들로부터 이륙지점까지의 거리를 늘릴 수 있고 더 빠른 수평속도를 발생시킬 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결 론

이 연구는 2011 대구세계육상선수권대회에서 110 m 허들 결승에 진출한 국외 우수선수 4명을 대상으로 5th와 6th 허들을 넘는 기술의 특성을 분석하여 국내 남자 허들선수들의 경기력 향상을 위한 정량적 자료와 기술적 개선 방향을 제시하기 위하여 수행되었고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 이륙국면에 있어서 이륙시간은 0.12 sec로 모든 선수들이 두 허들에서 소요되는 시간이 같다. 허들로부터 이륙지점까지의 거리(L1)은 선수들 간에 큰 편차는 있었지만 선수들 내에서는 차이가 작았다. 허들과 착지지점과의 거리(L2)는 5th와 6th 허들에서 선수들 간에 편차가 크게 나타났지만 선수들 내에서는 작게 나타났다. Turnar 선수는 허들과 착지지점과의 거리를 일정하게 유지할 수 있는 기술 동작 개선과 훈련이 필요하다. 이심순간(H1)과 동심순간에서 C.G.의 높이(H2)는 5th와 6th 허들에서 선수들 간에 C.G.의 높이 차이는 있었지만 선수들 내에서의 변화는 없었다. C.G.의 이동거리(KSP)는 5th와 6th 허들에서 Richardson, Xiang, Turner 그리고 , Oliver 선수들 모두 이동거리가 길었고 이는 허들을 빠르고 낮게 넘고 상체를 숙여 허들을 향해 신체를 던지는 동작을 용이하게 하여 C.G.의 도약각을 낮추게 한다. 이심순간(H1)과 동심순간에서 C.G.의 높이(H2)는 5th와 6th 허들에서 선수들 간에 C.G.의 높이 차이는 있었지만 선수들 내에서의 변화는 없었다.

이륙지점에서 C.G의 수평거리(W1)는 5th와 6th 허들에서 Richardson, Xiang, Oliver 선수들처럼 이심과 동심순간의 발구름 다리의 자세각이 클수록 이륙지점에서 C.G의 수평거리가 길어지고 이심과 동심순간의 발구름 다리의 자세각은 동심순간에 자세각이 작아지는 것으로 나타났다. 그리고 Turner 선수는 이심과 동심순간의 발구름 다리의 자세각의 변화를 크게 할 필요가 있다. 이륙국면에서 이심순간에서 동심순간으로 전환될 때 C.G.의 수평속도는 Xiang 선수가 5th에서 8.78 m/s에서 9.03 m/s로 증가하였고 나머지 선수들은 감속되었다.

2. C.G.의 비행시간은 5th와 6th 허들 모두에서 평균 0.33 sec로 동일한 비행시간을 보였다. 비행국면에서 C.G.의 수평거리(W2)는 Richardson 선수가 가장 긴 비행을 하였고 허들 위의 C.G. 높이(H3)는 Xiang 선수가 가장 높이 허들을 넘었다.

3. 허들과 착지지점과의 거리(L2)는 5th와 6th에서 Turner 선수만이 가장 긴 거리로 착지하였다. 착지시 C.G.의 높이(H4) 변화는 5th와 6th에서 선수 개개인마다 차이가 있는 것으로 나타났다. 착지국면에서 착지지점과 C.G.와의 수평거리(W3)는 Xiang 선수(5th)가 이심순간의 발구름 다리의 자세각이 클수록 착지지점과 C.G.와의 수평거리가 작아지는 것으로 나타났다.

4. 허들과 허들 사이의 보폭 변화는 모든 선수들이 1 스텝이 가장 짧았고 이후 2 스텝이 길고 3 스텝은 다시 짧아지는 변화를 보였다. 보폭의 변화 패턴은 선행연구 결과와 유사했지만 총거리에는 차이가 있었다. 경기력이 좋은 Richardson과 Xiang 선수는 3 스텝의 보폭이 상대적으로 짧고 총거리도 짧았는데 이는 피치 빈도를 높이기 위함이다. 그리고 Turner와 Oliver선수는 3 스텝의 보폭을 조금 줄이고 피치 빈도를 높여 허들로부터 이륙지점까지의 거리를 늘릴 필요가 있다.

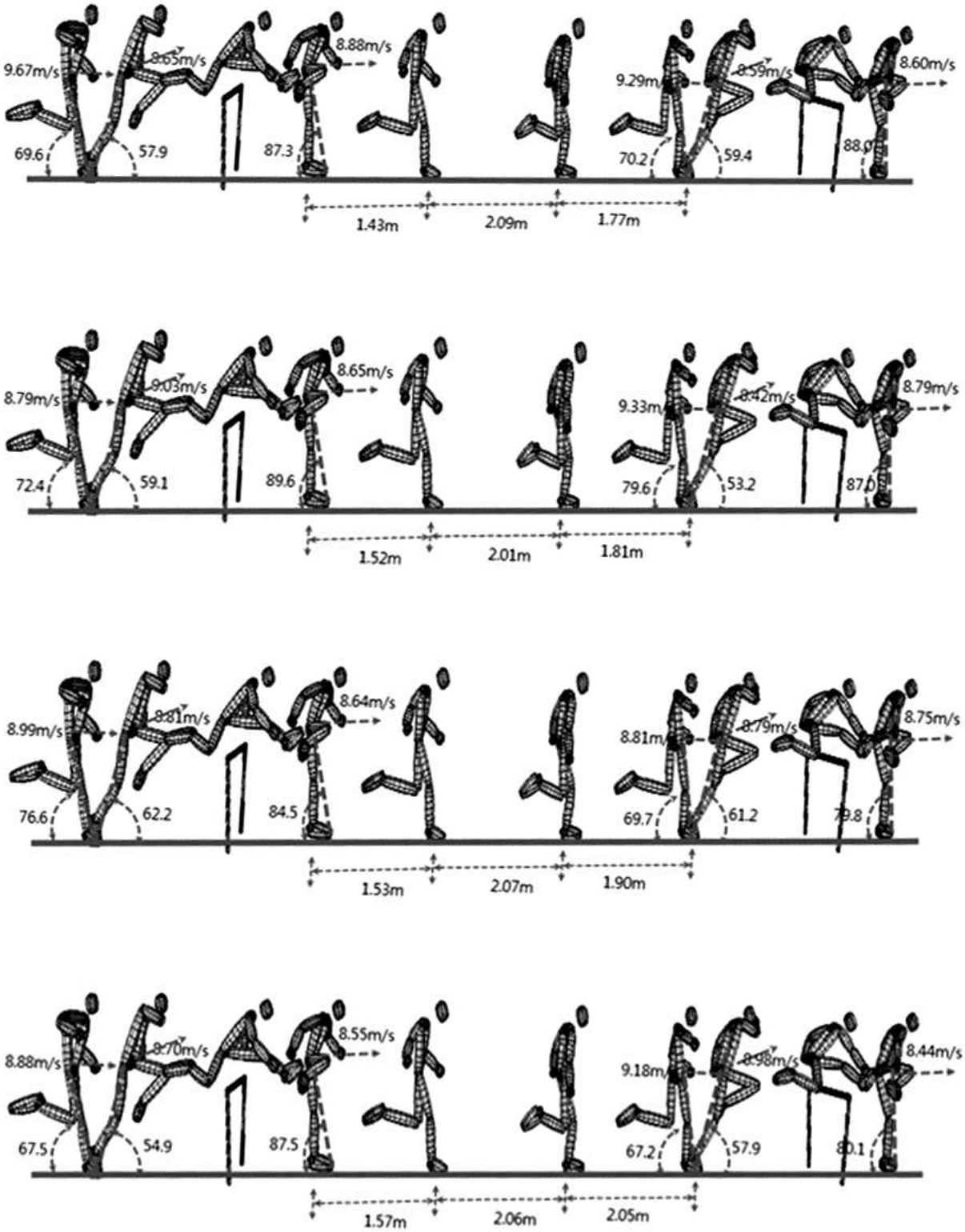

Figure 5. Top 4 rank athletes' kinematic data of 5th and 6th hurdling. (From top to down: Richardson(Rank1), Xiang(Rank 2), Turner(Rank 3) and Oliver(Rank4).

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.(2003). Biomenhanical analysis of Colin Jackson's hurdle cleara nce technique. *New Studies in Athletics, IAAF.* 18, 1, 3-57.

Coh, M, Jost, B. & Skof, B.(2000). Kinematic and dynamic analysis of hurdle clearance technique. ISBS-Conference Proceedings Archive, 18 International Symposium on Biomechanics in Sports.

Coh, M, Jost, B. & Skof, B.(2000). Kinematic and dynamic analysis of hurdle clearance technique. ISBS-Conference Proceedings Archive, 18 International Symposium on Biomechanics in Sports.

Dapena, J.(1991). Hurdle clearance technique. *Track and Field. Quarterly Review.* 116(3). 710-712.

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.(2003). Biomenhanical analysis of Colin Jackson's hurdle clearance technique. *New Studies Athletics.* IAAF. 18. 1. 37-45.

Coh, M., Kastelic, J., Pintaric, S.(1998). A Biomechanical model of the 100m-hurdles of Brigita Bukovec. *USA Track and Field Track Coach.* Winter. 142. 4521-4529.

Dapena, J.(1991). Hurdle clearance technique. *Track and Field.* 116, 3, 710-712.

Finch, A., Ariel, G. & McNichols, J. (2001). Kinematic analysis of hurdling performanxes at 2000 united states Olympc trials. http://www.sportsci.com/APASlite- tutorials/Studies /Hurdlinf.htm.

Harksen, R.(1999) Hurdles. NACACTFCA congress. http://www.nacactfca.org/articles/HarksenArticle.htm.

Hay, J. G.(1994) The biomechanics of sports techniques, 4th Ed. London: Prentice hall international, 31-46, 396-423.

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 100m-hurdles. *USA Track and Field.* Winter. 118, 5759-5766.

Hunter, J. P., Marshall, R. N. & Mcnair, P. J.(2004) Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 261-271.

Kang, S., & Im C.(2002). Analysis of Motion in 110m Hurdle Race(I): Linear Motion. *The Korean Journal of Physical Education.* **41(4),** 557-568.

Kim, H., Lee, J., & Kim, S.(2005). Kinematics of the men's 110m hurdle race. *The Korean Journal of Physical Education.* **44(1),** 341-351.

Kwon, Y. H.(2005). Kwon3D Motion Analysis Package. Version 3.1 Seoul, Korea: Visol Corp.

La Fortune, M. A.(1988). Biomechanical analysis of 110m hurdles. *Track and Field News.* 105, 3355-3365.

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.

Lim, G., Chung, C., & Lee, M.(1994). The Kinetic Analysis of the Men' 110m Hurdling Motion. *The Research Institute of Physical Education*, 19, 2, 57-74.

Mann, R. & Herman, J.(1985). Kinematic analysis of Olympic hurdle performance: Women's 100 Meters. *International Journal of Sport Biomechanics.* 1, 163-173.

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.

McLean, B.(1994). The biomechanics of hurding; Force plate analysis to assess hurding technique. *New Studies in Athletics.* 4, 55-58.

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. & Chang, J. K.(2011). Kinematic analysis of the hurdle clearance technique used by world top class woman's hurdler. *Korean Journal of Sport Biomechanics,* 21(2), 131-140.

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. & Marar, L.(1997). The 3-D biomechanical analysis of sprint hurdles at different competitive levels. *Medicine and Science in Sports and Exercise,* 29, 2, 231-237.

Salo, A., Grimshaw, P. & Vitasalo, J.(2001). The Use of Motion Analysis as a Coaching Aid to Improve the Indiwidual Techmique in Sprint Hurdles. http://coachesinto.com/ article /index.php?id=215&style=printable.

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.

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.

Susanka, p., Miskos, G., Millerova, V., Dostal, E. & Barac, F.(1998). Time analysis of the sprint hurdle events at the ⅡWorld Championships in Athletics. *New Studies Athletics.* IAAF. 11.1. pp. 63-69.

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

Tsarouchas, L., Kalan maras, K., Papadopoulos, K. & & Giavroglou, G.(1993). Approach phase for the clearance of the hurdle in the 110m high hurdles run. *Track & Field Quartely Review.* 93, 1, 40-45.

Yu, B. & Hay, J, G.(1995). Angular momentum and performance in the triple jump: Across-sectional analysis. *Journal of Applied Biomechanics*, 11. 81-102.