

여자 세단뛰기 운동수행의 일관성과 속도전환계수에 의한 최적의 국면비

류재균¹·장재관²

¹경희대학교 체육대학 스포츠지도학과 · ²경희대학교 체육대학 골프산업학과

The Velocity Conversion Coefficient and Consistency for the Optimal Phase Ratio on the Performance of the Women's Triple Jump

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 18 December 2015; Received in revised form 16 March 2015; Accepted 23 March 2015

ABSTRACT

Objective : The purpose of this study was to investigate the velocity conversion coefficient and invariance for the optimal phase ratio on the performance of the women's triple jump.

Methods : Three-dimensional kinematic data were obtained from the three finalists of the women's triple jumper competition at the 2011 Daegu IAAF World Championships. Computer simulations were performed using the biomechanical model of the triple jump to optimize the phase ratio for the longest actual distance for all athletes with altered velocity conversion coefficients.

Results : Top elite triple jumpers showed better technical consistency at the phase ratio. Also, no consistent relationship was observed between the loss in horizontal velocity and the gain in vertical velocity across supporting the three phase. In addition, regardless of the magnitude A1, all athletes were optimized with jump-dominated technique. Finally, as the magnitude of A1 increased, the athletes showed better performance. The obtained overall distance jumped showed the longest actual distance when the optimal phase ratio was transferred from hop-dominated to jump-dominated(the step ratio was 30%~31%), and when the optimal phase ratio was transferred from balanced to jump-dominated(the step ratio was 27%~29%).

Conclusion : Future studies need to be conducted in order to explore the active landing motion and the inclination angle of the body with the velocity conversion coefficient simultaneously at each supporting phase.

Keywords : Optimal Phase, Velocity Conversion Coefficient, Ratio, Consistent, Invariance

I. 서 론

세단뛰기는 네 개의 도약종목 중 하나로서 빠른 스피드로 연속하여 세 번의 점프를 수행하기 때문에 기술과 체력이 요구되는 종목이다(Liu & Yu, 2012). 세단뛰기의 기술 유형은 각 국면거리를 측정된 거리로 나누고 이를 퍼센티지로 환산하

여 기술을 분류하고 있으며, 홉 강조형, 점프 강조형 및 밸런 스 형(Hay, 1992)으로 구분한다. 그리고 또 다른 기술유형은 팔 동작의 유형에 따라 달리기 동작처럼 비대칭 방식으로 팔이 움직이는 싱글 암 유형, 팔이 신전된 자세로 출발하여 각 국면 이륙순간에 상완이 대칭적으로 굴곡 되는 더블 암 유형, 그리고 세단뛰기 세 국면을 수행하는 동안에 싱글 암과 더블 암을 결합시킨 복합 유형으로 크게 분류한다(Allen, King & Yeadon, 2010). 세단뛰기 경기력과 관련된 연구들의 주요 분석 요인으로는 구름판 발구름시 구름발의 발끝에서 모래사장 착지시 가장 가까운 거리를 실제 뛴 거리로 정의하고 각 국면 의 거리를 퍼센티지로 표현한 국면비와 기술 유형, 수평·수직

Corresponding Author : Jae-Kyun Ryu
Department of Coaching, Kyunghee University, 1732
Deagyeong-daero, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea
Tel : +82-31-201-3765
E-mail : ryu69kor@khu.ac.kr
본 연구성과는 경희대학교 KHU-20130700의 지원에 의한 연구결과임

속도 전환(gain & loss velocity), 그리고 속도 전환계수를 통한 최적의 세단뛰기 기술 정량화 및 싱글 암과 더블 암의 이로움에 연구의 초점을 맞추고 있다(Allen, King & Yeadon, 2010, 2013; Liu & Yu, 2012; Song & Ryu, 2010).

세단뛰기 최적의 국면비가 실제 뛴 거리(actual distance)에 영향을 미치고, 세 국면 거리의 효율적인 분배의 노력은 기술적인 요인으로 심도 있게 고려되어야 한다. 이러한 분배는 각 국면에서 운동학적 변인인 수평·수직속도 전환 사이의 관계가 서로 독립적인 관계에 있기 때문에 선수 개개인별로 자신에 적합한 국면비가 존재하며(Liu & Yu, 2012; Yu, 1999; Yu & Hay, 1996; Ryu, 2005; Song & Ryu, 2010), 수평·수직속도 전환 사이의 선형 관계에서의 기울기는 속도 전환계수와 관련이 있으며 이를 근거로 기술 유형을 결정짓는다(Liu & Yu, 2012; Yu, 1999; Yu & Hay, 1996). 그리고 각 국면 발구를 동작에서 접지와 이륙 자세가 일정하게 유지된다고 가정할 때 수평과 수직속도 사이의 전환 관계로 선수들의 국면비를 결정할 수 있다고 하였다(Allen et al., 2013). 또한 세단뛰기 팔 스윙 동작이 수평·수직속도 전환 사이에 통계적으로 유의한 관계가 있으며 싱글 암 동작이 더블 암 동작에 비해 수평·수직속도 전환 비율이 낮다고 하였다. 특히 세단뛰기 팔 스윙 기술의 시뮬레이션 연구에 더블 암 스윙 기술이 각 국면 지지 순간에 운동에너지를 증가시키기가 용이하다는 이점이 있다고 하였다(Allen et al., 2010). 이처럼 세단뛰기 선행연구들은 엘리트 선수들을 대상으로 시행 시기 중 가장 좋은 기록을 발휘한 시기를 분석대상 시기로 선택하여 운동학적 운동역학적 사이에 변인들을 조사하여 그 특성들을 보고하였고, 이러한 연구들의 결과는 기록이 우수한 선수의 운동수행에 대한 형태학적 특성을 밝히는데 크게 공헌하였다. 그리고 이러한 결과를 바탕으로 경기력이 우수한 선수로 판정하여 모델로 제시였다. 물론 대회에서 순위를 결정하기 위해서는 최고기록이 우선되어야 한다. 그러나 경기력이 우수하다는 것은 한 번의 경기력으로 평가되기 보다는 얼마나 일관성 있게 경기력의 편차가 작은지를 평가하는 것이 바람직할 것이다.

운동기술 수행의 가변성은 인체 운동시스템에 있어 불가피한 특징으로서 주어진 운동 종목의 기술 과제에 숙련되기 위해서는 많은 반복 수행을 통해 운동 패턴을 재현하고 시도할 때 가변성이 감소한다(Maraj, Elliott, Lee & Pollock, 1993). 세계 엘리트 선수들의 경기력 수준은 이미 최고의 정상에 도달해 있다는 것은 현장의 코치나 감독 그리고 연구자들도 인정하고 있는 사실이며, 경기에 참가한 선수들의 몸 상태와 환경 조건에 따라 운동기술 수행의 가변성이 일어날 수 있지만 대부분의 선수들이 최상의 몸 컨디션 상태에서 경기에 참가하고 경기 몇 일전에 경기 주최 장소의 환경에 적응하기 위해 미리

경기장에서 훈련을 하고 있다는 것은 명백한 사실이다. 그럼에도 불구하고 왜 엘리트 선수들은 훈련을 통해 수천 번의 동작연습을 하였는데도 “여섯 번의 시기에서 기록이 일정하지 못하고 각 시기마다 경기력의 차이가 생길까?”라는 의문을 갖게 한다. 이 연구의 목적은 세단뛰기 실제거리로 각 국면의 국면비를 산출하여 운동수행을 통해 기술 유형의 일관성과 세단뛰기 각 지지국면동안에 수평속도 손실(loss)과 수직속도 이득(gain)사이의 속도 전환계수(velocity conversion coefficient)를 산출하여 최적화 된 국면비를 조사하는 것이다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

이 연구의 대상자는 2011년 대구세계선수권대회 여자 세단뛰기 결승에 진출하여 1위에서 3위에 입상한 선수 3명을 연구 대상으로 선정하였다. 분석된 시기들(trials)은 세단뛰기 전 동작을 완전히 수행한 유효시기와 무효시기로 이중 모래사장에 완전한 착지동작으로 수행되지 않은 3개의 시기들은 분석에서 제외시켰다(Table 1).

2. 실험 방법

6대의 Sony 비디오카메라(PD170)는 60 frames/sec의 프레임 속도로 도움닫기 마지막 3(three) 스트라이드에서 모래사장 착지까지 세단뛰기 운동수행을 하는 대상자의 19개 신체 관절점들을 DLT(Direct Linear Transformation)방법을 통해 3차원 좌표값을 수집하고 통제점 틀을 통해 3차원 실 공간 좌표의 체적을 얻기 위하여 촬영에 사용되었다.

6대의 비디오카메라의 위치와 통제점 틀간의 간격과 위치는 <Figure 1>과 같이 설치하였고, 비디오카메라는 관중의 촬영 방해로 방지하기 위하여 2층 난간에 자체 제작한 카메라 고정용 바인더를 이용하여 고정시켰다. 그리고 3대의 카메라(camera 3, 4, 5)는 도움닫기 주로를 따라 일렬로 나열하여 촬영 구간이 중첩되도록 하였고, 중첩되는 구간에 통제점 틀의 한 축이 anchor points가 되도록 하여 촬영하였다. 비디오카메라 노출시간은 1/500 sec로 설정하였다. 도움닫기 주로를 따라서 설치한 7개의 통제점 틀에서 84개의 통제점들은 도움닫기 마지막 3(three) 스트라이드, 흡, 스텝 그리고 점프가 수행되는 공간을 조합된 캘리브레이션 체적(calibration volume: 25 m long x 1 m wide x 2 m high)으로 만들어 카메라 캘리브레이션에 사용하였다. 캘리브레이션 오차는 1.04 cm였다.

전역좌표계의 정의는 X축을 운동방향인 Y축과 직교하며 양의 방향을 도움닫기 주로의 오른쪽으로 설정하였고, Y축은 도움닫기 주로와 평행하며 운동을 수행하는 방향으로 설정하였다. Z축은 도움닫기 주로의 지면에 직교하며 위쪽 방향으로 설정하였다.

비디오테이프에 녹화된 통제점 틀과 선정된 시기들(trials)은 Kwon3D Motion Analysis software(Visol, Korea, CO)를 이용하여 샘플링 주파수(sampling frequency) 60 Hz로 디지털화(digitizing) 하였다.

Table 1. Heights and masses of the subjects and official distances, actual distances, phase distances and phase ratio of the trials used for the computer simulation

Subjects	Height (m)	mass (kg)	Official Distance(m)	Actual Distance(m)	Hop Distance (m)	Step Distance (m)	Jump Distance (m)	Phase Ratio (%)
Olha	1.76	58	14.94	15.13	5.74	4.27	5.12	38:28:34
			14.68	14.95	5.69	4.09	5.17	38:27:35
			14.65	14.87	5.63	4.15	5.09	38:28:34
			14.48	14.72	5.60	4.01	5.11	38:27:35
			Foul	15.07	5.28	4.10	5.69	35:27:38
			14.72	15.07	5.33	4.24	5.50	35:28:36
Olga	1.83	62	Foul	14.75	5.34	4.10	5.31	36:28:36
			Foul	14.89	5.27	4.20	5.42	35:28:36
			14.89	15.13	5.40	4.26	5.47	36:28:36
			14.54	14.83	5.53	3.87	5.43	37:26:37
			14.64	14.91	5.81	3.96	5.14	39:27:34
			14.67	14.85	5.58	4.40	4.87	38:30:33
Caterine	1.80	70	14.81	15.10	5.70	4.27	5.13	38:28:34
			14.84	14.97	5.44	4.36	5.17	36:29:35
			14.80	15.10	5.76	4.14	5.20	38:27:34

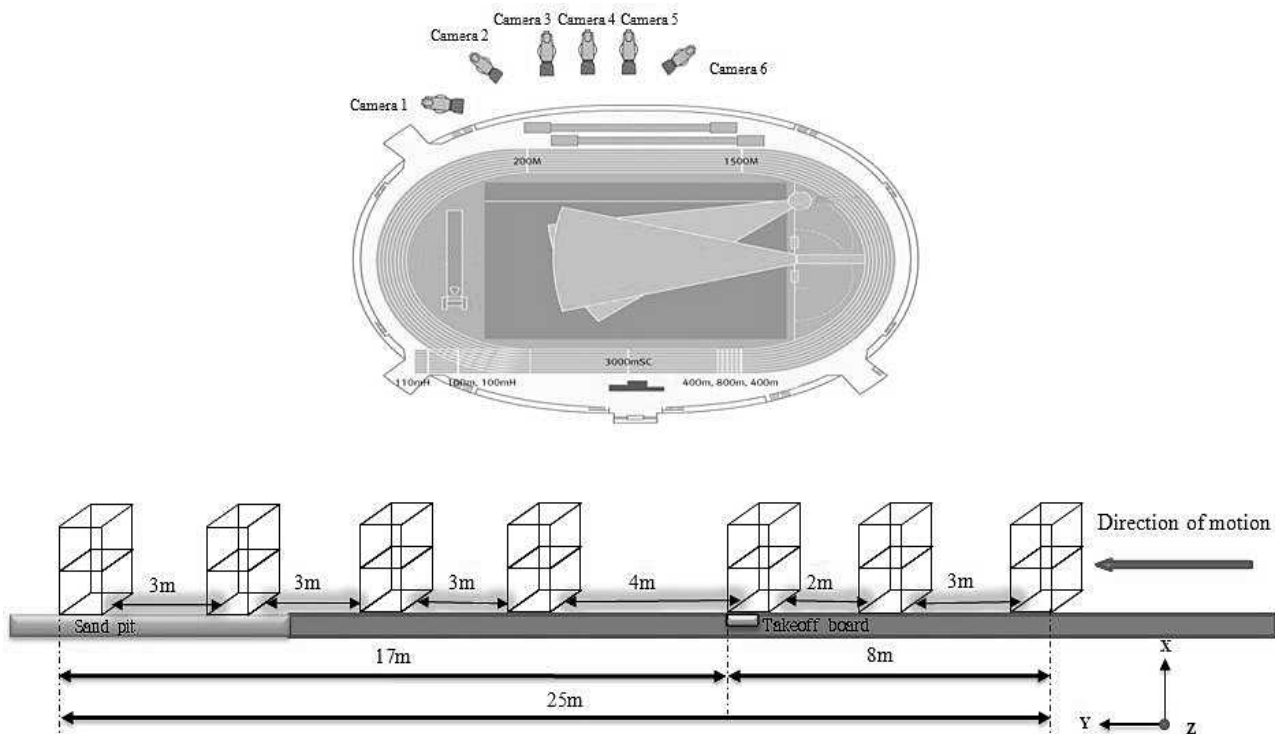


Figure 1. Multi-camera experimental set-up for a 3-D kinematic analysis of the triple jump

19개의 신체 관절점과 14개 분절 중심의 실 공간 3차원 좌표값은 DLT방법(Abdel-aziz & Karara, 1971)을 사용하여 산출하였고, 원(raw) 2차원 과 3차원 좌표값은 4차 버터워스 저역 통과 필터(fourth-order Butterworth low-pass filter)로 노이즈를 제거하였고 이때 차단주파수(cut-off frequency)는 7.4 Hz로 설정하였다(Yu & Hay, 1995). 각 분절과 전신 무게중심의 3차원 좌표값을 구하기 위한 인체분절지수(body segment parameter)는 Plagenhoef(1983)의 자료를 이용하였다. 6대의 비디오카메라에 대한 동조는 4보(third stride), 구름판(흙), 스텝, 점프 이륙순간으로 4개의 동조시점을 설정하여 Kwon3D 3.1 소프트웨어에 내장되어 있는 perform software genlock 기능을 이용하여 동조시켰다.

3. 자료 분석

접지(touchdown)와 이지(takeoff)는 도움닫기 마지막 3 스트라이드에서 발이 지면에 닿는 순간과 떨어지는 순간의 이벤트로 정의하였고, 홉, 스텝, 점프에서는 발이 지면에 닿는 순간을 도움닫기와 동일하게 명명하였고 떨어지는 순간은 이륙(takeoff) 이라고 정의하였다. 그리고 모래사장에 양발이 닿는 순간을 착지(landing)라고 하였다. 도움닫기 마지막 3 스트라이드의 접지와 이지순간과 홉, 스텝, 점프에서 접지와 이륙순간의 수평과 수직속도, 각 지지국면동안에 수평속도 손실(loss)과 수직속도 이득(gain), 각 국면에서 이륙거리와 접지거리 및 모래사장의 착지거리 그리고 홉, 스텝, 점프의 높이들(heights)은 선정된 실제의 시기들(trials)에서 계산되었다(Figure 2).

각 지지국면이 i ($1 = hop, 2 = step, 3 = jump$)일 때 이륙과 접지순간의 신체중심의 수평속도, 수직속도는 아래의 수식(1, 2, 3)을 통해서 산출되었다.

그리고 각 국면의 거리는 이륙거리, 비행거리와 접지(착지:

점프국면)거리의 합으로 계산하였고, 비행거리(4)는 투사체 운동방정식을 이용하여 산출하였다.

$$v_{y(zt),i} = \frac{y_{(zt),i} - y_{(to),i}}{\Delta t} \quad (1)$$

$$v_{z(zt),i} = \frac{z_{(zt),i} - z_{(to),i} + 0.5g\Delta t}{\Delta t} \quad (2)$$

$$v_{z(zt),i} = v_{z(zt),i} - g\Delta t \quad (3)$$

$$d_{(ft),i} = v_{y(zt),i} \frac{v_{z(zt),i} + \sqrt{v_{z(zt),i}^2 - 2g(z_{(zt),i} - z_{(to),i})}}{g} \quad (4)$$

각 지지국면에서 신체중심의 수평속도 손실과 수직속도 이득은 아래의 수식(5, 6)을 통해서 산출하였다. 제시된 수식의 산출 방법은 선행연구(Yu & Hay, 1996; Yu, 1999)에 세부적인 사항들이 자세히 기술되어 있다.

$$\Delta v_{y,i} = v_{y(zt),i} - v_{y(to),i} \quad (5)$$

$$\Delta v_{z,i} = v_{z(to),i} - v_{z(zt),i} \quad (6)$$

이 연구에서 통계처리는 Yu와 Hay(1996) 그리고 Yu(1999)의 연구에서 제시한 더미 변수들(dummy variables)을 사용한 다중회귀분석(Kleinbaum, Kupper & Muller, 1987)을 통해 각 선수들이 뛸 시기의 세 지지국면 동안에 Δv_y 와 Δv_z 사이의 관계를 결정하였다. 그리고 더미 변수를 이용한 다중회귀분석은 통계적인 절차로서 단순회귀모델을 사용한 다른 회귀방정식과 비교하기 위하여 사용되었다. Yu와 Hay(1996) 그리고 Yu(1999)의 연구에서 제시한 각 지지국면에서의 수평속도 손실($\Delta v_{y,i}$)를 수직속도 이득($\Delta v_{z,i}$)의 함수로 표현한 다중회귀방정식과 홉, 스텝과 점프에서의 회귀방정식은 아래와 같다.

$$\Delta v_{y,i} = A_0 + B_0\beta + A_1\Delta v_{z,i} \quad (7)$$

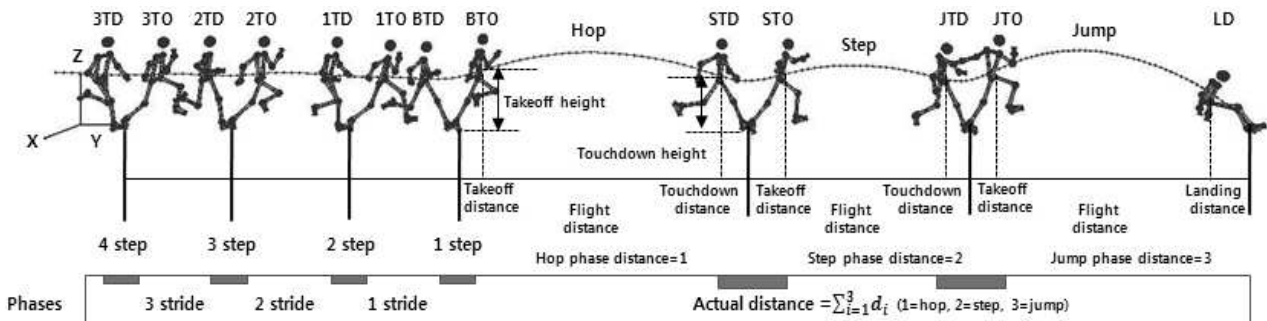


Figure 2. The last three strides of the approach run, takeoff and touchdown distance, landing distance, flight distance, each phase distance, takeoff and touchdown height and actual distance. TD: touchdown, TO: takeoff, BTD: board touchdown, BTO: board takeoff, STD: step touchdown, STO: step takeoff, JTD: jump touchdown, JTO: jump takeoff and LD: landing

($\beta=0$ for $i=1$, $\beta=1$ for $i=2$ and $i=3$)

A_1 은 속도전환계수이며 A_0 와 B_0 는 회귀계수이다.

홉 지지국면에 대하여

$$\Delta v_{y,1} = A_0 + A_1 \Delta v_{z,1} \quad (8)$$

스텝과 점프에 대하여

$$\Delta v_{y,i} = (A_0 + B_0) + A_1 \Delta v_{z,i} \quad (9)$$

분석된 속도전환계수(A_1)를 이용하여 회귀계수 A_0 와 B_0 의 크기는 A_1 의 함수로서 계산하여 결정하였다. 그리고 속도전환계수(A_1)과 회귀계수 A_0 와 B_0 사이의 관계를 결정하기 위하여 다항회귀분석(polynomial regression analysis)을 하였고, 속도전환계수(A_1)의 효과를 검증하기 위하여 각 선수들이 뽀시기에 적용하여 최적의 국면비와 뽀 전체 거리를 산출하였다.

이때 독립변인은 세 지지국면에서의 수직속도 이득($\Delta v_{z,i}$)을 사용하였다. 각 국면에서 이륙거리와 착지거리는 평균치를 사용하였고, 각 선수들에 대한 $v_{y(td),1}$, $v_{z(td),1}$, $z_{(to),i}$ 와 $z_{(td),i}$ 의 크기는 각각의 선수들이 수행한 시기들을 평균치로 보정하여 최적화 국면비와 국면거리를 산출하였다.

그리고 각 국면에서 이륙순간의 수평속도를 산출하기 위하여 홉에서 접지순간의 수평속도를 모든 국면에 초기 조건으로 적용하고 수직속도 변화를 통해 수평속도 변화를 예측하였다. 이 최적화된 국면비, 국면거리, 비행거리와 뽀 전체거리는 Matlab 2012b 프로그램을 이용하여 산출하였다. 수집된 모든 자료의 통계 분석은 SAS ver. 6.1 통계 프로그램 패키지(IBM Corp. USA)를 이용하여 수행되었고, 유의수준은 $\alpha < .05$ 로 설정하였다.

Table 2. Regression coefficients(A_1 , A_0 , and B_0) for the linear relationship between the loss in horizontal velocity and the gain in vertical velocity, correlation coefficients(r) and P -values of the overall regression

Subjects	A_1	A_0	B_0	r	P
Olha	0.993	-1.498	-2.275	0.98	0.020
Olga	0.270	-0.277	-1.279	0.95	0.005
Caterine	0.888	-1.630	-0.095	0.87	0.046

Table 3. Optimized phase distances, phase ratio and corresponding overall distances(hop+step+jump) jumped

Subjects	A_1	Official Distance (m)	Actual Distance (m)	Phase distance(m)			Phase Ratio (%)	Overall Distance (m)
				Hop	Step	Jump		
Olha	0.993	14.94	15.13	4.91	5.13	6.38	30:31:39	16.42
		14.68	14.95	4.65	4.86	6.14	30:31:39	15.65
		14.65	14.87	4.35	4.97	6.25	28:32:40	15.57
		14.48	14.72	4.75	4.87	6.42	30:30:40	16.04
		Means		4.66	4.96	6.30	29:31:40	15.92
Olga	0.270	Foul	15.07	4.50	4.37	6.89	29:28:44	15.76
		14.72	15.07	5.01	4.35	7.08	30:27:43	16.44
		Foul	14.75	5.10	4.46	7.17	30:27:43	16.73
		Foul	14.89	4.68	3.96	6.63	31:26:43	15.27
		14.89	15.13	4.68	4.71	7.13	28:29:43	16.53
		14.54	14.83	4.81	4.51	6.52	30:29:41	15.84
Means		4.80	4.39	6.91	30:27:43	16.10		
Caterine	0.888	14.64	14.91	5.46	5.19	6.21	32:31:37	16.86
		14.67	14.85	5.25	4.93	6.27	32:30:38	16.44
		14.81	15.10	5.32	5.16	6.22	32:31:37	16.71
		14.84	14.97	4.99	4.72	6.52	31:29:40	16.23
		14.80	15.10	5.20	5.10	6.17	32:31:37	16.47
		Means		5.24	5.02	6.28	32:30:38	16.54

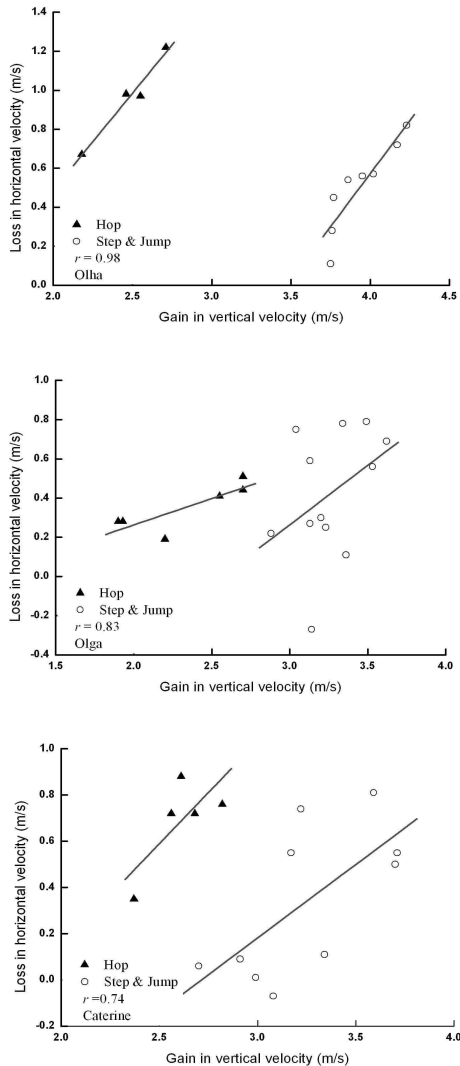


Figure 3. The relationship between the loss in horizontal velocity and the gain in vertical velocity during the three support phases for three jumpers

III. 연구결과

세단뛰기 실제거리로 각 국면의 국면비를 산출한 결과, 선수들의 기술 유형의 일관성은 Olha와 Catherine 선수들은 각각 100%와 80% 홉 강조형(hop dominant) 기술을 사용하여 운동을 수행하고 있었고, Olga선수는 83% 밸런스 형(balance) 기술을 사용하는 것으로 나타났다. 그러나 Olga와 Catherine 선수들의 경우 각각 1번씩 점프 강조형과 밸런스 형의 기술로 수행하였으며 특히 Catherine 선수는 최고 기록에서 밸런스 형 기술을 사용하였다(Table 1).

전체 회귀식들에 대한 상관계수는 $r=.89$ 에서 $r=.98$ 의 범위 내에 있었고, P 값은 0.046보다 작게 나타났다(Table 2).

그리고 A_1 의 함수로 표현된 A_0 와 B_0 의 회귀계수는 아래와 같은 회귀식으로 표현할 수 있다(Figure 4). Yu(1999)는 세단뛰기 수평과 수직속도 전환이라 연구에서 제시한 A_1 의 함수로 표현된 A_0 와 B_0 의 회귀식이 남녀 선수 구분 없이 일괄적으로 적용하여도 된다고 하였으나 이 연구에서 여자선수들만으로 분석한 결과, 회귀식의 기울기인 A_1 의 계수 차이가 큰 것으로 나타났다.

$$A_0 = 0.267 - 1.916A_1$$

$$B_0 = -0.573 - 0.762A_1^2$$

최적화한 결과, $A_1(A_1 > 0.6)$ 의 크기가 높거나 혹은 낮은 $A_1(A_1 < 0.6)$ 크기에 관계없이 3명의 선수들의 모든 시기들이 점프 강조형 기술로 최적화 되었다. Olha와 Catherine선수는 홉 강조형에서 점프 강조형으로 최적화되었고, Olga선수의 경우 밸런스 형에서 점프 강조형으로 최적화되었다. 그리고 A_1 의 낮은 수치를 가진 선수보다 A_1 의 높은 수치를 가진 선수의 경기력이 평균적으로 더 멀리 뛰는 것으로 나타났다. 또한 Olha와 Catherine선수는 스텝의 국면비가 30%~31%일 때 가장 멀리 뛰었고, Olga선수는 27%~29%일 때 가장 멀리 뛰는 것으로 나타났다(Table 3).

IV. 논 의

Maraj et al.(1993)은 주어진 운동 종목의 기술 과제에 숙련된 선수일수록 운동기술 수행의 가변성이 작고 보고한 것처럼 이 연구에서도 각 국면의 국면비를 통한 선수들의 기술 유형의 일관성이 높게 나타나 일치되는 결과가 나타났다. 그리고 각각의 시기에서 수행되는 운동기술의 일관성은 숙련된 운동수행의 특징으로서 편 전체 거리의 가변성은 그 운동을 수행하는데 소요되는 상대적 시간 가변성에 의해 결정된다(Maraj et. al.,1993). 따라서 Catherine 선수처럼 최고 기록에서 다른 기술유형이 나타난 것은 운동을 수행하는 각 국면에서 소요되는 시간의 가변성으로 나타나는 결과라고 판단된다.

각 지지국면에서의 수평속도 손실($\Delta v_{y,i}$)과 수직속도 이득($\Delta v_{z,i}$)의 관계는 의의 있는 선형관계가 모든 선수들에게서 일관되게 나타나지 않았다(Figure 3). Yu와 hay(1996) 그리고 Yu(1999)는 각 지지국면에서의 수평속도 손실($\Delta v_{y,i}$)과 수직속도 이득($\Delta v_{z,i}$)의 관계가 일관된 선형관계가 나타났다고 보고한 반면 Allen et al.(2013)은 일관되지 않은 선형관계로

나타나며 다만 수평속도의 손실($\Delta v_{y,i}$)이 각 지지국면에서 이륙순간에 수직속도의 크기와 선형관계에 있다고 보고하였다. 이 연구에서 선행연구의 두 결과를 모두 보인 이유는 선정된 선수의 경기력 차이가 가장 크다고 판단된다. Yu와 Hay(1996)는 남자만을 그리고 Yu(1999)는 남녀 모두를 연구 대상으로 하였고, Allen 등(2013)은 남자 1명의 선수를 연구대상자로 하였다. 그러나 가장 큰 이유는 남녀가 수행하는 세단뛰기 기술의 차이가 속도의 관계에 영향을 미친다고 생각한다. 남자의 경우 힘과 속도를 병행한 파워풀한 기술을 수행하기 때문에 Yu와 hay(1996)의 연구 결과와 같이 수평과 수직속도 변화에 선형관계가 나타나며 더불어 경기력의 차이에서도 나타난다.

여자의 경우는 속도에 많이 의존하여 기술을 수행하기 때문에 선형관계 혹은 일관되지 않는 선형관계 모두가 나올 수 있다는 것이다. Allen 등(2013)은 수평속도 손실과 수직속도 이득의 전환에서 선형관계가 나타나지 않는 것은 각 국면 접지순간에 신체의 기울기 각 차이에서 기인한다고 하였다. 그러나 무엇보다 수평속도 손실과 수직속도 이득이 선형관계일 때 경기력이 우수하게 나타나는 것이 일반적인 것으로 이는 수평속도 손실과 수직속도 이득의 전환관계가 최적화임을 의미한다.

이 연구에서 회귀계수들 사이의 관계는 $r = .89$ 이상으로 높은 상관관계로 통계적($p < .046$)으로 유의하게 나타났다(Table 2). 이와 같은 결과는 Yu와 hay(1996) 그리고 Yu(1999)의 연구 결과와 일치하였고, 이 회귀계수들과의 관계는 회귀계수 A_1 이 수평·수직속도 전환계수와 관련이 있다는 것을 의미한다. A_1 의 함수로 표현된 A_0 와 B_0 의 회귀계수(Figure 4)는 Yu(1999)의 회귀식과 기울기에서의 변화에 차이가 크게 나타났는데 이는 남녀 모두의 자료를 사용한 것과 이 연구에서처럼 여자선수들만으로 분석한 결과의 차이에서 기인한 것으로

판단된다. 더불어 Yu(1999)는 이 회귀계수들의 관계가 각 지지국면에서의 수평속도 손실($\Delta v_{y,i}$)과 수직속도 이득($\Delta v_{z,i}$)에 영향을 미치며, 각 지지국면에서 동일한 수직속도 이득을 위해서는 홉 지지국면 동안에 수평속도 손실이 스텝과 점프의 지지국면보다 B_0 m/s 만큼 더 커야한다고 하였다. 그러나 이와 같은 논리는 수식에서는 타당하지만 수행하는 동작에서의 비행거리와 높이를 고려한다면 홉 지지국면에서 스텝과 점프의 지지국면보다 B_0 m/s 만큼 더 클 수 없음을 알 수 있다.

$A_1(A_1 > 0.6)$ 의 크기가 높거나 혹은 낮은 $A_1(A_1 < 0.6)$ 크기에 관계없이 이 연구의 대상자들은 모든 시기들이 점프 강조형 기술로 최적화 되었다. 이는 Yu와 hay(1996)의 연구 결과에서 모든 세단뛰기 선수들에게 있어 단일 최적화 기술이 존재하지 않는다고 보고한 것과 다른 결과가 나타났다. Yu와 hay(1996) 그리고 Yu(1999)는 작은 수직속도 이득을 위해서는 A_1 의 크기가 클수록 수평속도 손실이 작고, 반면에 큰 수직속도 이득을 위해서는 A_1 의 크기가 작을수록 수평속도의 손실이 작다고 하였다. 따라서 큰 A_1 을 가진 선수는 각 국면 지지 순간에 수평속도의 감속을 줄여 높은 수평속도를 유지하면서 작은 수직속도 이득을 얻도록 해야 하고, 작은 A_1 을 가진 선수 또한 충분한 수평속도를 유지하면서 큰 수직속도 이득을 얻도록 해야 한다.

Liu와 Yu(2014)는 A_1 의 크기가 0.55이하 일 때 홉 강조형 기술이 최적의 기술 유형이고 0.80이상 일 때에는 점프 강조형 기술이 최적의 기술 유형이라고 하였는데 이 연구의 결과는 A_1 의 크기가 0.55이하 일 때 점프 강조형으로 최적화 되었고, 0.80이상 일 때도 점프 강조형으로 나타나 상반된 결과가 나타났다.

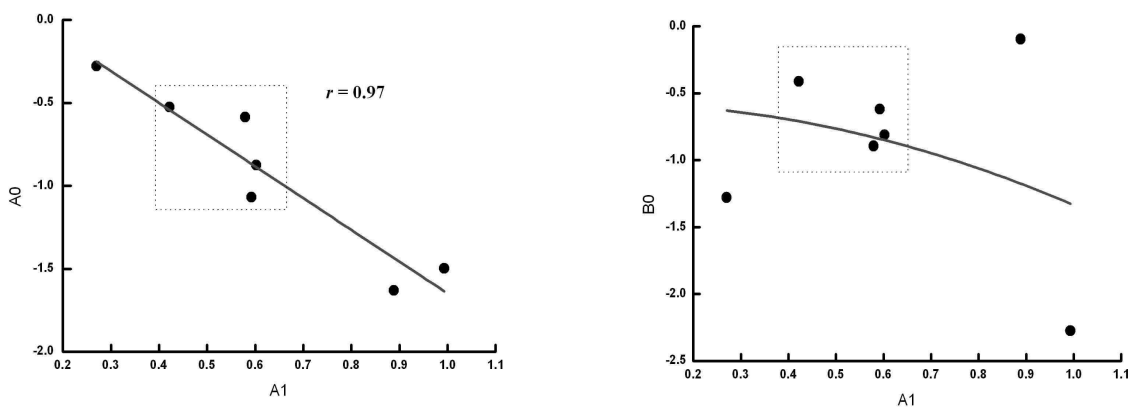


Figure 4. The relationship between regression coefficients: A_0 vs A_1 ; B_0 vs A_1 , The four regression coefficients inside of square used to females data of Yu(1999)

이와 같은 결과가 제시하는 것은 Lee, Fowler와 Derby (1993) 그리고 Koh와 Hay(1990) 연구자들이 A_1 의 크기와 관련하여 발구름 동작과 상체의 자세를 함께 고려하여야 최적화된 국면비와 기술 유형을 결정할 수 있다고 주장하는 것처럼 수평속도 손실과 수직속도 이득의 관계로 주어진 A_1 의 크기에 따라 최적화된 세 가지 기술 유형이 결정되어지는 것과 더불어 최적화를 위해 주어진 초기 조건인 접지와 이륙순간의 신체중심 높이, 접지거리와 이륙거리와 같은 변인들과 발구름 동작 및 상체의 자세와 연관하여 최적화 된 국면비와 기술 유형을 결정해야 한다고 판단된다.

A_1 의 낮은 수치를 가진 선수보다 A_1 의 높은 수치를 가진 선수의 경기력이 평균적으로 더 멀리 뛰었고, 홉 강조형에서 점프 강조형으로 최적화 되었을 때 스텝의 국면비가 30%~31%일 때 가장 멀리 뛰었고, 밸런스 형에서 점프 강조형으로 최적화 되었을 때 스텝의 국면비가 27%~29%일 때 가장 멀리 뛰는 것으로 나타났다.

Yu(1999)는 Lee 등(1993)의 연구 결과인 멀리뛰기 구름판 이륙순간에 수평속도 손실을 최소화하기 위하여 발구름하는 다리가 구름판을 지지하는 동안에 가능한 굴신이 없어야 하고, 신체를 이륙할 수 있도록 발구름하는 발이 신체중심 앞에 잘 위치하여 있는 것이 중요하다는 결과를 근거로 A_1 의 크기가 어떠한 기술적인 특성과 관련 있다면 A_1 의 작은 크기는 긴 접지거리와 이륙하는 동안에 작은 무릎의 굴곡과 관련 있고, 반대로 A_1 의 큰 크기는 짧은 접지거리와 이륙하는 동안에 큰 무릎의 굴곡과 관련 있다고 보고하였다. 따라서 홉과 스텝에 있어서 세단뛰기 지지국면은 달리기 동작과 유사하고 더불어 추진력 있는 발구름 접지(착지) 기술이 중요하다는 것을 알 수 있다.

스텝의 국면비는 30%일 때 경기력이 가장 높게 나타나면서 최적의 국면비라고 Allen 등(2013), Liu & Yu(2014), Yu(1999), Yu & Hay(1996)의 연구자들이 보고하였고, 이 연구에서도 유사한 결과가 나타났다. 이와 같은 결과가 제시하는 것은 스텝의 국면비 기준을 30%로 설정하고 나머지 두 국면에서 거리의 분비를 통해 세 가지 기술 유형을 결정한다면 선수들에게 맞는 최적의 국면비를 제시해 줄 수 있을 것이라고 판단된다.

이 연구의 결과가 제시하는 것은 속도전환계수 A_1 과 회귀계수 A_0 , B_0 가 각 지지국면에서의 수평속도 손실($\Delta v_{y,i}$)과 수직속도 이득($\Delta v_{z,i}$)에 유의한 관계가 있다는 것이다. 그리고 최적화를 통하여 연구 대상자들의 경기력이 여자 선수들로서 경이적인 기록으로 나타난 것은 홉에서 접지순간의 수평속도를 모든 국면에 초기 조건으로 적용하여 스텝과 점프의 국

면 거리를 산출하였기 때문에 나타난 결과이다. 따라서 이러한 결과가 시사하는 것은 단순히 속도전환관계를 통해서 최적화한 것이지 실제 각 국면에서 발구름 동작 및 신체자세에 관하여 고려하지 않았다는 것이다. 그러므로 선수들에게 최적의 국면비와 기술 유형을 제시하기 위해서는 동일한 개개인의 선수들의 많은 자료 확보가 중요하고, 이러한 속도변인을 이용한 최적화의 자료를 통해 각 국면에서 추진력 있는 발구름 동작과 신체자세의 최적화가 병행되어야 할 것이다.

V. 결 론

세단뛰기 기술 유형의 일관성과 각 지지국면동안에 수평속도 손실(loss)과 수직속도 이득(gain)사이의 속도 전환계수(velocity conversion coefficient)를 통해 최적화 된 국면비를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 숙련된 엘리트 선수일수록 운동기술 수행의 가변성이 작고 국면비를 통한 선수들의 기술 유형의 일관성이 높았다.
2. 각 지지국면에서의 수평속도 손실($\Delta v_{y,i}$)과 수직속도 이득($\Delta v_{z,i}$)의 관계는 모든 선수들에게서 유의한 선형 관계가 일관되게 나타나지 않았으며, 회귀계수들 사이의 관계는 $r=.89$ 이상으로 높은 상관관계로 통계적($P<.046$)으로 유의하였다. 따라서 회귀계수 A_1 이 수평·수직속도 전환계수와 관련이 있다.
3. A_1 ($A_1 > 0.6$, $A_1 < 0.6$)의 크기에 관계없이 대상자들은 모든 시기들이 점프 강조형 기술로 최적화 되었다.
4. A_1 의 수치가 높은 선수일수록 경기력이 우수한 것으로 났으며, 홉 강조형에서 점프 강조형으로 최적화되었을 때 스텝의 국면비가 30%~31%이고, 밸런스 형에서 점프 강조형으로 최적화되었을 때 스텝의 국면비가 27%~29%일 때 가장 멀리 뛰었다.

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). Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- Allen, S. J., King, M. A., & Yeadon, M. R. (2010). Is a single or

double arm technique more advantageous in triple jumping?

Journal of Biomechanics, 43, 3156-3161.

- Allen, S. J., King, M. A., & Yeadon, M. R. (2013). Trade-offs between horizontal and vertical velocities during triple jumping and the effect on phase distances. *Journal of Biomechanics*, 46, 979-983.
- Hay, J. G. (1992). The biomechanics of the triple jump: a review. *Journal of Sports Sciences*, 10, 343-378.
- Liu, H., & Yu, B. (2012). Effects of phase ratio and velocity conversion coefficient on the performance of the triple jump. *Journal of Sports Sciences*, 30(14), 1529-1536
- Maraj, B. K., Elliott, D., Lee, T. D., & Pollock, B. J. (1993). Variance and invariance in expert and novice triple jumpers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 64, 404-412.
- Plagenhoef, S. (1983). Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for Exercise and Sports*, 54(2), 169-178.
- Ryu, J. K. (2005). A cinematographic analysis of selected kinematic characteristics of intercollegiate man's triple jumpers. *The Korean Journal of Physical Education*, 44(1), 353-364.
- Song, J. H., & Ryu, J. K. (2010). The kinematic analysis of the distributional phases and technical styles of the national elite man's triple jumper. *Korean Journal of Sport Science*, 21(2), 1105-1114.
- Yu, B. (1999). Horizontal-to-vertical velocity conversion in the triple jump. *Journal of Sports Sciences*, 17, 221-229.
- Yu, B., & Andrews, J. G. (1998). The relationship between free limb motions and performance in the triple jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 223-237.
- Yu, B., & Hay, J. G. (1995). Angular momentum and performance in the triple jump: A cross-sectional analysis. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 81-102.
- Yu, B., & Hay, J. G. (1996). Optimum phase ratio in the triple jump. *Journal of Biomechanics*, 29, 1283-1289.