



한국운동역학회지, 2003, 제13권 3호, pp. 1-14
Korean Journal of Sport Biomechanics
2003, Vol. 13, No. 3, pp. 1-14

높이뛰기의 도약 높이를 증가시키는 역학적 원리와 동작

성낙준*(호서대학교)

ABSTRACT

Mechanical principles and motions for increasing the height of Fosbury flop

Sung, Rak-Jun*(Hoseo University)

R. J. SUNG, Mechanical principles and motions for increasing the height of Fosbury flop. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol.13, No. 3, pp. 1-14, 2003. This study was conducted to investigate the principles and motions for increasing the jumping height of Fosbury Flop. The subjects were three male jumpers who were former Korean national team players. Their jumping motions were analyzed using the DLT method of three-dimensional cinematography. The conclusions were as follows.

1. The horizontal velocity of approach run and decreasing of this velocity during the take-off phase were increased as the jumping height was increased. Therefore, in order to increase the jumping height, the horizontal velocity of approach run should be increased and decreased properly during the take-off phase. The average height of the analyzed trials was 2.15m. The average horizontal velocity of approach run was 7.49 m/s and decreased to 4.16 m/s at the instance of take-off.
2. The vertical velocity of the center of gravity was increased as the ascending height of the center of gravity during the take-off phase was increased. Therefore, the center of gravity at the instant of touch

2003년 10월 20일(월) 접수

* Corresponding Author, 336-795, 충남 아산시 배방면 세출리 호서대학교 체육과학부 사회체육과
연락처 : rjsung@office.hoseo.ac.kr, Tel : 041-580-5863

down should be lowered. This could be possible by increasing the length of the last stride and the backward lean angle of the body. The average length of the last stride was 111.1% of the standing height, the average height of the center of gravity was 46.6% of the standing height and the average backward lean angle of the body was 40.3 degrees.

KEY WORDS : FOSBURY FLOP, APPROACH RUN, CENTER OF GRAVITY, STRIDE,
BACKWARD LEAN ANGLE

I. 서 론

높이뛰기의 경기 기록은 뛰어 오른 높이가 아닌 넘어간 바의 높이에 의해 결정되므로, 발구름 동작의 목표는 크게 최대한 높이 뛰어 오르는 것과 효율적으로 바를 넘어가는 것의 두 가지로 나눌 수 있다. 이 중 첫째 목표인 '최대한 높이 뛰어 오르기'는 이륙 시 신체 중심의 높이와 수직 상방(上方) 속도를 가능한 크게 함으로써 달성되며, 둘째 목표인 '효율적으로 바를 넘어가는 것'은 1) 적절한 도움닫기 경로와 발구름 위치 2) 이륙 시 수평 속도를 적절히 조절하는 것 3) 공중에서 신체를 회전시키기 위한 적절한 角運動量을 만드는 것에 의해서 달성할 수 있다. 따라서 높이뛰기의 기록은 이 두 가지 목표 모두를 적절히 달성하는 것에 의해 이루어지지만, 본 논문에서는 첫 번째 목표에 초점을 두고, 이륙 시 수직 속도를 높일 수 있는 역학적 원리와 실제 동작을 규명하고자 한다.

역학적 원리에 의해, 이륙시의 수직 속도는 발구름을 하는 동안 구름발을 통해 지면에 가해진 垂直 衝擊量에 비례하고 선수의 質量에 반비례 한다. 수직 충격량은 발구름 동안 수직으로 가해진 힘의 크기와 그 힘이 가해진 시간의 적(積)이므로, 발구름 동안 가능한 큰 수직력을 긴 시간에 걸쳐 작용시켜야 수직 충격량을 크게 할 수 있다. 그러나 실제로는 큰 수직력은 몸의 상방 가속이 커지게 하므로 발구름 시간이 길어 질수 없으며, 높이뛰기의 발구름 시간은 0.14초 ~ 0.17초 정도로 매우 짧다(Muraki, 1983; Dapena, Feltner and Bahamonde, 1986; Conrad & Ritzdorf, 1990).

한발로 도약하는 높이뛰기 선수가 두발로 뛰는 제자리 높이뛰기에 비해 더 큰 높이를 뛰어오를 수 있는 것은 도움닫기를 이용하기 때문이다. 선수들은 도움닫기에서 얻어진 수평 운동량을 이용하여 발구름 시에 지면에 가해지는 수직 충격량을 극대화하고 있다. 선행 연구를 보면 도움닫기의 속도가 빨라질수록 도약 높이가 증가한다는 보고들이 있으며(Xinwang, 1986; Dapena, Ncdonald & Cappaert, 1990), 실제로 우수 선수들은 모두 매우 빠른 도움닫기 속도를 이용하고 있다. 그러나 빠른 도움닫기를 이용하여 큰 수직 충격량을 만들기 위해서는 적절한 발구름 동작이 뒷받침되어야 한다.

구름발 착지 시의 자세와 무게중심에 대한 선행 연구를 보면, 瀧川侃二(1982)는 구름발 착지 시의

자세는 後傾角((무게 중심의 진행 방향에 대해 몸이 뒤로 기울어지 정도를 나타내는 각도)이 크고, 무게 중심과 구름발 착지점과의 수평 거리가 길어야 한다고 하였으며, Hay(1985)는 도움닫기의 마지막 스트라이드가 시작될 때 힙(hip)을 강하게 전방으로 추진시키는 동작의 결과로서 동체가 뒤로 기울어진 상태로 되며, 이 기울임은 동체가 직립하여 있을 때에 비해 구름발 착지에서 이륙까지 무게 중심이 움직일 수 있는 수평·수직 방향의 거리를 증가시키게 된다고 기술하고 있다. Dapena et al(1986)도 後傾角과 側傾角(무게 중심의 진행 방향에 대해 몸이 옆으로 기울어진 정도를 나타내는 각도)은 구름발 착지 시 무게중심의 높이를 낮추어 주며, 발구름 시에 신체가 바 쪽으로 기울어지는 경향을 상쇄하여 신체가 수직을 유지하는데 도움을 주게 된다고 하였으며, Dapena(1988, summer)는 구름발 착지 시에 동체의 후경각과 내경각이 작고(기울임이 크고), 이륙시에 동체의 기울임이 수직이 되지 않는 선수가 이륙 시에 큰 수직 속도를 갖는 경향이 있다고 하였다. 이러한 선행연구의 결과들은 실제 발구름 동작에서는 힘이 가해지는 시간을 늘리는 것보다 전신의 무게 중심이 상방으로 이동하는 높이를 크게 해야 함을 보여주고 있는 것이다(Brancazio, 1984; Dapena et al, 1986; Dapena, 1988).

발구름 시 무게중심의 상승 높이를 크게 하려면, 구름발 착지 시 무게 중심 높이는 가능한 낮아야 하며, 이륙 시에는 무게 중심의 높이를 최대한 높게 해야 한다. 그러나 실제 도약에서 구름발 착지 시에 무게 중심을 얼마나 낮추는 것이 효율적인 것인가는 도움닫기의 속도 및 개인의 각근력의 강도에 따라 달라지며, 너무 낮은 것은 오히려 역 효과를 낼 수도 있다(Dapena et al, 1986, 1988). 도움닫기의 마지막 스트라이드에서 무게 중심의 높이를 낮추는 것과 관련된 주요 변인들은 지지다리 관절들의 굴곡 각도, 바 접근 각도에 의해 결정되는 曲線 走路 內部로의 기울임, 스트라이드의 길이 등이며, 후경각과 측경각도 주요 변인이 된다.

II. 연구 방법

도움닫기 속도와 도약 높이, 발구름 동안 상승한 무게중심의 높이와 도약 높이와의 관계를 보기 위하여 우수 선수들의 실제 높이뛰기 동작을 촬영하여 분석하였다. 분석한 역학량은 마지막 스트라이드에서의 수평속도와 스트라이드의 길이, 구름발 착지시의 자세와 무게 중심의 높이, 발구름 동안의 수직 속도의 변화 등이다. 피험자들은 국가대표 급 남자 선수 3명으로 하였으며, 피험자들의 특징은 <표 1>과 같다.

표 1. 피험자의 특징

피험자	성(性)	연령	신장(m)	체중(kg)	최고 기록(m)	도움닫기 방향
S1	M	20	1.82	71	2.22	Right
S2	M	21	1.76	63	2.21	Right
S3	M	20	1.81	70	2.25	Left

선수들의 높이뛰기 동작에 관한 자료는 시합 상황과 실험 상황의 두 가지 조건하에서 수집하였다. 일반적으로 실험 상황에서는 피험자들이 자신의 최고 능력을 발휘하기가 어렵기 때문에 각 선수의 최고 기록에 가까운 자료는 국내 육상 선수권 대회 시합 장면을 촬영하여 얻었다. 실험은 태능 훈련원 운동장에서 행하였으며, 처음 시기의 바(bar) 높이는 각자의 신장 높이로 하고, 뛰는 순서는 시합 때와 같은 방법으로 하였다. 바의 높이는 바 높이 2.00 m까지는 10 cm 씩, 2.00 m이후는 5 cm 씩 바의 높이를 높여서 뛰도록 하였다. 선수들의 동작은 성공한 시기의 자료만 분석하였으며 분석한 동작은 14시기였다.

선수들의 도움닫기 방향이 왼쪽과 오른쪽 도움닫기의 양쪽이므로 16 mm 고속 촬영기 4 대 (Locam II 2대, Photosonic 2대)를 각 방향에 두 대씩 배치하여 동작을 촬영하였다. 카메라는 마지막에서 두 번째 스트라이드부터 바를 넘어가는 동작이 포함되도록 설치하였다. 카메라의 영상 자료를 동기화시키기 위해 엘이디(LED) 타이머가 화면의 하단 구석에 촬영되게 한 후 타이머의 시간을 기준으로 영상을 동기화하였다. DLT를 위한 통제점 틀(DLT object)은 68개의 통제점(control point)을 갖고 있는 방사형으로서, 오브젝트 공간(object space) 내에서 최대한 선형성을 살릴 수 있게 설계되어 있는 형태를 이용하였다.

인체 모델은 인체의 분절들을 21개의 관절점에 의해 연결된 剛體(rigid body)의 연결 시스템(linked system)으로 정의하였으며, 실제 분절은 14개로 이루어져 있다. 동체의 중심선은 양 肩關節을 잇는 선의 중심과 股關節을 잇는 선의 중심을 연결한 선으로 하였다. 신체 분절의 무게 중심 위치에 대한 인체 분절 자료(body segment parameter)는 Plagenhoef, Evans와 Abdelnour (1983)의 자료를 이용하였으며, 신체 분절의 관성 모멘트 값은 Whitsett(1963)의 값을 이용하였다.

동기화된 2 차원 좌표의 쌍으로부터 3 차원 좌표를 계산하는 방법은 Walton(1981)에 의해 실용화된 DLT 방법을 이용하였다. 컴퓨터 프로그램은 성 낙준, 권 영후, 신 인식, 진 성태, 김 의환, 장 윤진, 이 계산, 최 규정 (1987)과 김 종택, 신 인식, 전 태원 (1988)의 연구에서 개발된 프로그램을 이용하였다. 계산된 3차원 공간 좌표에 내포된 우연 오차(random error)를 제거하기 위해 버터워스 저역 통과 필터(Butterworth low pass digital filter; Winter, 1979; Walton, 1981)를 이용하였다. 절단 주파수(cutoff frequency)는 6Hz로 하였으며, 원 자료의 앞 뒤에 20개 씩의 외삽(外挿; extrapolation) 자료를 추가하여 필터링한 후 외삽 자료를 제거하였다.

본 연구에서는 1) XYZ 관성 직교 좌표계와 2) ABZ 관성 직교 좌표계의 2개의 관성 직교 좌표계를 이용하여 동작을 기술하였다(그림 1). XYZ 관성 직교 좌표계는 고정된 오른손 직교 좌표계로서, 도움닫기의 방향에서 볼 때 좌측 바 지주(bar standard)의 하단을 원점으로 하여, 바와 평행하며 우측 지주를 향하는 축을 + X축으로 정한 것이다. 따라서, + Y 축은 바와 수평면 상에서 직교하며 바 후방을 향하며, + Z축은 X,Y와 직교하면서 수직 상방을 향한다. 이 XYZ좌표계는 선수의 동작을 바와 지주의 위치에 상대적인 것으로 나타내어 준다. 피험자 간의 비교 분석을 용이하게 하기 위해 우측 도움닫기(왼발 발구름)를 하는 선수들의 공간 좌표를 Y축 대칭 변환하여 좌측 도움닫기(오른발 발구름)를 하는 동작으로 바꾸었다. ABZ 관성 직교 좌표계는 도움닫기의 마지막 스트라이드의 체공기에서 신체 중심(CG)의 수평 속도 벡터를 A축으로 하고, 이 벡터에 수평으로 직교하는 벡터를 B축으로 정한 것이다(Dapena, 1980). 따라서, Z축은 XYZ좌표계와 마찬가지로 수직 상방을 향하지만, A축과 B축은 도움 달기의 마지막 체공기에서의 수평 속도 벡터의 방향에 따라 피험자별로 다르다. ABZ좌표계는 선수의 발구름 동작 자체를 기술하는데 유용하다<그림 1>.

분절의 무게 중심점의 좌표와 전신 무게 중심의 좌표 그리고 이들의 속도와 가속도는 성 낙준 등(1987)과 김 종택 등(1988)의 연구에서 개발된 프로그램을 이용하였다. 도움닫기의 마지막 스트라이드에서의 이륙과 발구름을 위한 착지, 바 넘기를 위한 이륙시의 속도는 정확성을 높이기 위해 Dapena(1980)가 이용한 방법으로 구하였다. 즉, 체공기에서 무게 중심은 수평방향으로는 등속 운동을 하며, 수직 방향으로는 등가속 운동을 하므로, 체공기의 무게 중심 위치 자료들에 대해 최소 자승 오차를 갖는 직선을 추정함으로써 보다 정확한 속도를 구하였다. 체공기에서의 수평 속도는 不變

으로 가정할 수 있으므로, 마지막 스트라이드에서의 수평속도를 구름 발 착지 시의 수평 속도로 하였다.

발구름 시의 後傾角(backward lean angle)은 구름발의 발목에서 CG를 향하는 위치벡터를 구한 후 이 벡터가 AZ면(plane)의 수직축과 이루는 각도, 측경각(lateral lean angle)은 같은 방법으로 구름발의 발목에서 CG를 향하는 위치벡터를 구한 후 이 벡터가 BZ면의 수직축과 이루는 각도를 구하였다. 後傾角은 무게중심의 진행 방향에 대해 신체가 앞뒤로 기울어진 정도를 나타내며, 側傾角은 도움닫기의 진행

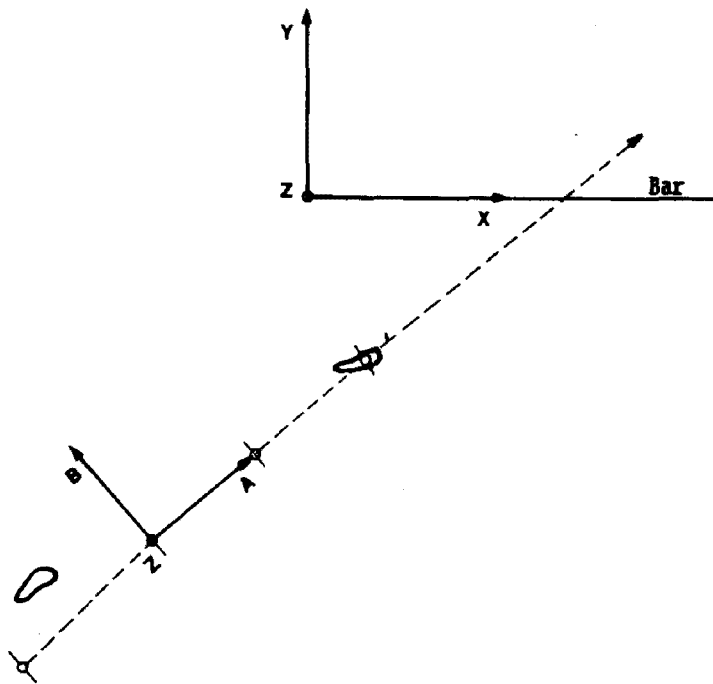


그림 1. XYZ 좌표계와 ABZ좌표계

방향에 대해 신체가 좌우로 기울어진 정도를 나타낸다.

분석한 변인들에 대한 피험자별 주요 역학량은 도약 시기별로 발췌하여 표로 작성한 후 전체 시기에 대한 평균과 표준 편차를 계산하였다. 분석한 각각의 역학량들이 도약의 높이가 높아짐에 따라 어떠한 경향을 나타내는지를 알아보기 위하여, 분석한 모든 역학량들은 도약의 최고 높이를 독립 변인으로 하고, 각각의 역학량들을 종속 변인으로 하여, 도약의 최고 높이와의 상관값(r)을 구하였다. 통계치의 계산은 통계 프로그램 SAS의 상관 분석 프로그램인 PROC CORR를 이용하여 수행하였으며, 계산된 상관값은 피어슨의 적률 상관 계수이다. 분석 결과표의 R은 각 변인의 도약 높이와의 상관값을 나타낸다. 상관이 0.6 이상이고, 두 변인 간의 모상관 계수가 0이라는 귀무가설을 검증하는 상관의 유의 확률값(p)이 5% 이하 즉, ($PROB > |r| < .05$)인 변인들은 SAS의 GRAPH의 PROC GPLOT의 회귀 옵션인 RL(Regression Linear)을 이용하여 최소 자승 오차를 갖는 1차식으로 피팅(fitting)시켰으며, 피험자별 일차 회귀직선과 전체의 회귀직선을 그렸다.

III. 결과 및 논의

분석한 시기들의 바 높이와 무게중심의 최고 높이는 표 2와 같다. 실험 시에 설치한 바의 최저 높이는 각 피험자의 신장 높이로 하였으나, 피험자들이 실제로 뛰어 오른 최고 높이(무게중심의 최고 높이)는 모두 바의 높이에 관계없이 모두 2.00m 이상이였다<표 2>. 실험 상황에서의 최고 도약 높이는 피험자 별로 2.07m, 2.21m, 2.17m로서 각자의 최고 기록 보다 매우 낮았다. 높이뛰기의 경기 기록은 뛰어 넘은 바의 높이에 의해 결정되지만, 실제 선수의 퍼포먼스는 선수가 뛰어 오른 최고 높이를 기준으로 평가하는 것이 더 합리적이므로, 도약의 결과는 뛰어 오른 최고 높이를 기준으로 하였다.

표 2. 분석한 시기들의 바 높이와 무게중심의 최고 높이

	바의 높이 (Meter)	수직 속도 (m/s)	CG의 최고 높이 (Meter)	H3* (Meter)
Mean	1.99	4.27	2.15	0.15
S.D.	0.14	0.20	0.08	0.07

*여유 높이 = 무게중심의 최고 높이 - 바 높이.

발구름 전후의 수평 속도 변화는 표 3과 같다. 도움닫기의 수평속도는 도약의 높이가 높아질수록 빨라지는 경향($r = .80, p = .0005$)을 나타내고 있으며<그림 2>, 이는 도약 높이를 증가시키기 위해서는 빠른 도움닫기를 이용할 수 있어야 함을 뜻하는 것이다.

표 3. 발구름 전후의 수평 속도 변화 (m/s)

	발구름 전			발구름 후			ΔV_{xy}
	X	Y	XY	X	Y	XY	
Mean	5.79	4.74	7.49	3.39	2.39	4.16	3.33
S.D.	.35	.48	.44	.41	.26	.27	.35
r	.51	.74	.80	.36	-.36	.24	.82

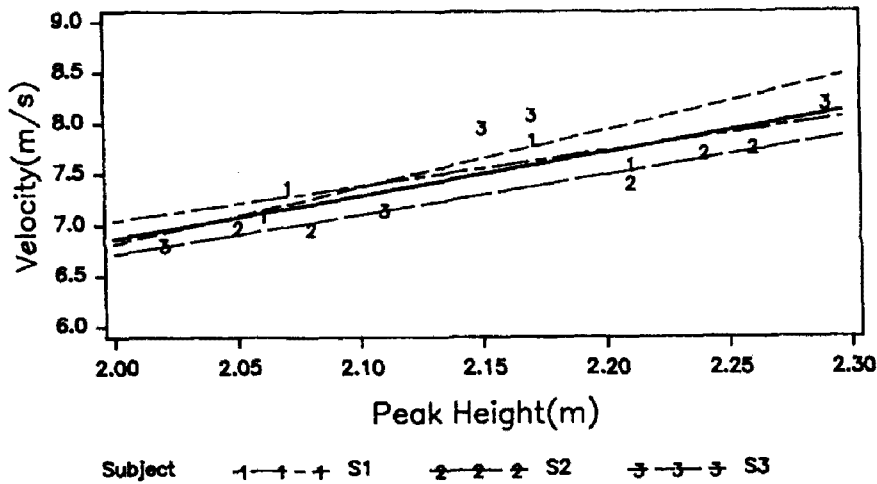


그림 2. 도움닫기 수평 속도와 도약 높이와의 관계

마지막 스트라이드에서의 수평 속도는 평균 7.49 m/s로서 선행 연구들의 분석 결과인 평균 7.39 m/s(Dapena et al, 1986), 평균 7.4 m/s(Dapena, 1987)보다 빨랐으나, Conrad et al(1990)이 보고한 평균 7.71 m/s보다는 느렸다. 이러한 차이는 각 연구자들이 분석한 선수들의 도약 높이의 차이에 기인하는 것으로 볼 수 있다.

이륙시의 수평 속도는 평균 4.16 m/s로서 도약의 높이와 유의한 상관은 없었다. 이륙 시 수평 속도에 대한 선행 연구의 분석 결과는 평균 4.01 ± 0.29 m/s (Dapena 등, 1986), 평균 3.9 m/s (Dapena, 1987), 3.97 m/s(Conrad 등, 1990)로서 본 연구의 피험자들 보다 다소 느린 수평 속도로 이륙하고 있는데, 이는 분석한 선수들의 도약 높이가 다르기 때문인 것으로 판단된다.

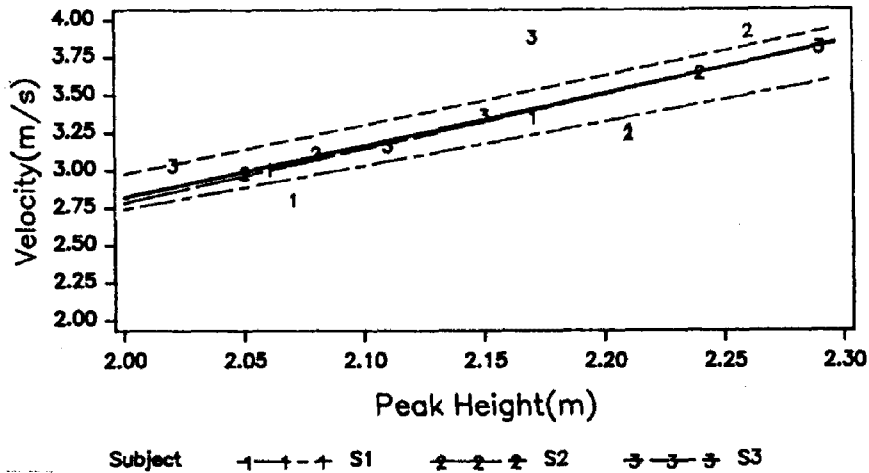


그림 3. 발구름 단계에서 감소된 수평속도

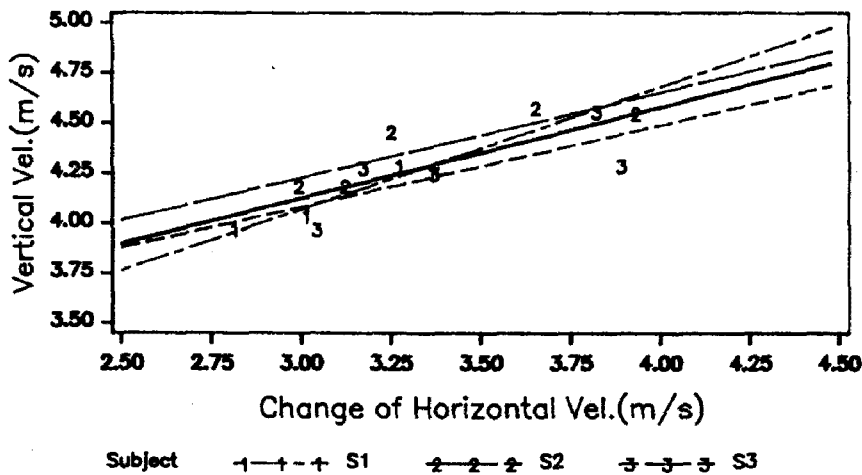


그림 4. 발구름 단계에서 감소된 수평속도와 이륙 시 수직 속도와의 관계

발구름 동안의 수평 속도 감소치(ΔV_{xy})는 도약의 높이가 높아질수록 직선적으로 증가하는 경향($r = .82$, $p = .0003$, 그림 3)을 나타내고 있으며, 이륙시의 수직 속도와도 정적인 상관관계($r = .80$, $p = .0006$, 그림 4)를 나타내고 있다. 이러한 결과는 발구름 시에 도움닫기의 수평 속도를 적절히 저지하는 동작에 의해 지면에 가해지는 수직력이 증가하게 됨을 보여주는 것이며, 발구름 시에 수평속도를 감소시키는 것과 수직 속도를 증가시키는 것은 상호 종속적이라는 보고들(Ozolin, 1973; Dapena, 1980, 1988)과 일치한다. 도움닫기에서 얻어진 수평 운동량을 이용하여 수직 운동량을 크게 할 수 있는 것은 발구름 동안 구름다리의 관절들은 굴곡되지만, 전신의 무게중심은 낮추어지지 않고 계속 높아지게 되는, 線運動을 저지하는 구름발을 축으로 한 求心運動(radial motion)에 의한 것으로 설명되고 있다(Muraki, 1984; Dapena & Chung, 1988; Ae, 1990). 발구름 동안의 수평 속도 감소치는 평균

3.33 m/s로서 선행 연구 결과들의 평균 3.39 m/s (Dapena et al, 1986), 평균 3.5 m/s(Dapena, 1987), 평균 3.74 m/s(Conrad et al, 1990)보다 다소 작았다.

도움닫기의 속도는 스트라이드의 길이와 頻度에 의해 결정되는데, 마지막 스트라이드의 길이는 신장비로 평균 111.1%였으며, 피험자 S2와 S3의 평균은 각각 111.9%, 114.1%로서, 선행 연구에서 보고한 평균 비율 101% (Dapena, 1980), 106.3% (Dapena et al, 1986), 108.5%(Conrad et al, 1990)보다 길며, Dapena(1988, summer)가 보고한 비율 112.9%에 가깝다. 또한, 마지막 스트라이드의 길이와 도약 높이와의 관계는 도약의 높이가 높아질수록 길어지는 경향을 나타내고 있다($r = .59, p = .02$). 후경 거리(표 5의 Dbtd; 무게 중심과 구름발 착지점과의 수평 거리)는 신장비로 평균 34.7%였으며 도약 높이와 유의한 상관을 나타내고 있다($r = .55, p = .03$). 이와 같은 결과는 구름발 착지 시의 자세는 後傾角이 크고 후경 거리가 길어야 한다는 瀧川侃二(1982)의 이론과 부합되고 있다.

표 4. 구름발 착지와 이지시의 무게 중심의 높이

	Hctd (cm)	Hctd/hgt (%)	Hcto (cm)	Hcto/hgt (%)	Hctd-cto (cm)	Hctd-cto /hgt(%)
Mean	83.4	46.6	121.5	67.5	36.0	21.2
S.D.	2.5	1.1	3.3	1.7	2.7	1.4
r	-.37	-.37	.15	.19	.53	.59

주) Hctd는 구름발 착지시 무게중심의 높이, Hcto는 이륙시 무게중심의 높이, Hctd-cto는 Hctd과 Hcto의 차이, Hctd/hgt, Hcto/hgt, Hctd-cto/hgt는 각각 앞의 세 높이들을 신장으로 나눈 비율이다.

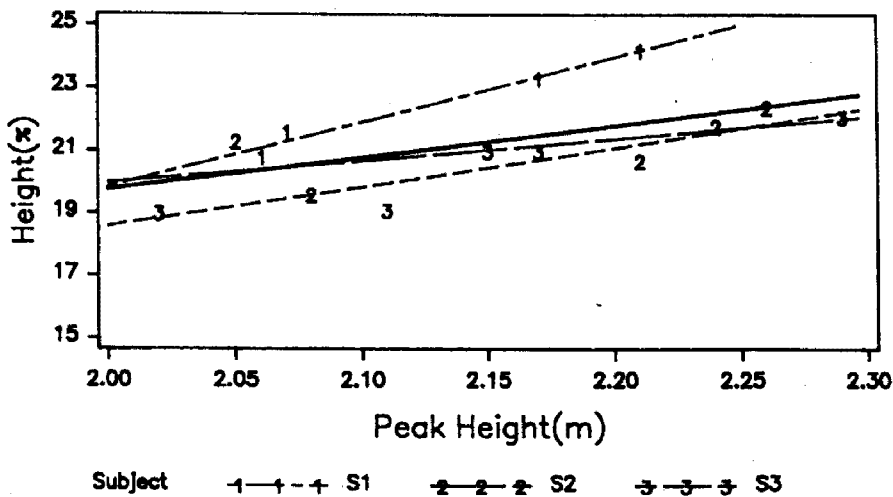


그림 5. 발구름 시 무게 중심의 수직 상승 거리

발구름 단계에서 전신 무게 중심의 높이 변화는 표 4와 같다. 구름발 착지 시 무게 중심의 높이는 도약의 높이와 약한 부적 상관($r = -0.37$)을 나타내고 있으나, 상관의 유의성 검증 결과는 유의하지 않았다($p = .19$).

발구름 동안의 무게 중심의 수직 상승 거리(표 4의 $Hctd-cto/hgt$)와 도약 높이는 유의한 상관을 나타내고 있으며($r = .59$, $p = .02$, 그림 5), 도약 높이에 따라 증가하는 형태를 보이고 있다. 이러한 결과는 이륙시의 수직 속도는 발구름 단계에서 무게 중심이 수직으로 이동한 거리에 비례한다는 원리와 일치하고 있으며, 상관이 강하지 않은 것은 선수들이 도약 높이에 관계없이 구름발 착지 시에 무게 중심을 충분히 낮추고 있으며(평균 $46.6\% \pm 1.1\%$), 이륙시의 무게 중심 높이는 각자의 최대 높이(평균 $67.5\% \pm 1.7\%$)에 가깝게 고정되어 있기 때문인 것으로 볼 수 있다.

구름발 착지 시 무게 중심 높이의 신장에 대한 비율(표 4의 $Hctd/hgt$)은 평균 46.6% 로서, Ae et al(1986)의 분석 결과인 평균 46.4% 와 Conrad et al(1990)의 평균 46.0% 와 일치하고 있으나, Dapena et al(1986)과 Dapena(1988)의 분석 결과인 평균 49.18% 및 48.85% 보다 더 낮았다. 이륙 시 무게중심 높이의 키에 대한 비율($Hcto/hgt$)은 평균 67.5% 로서 선행 연구의 분석 결과인 평균 71% (Dapena, 1980), $70.35 \pm 0.8\%$ (Conrad et al, 1990)보다 다소 낮다. 이러한 결과는 본 연구의 피험자들이 Dapena와 Conrad등이 분석한 서양 선수들에 비해 하지장의 길이가 짧기 때문인 것으로 판단된다.

표 5. 後傾角과 側傾角의 변화

	후경각과 후경거리				측경각과 측경거리			
	Abtd (deg)	Dbtd (cm)	Abto (deg)	Dbto (cm)	Altd (deg)	Dltd (cm)	Alto (deg)	Dlto (cm)
Mean	-40.3	-62.4	2.4	4.4	-2.8	-3.6	-3.9	-7.1
S.D.	2.4	4.2	2.2	4.0	3.5	4.5	4.2	7.8
r	-.67	-.55	-.14	-.14	-.57	-.55	-.64	-.63

주) A는 Angle, D는 Distance, b는 backward, l은 lateral, td는 touch down, to는 take-off를 뜻한다. Abtd는 TD시의 後傾角, Abto는 TO시의 後傾角. Altd는 TD시의 側傾角, Abm은 최소 구심거리일 때의 側傾角, Alto는 TO시의 側傾角이다. 後傾角의 -각도는 수직에서 뒤로 기울어진 정도를 나타내며, 側傾角의 -각도는 수직에서 우측으로 기울어진 것을 나타낸다.

구름발 착지 시 신체의 기울임 정도를 나타내는 後傾角과 側傾角<표 5>은 구름발 착지 시에 무게 중심의 높이를 낮추어 주며, 발구름 시에 신체가 바 쪽으로 기울어지는 경향을 상쇄하여 신체가 수직을 유지하는데 도움을 주게 되는 것으로 알려져 있다(Hay, 1985; Dapena et al, 1986). 구름발 착지시의 後傾角은 평균 -40.3 도이며, 도약의 높이가 높아질수록 증가하는 즉, 뒤로 기울어지는 경향($r = -0.67$, $p = .007$, 그림 6)을 나타내고 있다. 구름발 착지시의 側傾角은 평균 -2.8 도, 최대각은 -8 도 이하의 작은 각도를 나타내고 있으나, 도약 높이가 증가함에 따라 우측으로의 기울임이 증가하는 경향을

보이고 있다($r = -0.57, p = .03$).

측경각은 후경각에 비해 약 7%정도 밖에 되지 않으므로, 구름발 착지시 무게 중심을 낮추는 것은 큰 후경 자세에 의해 이루어지는 것으로 볼 수 있으며, 측경 자세에 의해서도 다소 도움을 받는 것으로 볼 수 있다. 이러한 결과는 효율적인 발구름 자세는 신체의 후방 기울임 각이 크고, 무게중심의 위치가 낮은 것(Ae et al, 1986), 구름발 착지 시에는 後傾角이 크고 무게 중심과 구름발 착지점과의 수평 거리가 긴 것(瀧川侃二, 1982)이라는 선행 연구와 일치하며, 구름발 착지 시에 동체의 후방과 측방 기울임이 큰 선수가 이륙 시에 큰 수직 속도를 갖는 경향이 있다는 보고(Dapena, 1988)와도 일치한다.

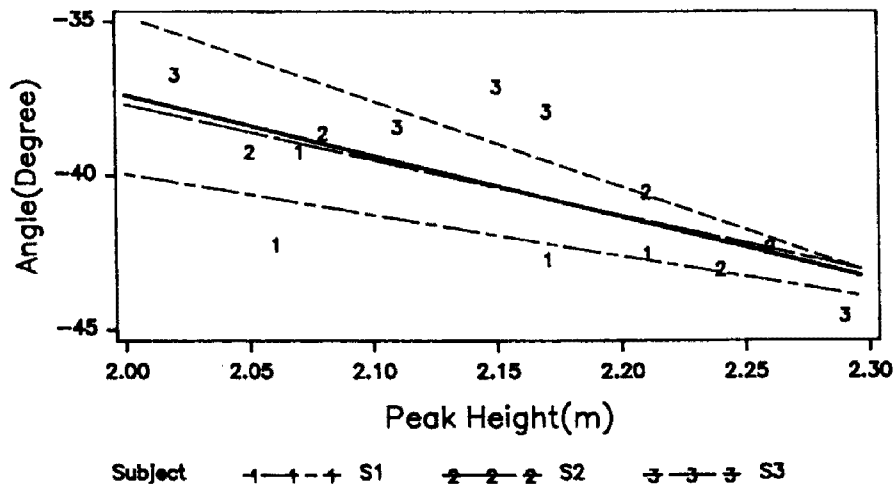


그림 12. 구름발 착지시의 後傾角

구름발 착지 시에 後傾角이 크고 무게중심과 구름발 착지점과의 수평 거리가 긴 자세는, 동체가 직립하여 있을 때에 비해 발구름 동안 무게중심이 움직이는 수평·수직 방향의 거리를 증가시킴으로써, 수직 방향의 충격력을 크게 할 수 있는 동시에 수평 방향으로 무게중심의 선(線) 운동을 효율적으로 저지하게 되는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 후경각이 45도를 넘을 경우는 지면반력 벡터의 방향이 지나치게 수평이 됨으로 오히려 발구름 동작의 효율을 떨어뜨릴 수도 있다.

IV. 결 론

본 연구는 포스베리 높이뛰기의 도약 높이를 높일 수 있는 역학적 원리와 그에 따른 실제 동작을

규명하고자 수행되었다. 피험자는 국가 대표 선수 선발 경력이 있는 우수 남자 높이뛰기 선수 3명으로 하였으며, 선수들의 도약 동작은 DLT를 이용한 3차원 영상 분석법을 이용하여 분석하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 도움닫기의 수평속도와 발구름 동안의 수평속도 감소치는 도약 높이가 높아짐에 따라 증가했다. 발구름 동안의 수평속도 감소가 클수록 이륙 시의 수직 속도가 증가되었다. 따라서 도약 높이를 증가시키기 위해서는 도움닫기의 수평 속도를 빠르게 하고, 발구름 단계에서는 수평 속도를 적절히 감소시킬 수 있어야 한다. 본 연구에서 분석한 도약 높이의 평균은 2.15 m였으며, 구름발 착지시의 도움닫기의 수평 속도는 평균 7.49 m/s였다. 이륙시 수평 속도는 평균 4.16 m/s로서 평균 3.33 m/s가 감소되었다.
2. 발구름 시 무게 중심의 상승 높이가 커질수록 이륙 시 무게 중심의 수직속도도 커졌다. 따라서 구름발 착지시의 무게 중심은 낮아야 하며, 무게 중심을 낮추는 것은 마지막 스트라이드에서 구름발을 진행 방향의 앞으로 멀리 착지시키고, 후경각을 크게 하는 동작에 의해 이루어진다. 구름발 착지 시 마지막 스트라이드의 길이는 신장비로 평균 111.1%, 무게 중심 높이는 신장비로 평균 46.6%, 후경각은 평균 40.3도였다.

참 고 문 헌

- 김 종택,신 인식,전 태원 (1988). 3 차원 영상 분석법의 실용화 방안 및 컴퓨터 프로그램 패키지의 개발, 서울 대학교 체육 연구소.
- 성 낙준, 권 영후, 신 인식,진 성태, 김 의환,장 윤진,이 계산, 최 규정 (1987). 3차원 영상 분석 시스템 개발, 스포츠 과학 종합 보고서, 대한 체육회 스포츠 과학연구소.
- 성 낙준,정 철수,신 인식 (1989). 높이뛰기 기술의 생체 역학적 분석(II). 스포츠 과학 종합 보고서, 한국 체육 과학 연구원.
- 성 낙준,정 철수,김 용기 (1990). 높이뛰기의 발구름과 공중 동작에 관한 운동 역학적 분석, 스포츠 과학 종합 보고서, 한국 체육 과학 연구원.
- 澁川侃二(1982). 운동 역학 (이 민형 역), 서울, 형설 출판사.
- Ae, M.(1990). 走高跳および走幅跳の踏切における身體各部の使い方・貢献度[주고도와 주폭도의 답절시 신체 각부의 공헌도]. *Japanese Journal of Sports Science*, 9(3),130-136.

- Ae, M., Shibukawa, K., Tada, S., & Hashihara, Y. (1983). A biomechanical analysis of the segmental contribution to the take-off of the one-leg running jump for height. *Biomechanics VIII-B*, 4B, 737-745.
- Ae, M., Sakatani, Y., Yokoi, T., Hashihara, Y., & Shibukawa, K. (1986). Biomechanical analysis of the preparatory motion for take-off in the Fosbury flop. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2(2), 66-77.
- Brancazio, P.J. (1984). *Sport Science: Physical Laws and Optimum Performance*, New York, Simon and Schuster.
- Conrad, A., & Ritzdorf, W. (1990). Scientific research project at the games of the XXIIth olympiad : Biomechanical analysis of the high jump, *New Studies in Athletics*, (Suppl.), 177-217.
- Dapena, J. (1980). Mechanics of translations in the fosbury flop. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(1), 37-44.
- Dapena, J., Feltner, M., & Bahamonde, R. (1986). *Biomechanical Analysis of High Jump #5 (Men)*, Report for scientific services project (USOC/TAC).
- Dapena, J. (1987). Basic and applied research in the biomechanics of high jumping, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(suppl.), 19-33.
- Dapena, J., & Chung, C.S. (1988). Vertical and radial motion of the body during the take-off phase of high jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(2), 290-302.
- Dapena, J. (1988, Summer). Biomechanical analysis of the Fosbury Flop, Part I, *Track technique*, 104, 3307-3317.
- Dapena, J., McDonald, C. & Cappaert, J. (1990). A regression analysis of high jumping technique, *International Journal of Sport Biomechanics*, 6, 246-261.
- Hay, J.G. (1985). *The Biomechanics of Sports Techniques* (3rd ed.): Englewood cliffs, N.J.: prentice Hall, Inc.
- Muraki, Y. (1984, Summer). Fundamentals of approach running & takeoff. *Track Technique*, 89, 2843-2845.
- Muraki, Y., Sakamoto, T., Saito, S., Ae, M., & Shibukawa, K. (1983). A 3-dimensional cinematographical analysis of foot deformations during the take-off phase of Fosbury flop. *Biomechanics VIII-B*, 4B, 762-770.
- Ozolin, N. (1973). The high jump takeoff mechanism. *Track Technique*. 52: 1668-1671.
- Plagenhoef, S., Evans, F.G., & Abdelnour, T. (1983). Anatomical data for analyzing human motion, *Research Quarterly for Exercise and Sports*, 54(2), 169-178.

- Walton, J. S. (1981). *Close-Range-Photogrammetry : A Generalized Technique for Quantifying Gross Human Motion*, Doctorial Dissertation, The Pennsylvania State University.
- Wang, F. (1984, Winter). Zhu's salient features. *Track & Field Quarterly Review*, 84(4), 19-20.
- Winter, D.A. (1979). *Biomechanics of human movement*, New York, John Wiley & Sons.
- Xinwang, F. (1986, Winter). An anlysis of Zhu Jianhus's run-up technique. *Track & Field Quarterly Review*, 86(4), 38-41.