



남자 높이뛰기 BKH 선수를 중심으로 한 도움닫기 마지막 1보와 발구름 국면의 운동학적 분석 The Kinematic Analysis of the Last Approach Stride and Take-off Phase of BKH Athlete in the High Jump

윤희중* · 김태삼 · 이진택(한국체육대학교)

Yoon, Hee-Joong* · Kim, Tae-Sam · Lee, Jin-Taek(Korea National Sport University)

ABSTRACT

H. J. YOON, T. S. KIM, J. T. LEE, The Kinematic Analysis of the Last Approach Stride and Take-off Phase of BKH Athlete in the High Jump. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 15, No. 3, pp.105-115, 2005. This study was investigated the kinematic factors of the last approach strides and take off motion for the skill improving of BKH elite male athlete. The subjects chosen for the study were BKH and KASZCZYK Emilian male athletes who were participated in 2003 Dae-Gu Universiad Games. Three high speed video cameras set in 60frames/s setting were used for recording from the last approach strides to the apex position. After digitizing motion, the Direct Linear Transformation(DLT) technique was employed to obtain 3-D position coordinates. The kinematic factors of the distance, velocity and angle variable were calculated for Kwon3D 3.1. The following conclusions were drawn;

1. It showed longer stride length, as well as faster horizontal and lateral velocity than the success trial during the approach phase. For consistent of the approach rhythm, it appeared that the subject should a short length for obtain the breaking force by the lower COG during the approach phase.
2. The body lean angle showed a small angle by a high COG during the take-off phase. For obtain the vertical displacement of the COG and a enough space form the bar after take-off, it appeared that the subject should increase the body lean angle.
3. For obtain the vertical force during the takeoff phase, it appeared that the subject should keep straight as possible the knee joint. Therefore, the subject can be obtain a enough breaking force at the approach landing.

KEYWORDS: KINEMATIC, APPROACH, TAKE-OFF, TRUNK LEAN

I. 서론

세계 대학생들의 축제로 불리는 유니버시아드(Universiade)는 국제대학스포츠연맹(FISU)에서 하계와 동계로 구분해 2년마다 개최하는 종합대회로서, 올림픽 대회를 위한 준비과정이라 할 수 있다.

국내 선수가 높이뛰기에서 우승한 전적은 1997년 이태리 시칠리아 대회에서 232cm의 기록으로 우승한 이진택 선수가 있었고, 지난 2003 대구하계유니버시아드 경기에서는 자국에서 열리는 장점을 이용해 국내 선수가 우승에 도전했지만 220cm 기록으로 10위에 머무르는 등, 7년이 지난 지금까지 230cm대의 벽을 넘지 못하고 있다.

높이뛰기 기록에 직접적인 영향을 주는 요인은 크게 신체적 조건의 체격과 체력요인, 그리고 효율적인 기술로 이루어지는데, 2004년 아테네 올림픽에서 우승한 스웨덴의 Stefan Holm(181cm, 70kg)과, 1996년 아틀란타 올림픽에서 우승한 미국의 Charles Austin(184cm, 76kg) 그리고 세계신기록을 보유하고 있는 Javier Sotomayor(197cm, 76kg) 선수들과 비교할 때, 국가대표인 BKH(193cm, 78kg) 선수와 현재 우리나라 선수들이 세계 엘리트 선수들에게 신체적으로 크게 뒤지지 않은 조건을 가지고 있다고 볼 수 있다. 그러나 기록이 저조했던 것은 신체적인 문제보다는 기술적인 문제에서 더 큰 비중을 차지하는 것으로 볼 수 있다.

높이뛰기의 기술은 도움닫기(run-up; approach) 발구름(take-off), 공중동작(bar clearance), 착지(landing)의 4단계로 나누어지는데, 도움닫기와 발구름 동작은 경기기록에 직접적인 영향을 주는 운동학적 요인이 내재되어 있다. 즉 기록을 향상시키기 위해서는 도움닫기에서 발구름 동작으로 역학적인 인과관계를 얼마나 순차적으로 연결시키는가가 주요관건이(Ecker, 1976; apena, 1980a, 1988; Ae, 1990)되는데, 도움닫기에서는 보폭에 따른 수평속도와 좌우속도, 발구름 구간에서는 수평속도와 수직속도, 보폭 길이, 착지 시 자세에 따른 신체중심의 높이변화 그리고 양팔과 추진다리의 상방 추진 동작 등이 주요

요인(Mnuaki, 1984; Sloan, 1984; Hay, 1985; Jacoby, 1987; Hackett, 1987; Bothmischel, 1990)으로 작용하는 것으로 보고하고 있다.

도움닫기 마지막 1보와 발구름 동작에서 나타나는 이러한 주요 운동학적 요인과 국가대표선수인 BKH 선수의 차이점을 분석하는 것은 차세대 선수로서의 경기력 향상에 도움이 될 것으로 본다.

따라서 이 연구는 우승한 KEmillian Aszczyk(폴란드)선수의 운동학적 요인과 선행연구를 통해 나타난 경기력 관련의 운동학적 요인들을 BKH 선수의 가장 높은 성공 높이와 최종 3번의 실패 시기의 도움닫기 마지막 1보 구간과 발구름 동작의 운동학적 변인을 분석하여 저조해진 경기력의 원인을 규명하는데 있다. 뿐만 아니라 2006년 제 15회 카타르(Qatar) 도하 아시안 게임에서 국내 선수들에게 좋은 성적을 올릴 수 있도록 객관적인 자료와 함께 기술훈련의 방향을 제공하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구에서 선정된 피험자는 2003 대구 하계유니버시아드경기대회 남자 높이뛰기에 출전한 한국 국가대표 BKH 선수와 이 대회에서 우승한 KASZCZYK Emillian(폴란드)선수이며, 이 선수들의 신체적 특징은 <표 1>과 같다.

표 1. 피험자 특성

| Subject | 연령 (yrs.) | 신장 (cm) | 체중 (kg) | 기록 (cm) | 국가 (Nat.) |
|---------|--------------|------------|------------|------------|--------------------|
| | | | | 220 | |
| A | 성공 | | | 223 | 대한 민국 (Kor.) |
| | 1차 실패 | 28 | 193 | 78 | |
| | 2차 실패 | | | 223 | |
| | | | | 223 | |
| B | 성공 | 23 | 193 | 75 | 폴란드 (Pol.) |
| | | | | 226 | |

2. 실험 분석 장비

이 연구에 사용된 비디오카메라는 Sony 디지털 비디오카메라 3대로 60Hz로 연구대상자의 운동수행과 range pole을 촬영하였다. 카메라는 관중석에서 바라본 매트를 기준으로 좌측이 #1번 카메라, 중앙이 #2번 카메라, 우측이 #3번이 되도록 카메라를 설치하였고, 카메라 노출시간은 1/1000초로 설정하였다<표 2>.

표 2. 실험분석 장비

| | 명칭 | 제조회사 |
|-------|--|---------------------|
| 촬영 장비 | Video camera Control object 6mm video tape | Sony VISOL SK |
| 분석 장비 | Pentium-VI Kwon3D 3.1 | ACER VISOL |

3. 실험 절차

선수의 동작은 도움닫기 구름발 1보전부터 발구름 후 신체가 최고 정점을 지나 바(bar)를 빠져나간 동작 구간까지 촬영하였다. 모든 피험자는 왼쪽 발로 발구름 동작을 하기 때문에, 도움닫기와 발구름 동작을 모두 포함할 수 있도록 길이 7m, 높이 3m 그리고 폭을 8m로 설치하였다. 분석에 사용된 피험자의 운동 수행은 주어진 시기의 성공한 높이 220cm와 3번 실패한 223cm 높이를 선정하여 분석하였고, 폴란드 선수의 우승기록인 226cm를 선정하여 운동학적 요인을 분석하였다.

4. 자료처리 및 분석 방법

인체는 20개의 관절점과 14개의 분절이 연결된 강체구조(linked rigid body system)로 정의하였고, 각 분절과 전신의 신체중심을 구하기 위한 신체분절지수(body segment parameters)는 Plagenhoef 등(1983)의 자료를 이용하였다. 3대의 카메라 영상을 동조하고, 각 관절점의 3차원 좌표값을 구하기 위해 DLT(Direct Linear Transformation)방법(Abdel-aziz & Karara,

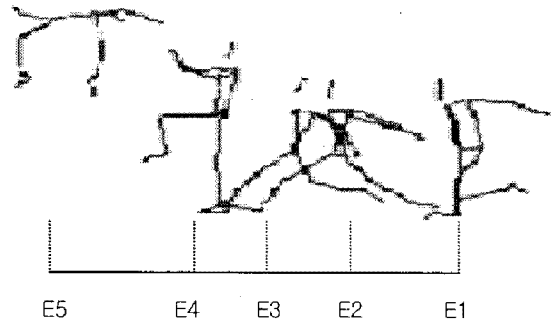


그림 1. 분석 국면

- E1(1S TD) : 마지막 발구름 전 1보 착지 순간
- E2(1S TO) : 마지막 발구름 전 1보 이지 순간
- E3(JTD) : 발구름 접지 순간
- E4(JTO) : 발구름 이지 순간
- E5(MH) : 마지막 최고정점 순간

1971)을 사용하였다. 3차원 좌표값에 포함된 오차를 제거하기 위해 Butterworth의 저역통과 필터(low-pass filter)를 사용하여 스무딩(smoothing) 하였고, 이때 차단주파수(cut-frequency)는 6.0Hz로 하였다. 분석프로그램은 Kwon(2005)이 개발한 Kwon3d version 3.1 software를 이용하여, 운동학적 요인을 분석하였다. 분석 상 도움닫기 진행방향을 y축, 높이방향을 z축으로 정하고, x축은 좌우측으로 각각 정의하였다.

동작에 대한 자세의 변화를 살펴보기 위한 각도요인은 상체전경각(trunk lean angle), 신체각(후경각, body lean angle), 그리고 무릎각(knee angle)을 분석하였다. 상체전후경각은 몸통과 수직축(Z)이 이루는 절대각으로 정의하였고, 신체각은 발구름 시 신체중심과 구름발의 발 분절 중심을 잇는 벡터와 전역좌표계의 Z축과 이루는 각도로 정의하였다. 무릎각은 대퇴와 하퇴 분절 사이의 상대각으로 각각 정의하였다. <그림 1>은 동작에 대한 구간 설정으로 5개의 Event로 정의하였다.

III. 결과 및 논의

1. 도움닫기 국면

<표 3>은 도움닫기 마지막 1보에 대한 보폭거리와

신체중심이 높이변화, 그리고 신체중심의 속도변화를 나타낸 것이다.

도움닫기의 보폭 길이를 살펴보면, 피험자 A의 220cm 성공 시 198.6cm로 신장의 102.9%보다 약간 크게 나타난 반면에 3번의 실패에서는 평균 207.8±7.04cm로 신장비보다 큰 107.7%를 보여 220cm 성공 시 보다 긴 보폭을 보였다. 반면 피험자 B는 201.5cm의 104.4%로 피험자 A의 성공 시보다 길게 나타났지만, 실패한 기록보다 다소 짧은 보폭을 보였다.

Bothmische(1990), Hackett(1987), Muraki(1984), Sloan(1984), Hay(1985), Jacoby(1987) 등의 선행연구에서는 스트라이드의 길이를 약간 짧게 해야 하는 것이 발구름 시 보다 유리한 조건으로 보고하고 있는 반면에, Doherty(1980), Johnston(1988) 그리고 Conrad(1990)는 마지막 스트라이드의 길이를 길게 해야 하는 것으로 보고 하면서 서로 상반되는 결과를 보였다. 그러나 이들의 공통점은 스트라이드 보폭은 구름발 착지 시 신체중심의 높이와 구름발과 신체중심 간의 거리에 영향을 주는 것으로 보고하고 있다.

즉 Dapena & Bahamonde(1986)가 제시한 두 가지 유형으로 볼 수 있는데, 보폭이 짧으면 신체중심이 낮아지기 때문에 착지 시 하방 속도는 작아져 발구름 시 수직 운동 범위를 감소시키는 유형이 되지만 충격량이 커지는 특성을 가지고 있고, 보폭이 길면 신체중심이 높아져 구름발 착지 시 큰 하방 수직속도를 가지게 되는 두 가지 유형이다. 이 연구에서 피험자 B는 짧은

보폭으로 발구름 착지 하는 것으로 볼 수 있으며, 피험자 A는 성공 시에는 짧은 보폭을 보였지만, 실패 시에는 긴 보폭을 보여 피험자 A는 짧은 보폭 유형을 가지고 구름발 착지해야 하는 것으로 생각된다.

이러한 결과는 신체중심의 높이변화에 나타났듯이, 마지막 1보 착지(E1)에서 성공 시에는 97.1cm에서 92.3cm로 낮아졌지만, 실패 시에는 평균 93.9±1.81cm로 약간 높은 자세를 보이면서 보폭의 길이에 따라 신체중심의 높이가 변화되는 것으로 나타났다. 신체중심의 속도변화를 살펴보면, 피험자 A의 경우 마지막 1보 착지(E1)에서 성공 시 좌우방향(Vx)은 4.66m/s, 수평방향(Vy)은 5.09m/s를 보였는데, 실패 시에는 평균 4.88±0.04m/s와 5.37±0.07m/s를 각각 보이면서 성공과 실패 시 모두 수평방향(Vy)은 감소하는 반면에 좌우방향(Vx)은 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 성공 시보다 실패 시 수평방향(Vy)과 좌우방향(Vx)이 빠른 속도를 보였다. 이지순간(E2)에 있어서는 좌우방향(Vx)이 5.25m/s, 수평방향(Vy)이 4.77m/s의 속도를 보인 반면에, 실패 시에는 평균 5.58±0.11 m/s와 4.74±0.14m/s로 착지에서와 마찬가지로 성공 시보다 빠른 속도를 보였다. 피험자 B는 E1에서 각각 4.94m/s와 5.50m/s를 보였고, E2에서는 각각 5.25m/s와 4.82m/s를 보이면서 이지 시의 수평방향(Vy)이 피험자 A보다 약간 빠르게 나타났지만, 좌우방향(Vx)은 오히려 실패한 경우가 더 빠른 속도를 보여 속도변화가 실패 요인에 크게 작용하지 않는 것으로 나타났다.

표 3. 도움닫기 마지막 1보에 대한 거리와 속도 변화

| Variables | Subject | Event | A | | | | | | | | B | | | |
|-------------|---------------|-------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|------|------|-----------|-----------|-------|------|
| | | | 220cm | | 1차 | | 2차 | | 3차 | | M±SD | | 226cm | |
| 거리 (cm) | COG VP | E1 | 97.1 | 96.5 | 95.0 | 95.5 | 95.7±0.76 | 99.4 | | | | | | |
| | | (%) | (50.3) | (50.0) | (49.2) | (49.5) | (49.6) | (51.5) | | | | | | |
| | | E2 | 92.3 | 95.2 | 94.6 | 91.8 | 93.9±1.81 | 93.9 | | | | | | |
| | | (%) | (47.8) | (49.3) | (49.0) | (47.6) | (48.6) | (48.7) | | | | | | |
| | Stride length | E1-E3 | 198.6 | 211.9 | 199.7 | 211.9 | 207.8±7.04 | 201.5 | | | | | | |
| | | | (102.9) | (109.8) | (103.5) | (109.8) | (107.7) | (104.4) | | | | | | |
| 속도 (m/s) | COG | E1 | 4.66 | 5.09 | 4.89 | 5.38 | 4.84 | 5.30 | 4.91 | 5.44 | 4.88±0.04 | 5.37±0.07 | 4.94 | 5.50 |
| | | E2 | 5.25 | 4.77 | 5.46 | 4.60 | 5.62 | 4.76 | 5.66 | 4.87 | 5.58±0.11 | 4.74±0.14 | 5.25 | 4.82 |
| | Vx Vy | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

COG: Center of Gravity, VP: Vertical Position, Vx Lateral Velocity, Vy: Horizontal Velocity,

표 4. 도움닫기 마지막 1보에 대한 각도 변화

(단위: deg)

| Angle | Subject | Event | A | | | | M±SD | B |
|------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|
| | | | 220cm | 1차 | 2차 | 3차 | | 226cm |
| Trunk lean | | E1 | 2.8 | 0.3 | 8.8 | 21 | 3.7±4.48 | -8.6 |
| | | E2 | -10.4 | -4.6 | -5.6 | -6.6 | -5.6±1.00 | -13.0 |
| Body lean (R) | | E1 | -24.5 | -26.7 | -31.0 | -32.2 | -30.0±2.89 | -27.1 |
| | | E2 | -3.8 | 3.2 | 2.4 | 1.2 | 2.3±1.01 | 1.0 |

<표 4>는 도움닫기 마지막 1보 착지와 이지순간에 대한 상체전후경각과 신체각을 나타낸 것이다.

표에 나타난 상체전경각의 경우, 착지 시 피험자 A의 평균 각도는 평균 3.7±4.48도의 전경자세를 보였고, 이지순간에 있어서는 평균 -5.6±1.00도의 후경자세를 보이면서, 성공 시에는 -10.4도의 큰 후경자세를 보였지만, 실패 시에는 다소 작은 후경자세를 보이는 것으로 나타났다. 기록이 우수한 피험자 B는 착지와 이지순간에 각각 -8.6도와 -13.0도의 후경자세를 보였고, 이지 시 피험자 A보다 큰 후경자세를 보이는 특성을 보였다.

신체각(후경각)은 신체중심의 선운동을 효율적으로 저지하기 위해 신체중심을 의도적으로 낮추면서, 다음 단계인 발구름 착지 시 지면에 보다 평행하게 들어오기 위한 동작이라고 할 수 있다. 기록이 우수한 피험자 B는 착지 시에는 -27.1도로 착지하는 것으로 나타났고, 이지순간에 있어서는 1.0도로 수직에 가까운 신체각을 보인것과 달리 피험자 A는 착지 시 -30.0±2.89도를 보이면서 실패 시는 성공 시의 -24.5도보다 큰 후경각도를 보이는 것으로 나타났다. 이지 시에 있어서는 평균 2.3±1.01도를 보였는데, 성공 시에는 -3.8도를 보인것과 달리 실패 시에는 1차와 2차 그리고 3차에 있어서는 각각 3.2도, 2.4도, 1.2도의 전경자세를 보였다. 성낙준(1991)에 의하면, 신체각(후경각)이 45도를 넘을 경우 지면반력의 벡터의 방향이 지나치게 수평이 됨으로서, 오히려 발구름 동작의 효율성을 떨어뜨릴 수 있다고 보고하였다. 특히, 도움닫기에서 후경각을 만들기 위해 의도적으로 자세를 낮추는 동작은 발구름 시에 구름발의지지 시간이 길어지면서 수직 충격량을 증가시키는 장점이 있지만, 수평·수직속도의 감소가

크게 되는 단점을 가지고 있다.

2 발구름 국면

<표 5>는 발구름 국면의 운동학적 특성을 나타낸 것으로, 신체중심의 높이변화와 무릎관절의 높이변화를 나타낸 것이다.

발구름 국면은 높이뛰기 종목에서 가장 중요한 국면으로서, 성낙준(1991)은 기술적인 측면에서 관건이 되는 것은 가능한 한 비행높이를 크게 하고, 비행 높이를 최대한 활용할 수 있도록 여유 높이를 최소로 줄이는 것이, 바 넘기의 효율을 높이는 것으로 보고하였다.

신체중심의 수직 높이변화를 살펴보면, 피험자 A는 발구름 접지순간(E3)에서는 평균 96.1±2.22cm, 발구름 이지순간(E4)에서는 평균 129.5±0.70cm를 보이면서 성공과 실패 시 신체중심의 높이변화에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 기록이 우수한 피험자 B는 접지에서는 신체중심이 48.4%의 비율을 보인 반면에 이지순간에서는 69.7%로 높게 증가하는 것으로 나타났다. 발구름 착지 시 신체중심높이의 신장비에 관한 선행연구를 보면, 성낙준(1991)은 평균 46.6%라고 하였으며, Ae(1990)은 46.4%, Conrad et al.(1990)은 46.0%, Dapena(1988)는 48.9%로 보고하고 있는데 피험자 A와 B 모두 선행연구들 보다 신체중심이 높게 나타났다.

또한 발구름 이지 시 신체중심높이의 신장비에 관해서 성낙준(1991)이 평균 67.56%라고 하였으며, Conrad et al.(1990)은 70.4%, Dapena (1980a)는 71.0%로 선행연구들보다 피험자 모두 낮은 비율을 보였다. 이는 발구름 동안의 신체중심의 수직상승거리는 도약

높이에 따라 증가하는 형태를 보이고 있는데, 구름발 착지 시의 신체중심높이가 낮으면 발구름 동안 신체중심의 수직이동거리를 크게 할 수 있다.

그러나 피험자 A의 경우 착지순간 신체중심의 수직 이동거리를 높이기 위해 자세를 충분히 낮추지 못했고, 특히 이지순간에는 신장비를 70%이상 신체중심을 빠르게 높여주는 것이 최고정점순간의 여유높이를 가지게 되어 성공 확률을 높일 수 있는 것으로 나타났다.

발구름 접지순간부터 이지순간(P2)까지의 수평변위를 국면별로 살펴보면, 수평변위의 2국면에서는 피험자 A가 평균 39.4±2.40cm를 보였는데, 실패 시보다 성공 시 51.6cm로 큰 변위를 보였고, 3국면에서는 평균 107.7±4.42cm로 성공 시에는 121.9cm로 실패 시보다 큰 수평변위를 보이는 것으로 나타났다.

그러나 피험자 B의 특성 비교할 때, 2국면과 3국면에서 각각 53.2cm와 123.5cm로 피험자 A의 성공 시보다 약간 큰 변위를 보였다.

수직변위의 특성을 국면별로 보면, 2국면에서 피험자 A는 평균 34.7±2.82cm로 나타나면서, 실패 시보다 성공 시에 높은 수직변위를 보였고, 발구름 이지순간부터 최고 정점(P3)까지의 3국면에 있어서도 성공 시가 실패 시보다 높은 수직변위를 보였다.

기록이 우수한 피험자 B의 특성을 보면, 2국면과 3국면에서 각각 36.7cm와 97.2cm로 피험자 A의 성공 시보다 높은 수직변위를 보이면서 발구름 동작을 하는 것으로 나타났다.

류재균, 이진택, 김태삼(2004)의 2002년 부산아시아안 게임의 4명의 상위 입장자들을 대상으로 한 선행연구에서는 수평변위가 각각 평균 37.5±4.7cm에서 94.2±11.8cm로, 수직변위가 각각 평균 29.8±1.4cm에서 100.2±4.3cm를 보인 것과 비교할 때, 이 연구의 피험자 A는 수평변위에서는 높게 나타났고, 수직변위는 낮은 결과를 보였다. 따라서 피험자 A는 기술적인 측면에서의 관건에서 볼 때, 2국면과 3국면에서 신체중심의 수직변위를 가능한 한 비행높이를 크게 해야 하는 것으로 판단된다. 이러한 수직변위를 높게 할 수 있는 것은 발구름 국면에서 추진다리의 역할이 중요하다고 볼 수 있다. 추진다리는 지면에 가해지는 수직력을 증가시키고, 바 넘기 동작에 필요한 각운동량을 만드는데 중요한 역할을 한다. 뿐만 아니라 이륙 시 신체중심의 높이를 증시키는데 중요한 역할을 하는데, 얼마나 높고 빠르게 무릎을 올리느냐에 따라, 기록에 영향을 주는 요인이 될 수 있다.

추진다리의 무릎 수직 높이 변화를 살펴보면, 발구름 접가지 시에는 평균 46.1±0.60cm를 보이면서 성공시의 42.1cm보다 실패 시가 보다 높은 무릎위치를 보였다.

표 5. 발구름 국면의 거리 변화

(단위:cm)

| Variables | Subject | A | | | | M±SD | B | |
|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|---------------------|----------------------|-----------|
| | | 220cm | 1차 | 2차 | 3차 | | 226cm | |
| COG | E3 | 94.7 | 97.3 | 97.4 | 93.5 | 96.1±2.22 (49.8) | 93.5 | |
| | | (49.1) | (50.4) | (50.5) | (48.4) | | (48.4) | |
| | VP | E4 | 130.3 | 128.8 | 129.4 | 130.2 | 129.5±0.70 (67.1) | 134.5 |
| | | (67.5) | (66.7) | (67.0) | (67.5) | (69.7) | | |
| | HD | E5 | 225.6 | 224.6 | 217.9 | 218.1 | 220.2±3.81 | 237.4 |
| | | P2 | 51.6 | 42.4 | 37.6 | 42.1 | | 39.4±2.40 |
| VD | P3 | 121.9 | 107.7 | 103.0 | 108.2 | 107.7±4.42 | 123.5 | |
| | P2 | 35.6 | 31.5 | 36.0 | 36.7 | | 34.7±2.82 | 36.7 |
| R Knee | VP | P3 | 95.3 | 95.8 | 84.5 | 87.9 | 89.4±5.80 | 97.2 |
| | | E3 | 42.1 | 46.7 | 45.5 | 46.2 | | 46.1±0.60 |
| | | E4 | 108.9 | 106.2 | 112.4 | 103.4 | 107.3±4.61 | 122.3 |

COG: Center of Gravity, VP: Vertical Position, H: Horizontal V: Vertical, D: Displacement

그러나 피험자 B는 51.9cm로 높은 자세에서 발구름 접지를 하는 것으로 나타났다.

발구름 이지 시에는 피험자 A가 평균 107.31 ±4.61cm로 실패 시보다 성공 시 낮은 수치를 보였는데, 피험자 B는 122.3cm로 높은 무릎위치를 보이고 있어 피험자 A보다 무릎을 높게 끌어올려 수직 추진력을 크게 하는 것으로 나타났다.

<표 6>은 발구름 국면의 신체중심 속도변화와 자유다리 무릎관절의 속도 변화를 나타낸 것이다.

표에 나타난 발구름 접지순간(E3)과 이지순간(E4)에 대한 신체중심의 속도변화를 살펴보면, 피험자 A의 발구름 접지(E3) 시 좌우방향(Vx)은 평균 5.48±0.13m/s, 수평방향(Vy)은 평균 4.11±0.03m/s, 수직방향(Vz)은 평균 0.83±0.10m/s를 보이면서 성공 시의 속도가 실패 시보다 낮은 속도를 보였다.

그러나 피험자 B와 비교할 때, 좌우방향(Vx)과 수평방향(Vy)에 있어서는 피험자 B가 크게 나타난 반면에 수직방향(Vz)이 작게 나타나 수평과 좌우방향의 속도

를 크게 하는 것으로 나타났다.

이지순간의 속도를 살펴보면, 피험자 A는 좌우방향(Vx)이 평균 3.86±0.06m/s, 수평방향(Vy)은 평균 2.47±0.11m/s 그리고 수직방향(Vz)은 4.12±0.09m/s를 보였는데, 좌우방향(Vx)과 수직방향(Vz)에 있어서는 성공 시보다 실패 시의 속도가 크게 나타난 반면에 수평방향(Vz)은 실패 시보다 성공 시 다소 높은 속도를 보였다. 피험자 B의 속도와 비교할 때, 좌우방향(Vx)과 수평방향(Vy)의 속도에서는 피험자 A가 크게 나타난 반면에 수직방향(Vz)에 있어서는 피험자 B가 큰 특성을 보였다. 특히, 접지순간과 이지순간의 속도차를 보면, 피험자 A보다 피험자 B가 좌우(Vx), 수평(Vy), 그리고 수직방향(Vz)의 속도 변화가 크게 나타나는 특성을 보였다. 이는 높이뛰기의 특성상 수평운동을 수직운동으로 전환하기 때문에 수평방향(Vy)의 속도가 작아지고, 수직방향(Vz)의 속도가 매우 커지게 된다. 이러한 결과는 발구름 시에 도움닫기의 수평방향(Vy)을 적절히 저지하는 동작에 의해 지면에 가해지는 수직력이 증가하게 된다.

표 6. 발구름 국면의 속도 변화

(단위: m/s)

| | | A | | | | M±SD | B | |
|------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| | | 220cm | 1차 | 2차 | 3차 | | 226cm | |
| COG | E3 | VX | 4.45 | 5.33 | 5.57 | 5.55 | 5.48±0.13 | 5.03 |
| | | Vy | 3.81 | 4.12 | 4.14 | 4.08 | 4.11±0.03 | 4.26 |
| | | Vz | 0.78 | 0.94 | 0.75 | 0.80 | 0.83±0.10 | 0.28 |
| | E4 | VX | 3.59 | 3.92 | 3.86 | 3.80 | 3.86±0.06 | 3.51 |
| | | Vy | 2.70 | 2.37 | 2.58 | 2.46 | 2.47±0.11 | 2.54 |
| | | Vz | 4.10 | 4.15 | 4.02 | 4.18 | 4.12±0.09 | 4.56 |
| | Δ | VX | -0.86 | -1.41 | -1.71 | -1.75 | -1.62±-0.07 | -1.52 |
| | | Vy | -1.11 | -1.75 | -1.56 | -1.62 | -1.64±0.07 | -1.72 |
| | | Vz | 3.32 | 3.21 | 3.27 | 3.38 | 3.29±-0.01 | 4.28 |
| R Knee (자유다리) | E3 | VX | 7.18 | 10.06 | 9.77 | 9.43 | 9.75±0.32 | 8.71 |
| | | Vy | 4.54 | 4.98 | 6.13 | 5.74 | 5.62±0.58 | 6.27 |
| | | Vz | 0.70 | 1.57 | 0.31 | 0.89 | 0.92±0.63 | -0.05 |
| | E4 | VX | 4.99 | 4.11 | 4.23 | 5.27 | 4.54±0.64 | 3.81 |
| | | Vy | 2.70 | 0.74 | 0.93 | 1.44 | 1.04±0.36 | 1.61 |
| | | Vz | 5.55 | 4.81 | 4.37 | 5.41 | 4.86±0.52 | 5.83 |
| | Δ | VX | -2.19 | -5.95 | -5.54 | -4.16 | -5.22±0.32 | -4.90 |
| | | Vy | -1.84 | -4.24 | -5.20 | -4.30 | -4.58±0.22 | -4.66 |
| | | Vz | 4.85 | 3.24 | 4.06 | 4.52 | 3.94±0.11 | 5.88 |

COG: Center of Gravity, Vy: Horizontal Velocity, Vz: Vertical Velocity, Δ: Velocity Difference

Dapena(1980a)와 Dapena(1986), 성낙준(1991)은 발구름 시 수평방향(Vy)을 감소시키는 것과 수직속도를 증가시키는 것은 상호 종속적인 관계가 있는 것으로 보고하고 있다. 즉, 도약 높이를 높이기 위해서는 도움닫기의 수평방향(Vy)을 크게 하면서, 발구름 시의 감속도를 이륙 시 수직속도로 빠르게 전환시키는 것이 필수적인 조건으로 볼 수 있다. 자유다리의 속도 변화를 살펴보면, 접지순간 피험자 A의 좌우방향(Vx), 수평방향(Vy) 그리고 수직방향(Vz)은 각각 평균 9.75±0.32m/s, 5.62±0.58m/s, 0.92±0.63m/s의 속도를 보이면서 성공 시의 속도보다 실패 시의 속도가 빠른 것으로 나타났다. 그러나 피험자 B는 각각 8.71m/s, 6.27m/s, -0.05m/s를 각각 보이면서 좌우방향(Vx)과 수평방향(Vy)의 속도가 빠른 것으로 나타났다.

이지순간의 속도를 살펴보면, 피험자 A는 성공 시의 수평방향(Vy)과 수직방향(Vz)의 속도가 실패 시의 속도보다 빠르게 나타났지만, 피험자 B와 비교할 때, 좌우방향(Vx)과 수평방향(Vy)의 속도는 빠르게 나타났지만, 수직방향(Vz)의 속도는 오히려 피험자 B가 빠른 속도를 보이면서 신체중심 높이를 증가시키는 것으로 나타났다.

이는 속도차이에서 볼 수 있듯이, 피험자 A는 성공 시 좌우방향(Vx)과 수평방향(Vy)의 감속도가 각각 -2.19m/s와 -1.84m/s로 작게 나타나는 반면에 수직방향(Vz)은 4.85m/s로 크게 증가하는 특성을 보였지만, 실패 시는 좌우방향(Vx)과 수평방향(Vy)의 감속도가 크게 나타내면서 오히려 수직방향(Vz)은 작게 나타나 수평속도를 수직속도로 전환시키는 못하는 것으로 나

타났다. 그러나 피험자 B는 좌우방향(Vx)과 수평방향(Vy)의 감속도를 크게 하면서 수직방향(Vz)의 속도를 크게 하여 신체중심 높이를 증가시키는 것으로 나타났다.

<표 7>은 발구름 국면의 상체전후경각과 신체각, 그리고 무릎각을 나타낸 것이다.

상체전후경각의 변화를 보면, 발구름 접지 시 피험자 A는 평균 -12.3±3.16도를 보였는데, 성공 시에는 -27.1도로 실패 시보다 큰 후경자세를 보였다. 발구름 이지순간에 있어서는 평균 7.1±1.16도로 성공 시에는 -3.8도의 후경자세를 보였지만, 실패 시에는 전경자세를 취하는 것으로 나타났다. 그러나 피험자 B는 접지순간에 피험자 A보다 -15.8도로 작은 후경자세를 보였고, 이지순간에서는 오히려 4.4도로 전경자세를 취하는 것으로 나타났다.

특히, 이지 시 상체가 앞으로 기울어지는 전경자세는 발구름 순간에 측면(X)방향으로의 수평방향(Vy)이 다소 크게 나타났기 때문인 것으로 판단되는데, 전경자세는 신체가 바 쪽으로 밀려들어가 높이 비행할 수 있는 도약 공간을 확보할 수 없어 신체의 일부가 바를 떨어뜨리는 결과를 초래할 수 있다. 반면 이지 시 상체가 수직에 가까운 직립 자세를 유지 하게 되면, 신체 중심을 최고 정점 위치를 높게 올릴 수 있게 되어 성공 확률을 높일 수 있는 특성을 가지고 있다.

신체각은 수직축(Z)과 발 분절 중심과 신체중심을 잇는 벡터와 이루는 절대각으로, 신체각의 자세에 따라 신체 중심의 높이, 즉 최고정점 위치를 달라지게 할 수 있다. 발구름 국면에서의 신체각 변화를 살펴보

표 7. 발구름 국면의 각도 변화

(단위: deg)

| Angle | Subject | Event | A | | | | M±SD | B |
|---------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|
| | | | 220cm | 1차 | 2차 | 3차 | | 226cm |
| Trunk lean | | E3 | -27.1 | -9.6 | -15.8 | -11.6 | -12.3±3.16 | -15.8 |
| | | E4 | -3.8 | 6.3 | 8.4 | 6.5 | 7.1±1.16 | 4.4 |
| Body lean (L) | | E3 | -24.5 | -25.4 | -22.9 | -24.4 | -24.2±1.26 | -28.0 |
| | | E4 | 2.5 | -1.8 | -0.8 | -1.4 | -1.3±0.50 | 1.3 |
| Knee | | E3 | 163.2 | 157.5 | 174.5 | 169.9 | 167.3±8.79 | 167.9 |
| | | E4 | 164.6 | 165.5 | 164.6 | 164.4 | 164.8±0.59 | 159.3 |

면, 접지(E3)순간피험자 A는 평균 -24.2 ± 1.26 도로 성공과 실패 시에 유사한 후경자세를 보였지만, 발구름 이지순간에 있어서는 성공 시 2.5도의 전경자세를 보인 것과 달리 실패 시에는 성공 시와 큰 차이는 없지만 후경자세를 취하는 것으로 나타났다. 피험자 B도 접지순간 -28.0 도로 피험자 A보다 큰 후경자세를 보였고, 이지순간에서도 1.3도로 피험자 A와 큰 차이를 보이지는 않았지만, 전경자세에서 이지하는 것으로 나타났다.

Ae 등(1986)은 발구름 접지 시 후경각을 크게 하면서 신체중심을 낮게 해야 하는 것으로 보고 하였는데, 이는 신체중심의 수평과 수직방향의 이동변위를 증가 시킴으로서 수직 충격량을 크게 하여, 결과적으로 이륙 시 수직속도를 크게 할 수 있는 것으로 보고 하였다.

특히 구름발 접지 순간, 큰 후경자세는 신체가 직립 하면서 도약 후 바(bar)에 접근할 때 신체중심을 충분히 높일 수 있는 여유 공간을 확보할 수 있지만, 작은 후경각은 발구름 순간에 바 쪽으로 신체의 기울임이 빨라지면서 아치(arch)동작이 일찍 만들어져 도약 후 신체가 바(bar)위에 떨어질 가능성이 커지게 한다.

Greig(1998)에 의하면, 발구름 접지 순간 후경각은 평균 -34.1 ± 1.8 도, Alexander(1990)는 평균 -35.3 도로 보고하면서 발구름 이지 시 신체중심을 충분히 높일 수 있는 여유 공간을 확보하여 최고 정점 높이를 크게 한 것으로 보고한 것과 달리, 이 연구에서의 피험자 A와 B 모두 후경각의 크기가 선행연구의 결과보다 작은 후경각을 보이면서 최고 정점 높이를 크게 하지 못한 것으로 볼 수 있다.

발구름 국면의 무릎각 변화를 살펴보면, 발구름 접지 시 피험자 A는 평균 167.3 ± 8.79 도로 성공 시의 163.2도보다 실패 시 큰 편차를 보였다.

그러나 이지순간에 있어서는 평균 164.8 ± 0.59 도로 성공과 실패 시 유사한 자세를 보였다. 피험자 B는 접지와 이지순간에 각각 167.9도와 159.3도로 접지 시 피험자 A보다 약간 신전된 자세에서 접지하는 것으로 나타났고, 이지순간에서는 오히려 159.3도로 굴곡된 자세에서 이지하는 것으로 나타났다.

Greig, M.P., & Yeadon, M.R.(2000)는 발구름 다리가 지면에 접지하는 순간 무릎각은 평균 170.3 ± 5.6 도,

Alexander(1990)는 무릎각이 170.5도에서 177.2도 범위에 있었다고 보고하였다. 이외의 선행연구(Dapena et al., 1986; Dapena, 1987; Conrad, A., & Ritzdorf, W. 1990; 성낙준, 1991)에서 발구름 접지 시 무릎의 굴곡 각도는 160~175도이고, 이륙 시 무릎 굴곡각도는 166~172도로 보고된 것과 비교할 때, 이 연구의 무릎각이 선행 연구보다 다소 굴곡된 상태에서 발구름을 수행하는 것으로 나타났다. Muraki(1984)와 Reid(1986)는 발구름 시 발구름 다리를 곧게 유지하는 것이 수직 상승력을 크게 하는 것으로 보고하였는데, 이는 발구름 초기에서 발생하는 신장성 수축에 의한 커다란 장력이 매우 짧은 시간 내에서 유지되는데, 발구름 다리의 큰 굴곡은 다리의 지레 역할을 감소시킴으로서 지면 반력의 감소를 가져오기 때문에 결과적으로 수직 상승력을 감소시키게 된다. 따라서 발구름 다리는 가능한 구부러지지 않게 버티는 것이 효율적이라고 할 수 있는데, 수직 상승력을 크게 하기 위해 이 연구의 피험자들은 무릎각을 가능한 한 유지하거나 더 높은 신전력을 얻기 위해 170도이상으로 높일 수 있도록 해야 하는 것으로 나타났다.

IV. 결론

본 연구는 국내에서 열린 2003 대구 하계유니버시아드 대회에서의 높이뛰기에서 우승한 폴란드 선수와 한국 국가대표로 출전한 BKH 선수를 대상으로 도움닫기 마지막 1보와 발구름 동작에 대한 운동학적 요인을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도움닫기 마지막 발구름 시 보폭 길이는 성공시보다 실패 시 긴 보폭을 보였고, 빠른 수평속도와 좌우속도를 보였다. 그러나 실패의 원인은 도움닫기 리듬의 일관성이 결여된 것으로 볼 수 있다. 따라서 신체중심을 낮추면서 보폭을 짧게 내딛는 형태의 구름발 착지를 해야 되는 것으로 나타났다.
2. 발구름 시 높은 무게중심으로 인해 후경각이 작은 것으로 나타났는데, 수직 이동과 바(bar)에 접근할 때 여유공간을 확보하기 위해서는 후경각을

크게 해야 하는 것으로 나타났다.

이상을 종합해보면 도움닫기 구간에 있어서는 속도와 비례하게 리듬을 유지하는 것 즉, 높이가 올라갈수록 일관성있는 도움닫기를 해야되는 것으로 나타났다. 이는 피험자 A 선수가 마지막 높이의 실패의 원인으로 본인의 최고기록에의 도전으로 인한 부담감에 의한 리듬저하로 볼 수 있다.

그리고 발구름 시에 중요한 후경각에서 피험자 A는 후경각을 적절하게 이용하지 못한 이유로는 신체를 너무 일찍 수직으로 이용하려고 하는 것과 달려들어오는 스피드를 적절히 브로킹 힘(blocking force)을 이용하지 못하게 된 것이다. 따라서 신체의 협응동작(coordination)을 높일수 있는 훈련을 통해 기존의 리듬감각을 더욱 높일수 있도록 해야된다.

참 고 문 헌

- 곽창수, 권영후, 김의환, 도호영(1996), 높이뛰기의 발구름 동작 및 공중동작 분석. 체육과학연구원.
- 도호영, 이진택, 백진호(2002). 국가대표 선수들의 발구름 동작에 관한 운동학적 분석. 한국체육학회지, 41(5), 837-850.
- 류재균, 이진택, 김태삼(2004). 남자 높이뛰기 도움닫기 마지막 1보와 발구름 동작의 운동학적 분석. 한국체육학회지, 43(6)
- 박경실(1999). 높이뛰기 선수들의 5보 도움닫기 리듬에 관한 운동학적 분석. 한국체육학회지, 38(3), 688-703.
- 성낙준(1991). 포스베리 높이뛰기의 발구름 동작에 관한 운동역학적 분석. 서울대학교 박사학위 청구논문.
- 성낙준(2004). 높이뛰기 도약 높이를 증가시키는 역학적 원리와 동작. 한국운동역학회지, 13(3), 1-14.
- 이진택, 윤희중, 류재균(2002). 남자 높이뛰기 마지막 3보와 발구름 동작의 운동학적 분석. 한국체육학회지, 41(4), 591-599.
- Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation: From comparator coordinates into object coordinates in close-range photogrammetry. Proceeding of ASPUI Symposium on Cross-Range Photogrammetry, Urbana, Illinois(pp.1-19). Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- Ae, M.(1990). [주고도와 주폭도의 답절시 신체 각부의 공현도]. Japanese Journal of Sports Science, 9(3), 130-136.
- Ae, M., Sakatani, Y., Yoioi, 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.
- Alexander, R.M. (1990). Optimum takeoff techniques for high and long jumps. *Philosophical Transaction of the Royal Society*, B329, 3-10.
- Bothmischel, V.E. (1990). Model characteristics of the high jump run-up. *Modern Athlete and Coach*, 28(4), 3-6.
- Bourne, G. (1992). Tracking the flop high jump. *Modern Athlete and Coach*, 30(1), 17-21.
- Conrad, A., & Ritzdorf, W. (1990). Scientific research project at the games of the XXI th Olympiad: Biomechanical analysis of the high jump, *New Studies in Athletics*, 177-217.
- Dapena, J. (1980a). Mechanics of translations in the fosbury flop. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(1), 37-44.
- Dapena, j. (1980b). Mechanics of rotation in the Fosbury flop. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(1), 45-53.
- Dapena, J., Feltner, M., & Bahamonde, R. (1986). Biomechanical Analysis of High Jump #5 (Men), Report for scientific services

- project(USOC/TAC).
- Dapena, J. (1988). Biomechanical analysis of the Fosbury flop(part I). *Track Technique*, 104, 3307-3317.
- Dapena, J., Ncdonald, C. & Capaert, J. (1990). A regression analysis of high jumping technique. *International Journal of Sports Biomechanics*, 6, 246-261.
- Dapena, J. (1992). Biomechanical studies in the high jump and the implications to coaching. *Track & Field Quarterly Review*, 92(4), 34-38.
- Doherty, K. (1980). *Track and Field Ommibook*, New York, Tafnews Press.
- Dursenev, L. I. (1991). Concerning one of the concepts of improving high jumpers. *Soviet Sports Review*, 26(2), 60-61.
- Fidler, S. (1992). High jump. *Track & Field Quarterly Review*, 92(4), 29-33.
- Greig, M.P., & Yeadon, M.R. (2000). The influence of touchdown parameters on the performance of a high jumper. *Journal of Applied Biomechanics*, 16, 367-378.
- Hackett, B. (1987, Winter). The high jump approach. *Track & Field Quarterly Review*, 87(4), 33-35.
- Hay, J.G. (1985). *The Biomechanics of Sports Techniques*(3rd de.): Englewood cliffs, N.J.: prentice Hall, Inc.
- Jacoby, E. (1987, Winter). A guide to the Flop high jump approach. *Track & Field Quarterly Review*, 87(4), 39-45.
- Johnston, D. (1988, Winter). The Speed/Power Flop - is it a natural ?. *Track & Field Quarterly Review*, 88(4), 19-22.
- Muraki, Y. (1984). Fundamentals of approach running & takeoff. *Track Technique*, 89, 2843-2845.
- Myers B. (1988), Mechanics of the high jump. *Track & Field Quarterly Review*, 88(4), 17-18.
- Plagenhoef, S., Evans, F.G., & Abdelnour, T. (1983). Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for Exercise and Sports*, 54(2), 169-178.
- Reid, P. (1986). Approach and take-off of the back lay-out high jump. *NSCA Journal*, 8(1), 5-9.
- Sloan, R. (1984). Factors influencing the development of the flop high jumper. *Track & Field Quarterly Review*, 84, 12-14.
- Tellez, K. (1993). Elements of the high jump. *Track Technique*, 125, 3987-3990.
- Winsor, M. (1996) Coaching the beginning and advanced high jump. *Track & Field Coaches Review*, 95(40), 14-15.

투 고 일 : 07월 30일

심 사 일 : 08월 15일

심사완료일 : 09월 01일