



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위 청구논문

높이뛰기의 도움닫기 마지막 3보와 발구름  
동작의 운동학적 분석

지도교수 류 재 청

제주대학교 교육대학원

체육교육전공

현 승 현

2010年 8月

<국문초록>

높이뛰기의 도움닫기 마지막 3보와 발구름 동작의  
운동학적 분석

현 승 현

제주대학교 교육대학원

체육교육전공

지도교수 류 재 청

본 연구는 높이뛰기 기록을 증가시킬 수 있는 효율적인 도움닫기와 발구름 형태를 규명하여 선수들의 동작을 진단하고 평가하는데 필요한 운동학적 변인에 관한 자료를 확보하기 위해 수행하였고, 피험자는 국가대표 급 우수선수 1명과 1년 이상의 높이뛰기 경력을 가진 일반선수 3명을 대상으로 하였다.

분석한 운동학적 변인들로는 각 국면별 평균 소요시간, 신체중심위치변화, 신체중심속도변화, 하지분절의 각변위, 동체의 전후경각으로 피험자들의 도움닫기와 발구름 동작에서 공통된 기술적 특징과 차이 검증을 위해 SPSS12.0 통계프로그램을 이용하여 독립-t 검정을 실시하였고 유의 수준은  $p < .05$ 로 실시하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 각 국면별 시간변인

높이뛰기 발구름 전 마지막 3보 도움닫기부터 최고정점높이까지 국면별 소요시간은 도움닫기와 발구름 국면에서 우수선수가 일반선수보다 소요시간을 더 짧게 하는 것으로 나타났다.

## 2. 각 국면별 선운동 변인

신체중심위치의 좌우변화는 우수선수가 일반선수 보다 더 작은 이동변위와 중심을 낮추는 자세를 보였고, 신체중심속도는 신체중심의 좌우(X), 수평(Y)축에 대한 수직(Z)방향으로 우수선수가 일반선수보다 더 크게 나타났다.

## 3. 각 국면별 각운동 변인

### 1) 하지분절의 각변위

높이뛰기 도움닫기 후 발구름까지의 각도변화는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았지만 고관절(좌), 추진다리(우), 발목관절(좌)은 우수선수가 일반선수보다 더 굴곡된 자세가 나타났고, 무릎관절(좌)은 일반선수보다 우수선수가 더 신전된 자세를 보였다.

### 2) 동체의 전후경각

높이뛰기 발구름 전 마지막3보 도움닫기부터 최고정점높이까지 동체의 전후경각은 일반선수보다 우수선수가 후경각 자세를 더 크게 하는 것으로 나타났고, 일반선수는 마지막 직전스트라이드와 발구름이륙 시 더 큰 전경각 자세를 보였다.

이상의 결론을 종합해 보면 효율적인 발구름 동작을 수행하기 위해서는 도움닫기 마지막 3보의 좌우(X), 수평(Y)방향으로의 속도를 도약순간과 동시에 감소시키면서 수직(Z)방향으로 속도를 전환하고 증가시켜야 한다. 이를 위해서는 도움닫기 유형에 맞는 신체중심의 높이변화와 도약순간 시간을 짧게 하여 충격량 보다는 수직 충격력을 크게 하여야 하고 발구름 동작 시 고관절과 무릎각은 신전된 상태로 접지하여 breaking force를 크게 유발하여 상체가 후경에서 직립자세에 가까워야 하며 내경에서 외경으로의 각 변화를 크게 함으로써 효율적인 높이뛰기 운동수행을 할 수 있을 것으로 사료된다.

# 목 차

|                           |    |
|---------------------------|----|
| I. 서 론                    | 1  |
| 1. 연구의 필요성                | 1  |
| 2. 연구의 목적                 | 3  |
| 3. 연구문제                   | 3  |
| 4. 용어의 정리                 | 4  |
| II. 이론적 배경                | 5  |
| 1. 높이뛰기의 기술의 변천           | 5  |
| 2. 높이뛰기의 기술적인 요소          | 6  |
| 3. 높이뛰기의 단계               | 9  |
| 4. 높이뛰기에 필요한 기본적 훈련       | 11 |
| 5. 높이뛰기에 대한 선행연구          | 13 |
| III. 연구방법                 | 15 |
| 1. 연구대상                   | 15 |
| 2. 실험도구                   | 15 |
| 1) 영상 촬영 장비               | 16 |
| 2) 영상 분석 장비               | 16 |
| 3. 실험절차                   | 16 |
| 4. 인체 관절점의 좌표화 및 자료 분석 절차 | 17 |
| 1) 인체 관절점의 좌표화            | 17 |
| 2) 3차원좌표의 계산              | 19 |
| 3) 변인 산출                  | 19 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 5. 이벤트 및 분석국면 .....   | 21 |
| 6. 통계처리 .....         | 23 |
| <b>IV. 연구결과</b> ..... | 24 |
| 1. 각 국면별 시간변인 .....   | 24 |
| 2. 각 국면별 선운동변인 .....  | 25 |
| 1) 신체중심의 위치변화 .....   | 25 |
| 2) 신체중심의 속도변화 .....   | 28 |
| 3. 각 국면별 각운동변인 .....  | 31 |
| 1) 하지관절의 각도변화 .....   | 31 |
| 2) 동체의 전후경각 .....     | 34 |
| <b>V. 논의</b> .....    | 35 |
| 1. 시간변인 .....         | 35 |
| 2. 각 국면별 선운동변인 .....  | 36 |
| 1) 신체중심의 위치변화 .....   | 36 |
| 2) 신체중심의 속도변화 .....   | 37 |
| 3. 각 국면별 각운동변인 .....  | 39 |
| 1) 하지관절의 각도변화 .....   | 39 |
| 2) 동체의 전후경각 .....     | 40 |
| <b>VI. 결론</b> .....   | 42 |
| <b>참고문헌</b> .....     | 44 |
| <b>Abstract</b> ..... | 48 |

## 표 차례

|   |    |
|---|----|
| 표 1. 피험자 신체적 특성 .....                       | 15 |
| 표 2. 실험도구 .....                             | 15 |
| 표 3. 인체 관절점과 디지털이징 순서 .....                 | 18 |
| 표 4. 국면별 총 소요시간(단위: frame, sec, %) .....    | 24 |
| 표 5. 국면별 평균 신체중심의 위치변화, 신장비(단위:cm, %) ..... | 26 |
| 표 6. 국면별 평균 신체중심의 속도변화(단위:cm/sec) .....     | 29 |
| 표 7. 각 국면별 하지분절의 각변위(단위:deg) .....          | 31 |
| 표 8. 각 국면별 동체의 전후경각(단위:deg) .....           | 34 |

## 그림 차례

|   |    |
|---|----|
| 그림 1. 도약높이에 따른 세부높이의 기여도(Hay, 1985) ..... | 7  |
| 그림 2. 실험장비 배치도 .....                      | 17 |
| 그림 3. 인체관절점과 디지타이징 순서 .....               | 18 |
| 그림 4. 이벤트 및 국면구간 .....                    | 22 |
| 그림 5. 발구름 이벤트 및 국면구간 .....                | 22 |
| 그림 6. 각 국면별 총소요시간 .....                   | 25 |
| 그림 7. 각 국면별 신체중심위치변화(X, Z) .....          | 27 |
| 그림 8. 각 국면별 신체중심속도변화(X) .....             | 29 |
| 그림 9. 각 국면별 신체중심속도변화(Y, Z) .....          | 30 |
| 그림 10. 각 국면별 하지분절의 각변위 .....              | 32 |
| 그림 11. 각 국면별 하지분절의 각변위 .....              | 33 |
| 그림 12. 각 국면별 동체의 전후경각 .....               | 34 |



# I. 서론

## 1. 연구의 필요성

높이뛰기 선수가 좋은 기록을 내기 위해서는 높이 뛰어 올라야 하며 동시에 바(bar)를 떨어뜨리지 않고 넘어가야 한다. 높이 뛰어 오르기 위해서는 이륙(take-off)시 신체중심(center of gravity)의 높이와 수직 상방속도를 가능한 크게 하는데, 이를 위해서는 선수특성에 맞는 효율적인 도움닫기 기술이 있어야 한다. 지금까지 알려진 높이뛰기의 여러 가지 도약법 중에서 가장 효과적인 폼은 배면뛰기(Fosbury Flop)라고 할 수 있다. 포스베리 높이뛰기는 1960년대 후반 미국의 Dick Fosbury에 의해 시도되어 그의 이름을 딴 포스베리형(Fosbury Flop)으로 발전되어 왔으며 오늘날에는 포스베리 형 높이뛰기가 높이뛰기 기술의 주종을 이루고 있다(Fidler, 1992).

현재 대부분 선수들이 포스베리형 높이뛰기를 시도하는 이유는 빠른 도움닫기 속도로부터 원심력을 발생시켜 높이에서 효율적인 배면형 공중동작을 취할 수 있다는 기술적 특징과 배우기가 쉽기 때문이다(Bothmischel, 1990). 높이뛰기 기술은 다른 도약기술과 마찬가지로 시간적인 순서에 의해 도움닫기(run-up), 발구름(take-off), 공중동작(bar clearance), 착지(landing)의 4가지 세부 단계로 분류할 수 있다(Dapena, 1980; Ae, 1990). 이 중에서 가장 핵심이 되는 단계는 발구름 단계이며(Ecker, 1976; Dapena, 1980, Dapena et al., 1988; Ae, 1990), 발구름 단계의 성패는 발구름의 준비 과정인 도움닫기에 의해 결정된다. 따라서 발구름을 위한 도움닫기의 속도와 무게중심의 높이는 체력적 차이에 의해 선수마다 다르고 선수 각자에 맞는 최적 속도와 무게중심의 높이는 훈련에 의해 시행착오를 거쳐 찾아질 수 있으며(박정실, 1999), Bar를 넘기 위한 구름발의 위치와 수평 속도를 조절하고, 공중에서 신체를 회전시키기 위한 각 운동량을 만드는 것이 효율적인 발구름 동작의 조건을 충족시킬 수 있다(성낙준, 1991).

Doherty(1985)와 Cooksey(1986)는 우수 선수들의 경우, 훈련 시간의 80%~90%를 도움닫기 훈련에 할애한다고 언급하였으며, Muraki(1984)도 높이뛰기 기록의 90%는 도움닫기에 의해 결정된다고 주장하고 있다. 즉 기록을 향상시키기 위해서는 도움닫기에서 발구름 동작으로 역학적인 인과관계를 얼마나 순차적으로 연결시키는가가 주요관건이(Ecker, 1976; Dapena, 1980, Dapena et al., 1988; Ae, 1990)되는데, 도움닫기에서는 보폭에 따른 수평속도와 좌우속도, 발구름 구간에서는 수평속도와 수직속도, 보폭길이, 착지 시 자세에 따른 신체중심의 높이변화 그리고 양팔과 추진다리의 상방 추진 동작 등이 주요요

인(Muraki, 1984; Sloan, 1984; Hay, 1985; Jacoby, 1987; Hackett, 1987; Bothmischel, 1990)으로 작용하는 것으로 보고하고 있다. 또한 도움닫기에서 스트라이드(stride)는 출발점에서부터 발구름을 향해 진행될수록 보폭과 속도를 점진적으로 증가시키다가 마지막 2-3보에서부터 엉덩이를 점진적으로 낮게 유지한다(Dapena, 1992). 마지막 스트라이드는 마지막 직전 스트라이드 보다 짧아야 하며(Henson, 1992; Winsor, 1996), 마지막 직전 스트라이드를 길게 하여 무게 중심을 낮춘 후, 마지막 스트라이드를 짧고 빠르게 하여 이륙 순간에 무게 중심을 높이기 위해 유리한 자세를 만들어야 한다(Tellez, 1993; Henson, 1992). 이러한 결과에 대한 선행 연구들을 살펴보면 다음과 같다.

높이뛰기 선수들의 5보 도움닫기 리듬에 관한 운동학적 분석(박경실, 1999), 엘리트 높이뛰기 선수들의 발구름 동작에 관한 운동학적 분석(김재필, 2004), 남자높이뛰기 마지막 3보와 발구름 동작의 운동학적 분석(이진택 등, 2002), 국가대표 높이뛰기 선수들의 발구름 동작에 관한 운동학적 분석(도호영 등, 2002), 포스베리 높이뛰기 동작 시 인체 무게중심 및 관절각도 변화에 대한 분석(김용대 등, 2008), 남자 높이뛰기 성공과 실패 시 발구름 국면의 운동학적 요인에 대한 Variability 분석(이진택, 2007), 포스베리 높이뛰기의 발구름 동작에 관한 운동역학적 분석(성낙준, 1991), 남자 높이뛰기 BKH 선수를 중심으로 한 도움닫기 마지막 1보와 발구름 국면의 운동학적 분석(윤희중 등, 2005), 근골격 최적제어 모델을 이용한 최대 높이뛰기의 도약시간에 대한 연구(김선필, 2007), 남자 높이뛰기 마지막 1보와 발구름 동작의 운동학적 분석(류재균 등, 2004), 높이뛰기 우수선수와 일반선수의 도움닫기 경로에 대한 비교분석(이진택, 2003), 높이뛰기 발 구름 및 공중동작의 운동학적 분석(이중훈, 2004), 제 16회 아시아선수권 대회 남자 높이뛰기 발구름 동작의 운동학적 분석(이진택 등, 2006), 높이뛰기 발 구름 및 공중동작의 운동학적 분석(이중훈, 2004), 등의 연구를 들 수 있다.

이상의 국내외 선행연구를 살펴보면 발구름 동작은 역학적인 변인들의 상호작용, 시간적 타이밍에 의한 기술을 바탕으로 높이뛰기의 성공여부를 결정짓는 중요한 요인으로 강조되고 있고 이러한 발구름 동작을 이끌어내는 것은 마지막 3보와 보폭, 속도의 변화에 의해서 기인된다. 그러나 선행연구들은 구름발의 이륙 및 구름발 착지 전 1보에 대한 연구와 바 넘기를 포함한 공중동작의 분석에 치중해 오고 있으며 실험적인 방법을 통한 2차원적 영상분석이 주를 이루고 있기 때문에 운동학적 분석은 부족한 실정이다.

따라서 본 연구를 통해 높이뛰기에 결정적인 영향을 주는 도움닫기의 발구름전 마지막3보와 발구름 동작에서의 운동학적 변인들을 통해 경기력에 미치는 특성과 효율적인 발구름 형태를 규명하기 위한 목적에서 수행되었다.

## 2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 높이뛰기 도약 높이에 결정적인 영향을 미치는 도움닫기 주로의 곡선부분인 마지막3보 도움닫기 리듬과 발구름 동작의 운동학적 변인들을 산출하여 공통된 기술적 특징과 효율적인 발구름 형태를 찾아내고, 높이뛰기 선수들의 기록을 증가시키는 원리를 규명하여 정량적 자료를 확보하는 것이다.

## 3. 연구문제

### 1) 운동학적 변인

#### (1) 시간 변인

- 높이뛰기 발구름 전 도움닫기 마지막 3보와 발구름 후 공중동작 최고정점 높이까지의 국면별 소요시간 변인분석.

#### (2) 선운동 변인

- 높이뛰기 발구름 전 도움닫기 마지막 3보와 발구름 후 공중동작 최고정점 높이까지의 국면별 신체중심위치.
- 높이뛰기 발구름 전 도움닫기 마지막 3보와 발구름 후 공중동작 최고정점 높이까지의 국면별 신체중심속도.

#### (3) 각운동 변인

- 높이뛰기 발구름 전 도움닫기 마지막 3보와 발구름 후 공중동작 최고정점 높이까지의 하지분절(고관절, 무릎관절, 발목관절)의 각변위.
- 높이뛰기 발구름 전 도움닫기 마지막 3보와 발구름 후 공중동작 최고정점 높이까지의 전후경각.

#### 4. 용어의 정리

본 연구에 사용되는 용어에 대한 정의는 다음과 같다.

- 1) 도움닫기(run-up) : 선수가 발구름을 위해 바(bar)를 향해 뛰어 들어가는 동작으로서, 출발점에서부터 구름발이 지면에 닿는 순간까지가 도움닫기이다.
- 2) 발구름(Take-off Phase) : 선수가 바(bar)를 넘기 위한 구름발로서 최종적으로 지면을 구르는 동작으로, 구름발이 지면에 닿는 순간부터 발의 앞 끝이 떨어지는 순간까지의 동작을 의미한다.
- 3) 발구름 착지(Touch Down) : 발구름을 위해 구름발이 지면에 닿는 순간 또는 동작.
- 4) 도약(Take-Off) : 바를 넘기 위해 이륙 할 때 발구름의 발끝이 지면에서 떨어지는 순간의 동작.
- 5) 추진 다리(free leg, lead leg) : 발구름을 할 때 지면에 닿지 않는 다리로서, 우측 도움닫기를 하는 선수는 우측 다리가 추진다리가 된다. 발구름 하는 발의 반대쪽 다리라는 의미로 반대다리 라고도 한다.
- 6) 마지막 3보(last three stride) : 구름발 발의 착지를 1보로 하여 바로 전 발의 착지를 2보로, 2보전 착지를 마지막 3보라 말할 수 있으며 주로에서 커브 부분에 해당됨.
- 7) 곡선 주로의 반경 : 도움닫기에서 마지막 3보가 이루는 경로는 원의 호와 유사한데, 이렇게 형성된 호의 반경을 말함.

## II. 이론적 배경

### 1. 높이뛰기의 기술의 변천

높이뛰기는 도움닫기의 수평 속도를 다리의 탄력을 이용하여 수직 속도로 바꾸어 가로대(바. bar)를 뛰어넘음으로써 정확한 도움닫기와 발구름, 유효한 공중동작과 착지자세 등이 중요한 요소로 다른 필드 경기에 비해 높이뛰기에서는 선택할 수 있는 기술의 종류가 많다. 높이뛰기의 기술은 초기에 사용되었던 가위뛰기(scissors)기술에서 시작하여 지금까지 최소 6개의 명명된 기술들 즉, 가위뛰기, 변형된 가위뛰기(뒤로 누워뛰기), 이스턴 컷오프, 웨스턴 롤, 스트래들(straddle: 한국에서는 일본식으로 베리롤 오버라고 함), 포스베리 플롭이 개발되고 개선되어져 왔으며(Doherty, 1980 : Hay, 1985), 현재 가장 효율적인 기술로 인정받고 있는 기술은 포스베리 플롭 기술이다.

역사적으로 가장 오래되고 가장 간단하며 초보자에게 가장 많이 쓰이는 기술은 가위뛰기이다. 가위뛰기에서는 여유 높이가 보통 25~30cm에 달하지만 바를 향해 위로 올라갈 때 후방 또는 측방으로 몸을 회전시키면 이 여유 높이는 상당히 감소하게 된다. 바를 넘어갈 때 등을 펴서 눕는 자세를 만들기 위해 후방으로 몸을 회전시키는 방법은 변형된 가위뛰기 또는 뒤로 누워 뛰기가 되었다. 그러나 변형된 가위뛰기는 바위에서 뒤로 눕는 자세로 인해 착지 시 거꾸로 떨어지게 되는데 당시의 매트는 매우 빈약하여 위험했으므로 이 기술을 쓰기에는 어려움이 많았다. 바를 향해 위로 올라갈 때 옆으로 몸을 회전시키는 방법은 미국의 동부 지역 선수들에 의해 많이 이용되었으며 이스턴 컷오프 기술로 알려져 있다. 이론적으로는 이 기술이 여유 높이를 2~5cm까지 줄일 수 있지만 이 기술은 높이 수준의 동체와 힙(Hip)의 유연성 및 체조 능력이 필요하기 때문에 실제로는 15~20cm 이하로 여유 높이를 줄이지 못했다.

역사적으로 볼 때 다음으로 출현한 기술은 미국의 캘리포니아에서 만들어져 미국 서부 해안의 선수들에게 보급되었던 웨스턴 롤이다. 이 기술에서는 바에 가까운 쪽의 발로 발구름을 하여 홉핑 동작과 매우 유사하게 발구름 다리의 무릎을 굽혀 가슴쪽으로 끌어당기고, 이 무릎과 옆구리 쪽으로 바위에 누는 것과 같은 자세로 바를 넘는다. 이 기술은 여유 높이를 약 15cm 까지 감소시켜 줄 수 있다. 스트래들에서는 바에 가까운 쪽의 발로 발구름을 하고 바위에서는 얼굴이 바를 내려다보는 자세를 취한다. 몸이 쪽 퍼져 있으며 신체중심의 높이는 바 위에서 10cm 밖에 되지 않을 것이다. 반면에 몸이 바를 둘러

싸는 자세가 되면 이 높이는 5~10cm 까지 감소될 수 있다. 가장 늦게 출현한 기술은 포스베리플롭(Fosbury-flop)으로서 바에서 먼 쪽의 발로 발구름을 하며 바 위에서 등을 아치 형태로 구부려 바를 넘어간다. 이 기술의 두드러진 기술적 특성은 곡선 도움단기를 이용하는 것과 바를 넘어갈 때 뒤로 누는 자세를 취하는 것이다. 이러한 바 넘기 자세는 신체중심이 등 밑의 몸밖에 위치하게 함으로써 신체중심이 바와 같은 높이일 때도 바를 넘어갈 수가 있다. 포스베리 플롭 기술은 1968년 멕시코 올림픽에서 우승한 미국의 디 포스베리(Dic Fosbury)가 최초로 사용하여 포스베리 플롭이라 명명되었다. 그는 1965년에 플롭을 개발하였으며 1967년 이후부터는 계속 플롭 기술을 이용하였다. 포스베리 플롭(Fosbury-flop)의 다른 이점은 발구름 시에 회전력을 만들어야 하는 스트래들과 다리 지면의 반작용력이 바를 향하지 않고 신체의 신체중심을 향하게 되는 것이다. 또한 공중에서의 플롭 기술은 좌우 대칭 동작임으로 스트래들과 같이 대칭이 아닌 동작에 비해 배우기가 쉽다.

높이뛰기는 현재에 이르기까지 여러 형태의 도약방법으로 실시되었으며, 현재 대부분의 선수들이 사용할 뿐만 아니라 학교 현장에서도 배면뛰기(Fobury-flop)의 기술을 사용하고 있다.

## 2. 높이뛰기의 기술적인 요소

높이뛰기 선수가 좋은 기록을 내기 위해서는 높이 뛰어 올라가야 하며, 동시에 바를 떨어뜨리지 않고 넘어가야 한다. 따라서 발구름 동작에서는 이륙 후 수직방향으로의 이동뿐 만 아니라 수평 방향의 이동도 고려해야 하며, 수평방향의 이동은 바의 수직방향에서 신체중심이 최고 높이에 도달할 수 있도록 수직방향의 움직임과 타이밍을 맞추어야 한다. 즉, 높이뛰기의 발구름 동작에서 고려해야 할 조건은 첫째, 이륙 시 신체중심의 높이와 수직속도를 가능한 크게 하는 것과 둘째, 적절한 발구름 거리를 선택하고, 수평속도를 적절히 조절하는 것, 그리고 마지막으로 공중에서 신체를 회전시키기 위한 적절한 각 운동량을 만드는 것 세 가지로 분류할 수 있다(성낙준, 1991).

이 세 가지 조건들과 관련된 주요 역학적 변인들의 크기와 상호 작용 및 시간적인 조화가 높이뛰기의 기록을 결정하게 된다. 또한, 높이뛰기에서 선수가 넘은 높이는 다음과 같이 세분할 수 있으며, 이들의 조합이 선수가 넘은 기록이 된다(Hay, 1985).

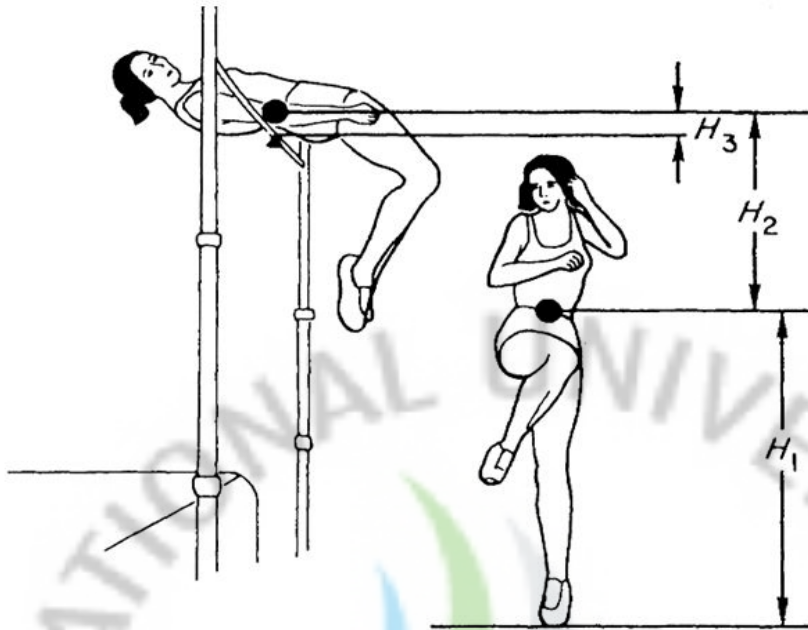


그림 1. 도약높이에 따른 세부높이의 기여도(Hay, 1985)

1. 이륙순간의 신체중심 높이 - 이륙 높이(take-off height, H 1)
2. 비행동안에 올라간 신체중심의 높이 - 비행높이(flight height, H 2)
3. 신체중심의 최고 위치와 바 간의차이 - 여유 높이(clearance height, H 3)

세부적인 높이들이 기록에 미치는 상대적 기여도는 선수에 따라 차이가 있으나, Hay(1985)의 자료에 의하면 각각 평균 63%, 40%, -3%정도의 기여도를 갖는다. 세부 높이들 중에서 기여도가 가장 큰 이륙 높이(H 1)는 선수의 체격(특히, 하지장)과 이륙 순간 신체중심 위치에 의해 결정되는데, 이륙 시에 신체 분절들의 위치를 최대한 신체중심을 높일 수 있도록 조정한다고 해도 하지장의 길이에 의한 차이는 극복될 수 없다.

따라서 기술적인 측면에서 관건이 되는 것은 가능한 한 비행 높이(H 2)를 크게 하고, 비행 높이를 최대로 활용할 수 있도록 여유 높이(H 3)를 최소로 줄이는 것, 즉 바 넘기의 효율을 높이는 것이다.

#### 1) 높이뛰기 선수의 체격, 신장과 상관관계

높이뛰기는 인간이 가지고 있는 다리의 탄력성을 최대로 발휘하여 수평속력을 수직상승력으로 전환

하는 것으로 체격과 신장이 큰 사람이 유리하다.

첫째, 체격적으로 신장이 크고 비교적 하지가 긴 사람이어야 하고,

둘째, 신장에 비하여 체중이 비교적 적은 편이 유리하다.

도움닫기는 9~11보로써 타원형을 그리며 달려가서 발구름 한다. 발구름 각도는 15~20deg로 도움닫기 방향으로 발구름 한다. 배면뛰기의 특징은 도움닫기의 속도를 발구름하는 데 살릴 수 있고 기술습득이 배리 롤 오버보다 쉽고 또 재미있다. 빠른 속도로 구름점에 있으며 마지막 발구름 때 배리 롤 오버 같은 후 경사각이 없어도 발구름을 잘 할 수 있는데 이때 오른팔 어깨를 쓰는 것이 바람직하다. 배면뛰기는 구름 지점에서 스피드가 멈추어지는 것이 아니라 그대로 강하게 구름발이 되어 도약의 추진작용을 하는 것임을 알아냈다.

높이뛰기는 수평속도를 수직속도로 효과적으로 전환시키는 중요한 문제이다. 배면뛰기는 발구름 점으로부터 마지막 4보는 약간의 커브를 그려야 한다. 이 4보에서의 커브는 경기자에게 지면에 작용하는 힘을 증가시키고 수직력을 보강하고 발구름 시 바에 대한 경사각을 보충해 주는 원심력을 발달시켜 준다. 발구름 다리의 각은 지면과 완전히 뻗어야 수직속도는 양팔과 리드다리의 갑작스런 멈춤 운동에 의해 증가된다고 보고하고 있다(서영주, 1985).

높이뛰기에 있어서는 선천적으로 키가 커서 중심의 높이가 높을수록 유리하게 된다. 그것은 대기록의 2/3가 경기자 중심의 높이로서 정해지고 그 나머지 1/3은 발구름의 힘과 폭으로 정해진다.

높이뛰기는 선수가 지면을 떠나는 순간 중심의 높이, 지면을 떠나 점프하는 동안 중심의 높이, 중심의 최고 높이와 바 높이 사이의 거리에 의해 정해진다고 기술하고 있고, 발구름 시는 발뒤꿈치를 상체 중심을 세우고 발끝과 무릎을 높이 올려서 바에 수직 상승되게 해야 함으로 작용 반작용 법칙을 이용하면 되겠다. 또한 배면뛰기는 배리 롤 오버처럼 후경 자세를 많이 하지 않아도 된다. 바(bar)위의 배면 상태에서는 큰 아치를 그려야 함으로 양다리의 무릎 및 다리를 잠시 바(bar)위에 남겨 둔다는 감, 바(bar)위에서 가슴을 펴주고 배를 위로 올리는 감으로 넘어야 한다.

점프 시 뛰어오르는 힘의 발생은 다리 근육의 수축과 속도와 강도 그리고 강력한 킥에 견딜 수 있는 다리의 강도에 따르는 것이다.

배면뛰기는 선수의 담력이 풍부하고 우수한 탄력을 가지고 폭발적인 신경근육기구를 가진 선수가 좋다고 기술하고 있다.

이상과 같은 연구내용에 의하면 높이뛰기는 도움닫기 속도, 발구름, 공중동작, 착지, 유연성, 다리의 파워, 그리고 신체적 조건에 의해 결정됨을 알 수 있다.



### 3. 높이뛰기의 단계

높이뛰기 기술은 다른 도약기술과 마찬가지로 시간적인 순서에 의해 도움닫기(run-up), 발구름(take-off), 공중동작(bar clearance), 착지(landing)의 4가지 세부 단계로 분류할 수 있는데(Dapena, 1980; Ae, 1990), 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; Dapena, 1980, Dapena et al., 1988; Ae, 1990)되는데, 도움닫기에서는 보폭에 따른 수평속도와 좌우속도, 발구름 구간에서는 수평속도와 수직속도, 보폭길이, 착지 시 자세에 따른 신체중심의 높이변화 그리고 양팔과 추진다리의 상방 추진 동작 등이 주요요인(Muraki, 1984; Sloan, 1984; Hay, 1985; Jacoby, 1987; Hackett, 1987; Bothmischel, 1990)으로 작용하는 것으로 나타났다.

#### 1) 도움닫기 (run-up)

도움닫기는 도약의 시작이다. 좋은 도움닫기가 좋은 발구름을 낳고 좋은 발구름은 공중동작을 원활하게 해준다. 좋은 도움닫기의 조건에는 여러 가지가 있으나 정확하고 좋은 발구름을 할 수 있는 범위에서 바른 스피드와 그것이 좋은 발구름으로 옮겨 갈 수 있는 리듬이 가장 중요하다. 높이뛰기는 도움닫기에 스피드가 있는 것이 바람직하지만 높이를 얻으려면 중심의 각도를 크게 하는 편이 유리하다. 도움닫기의 속도는 스트라이드 길이와 스트라이드의 각도에 의해 결정되며, 마지막 스트라이드의 길이는 구름발 착지 시 무게중심의 높이 및 구름발과 무게 중심간의 거리에도 영향을 주게 된다. 마지막 두 스트라이드의 길이에 대한 일반적인 이론은 길고, 짧은 스트라이드 즉, 끝에서 두 번째 스트라이드의 길이가 도움닫기 스트라이드 중 가장 길어야 하며, 마지막 스트라이드에서는 스트라이드의 길이를 약간 감소시켜야 한다는 것이다(Muraki, 1984; Sloan, 1984; Hay, 1985; Jacoby, 1987; Hackett, 1987; Bothmischel, 1990). 이 형태는 Dapena, Feltner, Bahamonde(1986)가 분류한 무게 중심을 낮추는 형태 중에서, 발구름 전의 2-3보전에 신체를 낮추고 마지막 스트라이드에서 무게 중심을 높이는 형태에 속하는 것으로 볼 수 있으며 구름발 착지 시 하방 속도는 가장 적지만 발구름 시 수직 운동 범위를 감소시키는 유형이 된다.

Doherty(1980), Johnston(1988)과 Conrad 등(1990)은 마지막 스트라이드의 길이가 더 긴 선수들도 많았다고 보고하고 있으며, Chu(1984)는 마지막 세 스트라이드는 일정해야 하며 마지막 스트라이드는 두

번째 스트라이드 보다 길수도 있다고 말하고 있다.

## 2) 발구름 (take-off)

곡선으로 달려온 도움닫기의 속도를 수직성분의 힘으로 전환시키기 위한 발구름 동작은 매우 중요하다. 이 동작에서 큰 파워가 강한 선수는 일단 신체 중심을 낮추고 일시적으로 에너지를 구름발에 축적한 후 발구름 마지막 단계에서 힘차게 위로 상승하는 Power-flop이 유리하고, 반대로 스피드가 뛰어난 선수는 발구름 시 신체 중심을 높이고 스피드를 수직성분의 힘으로 전화하는 Speed-flop 스타일을 택하는 것이 좋다

발구름시에 수평속도를 감소시키는 것과 수직 속도를 증가시키는 것은 상호 종속적이라는 보고들(Ozolin, 1973; Dapena, 1980)이 있으나, 이를 정량적으로 확인한 자료는 없다. 이륙 시의 수평속도에 대한 선행연구 결과를 미국의 우수 선수들은 평균  $4.01 \pm 0.29 \text{m/sec}$ (Dapena et al., 1986)였으며, 소요시간은  $0.178 \pm 0.017 \text{sec}$ (Dapena et al., 1986),  $0.15\text{--}0.17 \text{sec}$ (Conrad et al., 1990)로 보고 하였다.

### (1) 발구름 위치

발구름 접지순간 발은 둔부 앞에 위치해야 한다. 그리고 도움닫기의 질주 방향 그대로 발구름하는 것이 효율적인 도약이 된다. 발구름 시 바(bar)에 대한 발의 각도가 수평에 가깝게 지나치게 돌려주는 것은 발구름 효율을 떨어뜨릴 수 있다(성낙준 등, 1989).

발구름 위치의 설정은 바의 높이에 따라 차이가 난다. 즉 바(bar) 높이가 올라갈수록 발구름 위치는 바(bar)로부터 떨어지게 된다. 이것은 발구름 위치가 가깝게 되면 신체의 상승단계에서 바(bar)를 치고 나가버릴 가능성이 크기 때문이다. 발구름 위치는 공중동작의 성공적인 수행에도 큰 영향을 미친다. 높이뛰기 공중동작이 선수에 의해 기계적으로 반복 수행 된다고 가장 정확한 발구름 위치가 파악되었듯이 평소 연습을 통하여 발구름 위치를 명확히 설정해야만 한다.

발구름은 몸을 공중으로 높이 올리는 것만이 중요한 것이 아니라 공중동작의 준비를 하지 않으면 안 된다.

- ① 발구름 하는 다리는 지면을 두들겨 차는 것 같이 구른다. 좋은 발구름이란 벽에 부딪치는 기분이 아니고 아무런 저항 없이 몸이 떠오르는 것 같은 것이다.
- ② 허리, 등, 무릎, 발목을 충분히 펴면서 뛰어 오른다.
- ③ 발구름은 회전 동작을 돕도록 한다.
- ④ 구름발이 지면을 이륙하는 순간에 발구름 동작은 끝이 난다.

위와 같은 발구름 직전의 요령과 발구름점의 트레이닝 방법에 유의하여 지도에 임한다.

### 3) 공중동작 (bar clearance)

공중동작은 도움단기와 발구름에 의해 상승한 신체를 유효하게 바(bar)를 넘게 하기 위한 기술이다. 발구름 마지막 순간과 이륙 초기에 선수의 양어깨는 바(bar)를 향해 위로 상승한다. 그리고 바에 가까운 쪽의 팔과 어깨는 바(bar) 너머로 흐르기 시작한다.

한편 양다리는 가능한 한 낮은 위치에 두도록 유의하여야 하는데 도약 중 무릎은 구부리고 종아리 이하를 밑으로 늘어뜨리는 것이 효과적이다. 바(bar) 위에서 허리를 치켜올려 신체를 활모양으로 휘게 하면서 중심을 자신의 신체 한계선 이상으로 추켜올리듯이 한다. 양다리의 종아리는 낮은 위치에 두는 것이 이 동작의 수행에 도움을 준다(김윤희, 류성빈, 1998).

#### (1) 공중동작과 발구름 거리

포스베리 플롭의 공중동작의 가장 중요한 것은 arch의 자세가 바를 통과할 때 수행되어야 한다는 것이다. 우리는 arch의 타이밍을 찾지 못해 충분히 넘을 수 있는 높이임에도 실패하는 경우를 자주 볼 수 있다. 그 원인은 바와 발구름 지점과의 거리에서 찾아볼 수 있다. 만약 선수가 발구름 후 긴 시간이 걸려서 바를 떨어뜨렸다면 바와 발구름 지점의 거리가 너무 멀었다는 것을 의미한다. 이러한 경우 최고점이 바에 도달하기 이전에 이미 arch의 동작이 완료되어 최고점에서 하강하면서 바를 떨어뜨린 것이다. 반면 발구름 직후 바를 너무 빨리 떨어뜨린 경우라면 발구름 지점이 바에 너무 접근해 있음을 의미한다.

### 4) 착지 (landing)

착지는 높이뛰기 기술 중에서 높이를 얻기 위한 동작이 아니다. 따라서 어떠한 착지를 해도 좋다고 생각해도 상관없지만 안전하게 착지하기 위한 동작도 소홀해서는 안된다. 오늘날에는 스폰지레바의 매트가 보급되어 있기 때문에 착지의 기술은 특별히 강조되지는 않는다. 머리를 앞으로 당기고 등을 편하게 펴서 매트와 수평으로 착지되도록 하는 것이 좋다(김윤희, 류성빈, 1998).

## 4. 높이뛰기에 필요한 기본적 훈련

기초적인 체력인 근력, 지구력, 근정력, 유연성, 민첩성, 순발력 등의 제 요소들이 서로 완전 독립된 것이 아니고 상호 깊은 관계를 갖고 근력의 증강과 순발력의 증강 지구력의 증강을 들고 있다.

### (1) 근력

신체의 모든 작용은 근력에 좌우된다. 오늘날 근육의 양성으로 많이 이용하는 것이 웨이트트레이닝으로서 근력을 강화하고 있으나 근력은 고등학교 후반기에 최고에 도달함으로써 한계점을 갖기 때문에 웨이트트레이닝 중량, 시간, 횟수, 휴식 등 여러 가지 문제에 충분한 지식을 얻은 후 실시하여야 반드시 가벼운 것부터 무거운 것으로 이행하는 단계를 밟아야 한다.

### (2) 도약력

도약력의 강화는 높이뛰기뿐 아니라 모든 도약 선수에게는 훈련 중 기본이 되는 것이다. 특히 높이뛰기에 있어서 도약전의 달리기는 빠른 속도를 요하지는 않지만 탄력성 있는 질주는 빠른 속도를 증강하고 있어서 짧은 거리를 질주하는 연습은 반복하여 몇 번이고 반복해서 다리로 지면을 힘껏 차내는 동작을 하는 것이 중요한 연습이다.

또 순발력을 강하게 하기 위해서 중량을 붙여서 하는 효과적인 도약연습도 근육에 대하여 보조적인 체력단계 연습법이다.

### (3) 유연성

신체의 모든 기능은 몸이 부드러워야 훌륭한 기술습득이 용이함으로 관절의 가동성이 높은 시기부터 근력을 펴는 운동 유연체조 스트레칭 등이 좋다.

### (4) 조정력

인간의 신체는 외부로부터 자극을 받을 경우 자극에 대한 신체의 작용으로서 그 자극을 촉진시키는 신경지배가 거의 병행적으로 작용한다. 신경지배와 반대로 그 작용을 억제하려는 동작은 양자의 작용 정도에 따라 조정되는 것이다. 그러므로 이 조정이 잘못되면 생각하는 것과 같은 동작이나 자기의 능력 유지가 불가능하게 된다. 조정력의 향상은 경기인으로서 폭 넓은 운동을 경험하는 일이다.

### (5) 지구력

지구력은 도약선수에게 순발력이나 스피드에 못지않게 필요한 것이다. 지구력은 전신 지구력, 국소 지구력이 있는데 전문 체력 육성의 개시 연령은 전신 지구력은 19세~20세, 국소 지구력은 17~20세이며 더욱 고등학교와 대략 시기에 최고로 발달되므로 훈련의 양과 강도를 잘 조정하여 실시해야 한다. 훈련 방법에도 인터벌트레이닝, 크로스 컨츄리, 서킷트 트레이닝, 유연체조 등이 있다.

## (6) 민첩성

민첩성이란 고도한 스피드와 템포로 신체의 전부 또는 일부분을 재빨리 움직이거나 방향을 바꾸는 능력을 말한다. 민첩성의 측정에는 일반적인 단순한 반복운동이 개입하지 않는 일정한 단거리에 있어 전력 질주해서 얻은 거리는 20m~50m 뿐인 것이 그 속도 곡선 등에 의해 정확하게 인정된다고 하였다.

이와 같이 체육운동에서는 보행등과 같이 단일 운동을 반복하는 형식의 것이 큰 역할을 가진다. 높이뛰기에 있어서의 동작은 크고 느린듯하나 동작을 공간에서 재빨리 수행 할 수 있는 능력이 갖추어져야 하는 것이다.

## 5. 높이뛰기에 대한 선행연구

이진택(2003)은 국가대표 2명과 대학생 3명을 대상으로 높이뛰기의 도움단기의 여러 변인을 비교분석하여 효율적인 도움단기 경로를 찾을 수 있는 원리와 기준을 제시하였다. 분석 변인을 비교분석한 결과 동원된 피험자들의 도움단기 경로 형태는 역 J자형을 나타냈고 도움단기의 정확성과 일관성에서는 우수선수가 일반선수보다 뛰어났으며, 도움단기의 마지막 속도는 우수선수가 일반선수보다 평균 0.69m/sec 빠르게 나타냈고 도움단기 각은 우수선수가 일반선수 보다 작았으며, 모든 피험자가 발구름 가까이에 올수록 각의 크기가 감소하는 것으로 폭은 우수선수가 일반선수보다 현저히 크게 나타났다.

곡선주로의 회전 반경은 우수선수가 일반선수 보다 작게 나타났으며 보폭의 길이와 변화를 비교하여 볼 때 우수선수는 마지막 보폭이 가장 길었고 일반선수는 마지막 보폭이 가장 짧은 것으로 보고 하였다.

성낙준(1991)은 국가 대표 선수선발 경력이 있는 우수 남자 높이뛰기 선수 3명을 대상으로 하여 3차원 영상분석법과 포스트렛폼을 이용하여 높이뛰기 마지막 도움단기의 시간요인, 무게중심의 수평, 수직 속도, 무게중심의 높이, 신체 분절의 각도, 신체분절의 수직속도, 구름발 착지 거리와 바 접근각도, 각운동량 등 역학적 변인들을 분석 하였다. 연구결과 도약높이를 증가시키기 위해서는 도움단기의 수평속도를 빠르게 하고, 발구름 단계에서는 수평 속도를 크게 감소시켜야 하며, 구름발 착지시의 수평 속도는 평균 7.49m/sec였으며, 이륙 시 수평 속도는 평균 4.16m/sec로서 평균 3.33m/sec 가 감소되었다고 보고 하였고, 구름발 착지시의 무게 중심은 낮아야 하며, 무게 중심을 낮추는 것은 마지막 스트라이드에서 구름발을 진행 방향의 앞으로 멀리 착지 시키고 후경각을 크게 하는 동작에 의해 이루어지며, 구름발

착시 시 마지막 스트라이드의 길이는 신장비로 평균 111.1%, 무게 중심 높이는 평균 46.6%였으며, 후 경각은 평균 40.3deg로 보고하였고 발구름 단계에서 발구름 다리의 관절들은 가능한 굽혀지지 않게 지지해야 하며, 발구름 다리의 관절이 적게 굽곡되는 것은 발구름 시간을 짧게 하지만 지면에 가해지는 수직력을 증가시키고, 고관절과 무릎, 발목 관절의 최대 굽곡각도는 각각 평균 161.1deg, 147.6deg, 105.3deg로 나타났으며 발구름 시간은 평균 0.143sec로 보고하였다. 이처럼 측정된 수직력은 체중의 6.27배, 최대 수평력은 3.29배였으며, 최대 수직·수평력은 모두 발구름의 전반부에서 발생하였으며, 발구름시에 과도한 공중회전 각운동량을 발생시키는 것은 발구름 동작의 효율을 저하시키는 원인이 되고, 이륙 후 인체의 무게 중심을 지나는 세 직표축에 대한 각운동량의 크기는 도약의 높이와 유의한 상관성이 없었으며, Y축에 대한 각운동량과 측방 각운동량 및 전방 각운동량 간에는 유의한 정적 상관성이 있는 것으로 보고 하였다.



### III. 연구방법

본 연구는 3차원 영상분석을 이용하여 높이뛰기 기록에 영향을 미치는 도움닫기 마지막 3보와 발구름 기술동작의 주요 운동학적 변인을 분석하여 도약높이를 증가시키는 원인과 효율적인 발구름 동작을 규명하기 위하여 수행하였고 본 연구의 피험자, 실험장비, 실험절차, 자료처리 및 분석방법은 다음과 같다.

#### 1. 연구대상

본 연구의 대상자는 국가대표 급 우수선수 1명과 1년 이상의 높이뛰기 경력을 가진 일반선수 3명을 대상으로 하였고 이들의 신체적 특성은 <표 1>과 같다.

표 1. 피험자 신체적 특성

| 대상자        | 연령(yrs)   | 신장(cm)      | 체중(kg)     | 측정기록(cm)  |
|------------|-----------|-------------|------------|-----------|
| 우수선수 L.S.B | 25        | 182.3       | 73.4       | 195       |
| L.A.Y      | 20        | 173.2       | 64.2       | 150       |
| 일반선수 M.S.H | 34        | 174.5       | 61.1       | 150       |
| Y.H.S      | 15        | 180.6       | 67.4       | 150       |
| M±SD       | 23.0±9.84 | 176.10±3.95 | 64.23±3.15 | 150.0±0.0 |

#### 2. 실험도구

본 연구에 필요한 실험도구는 <표 2>와 같이 영상 촬영 장비와 영상분석 장비로 구성하였다.

표 2. 실험도구

| 장비              | 모델명                              | 제조회사      | 비고 |
|-----------------|----------------------------------|-----------|----|
| 디지털캠코더(Mini DV) | HDR-HC7/HDV 1080i                | SONY      | 4대 |
| 디지털캠코더 삼각대      | 055XDB                           | MANFROTTO | 4개 |
| 통제점틀            | 2m×2m×1m                         | VISOL     | -  |
| A/D sync box    | VSAD-101-USB-V2                  | VISOL     | 1대 |
| LED모듈           | MP-20B                           | MATIN     | 3개 |
| 조명등             | -                                | VISOL     | 4개 |
| Kwon3D          | Motion Analysis Package ver3.016 | VISOL     | -  |

### 1) 영상 촬영 장비

본 연구에의 3차원 영상 촬영을 위하여 SONY사의 HDR-HC7의 디지털캠코더와 조명등을 삼각대에 부착시켜 약 2m 높이로 고정하였고, 디지털 캠코더의 장면설정에서 배경을 부드럽게 만들면서 사람이나 꽃과 같은 피사체를 강조하기 위하여 인물(부드러운 초상화)모드로 설정하였고, 노출시간은 피사체가 밝고 어두움에 따라 조절할 수 있도록 수동으로 설정하여 실험환경에 가장 적합하게 조절하였으며, 셔터속도는 수동으로 설정하여 60frame/sec로 촬영하였다.

### 2) 영상 분석 장비

본 연구에서의 영상 분석 장비는 (주)비솔의 Kwon3D Motion Analysis Package ver 3.016 프로그램이 장착된 PC를 이용하여 동작분석에서 선별된 신체부위(분석대상점)의 실제위치를 계측하는 방법 중 하나인 경험적(empirical)방식 중 대표적인 DLT(Direct Linear Transformation)방식을 이용하여 피사점의 실좌표와 상점의 상평면좌표 사이에 존재하는 변환식과 실좌표를 이미 아는 통제점들을 이용하여 변환식의 계수를 계산하여 운동학적 변인에 대한 자료를 산출하였다.

## 3. 실험절차

본 연구는 종합경기장에서 높이뛰기 발구름 전 도움닫기 마지막3보와 공중동작 최고정점 높이까지의 동작을 촬영하기 전에 <그림 2> 와 같이 3차원 공간 좌표를 설정하기 위하여 통제점이 표시된 직사각형 통제점틀(2m×2m×1m)을 설치하였다. 디지털 캠코더 및 조명등은 통제점틀 및 실험장면을 완전히 포착할 수 있는 범위에서 높이, 좌·우 대각선 방향을 고려하여 조명등이 카메라와 동일선상에서 비추지 않도록 삼각대로 고정시켜 설치하였으며, 디지털 캠코더의 속도는 60frame/sec로 하고, 노출시간(exposure time)은 1/500초로 설정한 후 통제점틀을 약 1분간 촬영한 다음 통제점틀을 제거하였다. 또한 영상 분석 시 활용할 자료를 얻기 위하여 검은색 타이즈를 착용하게 한 후 인체 관절31개 지점에 랜드마크(landmark)를 부착한 실험대상자에게 해부학적 자세를 취하게 한 뒤 약 10초 동안 촬영하였다. 그리고 도움닫기 3보와 공중동작 정점까지의 촬영 전 실험 상황을 의식하지 않고 할 수 있도록 사전에 충분한 연습 후 각각 6회씩 촬영하여 그 중 성공한 동작을 (우수선수 성공3회, 일반선수 각각 성공2회) 분석대상으로 선정하였다. 도움닫기 진행방향을 Y축, 진행방향의 좌우를 X축, 수평·좌우 방향에 대한 수직축을 Z축으로 설정하였으며, 실험 장비의 배치는 다음과 같다.



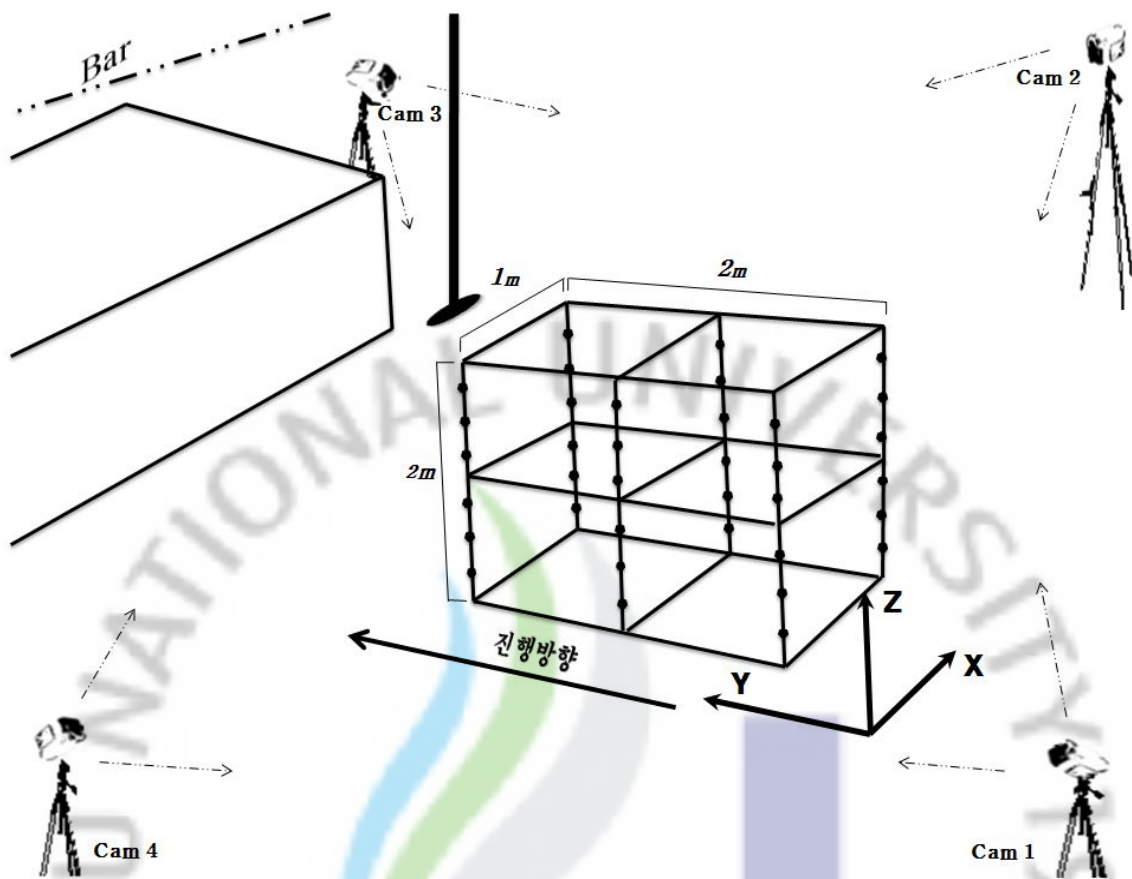


그림 2. 실험장비 배치도

#### 4. 인체 관절점의 좌표화 및 자료 분석 절차

##### 1) 인체 관절점의 좌표화

본 연구에서 신체 분절 무게의 중심 위치에 대한 인체분절 자료는 Plagenhoef, Evans & Abdelnour(1983)의 자료를 이용하였고, 디지털라이징 포인트는 <그림 3> 과 같이 신체 관절점 21개 외에 기준점 10개를 포함하여 한 프레임당 31개의 포인트를 디지털라이징 하였다. 인체 관절점과 디지털라이징 순서는 <표 3>과 같다

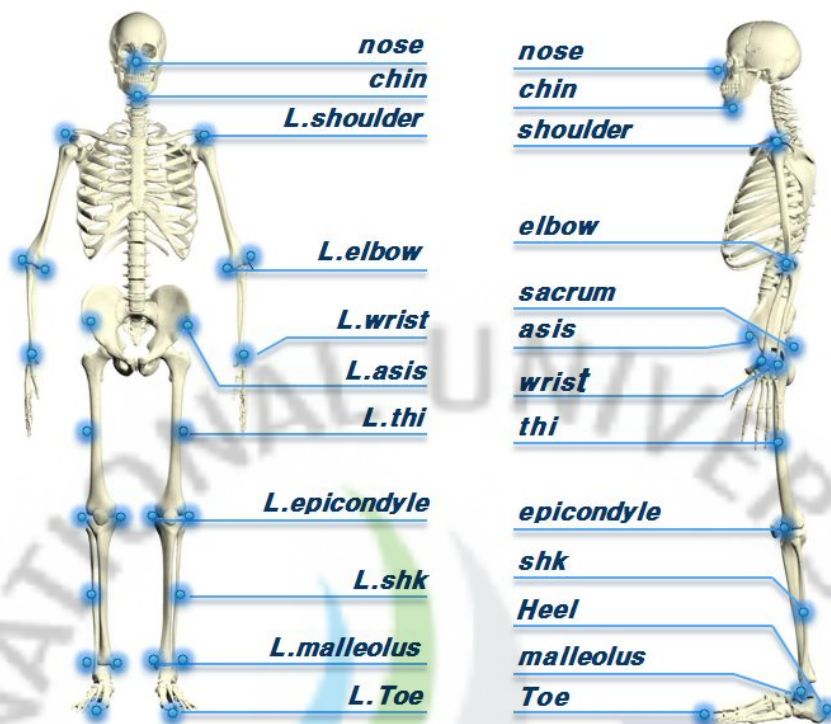


그림 3. 인체관절점과 디지털타이징 순서

표 3. 인체 관절점과 디지털타이징 순서

| 순서 | 인체 관절점            | 순서 | 인체 관절점            |
|----|-------------------|----|-------------------|
| 1  | R. Toe            | 17 | L. med Epicondyle |
| 2  | R. Heel           | 18 | L. Thigh          |
| 3  | R. lat Malleolus  | 19 | L. Asis           |
| 4  | R. med Malleolus  | 20 | R. lat Wrist      |
| 5  | R. Shake          | 21 | R. med Wrist      |
| 6  | R. lat Epicondyle | 22 | R. lat Elbow      |
| 7  | R. med Epicondyle | 23 | R. med Elbow      |
| 8  | R. Thigh          | 24 | R. Shoulder       |
| 9  | R. Asis           | 25 | L. lat Wrist      |
| 10 | Sacrum            | 26 | L. med Wrist      |
| 11 | L. Toe            | 27 | L. lat Elbow      |
| 12 | L. Heel           | 28 | L. med Elbow      |
| 13 | L. lat Malleolus  | 29 | L. Shoulder       |
| 14 | L. med Malleolus  | 30 | Chin              |
| 15 | L. Shake          | 31 | Nose              |
| 16 | L. lat Epicondyle |    |                   |

## 2) 3차원좌표의 계산

본 연구의 자료처리는 KWON 3D ver3.1 분석프로그램을 사용하였고, 자료처리과정은 36개의 통제점을 이용하여 실 공간 좌표가 계산된 후 3차원 좌표값이 산출되며, 축에 대한 정의는 진행방향을 Y축, 진행방향에 대한 좌우방향을 X축, 상·하(수직)방향을 Z축으로 정의 하였다. 3차원 자료는 Abdel-Ariz 와 Karara(1971)의 DLT방법을 이용하였고, DLT방법을 이용하여 3차원의 좌표값을 계산할 때 디지털 오차와 기계적인 오차에 의해 생기는 노이즈(noise)를 제거하기 위해 Butterworth 저역 필터(low pass filter)를 사용하여 원 자료를 필터링 하였고, 이때 차단주파수(cut-off frequency)는 6.0Hz로 설정하여 사용하였다.

## 3) 변인 산출

### (1) 시간변인

본 연구에서의 국면별 시간변인은 각각의 프레임 간의 시간 간격이 0.017초이므로 각 국면별 이벤트 시작점부터 이벤트 마지막지점까지의 프레임수를 계산하여 각 프레임수에 0.017초를 곱하여 구한다.

$$\text{국면별 소요시간} = (D_2 - D_1) \times 0.017 \text{초}$$

### (2) 선운동 변인

본 연구에서 분석한 선운동 변인은 신체중심 위치, 속도이다. 우선 전신의 신체 중심 위치는 전역 좌표계에 대한 각 분절의 중심 위치를 통해 얻어진다. 전역좌표계에 대한 각 분절을 구성하는 좌표점의 위치 벡터의 성분  $x_i, y_i, z_i$  각각에 대하여 분절  $i$ 의 중심 좌표  $cg_i$ 는

$$cg_i = P_i + (D_i - P_i)P_j / 100$$

( $P_i$ 는  $i$ 번째 분절의 근위단 좌표,  $D_i$ 는  $i$ 번째 분절의 원위단 좌표,  $P_j$ 는 분절 길이의 백분율로 표시된 근위단으로부터 중심까지의 거리)로 구할 수 있으며 전역 좌표계에 대한 각 분절 중심의 위치 벡터의 성분  $x_i, y_i, z_i$  각각에 대한 무게 중심 위치

$$CG = \sum_{i=1}^5 (cg_i \cdot m_i) / M$$

( $cg_i$ 는  $i$ 번째 분절의 무게 중심 위치,  $m_i$ 는 전체 질량의 백분율로 표시된  $i$ 번째 분절의 질량,  $M$ 은 인체 측정학 자료의 백분율로 표시된 분절 질량을 합한 전체 질량)으로 구할 수 있다.

위의 방법에 의해 산출된 전신의 신체 중심의 위치에 대하여 3차 스플라인 함수(cubic spline function)를 이용해 시간에 대해 변위 함수  $S(t)$ 를 산출한다. 이러한 변위 함수를 일차 미분하여 시간에 대한 위치의 변화율을 나타내는 속도 함수  $S'(t)$ 를 구하고 이차 미분하여 가속도 함수  $S''(t)$ 를 얻음으로써 신체 중심 속도와 가속도를 산출한다.

$$S(t) = C_3t^3 + C_2t^2 + C_1t + C_0$$

$$S'(t) = 3C_3t^2 + 2C_2t + C_1$$

$$S''(t) = 6C_3t + 2C_2$$

( $S$ 는 변위,  $t$ 는 시간,  $C_3, C_2, C_1, C_0$ 는 스플라인 계수)

### (3) 각운동 변인

본 연구에서 각도는 발목 관절, 무릎관절, 고관절에 대하여 각 관절의 굴곡-신전각을 산출할 수 있으며 이러한 관절각에 대하여 각속도를 계산한다. 우선 각 관절각은 각도를 구성하는 두 벡터의 내적(dot product)을 이용하여 구한다. 즉 내적의 정의에 의해 두 벡터  $U(X_i, X_j, X_k)$ 와  $V(Y_i, Y_j, Y_k)$ 가 이루는 각  $\theta$ 는

$$\cos\theta = \frac{U \cdot V}{|U| \cdot |V|} = \frac{X_i Y_i + X_j Y_j + X_k Y_k}{\sqrt{X_i^2 + X_j^2 + X_k^2} \cdot \sqrt{Y_i^2 + Y_j^2 + Y_k^2}}$$

로 정의되므로 계산된  $\cos\theta$ 의 값을  $x$ 라고 하면  $\theta = \arccos x$ 로 구한다.

### ★ 고관절각의 계산

대퇴의 분절 벡터  $\vec{S}_{sh}(X_i, X_j, X_k)$ 와 상체의 분절 벡터  $\vec{S}_{tr}(Y_i, Y_j, Y_k)$ 가 이루는 각

$$\gamma = \arccos \frac{\vec{S}_{fo} \cdot \vec{S}_{sh}}{|\vec{S}_{fo}| \cdot |\vec{S}_{sh}|}$$

★ 무릎관절각의 계산

하퇴의 분절 벡터  $\vec{S}_{sh}(X_i, X_j, X_k)$ 와 대퇴의 부정 분절 벡터  $-\vec{S}_{th}(Y_i, Y_j, Y_k)$ 가 이루는 각

$$\beta = \arccos \frac{\vec{S}_{sh} \cdot \vec{S}_{th}}{|\vec{S}_{sh}| \cdot |\vec{S}_{th}|}$$

★ 발목관절각의 계산

발의 분절 벡터  $\vec{S}_{fo}(X_i, X_j, X_k)$ 와 하퇴의 부정 분절 벡터  $-\vec{S}_{sh}(Y_i, Y_j, Y_k)$ 가 이루는 각

$$\alpha = \arccos \frac{\vec{S}_{fo} \cdot \vec{S}_{sh}}{|\vec{S}_{fo}| \cdot |\vec{S}_{sh}|}$$

## 5. 이벤트 및 분석국면

본 연구는 <그림 4>와 같이 높이뛰기 발구름 전 마지막 도움닫기3보부터 공중동작 정점 높이까지 7개의 이벤트와 6개의 국면구간으로 설정하였고 효율적인 발구름 형태를 규명하기 위해 발구름 이벤트 및 국면분석을 <그림 5>와 같이 하여 운동학적 변인을 산출하였다.

1) 도움닫기 이벤트(Run-up event) : 마지막 도움닫기 3보를 하는 동안 3개의 이벤트로 구분 하였다.

- ① Left Foot - Touch Down(L-FTD) : 왼쪽 발이 땅에 닿는 순간
- ② Right Foot - Touch Down(R-FTD) : 오른쪽 발이 땅에 닿는 순간
- ③ Left Foot - Touch Down(L-FTD) : 왼쪽 발이 땅에 닿는 순간 (발구름)

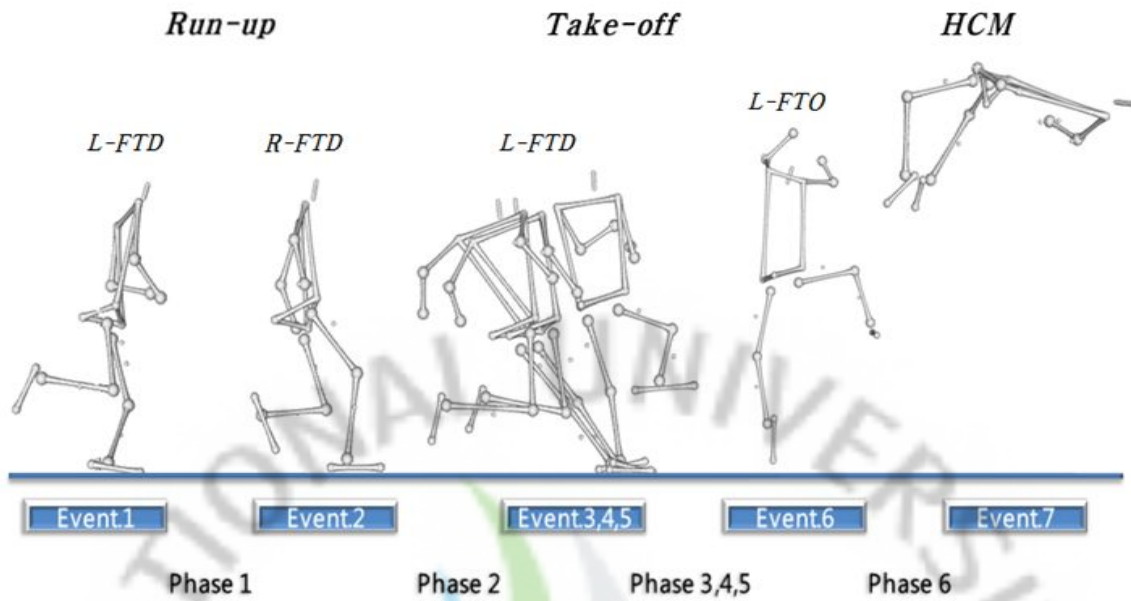


그림 4. 이벤트 및 국면구간

2) 도움닫기 국면(Run-up phase) : 도움닫기 이벤트를 하는 동안 2개의 국면으로 구분하였다.

- ① Right Foot Supporting(R-FS) : 왼쪽발이 닿는 순간부터 오른쪽 발이 닿을 때
- ② Left Foot Supporting(L-FS) : 오른쪽발이 닿는 순간부터 왼쪽발이 닿을 때

3) 발구름 이벤트(Take-off event) : 발구름과 이후 공중동작 정점높이는 <그림 5>와 같이 4개의 이벤트로 구분 하였다.

- ① Left Heel - Take Down(H-TD) : 뒤꿈치가 닿는 순간
- ② Left Toe - Take Down(T-TD) : 앞꿈치가 닿는 순간
- ③ Left Heel - Take Off(H-TO) : 뒤꿈치가 떨어지는 순간
- ④ Left Toe - Take Off(T-TO) : 앞꿈치가 떨어지는 순간

4) 발구름 국면(Take-off phase) : 발구름 동작을 하는 동안 <그림 5>와 같이 3개의 국면으로 구분 하였다.

- ① Left Toe Supporting(L-TS) : 왼쪽발 뒤꿈치가 닿는 순간부터 앞꿈치가 닿을 때

## Take-off



그림 5. 발구름 이벤트 및 국면구간

- ② Left Heel Flying(L-HF) : 왼쪽발 앞꿈치가 닿는 순간부터 뒤꿈치가 떨어질 때
  - ③ Left Toe Flying(L-TF) : 뒤꿈치가 떨어지는 순간부터 앞꿈치가 떨어질 때
- 5) 공중동작 (High Center of Mass - HCM) : 앞꿈치가 떨어진 후 공중자세 정점.
6. 통계처리

본 연구에서 통계점과 인체중심의 좌표화를 위하여 Kwon 3D(ver 3.016, 권영후) 프로그램을 이용하여 디지털이징한 결과를 토대로 2차원 1쌍을 3차 스피라스인 함수로 0.014초 간격으로 보간하여 동조시켰고, DLT(Abdel-Aziz & Krara, 1971) 방식으로 3차원 좌표를 산출하였다. 인위적인 오차와 기계적인 오차에 의해 발생한 노이즈로 인한 오차를 제거하기 위하여 Butterworth의 2차저역통과필터(low-pass filter)법을 이용하여 스무딩(6.0Hz)하였다.

디지털이징한 후 산출된 운동학적 변인은 발구름전 마지막 도움닫기 3보와 발구름 후 공중동작정점 높이까지의 동작을 비교하기위해 표준화(normalization) 시켰으며, 본 연구의 변인에 따른 자료는 SPSS Ver.12.0 프로그램을 이용하여 집단의 기초통계량인 평균 및 표준편차를 산출하였고 우수선수와 일반선수의 변인 차이를 규명하기 위해 t-검정(독립t-test)을 시행하였으며 유의 수준은  $p < .05$ 로 설정하였다.

## IV. 연구결과

본 연구는 높이뛰기 발구름전 도움닫기 마지막 3보와 발구름 후 공중동작 최고정점까지의 동작을 비교분석하기 위해 국가대표 급 우수선수 1명과, 1년 이상의 높이뛰기 경력을 가진 일반선수 3명을 대상으로 하였고, 분석한 변인들로는 각 국면별 평균 소요시간, 신체중심위치변화, 신체중심속도변화, 하지분절의 각운동 변인을 중심으로 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

### 1. 각 국면별 시간변인

높이뛰기 발구름 전 마지막 3보부터 공중동작 정점높이까지의 각 국면별 동작수행시간은 <표 4> 및 <그림 6>과 같다. 총소요시간과 프레임(frame) 수는 우수선수가  $0.98 \pm 0.09 \text{sec}$  (60 frame)로 R-FS 국면에서  $0.23 \text{sec}$  (15 frame), L-FS 국면은  $0.19 \text{sec}$  (11 frame), 발구름 국면의 착지기  $0.01 \text{sec}$  (1 frame)와 지지기  $0.08 \text{sec}$  (5 frame), 이륙기  $0.06 \text{sec}$  (4 frame), 이륙 후 공중동작 정점까지  $0.4 \text{sec}$  (4 frame)이며 일반 선수는 총소요시간  $1.02 \pm 0.07 \text{sec}$  (62 frame)로 R-FS 국면에서  $0.3 \text{sec}$  (19 frame), L-FS 국면은  $0.21 \text{sec}$  (13 frame), 발구름 국면의 착지기  $0.01 \text{sec}$  (1 frame), 지지기  $0.12 \text{sec}$  (7 frame), 이륙기  $0.05 \text{sec}$  (3 frame), 이륙 후 공중동작 정점까지  $0.32 \text{sec}$  (19 frame)로 나타났고 전체적인 소요시간을 분석해 볼 때 도움닫기 구간에서는 R-FS 국면이 L-FS 국면보다 소요시간을 길게 하였고 발구름 구간에서 L-HF, L-TF, L-TS 순으로 나타났다.

표 4. 국면별 총 소요시간(단위: frame, sec, %)

| 구분    | <i>Run-up</i> |                 | <i>Take-off</i> |                |                 | <i>HCM</i>      | 총 프레임/<br>소요시간  |                 |
|-------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|       | R-FS          | L-FS            | L-TS            | L-HF           | L-TF            | HCM             |                 |                 |
| 우수 선수 | frame         | 15              | 11              | 1              | 5               | 4               | 24              | 60              |
|       | sec           | $0.24 \pm 0.01$ | $0.19 \pm 0.01$ | $0.01 \pm 0.0$ | $0.08 \pm 0.0$  | $0.06 \pm 0.0$  | $0.4 \pm 0.07$  | $0.98 \pm 0.09$ |
|       | %             | 24.48           | 19.38           | 1.02           | 8.16            | 6.12            | 40.81           | 100             |
| 일반 선수 | frame         | 19              | 13              | 1              | 7               | 3               | 19              | 62              |
|       | sec           | $0.29 \pm 0.04$ | $0.21 \pm 0.01$ | $0.01 \pm 0.0$ | $0.12 \pm 0.04$ | $0.04 \pm 0.01$ | $0.32 \pm 0.02$ | $1.02 \pm 0.07$ |
|       | %             | 29.29           | 21.21           | 1.01           | 12.12           | 4.04            | 32.32           | 100             |

NOTE: *Run-up*: 도움닫기, *Take-off*: 발구름, *HCM*: 최고정점높이.

R-FS:마지막지점스트라이드, L-FS:마지막스트라이드, L-TS:착지기, L-HF:지지기, L-TF:이륙기.



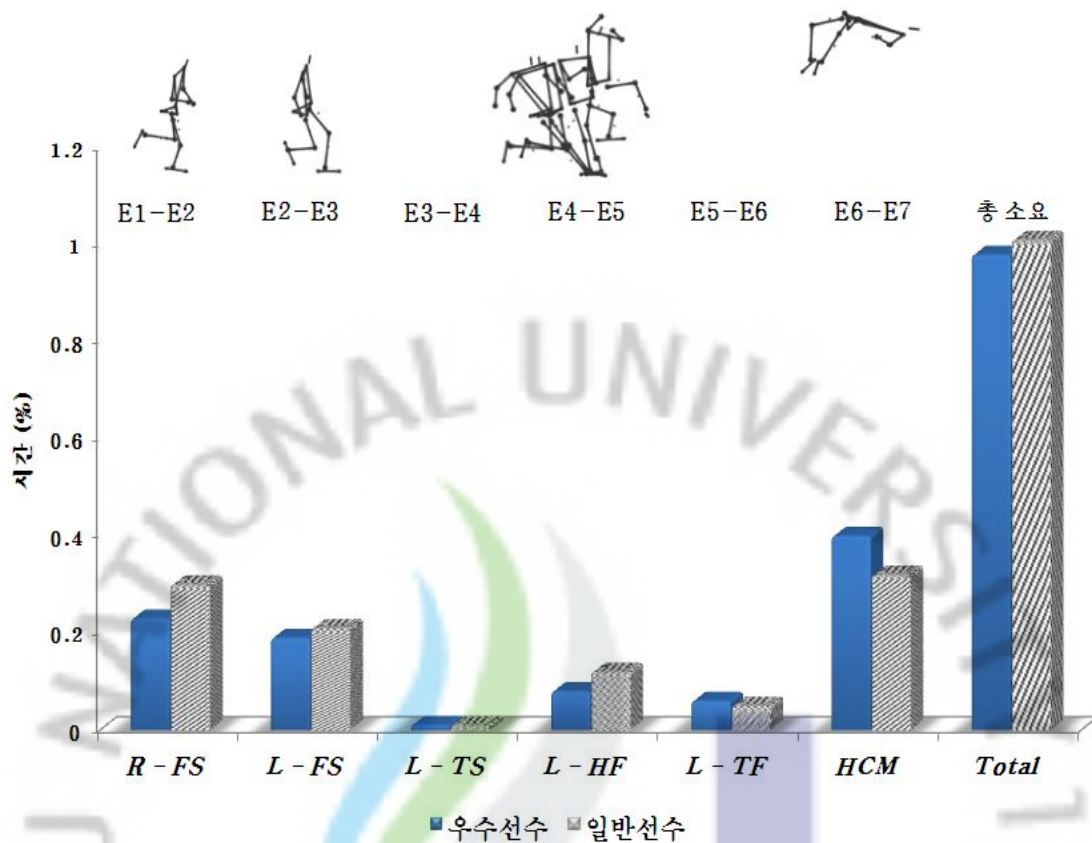


그림 6. 각 국면별 총소요시간

## 2. 각 국면별 선운동변인

### 1) 신체중심의 위치변화

높이뛰기의 발구름 전 마지막 3보부터 공중동작정점 높이까지 각 국면별 신체중심위치의 좌우, 수직 변화는 <표 5> 및 <그림 7>과 같다. 신체중심위치 좌우 이동변화는 도움닫기동작 시 R-FS, L-FS 국면에서 우수선수는  $42.11 \pm 2.35\text{cm}$ ,  $29.59 \pm 7.29\text{cm}$ 와 일반선수  $55.84 \pm 9.51\text{cm}$ ,  $29.86 \pm 12.87\text{cm}$  ( $p < .001$ )로 유의한 차이가 나타났고 발구름 동작의 L-HF 국면에서 우수선수는  $3.85 \pm 5.71\text{cm}$ , 일반선수  $-2.39 \pm 8.41\text{cm}$  ( $p < .05$ ), L-TF 국면에서 우수선수  $-7.32 \pm 3.77\text{cm}$ , 일반선수  $-15.16 \pm 3.64\text{cm}$  ( $p < .001$ )와 이후 공중동작 HCM 국면에서 우수선수  $-34.96 \pm 14.7\text{cm}$ , 일반선수  $-29.42 \pm 1.19\text{cm}$  ( $p < .05$ )로 유의한 차이가 나타났다.

신체중심위치의 각 국면별 수직방향의 이동변화와 신장비는 도움닫기 동작 시 R-FS 국면에서 우수 선수는 82.75±1.76cm, (45.47±0.97%), 일반선수 89.93±4.23cm, (51.06±1.161%)와(p<.001), L-TS 국면에서 우수선수 79.12±0.60cm, (43.47±0.33%)와 일반선수 83.70±1.38cm, (47.71±1.03%)로(p<.001) 유의한 차이가 나타났고 발구름 L-TS 국면에서 우수선수는 78.30±0.33cm, (44.02±0.21%), 일반선수 82.12±0.72cm, (43.62±0.05%)로(p<.01) 유의한 차이가 나타났으며, 이후 발구름 L-HF, L-TS국면에서 유의한 차이가 나타나지 않았고, 최고정점높이 HCM국면에서 우수선수는 173.33±23.37cm, (95.23±12.84%), 148.98±13.07cm, (84.76±0.96%)로(p<.001) 유의한 차이가 나타났다.

표 5. 국면별 평균 신체중심의 위치변화, 신장비(단위:cm, %)

| 구분   | Run-up |             |             | Take-off   |            | HCM         |              |
|------|--------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|--------------|
|      | R-FS   | L-FS        | L-TS        | L-HF       | L-TF       | HCM         |              |
| 우수선수 | X      | 42.11±2.35  | 29.59±7.29  | 13.89±4.31 | 3.85±5.71  | -7.32±3.77  | -34.96±14.71 |
|      | Z      | 82.75±1.76  | 79.12±0.60  | 78.30±0.33 | 85.35±5.38 | 109.62±8.22 | 173.33±23.37 |
|      | Z(%)   | 45.47±0.97  | 43.47±0.33  | 44.02±0.21 | 46.89±2.95 | 60.23±4.52  | 95.23±12.84  |
| 일반선수 | X      | 55.84±9.51  | 29.86±12.87 | 9.14±11.22 | -2.39±8.41 | -15.16±3.64 | -29.42±1.19  |
|      | Z      | 89.93±4.23  | 83.70±1.38  | 82.12±0.72 | 90.35±7.23 | 110.83±6.08 | 148.98±13.07 |
|      | Z(%)   | 51.06±1.161 | 47.71±1.03  | 43.62±0.05 | 51.35±4.04 | 63.33±3.49  | 84.76±0.96   |
| t    | X      | -7.882***   | -.095***    | .548       | 2.135*     | 4.352***    | -2.375*      |
|      | Z      | -9.005***   | -15.050***  | -6.729**   | -1.953     | -.346       | 6.804***     |

\*P<.05, \*\*P<.01, \*\*\*P<.001

NOTE: Run-up: 도움닫기, Take-off: 발구름, HCM: 최고정점높이.

R-FS:마지막지진스트라이드, L-FS:마지막스트라이드, L-TS:착지기, L-HF:지지기, L-TF:이륙기.

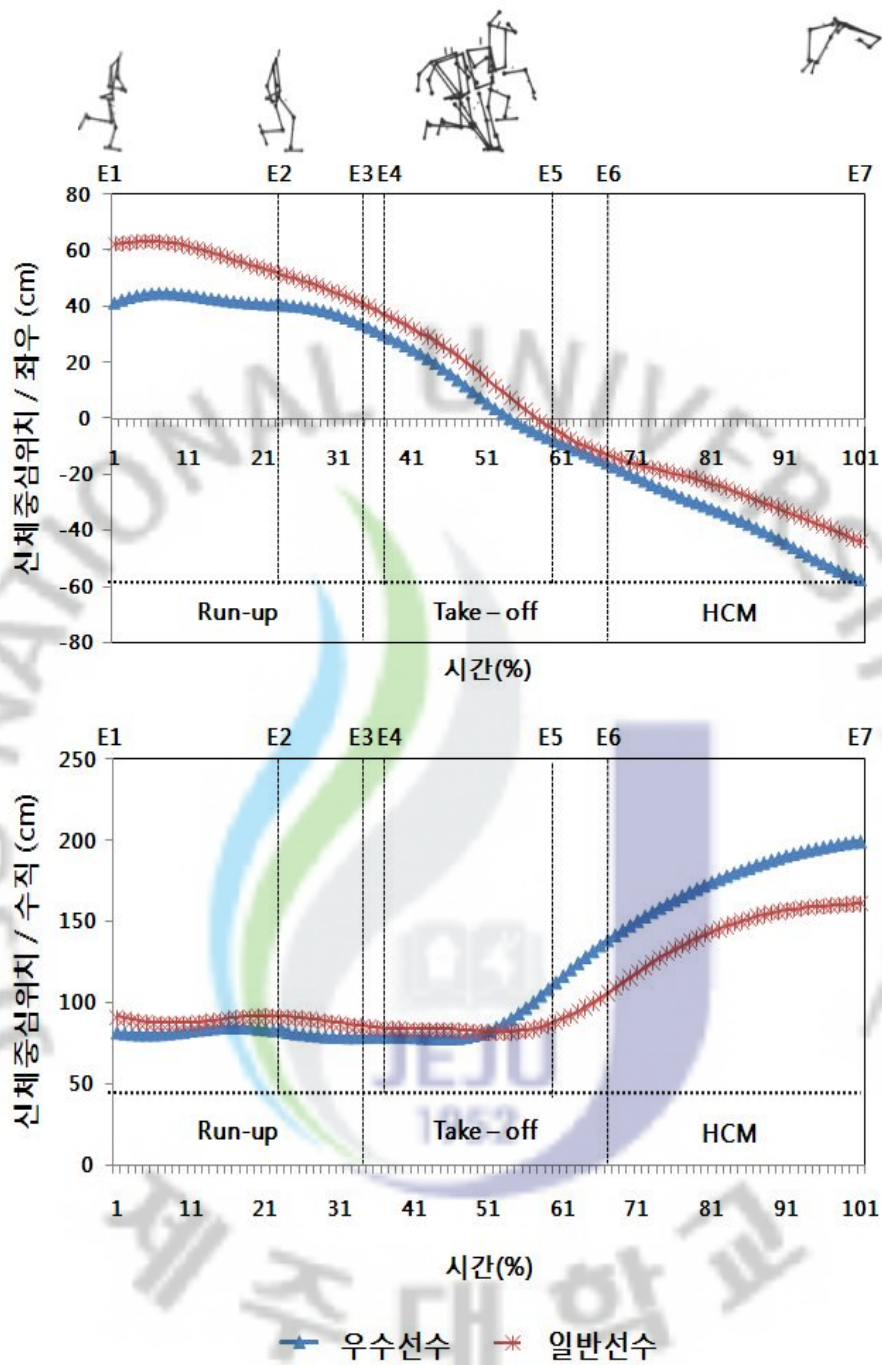


그림 7. 각 국면별 신체중심위치변화(X, Z)

## 2) 신체중심의 속도변화

높이뛰기의 마지막 3보에서 공중동작정점 높이 까지 신체중심속도의 좌우, 수평, 그리고 수직속도의 변화는 <표 6> 및 <그림 8>, <그림 9>와 같다. 신체중심속도의 좌우변화는 도움닫기 동작 시 R-FS 국면에서 우수선수는  $-6.77 \pm 42.97 \text{cm/sec}$ , 일반선수  $-55.68 \pm 40.53 \text{cm/sec}$  ( $p < .001$ ), L-TS 국면에서 우수선수는  $-123.54 \pm 45.92 \text{cm/sec}$  일반선수  $-154.09 \pm 40.43 \text{cm/sec}$  ( $p < .01$ )로 유의한 차이가 나타났고 발구름 동작 시 L-HF 국면에서 우수선수  $-186.17 \pm 23.45 \text{cm/sec}$ , 일반선수  $-157.03 \pm 38.73 \text{cm/sec}$  ( $p < .05$ ), L-TF 국면에서 우수선수는  $-113.15 \pm 10.59 \text{cm/sec}$ , 일반선수  $-73.80 \pm 22.29 \text{cm/sec}$  ( $p < .001$ )와 이후 공중동작정점 HCM 국면에서  $-120.02 \pm 21.84 \text{cm/sec}$ ,  $-93.06 \pm 38.81 \text{cm/sec}$  ( $p < .001$ )로 유의한 차이가 나타났다.

신체중심속도의 수평방향 변화는 도움닫기 동작 시 R-FS 국면에서 우수선수  $660.88 \pm 25.51 \text{cm/sec}$ , 일반선수  $490.08 \pm 48.24 \text{cm/sec}$  ( $p < .001$ ), L-TF 국면에서 우수선수는  $651.27 \pm 31.59 \text{cm/sec}$ , 일반선수는  $464.64 \pm 22.40 \text{cm/sec}$  로 ( $p < .001$ ) 유의한 차이가 나타났고 발구름 동작 시 L-TS 국면에서 우수선수는  $648.99 \pm 31.7 \text{cm/sec}$ , 일반선수  $446.57 \pm 10.70 \text{cm/sec}$  ( $p < .01$ )와 L-HF 국면 우수선수  $479.89 \pm 85.02 \text{cm/sec}$ , 일반선수  $361.58 \pm 47.69 \text{cm/sec}$ , L-TF 국면 우수선수는  $334.62 \pm 15.38 \text{cm/sec}$ , 일반선수는  $296.10 \pm 14.82 \text{cm/sec}$  ( $p < .001$ )로 유의한 차이가 나타났고 이후 공중동작정점 HCM 국면에서 우수선수와 일반선수는  $351.72 \pm 52.53 \text{cm/sec}$ ,  $278.88 \pm 37.97 \text{cm/sec}$  ( $p < .001$ )로 모두 유의한 차이가 나타났다.

수직속도변화는 도움닫기 동작과 발구름 동작 시 L-TS, L-HF 국면에서 유의한 차이가 나타나지 않았고 이후 발구름 동작의 L-TF 국면에서 우수선수는  $403.82 \pm 23.69 \text{cm/sec}$ , 일반선수  $300.27 \pm 21.23 \text{cm/sec}$  ( $p < .001$ )와 공중동작 정점높이 HCM 국면에서 우수선수  $190.90 \pm 99.13 \text{cm/sec}$ , 일반선수는  $132.31 \pm 88.52 \text{cm/sec}$  ( $p < .01$ )로 유의한 차이가 나타났다.

표 6. 국면별 평균 신체중심의 속도변화(단위:cm/sec)

| 구분          | Run-up       |               |               | Take-off      |               | HCM           |
|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|             | R-FS         | L-FS          | L-TS          | L-HF          | L-TF          | HCM           |
| 우수선수 X      | -6.77±42.97  | -123.54±45.92 | -201.37±12.87 | -186.17±23.45 | -113.15±10.59 | -120.02±21.84 |
| 일반선수 Y      | 660.88±25.51 | 651.27±31.59  | 648.99±31.72  | 479.89±85.02  | 334.62±15.38  | 351.72±52.53  |
| Z           | -5.80±44.60  | -12.60±17.89  | 35.69±5.94    | 212.09±91.02  | 403.82±23.69  | 190.90±99.13  |
| 일반선수 X      | -55.68±40.53 | -154.09±40.43 | -202.32±16.36 | -157.03±38.73 | -73.80±22.29  | -93.06±38.81  |
| Y           | 490.08±48.24 | 464.64±22.40  | 446.57±10.70  | 361.58±47.69  | 296.10±14.82  | 278.88±37.97  |
| Z           | -15.19±48.29 | -20.60±26.99  | 16.77±27.36   | 170.03±84.18  | 300.27±21.23  | 132.31±88.52  |
| t           | X 5.294***   | 2.733**       | .068          | -2.199*       | -4.545***     | -4.290***     |
| Y 18.333*** | 27.147***    | 10.928**      | 5.125***      | 5.253***      | 8.312***      |               |
| Z .894      | 1.331        | .917          | 1.288         | 9.506***      | 3.227**       |               |

\*P<.05, \*\*P<.01, \*\*\*P<.001

NOTE: Run-up: 도움닫기, Take-off: 발구름, HCM: 최고정점높이.

R-FS:마지막지느러미스트라이드, L-FS:마지막스트라이드, L-TS:착지기, L-HF:지지기, L-TF:이륙기.

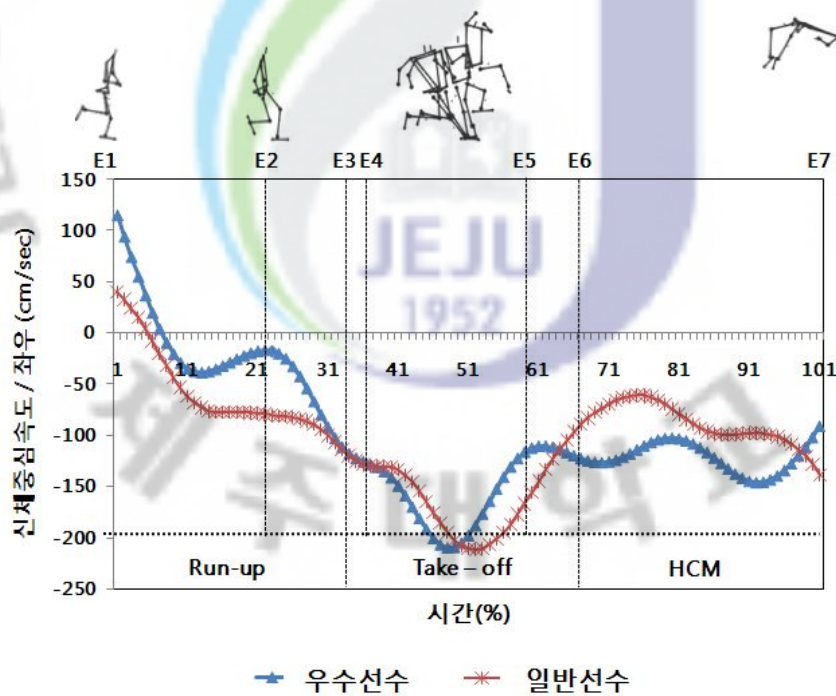


그림 8. 각 국면별 신체중심속도변화(X)

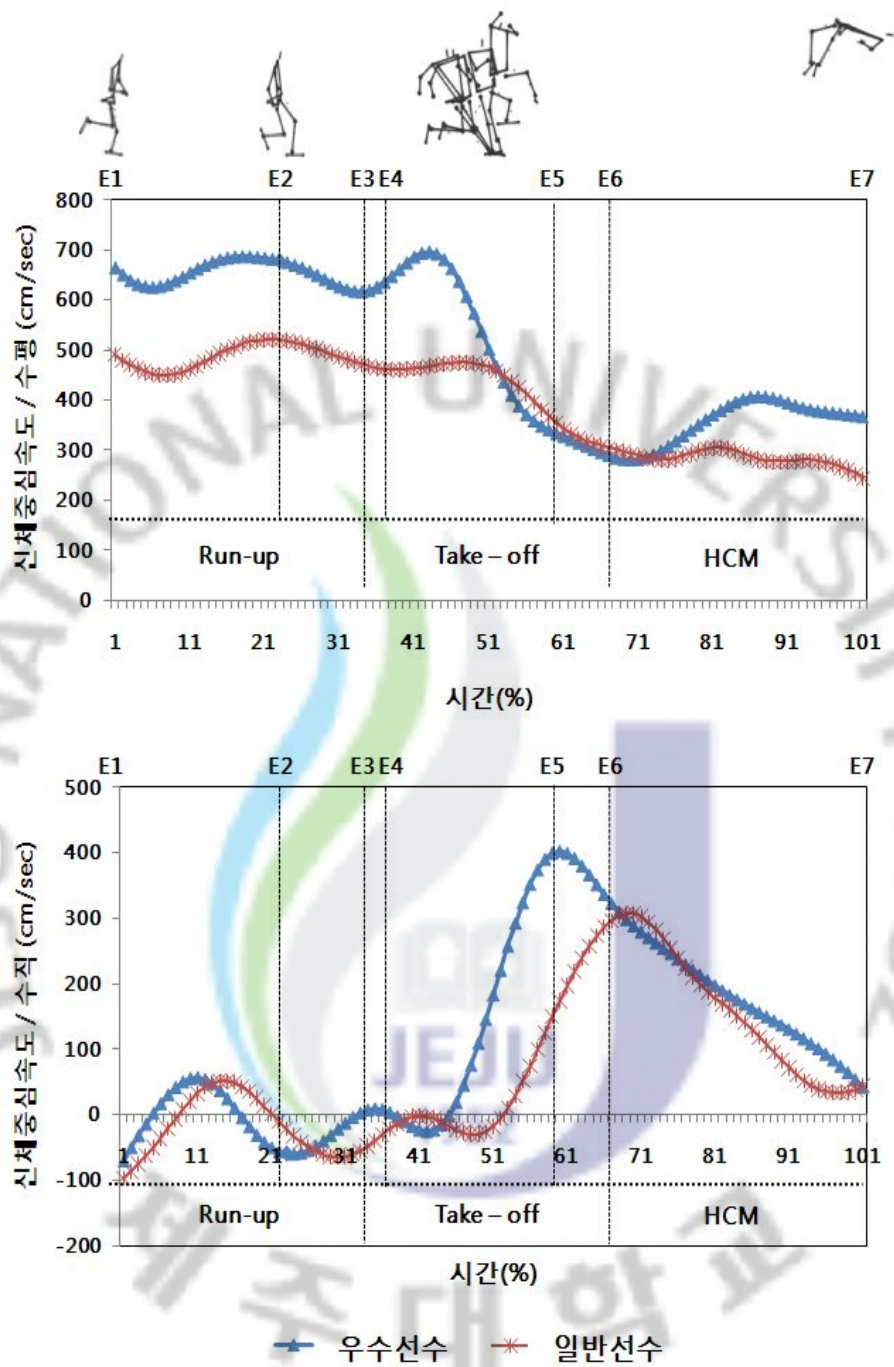


그림 9. 각 국면별 신체중심속도변화(Y, Z)

### 3. 각 국면별 각운동변인

#### 1) 하지관절의 각도변화

높이뛰기 발구름 전 마지막 3보부터 공중동작 정점 높이까지 하지분절과 각변위는 <표. 7> 및 <그림 10>, <그림 11>과 같다. 추진다리(우)의 각도 변화는 도움닫기 L-FS 국면에서 우수선수 123.53±11.13deg, 일반선수 134.33±15.59deg(p<.01)와 이후 최고정점높이 HCM국면에서 우수선수 133.60±17.34deg, 일반선수 124.50±33.45deg(p<.001)로 유의한 차이가 나타났다.

고관절(좌) 각변위는 도움닫기동작과 발구름 동작 시 유의한 차이가 나타나지 않았고 발구름 이후 HCM 국면에서 우수선수 121.21±20.88deg, 일반선수 150.78±9.70deg(p<.001)로 유의한 차이가 나타났다. 왼쪽무릎의 각변위는 도움닫기와 발구름, 이후 공중동작 최고정점높이까지 모두 유의한 차이가 나타나지 않았고 왼쪽 발목의 각도변화는 도움닫기와 발구름 동작에서 유의한 차이가 나타나지 않았으며 이후 공중동작정점 HCM국면에서 우수선수 129.43±6.74deg와 일반선수 136.61±15.79deg(p<.01)로 유의한 차이가 나타났다.

표 7. 각 국면별 하지분절의 각변위(단위:deg)

| 구분   | Run-up   |              | Take-off     |              |              | HCM          |              |
|------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|      | R-FS     | L-FS         | L-TS         | L-HF         | L-TF         | HCM          |              |
| 우수선수 | knee(R)  | 100.56±35.46 | 123.53±11.13 | 81.74±5.36   | 73.03±10.09  | 107.16±10.47 | 133.60±17.34 |
|      | hip(L)   | 159.34±8.15  | 134.28±11.24 | 153.70±1.71  | 155.33±3.40  | 163.78±1.40  | 121.21±20.88 |
|      | knee(L)  | 127.91±27.05 | 123.86±31.14 | 150.03±0.90  | 143.22±3.43  | 157.69±5.57  | 27.72±4.00   |
|      | ankle(L) | 101.19±9.04  | 105.39±13.23 | 114.91±3.12  | 109.97±2.98  | 125.23±8.91  | 129.43±6.74  |
| 일반선수 | knee(R)  | 107.69±40.67 | 134.33±15.59 | 97.68±12.89  | 83.04±19.91  | 115.38±31.22 | 124.50±33.45 |
|      | hip(L)   | 156.92±10.88 | 135.88±15.54 | 157.77±10.78 | 159.94±12.18 | 167.05±6.26  | 150.78±9.70  |
|      | knee(L)  | 122.49±36.92 | 112.05±35.93 | 146.05±2.64  | 137.02±11.00 | 161.47±5.66  | 113.66±29.32 |
|      | ankle(L) | 99.60±11.98  | 100.78±14.26 | 114.60±4.22  | 114.44±7.02  | 131.90±11.01 | 136.61±15.79 |
| t    | knee(R)  | -821         | -2.908**     | -1.591       | -1.499       | -.707        | 1.707***     |
|      | hip(L)   | 1.084        | -.430        | -.503        | -1.168       | -1.260       | -9.617***    |
|      | knee(L)  | .719         | 1.312        | 1.960        | 1.733        | -1.382       | .653         |
|      | ankle(L) | .645         | 1.263        | .087         | -.632        | -1.362       | -2.940**     |

\*\*P<.01, \*\*\*P<.001

NOTE: Run-up: 도움닫기, Take-off: 발구름, HCM: 최고정점높이.

R-FS:마지막지전스트라이드, L-FS:마지막스트라이드, L-TS:착지기, L-HF:지지기, L-TF:이륙기.

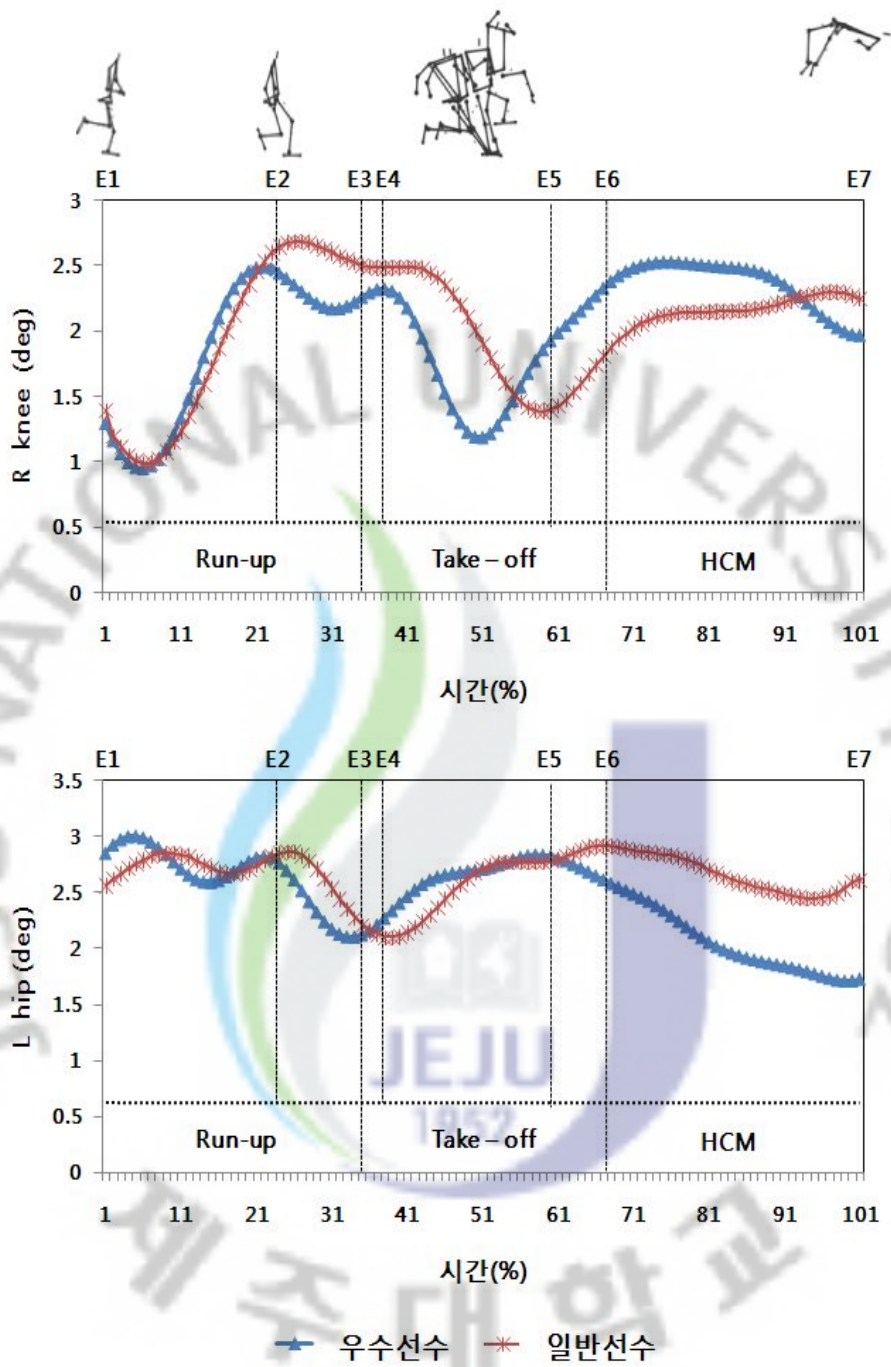
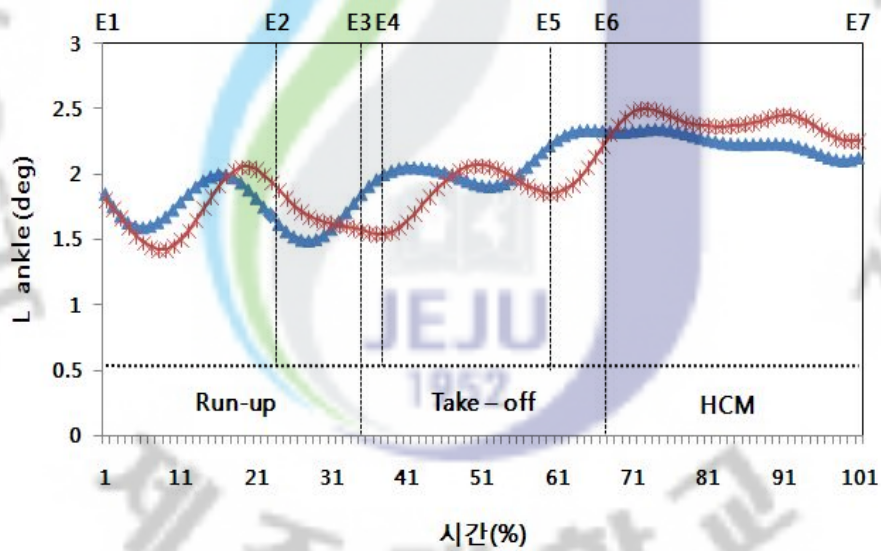
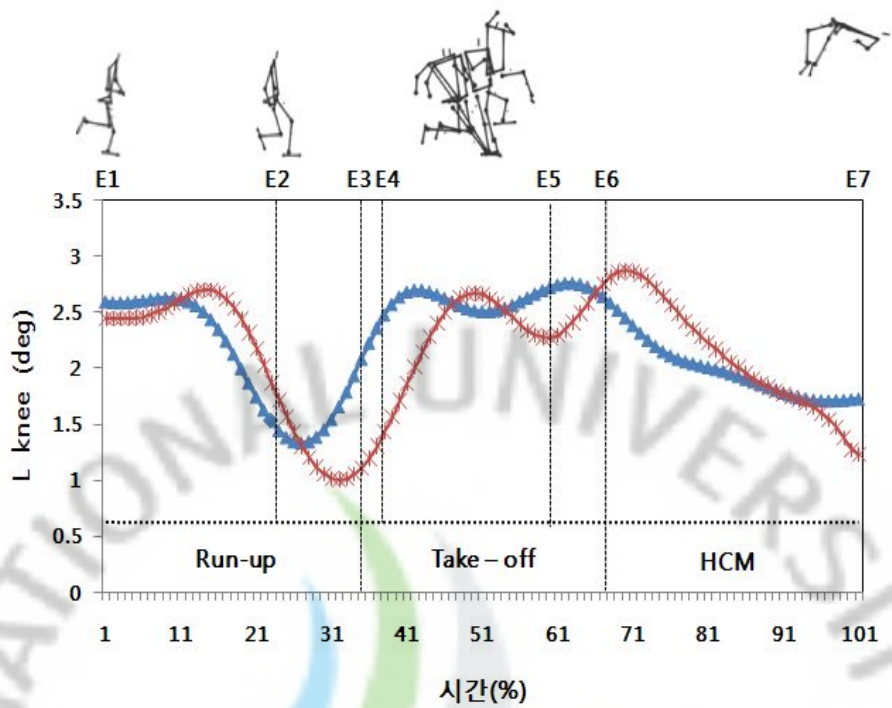


그림 10. 각 국면별 하지분절의 각변위





—▲— 우수선수    \* 일반선수

그림 11. 각 국면별 하지분절의 각변위

2) 동체의 전후경각

높이뛰기 발구름 전 마지막 3보부터 공중동작 정점 높이까지 전후경각은 <표 8> 및 <그림 12>와 같고 도움닫기동작 R-FS 국면에서 우수선수  $-1.55 \pm 5.92 \text{deg}$ , 일반선수  $3.05 \pm 5.45 \text{deg}$  ( $p < .001$ )로 유의한 차이가 나타났고 발구름 동작 시 L-TS 국면은 우수선수  $-13.14 \pm 2.23 \text{deg}$ 와 일반선수  $-7.10 \pm 2.00 \text{deg}$  ( $p < .05$ ), L-HF 국면 우수선수  $-10.27 \pm 2.7 \text{deg}$ , 일반선수  $-1.00 \pm 4.48 \text{deg}$  ( $p < .001$ )와 L-TF 국면에서 우수선수  $-2.12 \pm 2.84 \text{deg}$ , 일반선수는  $8.39 \pm 4.67 \text{deg}$  ( $p < .001$ )로 유의한 차이가 나타났다.

표 8. 각 국면별 동체의 전후경각(단위:deg)

| 구분               | Run-up           |                  |                   | Take-off          |                  | HCM               |
|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
|                  | R-FS             | L-FS             | L-TS              | L-HF              | L-TF             | HCM               |
| 우수선수<br>FR angle | $-1.55 \pm 5.92$ | $-4.20 \pm 5.78$ | $-13.14 \pm 2.23$ | $-10.27 \pm 2.79$ | $-2.12 \pm 2.84$ | $46.24 \pm 40.07$ |
| 일반선수<br>FR angle | $3.05 \pm 5.45$  | $-2.14 \pm 6.81$ | $-7.10 \pm 2.00$  | $-1.00 \pm 4.48$  | $8.39 \pm 4.67$  | $58.17 \pm 34.22$ |
| t                | $-3.671^{***}$   | $-1.214$         | $-3.174^*$        | $-6.009^{***}$    | $-5.512^{***}$   | $-1.660$          |

\* $P < .05$ , \*\*\* $P < .001$

NOTE: Run-up: 도움닫기, Take-off: 발구름, HCM: 최고정점높이.

R-FS:마지막지느러미스트라이드, L-FS:마지막스트라이드, L-TS:착지기, L-HF: 지지기, L-TF: 이륙기.

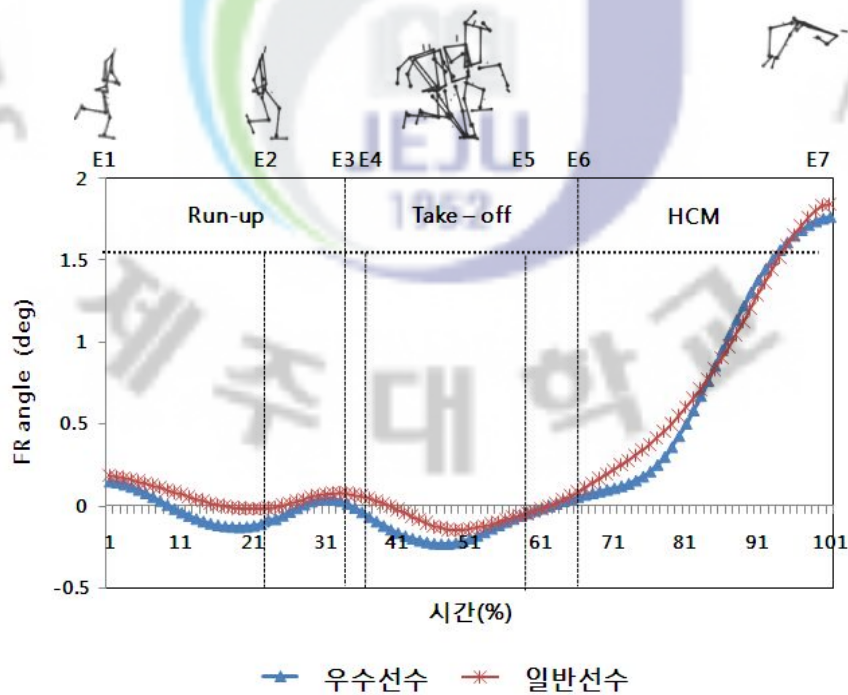


그림 12. 각 국면별 동체의 전후경각

## V. 논의

본 연구는 높이뛰기 발구름전 마지막 3보와 발구름 후 공중동작 최고정점높이까지 7개의 이벤트로 구성하였고 도움닫기 구간 및 효율적인 발구름 형태를 규명하기 위해 발구름 동작 시 착지기, 지지기, 이륙기 국면으로 설정하여 높이뛰기의 도움닫기와 발구름 동작이 기록증가에 미치는 운동학적변인을 규명하기 위한 목적에서 수행하였다.

### 1. 시간변인

높이뛰기 발구름 전 마지막 3보와 이후 공중동작 최고정점까지의 총 소요시간은 우수선수  $0.98 \pm 0.09\text{sec}$ 와 일반선수  $1.02 \pm 0.07\text{sec}$ 로 우수선수가  $0.04\text{sec}$  짧게 하는 것으로 나타났다. 도움닫기 R-FS 국면에서 우수선수  $24 \pm 0.01\text{sec}$ 와 일반선수  $0.29 \pm 0.04\text{sec}$ 로 지지 시간이 마지막 스트라이드 L-FS 국면의 우수선수와 일반선수는  $0.19 \pm 0.01\text{sec}$ ,  $0.21 \pm 0.01\text{sec}$ 의 지지 시간보다 길게 하는 것으로 나타났다. Fidler(1992), Henson(1996) 그리고 Winsor(1996)는 마지막 스트라이드는 마지막 직전 스트라이드 보다 짧아야 한다고 주장하였는데 이는 도움닫기 유형이 2보에서 높게 뛰었다가 마지막 1보를 수행하기 위한 것으로 사료된다.

발구름 착지 후 이륙까지의 발구름 구간은 평균시간으로 우수선수가  $0.15\text{sec}$ , 일반선수  $0.17\text{sec}$ 로 나타났다. Conrad 등(1990)의 연구에서  $0.15\text{--}0.17\text{sec}$ , Dapena(1980)가 보고한  $0.14\text{--}0.20\text{sec}$ 와 성낙준 등(1990)의  $0.16\text{--}0.17\text{sec}$ 와 유사한 결과를 보였으며 발구름 국면은 L-HF, L-TF, L-TS 순으로 일반선수에 비해 우수선수가 소요시간을 짧게 하는 것으로 나타났는데 이는 충격량은 물체의 질량과 속도에 의해 영향을 받기 때문에 수직방향의 충격력이 일정하다고 할 때 지면에 충격을 가하는 시간, 즉 발구름 시간이 짧으면 짧을수록 단위시간당 지면에 가하는 지면반력이 커지게 되므로 수직 이륙 속도가 커지게 된다. 발구름 시간은 양팔과 다리의 운동형태, 구름다리의 무릎 굴곡각도 등에 영향을 받는데, Hay(1985)는 발구름 시간이 짧을수록 수직거리가 높아지는 현상이 나타난다고 하였다. 또한 Conrad 등(1990)은 이륙 시 선수가 갖는 수직속도는 지면에 가해진 수직 충격량에 비례하므로 발구름 시간이 긴 것이 바람직하지만, 긴 발구름 시간은 지면에 가해지는 수직력이 작아져 오히려 지면에 가해지는 수직

충격량이 크게 감소되어 대부분의 우수 선수들은 충격량보다 충격력을 크게 하기 위해 발구름 시간을 짧게 하는 경향이 있는 것으로 보고하고 있다.

본 연구에서 나타난 결과에 의하면 우수선수가 일반선수보다 소요시간이 다소 짧은 결과를 보임에 따라 Conrad 등(1990)의 연구와 같이 지지 시간을 짧게 하여 충격량 보다는 충격력을 크게 하는 것이 도약 높이를 증가시킬 수 있는 것으로 사료된다.

## 2. 각 국면별 선운동변인

### 1) 신체중심의 위치변화

높이뛰기 발구름 전 마지막3보 도움닫기부터 최고정점 높이까지 신체중심의 좌우변화는 도움닫기 R-FS 국면에서 우수선수  $42.11 \pm 2.35 \text{cm/sec}$ , 일반선수  $55.84 \pm 9.51 \text{cm/sec}$  ( $p < .001$ )와 발구름 동작 시 L-TF 국면은 우수선수가  $-7.32 \pm 3.77 \text{cm/sec}$ , 일반선수  $-15.16 \pm 3.64 \text{cm/sec}$  ( $p < .001$ )로 유의한 차이가 나타났다. 우수선수가 일반선수 보다 신체중심의 좌우 변화를 작게 하여 안정된 형태를 나타냈다. 이는 이 진택(2007)이 보고한 성공 시 좌우 이동변위가 실패 시 보다 작은 결과를 보이는 것으로 Breaking force가 크게 작용하여 좌우 이동변위와 수평 이동변위보다 수직 이동 변위를 크게 하여 실패 시 보다 공중동작에서 Bar에 접근하는 여유 공간을 만들 수 있게 하는 형태와 유사한 결과를 나타냈다.

높이뛰기 도움닫기와 발구름 동작 시 신체중심높이와 신장비는 우수선수, 일반선수가 R-FS 국면  $82.75 \pm 1.76 \text{cm}$ , (45.47±0.97%),  $89.93 \pm 4.23 \text{cm}$ , (51.06±1.161%)로 ( $p < .001$ ) 유의한 차이가 나타났고 발구름 L-TS 국면에서  $78.30 \pm 0.33 \text{cm}$ , (44.02±0.21%),  $82.12 \pm 0.72 \text{cm}$ , (43.62±0.05%)로( $p < .01$ ) 우수선수가 신체중심을 낮게 유지하다가, 발구름 동작 시 이륙기 L-TF 국면에서 유의한 차이가 나타나지 않았지만  $109.62 \pm 8.22 \text{cm/sec}$ , (60.23±4.52%)와  $110.83 \pm 6.08 \text{cm}$ , (63.33±3.49%)로 우수선수가 빠르게 증가하는 것으로 나타났다. 이 형태는 Dapena & Bahanmonde(1986)가 분류한 신체중심을 낮추는 형태 중에서, 발구름 1보전 신체를 낮추고 마지막 스트라이드(발구름)에서 신체중심을 높이는 형태에 속하는 것으로서 볼 수 있으며, 구름발 착지 시 하방 속도는 가장 적지만 발구름 시 수직 운동 범위를 감소시키는 유형이 되는데, 피험자 모두 이와 같은 형태에 가까운 것으로 나타났다.

높이뛰기 발구름 착지 시 신체중심높이의 신장비에 관한 선행연구를 보면 성낙준(1991)은 평균46.6%

라고 하였으며, Ae(1990)은 46.4%, Conrad 등(1990)은 46.0%, Dapena 등(1986)은 49.2%, Dapena 등(1988)은 48.9%로 보고하고 있다. 또한 발구름 이지 시 신체중심 높이의 신장비에 관해서는 성낙준(1991)이 평균 67.56%라고 하였으며, Conrad 등(1990)은 70.4%, Dapena(1980)는 71.0%, Dapena 등(1988)은 48.9%로 본 연구결과 대상자 모두 발구름 착지 시와 이륙기에서 선행연구들 보다 신체중심은 낮게 하는 것으로 나타났으며 발구름 동안의 신체중심의 수직상승거리는 도약높이에 따라 증가하는 형태를 보이고 있는데, 구름발 착지 시의 신체중심의 높이가 낮으면 발구름 동안 신체중심의 수직이동 거리를 크게 할 수 있어 바람직한 것으로 판단되고, 일반선수는 기록의 향상을 위해 발 구름 착지 후 진행중인 수평방향으로의 속도를 최대한 줄이고 수직방향으로의 신체중심과 아울러 좌우변화의 무게중심이동이 자연스럽게 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 2) 신체중심의 속도변화

높이뛰기의 도움닫기 마지막 3보와 발구름 이후 최고정점 높이까지의 신체중심속도의 좌우변화는 우수선수와 일반선수가 도움닫기 R-FS 국면에서  $-6.77 \pm 42.97 \text{cm/sec}$ ,  $-55.68 \pm 40.53 \text{cm/sec}$  ( $p < .001$ )의 형태로 유의한 차이가 나타났다. 이는 곡선주로 도움닫기주가 크게 변화하는 것으로 일반선수보다 우수선수가 원심력을 크게 하여 발구름에 활용하는 것으로 사료된다. Dapena(1992)는 곡선 주로의 반경은 도움닫기 속도에 의해 결정되어야 하는데 도움닫기 속도가 빠르면 곡선주로의 반경이 커야하나, 곡선 주로의 반경이 너무 크면 선수의 몸이 곡선의 중심으로 충분히 기울지 못하므로 충분한 구심력을 얻을 수가 없으며, 반대로 곡선주로의 반경이 너무 작으면 도움닫기가 힘들다고 주장하였고, 도움닫기 주로는 대부분의 선수들의 경우, 연습과정에서 시행착오를 통해 결정된다(Humphrey, 1986). 발구름 L-HF 국면에서는 우수선수  $-186.17 \pm 23.45 \text{cm/sec}$ 와 일반선수  $-157.03 \pm 38.73 \text{cm/sec}$  ( $p < .05$ )로 유의한 차이가 나타났는데 도움닫기 이후 발구름에서 우수선수가 일반선수보다 급격한 곡선주로의 형태를 유지하다가 속도증가의 폭이 두드러지게 나타났으며 좌우방향의 속도차를 타나내는 면적이 클수록 수직속도를 증가시키는 것으로 판단된다. 또한 Bar를 넘을 때 신체가 대각선으로 누워있지 않고 직교되어 넘어가기 때문에 Bar위에 신체가 머무르는 시간을 감소시킬 수 있다. 본 연구에서 좌우속도가 큰 이유는 높이뛰기의 특성상 신체중심이 이지 순간 바 쪽으로 일찍 기울어지는 것을 줄임과 동시에 점프할 수 있는 공간을 마련하기 위한 것이라 사료된다.

높이뛰기 도움닫기 시 신체중심속도의 수평방향 변화는 도움닫기 동작 시 R-FS국면에서 우수선수

660.88±25.51cm/sec, 일반선수 490.08±48.24cm/sec(p<.001)와 발구름 동작 시 L-TS, L-HF 국면에서 우수선수가 648.99±31.72cm/sec, 479.89±85.02cm/sec, 일반선수, 446.57±10.70cm/sec, 361.58±47.69cm/sec(p<.01, p<.001)와 발구름 이륙기 L-TF국면에서 우수선수는 334.62±15.38cm/sec, 일반선수 296.10±14.82cm/sec(p<.001)로 유의한 차이가 나타났고 피험자 모두 도움닫기 구간에 있어서 수평속도는 감소하는 형태를 보이고 있지만, 특히 일반선수에 비해 우수선수가 빠른 도움닫기를 하다 발구름 착지 시 급격히 감소하는 형태를 보여주고 있고, Dapena(1980), Dapena 등(1986)과 성낙준(1991)은 발구름 시 수평속도를 감소시키는 것과 수직속도를 증가시키는 것은 상호 종속적인 관계가 있는 것으로 보고하고 있다. 따라서 도약 높이(기록)를 높이기 위해서는 도움닫기의 수평속도를 크게 하면서, 발구름 시 일어나는 속도의 감소를 이륙 시 수직속도로 빠르게 전환시키는 것이 필수적인 조건이라 할 수 있다. Dapena 등(1986)의 연구에서는 평균 401cm/sec, 397cm/sec로 나타났고, Conrad 등(1990)의 연구에서는 평균 397cm/sec로 나타나, 이 연구의 피험자들이 발구름 이륙국면에서 334.62±15.38cm/sec와 296.10±14.82cm/sec로 다소 느린 수평속도의 발구름 하는 형태로 특히, 일반선수가 수평속도와 좌우속도에 대한 감속을 수직속도로 전환시키지 못하는 것으로 사료된다.

높이뛰기 동작 시 신체중심의 수직속도는 도움닫기 국면에서 유의차는 나타나지 않았지만 발구름 시 L-TS 국면에서 우수선수 35.69±5.94cm/sec, 일반선수 16.77±27.36cm/sec와 L-TF 국면에서 403.82±23.69cm/sec, 300.27±21.23cm/sec(p<.001)로 유의한 차이를 나타냈는데 이는 Conrad(1990)의 466cm/sec, 콕창수 등(1996)의 475cm/sec, 도호영 등(2002)의 연구결과인 450cm/sec보다 낮게 나타났고 우수선수가 일반선수에 비해 선행연구결과와 유사한 것으로 나타났다. 높이뛰기에서 최대도약 높이는 이 지 시 신체중심의 높이와 상방향의 수직속도의 크기에 의해 결정된다. 발구름 착지 시는 약간의 음의 방향의 하방속도를 나타내게 되는데, 이는 발구름 시에 도움닫기에서 발생된 수평방향으로의 선운동을 저지하고 양팔과 추진다리를 상방향으로 추진시키는 동작에 의해 보다 큰 상방 수직속도를 만들기 위한 준비 동작으로 볼 수 있으며 이는 발구름에서 얻은 힘과 속도만으로 신체가 상승하는 것이 아니라 발구름 반대무릎을 상방향으로 끌어 올려 주는 것과 양팔의 스윙동작이 무게 중심의 상승에 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다.

### 3. 각 국면별 각운동변인

#### 1) 하지관절의 각도변화

높이뛰기 발구름 동작 시 추진다리의 변화는 유의한 차이는 나타나지 않았지만 L-TS 국면에서 우수선수  $81.74 \pm 5.36 \text{deg}$ , 일반선수  $97.68 \pm 12.89 \text{deg}$ 와 L-TF 국면  $107.16 \pm 10.47 \text{deg}$ ,  $115.38 \pm 31.22 \text{deg}$ 로 우수선수가 발구름 시 추진다리를 굴곡 시키는 형태를 나타냈다.

추진다리의 동작은 무릎을 굽혀서 추진하는 형태와 펴서 추진하는 형태의 두 가지로 구분된다. 대부분의 연구자 및 코치들은 무릎을 굽혀서 추진하는 것이 무릎을 펴서 추진하는 것보다 더 효율적인 것으로 보고하고 있는데, 이는 무릎을 신전시켜 추진하는 형태는 굽힌 형태보다 큰 수직력을 지면에 가할 수 있게 하지만 적절한 전방 각운동량을 만들기 어렵기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 추진다리는 구름발이 지면에 붙어 있는 동안 대퇴가 지면과 수평이 될 때까지 빠르게 가속시켜야 하며, 무릎을 신전시켜 추진하면 빠른 상방 가속이 어렵고, 신체중심이 전방으로 이동하게 되므로 본 연구결과 같이 우수선수가 굴곡시켜 추진하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

높이뛰기의 발구름 동작 시 고관절(좌)의 각도변화는 L-TS 국면에서 우수선수와 일반선수는  $153.70 \pm 1.71 \text{deg}$ ,  $157.77 \pm 10.78 \text{deg}$ 와 L-TF  $163.78 \pm 1.40 \text{deg}$ ,  $167.05 \pm 6.26 \text{deg}$ 로 일반선수가 신전된 형태를 보였으며 이는 박경실(1999)의 발구름 시 구름발이 완전히 착지한 순간의 고관절(좌) 각도에 대한 실험 결과에서는 평균  $157.1 \sim 162.7 \text{deg}$ 로 나타났고, 성낙준(1991)의 실험에서는 평균  $161.3 \text{deg}$ 로 나타나 본 실험 결과 피험자 모두 고관절 각도를 신전된 형태를 유지하여 이륙 단계로 동작을 진행시켜야 하는 것으로 사료된다.

높이뛰기 도움닫기와 발구름 시 무릎(좌)의 각도변화를 보면 유의한 차이는 나타나지 않았지만 발구름 착지 시 L-TS 국면에서 우수선수는  $150.03 \pm 0.90 \text{deg}$ , 일반선수  $146.05 \pm 2.64 \text{deg}$ 로 우수선수가 더 신전된 발구름 형태를 보였으며, 발구름 이륙기 시  $157.69 \pm 5.57 \text{deg}$ ,  $161.47 \pm 5.66 \text{deg}$ 로 우수선수가 일반선수에게 비해 굴곡 하는 것으로 나타났다. 선행연구(Dapena et al., 1986; Conrad et al., 1990; 성낙준, 1991)의 무릎각도는 구름발 착지 지는  $160 \sim 175 \text{deg}$ 이고, 이륙 시는  $166 \sim 172 \text{deg}$ 로 이륙 시에도 무릎은 완전 신전이 되지 않는다고 보고하고 있어 본 연구에서 나타난 결과가 더욱 굴곡된 형태로 나타났지만 우수선수가 발구름 착지 시 일반선수에게 비해 신전하는 것으로 이 같은 현상은 발구름 동작 시 발구름 다리를 곧게 유지하는 것이 수직 상승력을 크게 한다는 Muraki(1984)와 Reid(1986)의 주장과도 일치하는

것으로 나타났다. 무릎의 최대 굴곡 각도는 개인의 각근력과 발구름이 연관된 다른 신체 분절들의 동작에 의해 결정되므로 일률적으로 어느 정도의 무릎 각도가 가장 효율적이라고 말할 수는 없다. 그러나 많은 지도자들과 선행연구의 결과를 종합해 보면, 발구름 동작 시 발구름 다리의 무릎은 가능한 구부러지지 않게 버티는 것이 효율적인 것으로 보고하고 있다. 그러나 본 연구에서의 일반선수가 순간 수직하방의 속도를 최소화하면서 수직 충격력을 최대로 발휘하기 위해 의도적인 브레이킹(breaking force) 자세를 발구름 이시순간 까지 버티지 못하여 수직력을 감소시키는 것으로 사료된다.

높이뛰기 도움단기와 발구름 시 발목(구름발)관절은 유의한 차이가 나타나지 않았고 대상자 모두 발구름 착지 시 L-TS국면에서 우수선수  $114.91 \pm 3.12 \text{deg}$ , 일반선수  $114.60 \pm 4.22 \text{deg}$ 로 유사한 형태를 보이다가 이륙기 시  $125.23 \pm 8.91 \text{deg}$ ,  $131.90 \pm 11.01 \text{deg}$ 로 일반선수가 신진된 형태로 이는 성낙준(1991)의 평균  $123.3 \text{deg}$ 와 최대굴곡 각도  $105.3 \text{deg}$ , 그리고 이륙 시의 각도 평균  $141.3 \text{deg}$ 로 보고되고 있으며 효율적인 도약을 위해 발목관절 각도를 증가 시켜야 할 것으로 사료된다.

## 2) 동체의 전후경각

높이뛰기 발구름 전 마지막 3보부터 공중동작 정점 높이까지 전후경각은 도움단기 R-FS 국면에서 우수선수가  $-1.55 \pm 5.92 \text{deg}$ , 일반선수  $3.05 \pm 5.45 \text{deg}$  ( $p < .001$ ), 발구름 L-TS 국면 우수선수  $-13.14 \pm 2.23 \text{deg}$ , 일반선수  $-7.10 \pm 2.00 \text{deg}$  ( $p < .05$ )와 L-TF 국면에서 우수선수  $-2.12 \pm 2.84 \text{deg}$ , 일반선수  $8.39 \pm 4.67 \text{deg}$  ( $p < .001$ )로 우수선수가 일반선수에 비해 도움단기 후 구름발 착지 시 큰 후경각자세를 만드는 것으로 나타났고, 일반선수의 작은 후경각 자세는 발구름 순간에 바 쪽으로 신체의 기울임이 빨라지면서 충분한 동작을 취할 수 없게 될 뿐 아니라 최고정점의 바(bar)위에 올라가지 못하게 되어 신체의 일부가 바(bar)에 닿게 되는 결과를 초래할 수 있다.

구름발 착지 시 무게 중심 높이가 낮은 것은 마지막 스트라이드의 길이를 크게 하고 구름발 착지 시에 큰 후경자세를 만드는 것에 의해 이루어지는 것으로 볼 수 있으며, 측경각 자세에 의해서도 다소 도움을 받는 것으로 볼 수 있다. 이러한 결과는 효율적인 발구름 자세로 신체의 후방 기우림 각이 크고, 무게중심의 위치가 낮은 것(Ae et al., 1986). 구름발 착지 시에 동체의 후방과 측방 기우림이 큰 선수가 이륙 시에 큰 수직 속도를 갖는 경향이 있다고 보고(Dapena et al., 1988)와도 일치하는 것으로 볼 수 있다. 구름발 착지 시에 후경각이 크고 무게중심과 구름발 착지점과의 수평거리가 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 운동을 효율적으로 저



지하게 되는 것으로 해석할 수 있다(성낙준, 1991).

본 연구결과 우수선수가 일반선수에 비해 큰 후경각을 만들어냄으로써 기록에 많은 영향이 미치는 것으로 사료된다.



## VI. 결 론

본 연구는 높이뛰기 기록을 증가시킬 수 있는 효율적인 도움닫기와 발구름 형태를 규명하여 선수들의 동작을 진단하고 평가하는데 필요한 운동학적 변인에 관한 자료를 확보하기 위해 수행되었다. 피험자는 국가대표 급 우수선수 1명과 1년 이상의 높이뛰기 경력을 가진 일반선수 3명으로 대상으로 하였고, 발구름 전 도움닫기 마지막3보와 이륙 후 최고정점높이까지의 동작은 DLT 를 이용한 3차원 영상 분석법을 이용하였으며, 분석한 운동학적 변인들로는 각 국면별 평균 소요시간, 신체중심위치변화, 신체중심속도변화, 각변위이다. 본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 높이뛰기 발구름 전 마지막 3보 도움닫기부터 최고정점높이까지 국면별 소요시간은 도움닫기와 발구름 국면에서 우수선수가 일반선수보다 소요시간을 더 짧게 하는 것으로 나타났다.
2. 높이뛰기 발구름 전 마지막 3보 도움닫기부터 최고정점높이까지 국면별 신체중심위치의 좌우변화에 서 우수선수가 일반선수보다 더 작은 이동변위를 보였고, 우수선수가 도움닫기와 발구름 동작에서 일반선수보다 신체중심을 더 낮게 하는 것으로 나타났다.
3. 높이뛰기 발구름 전 마지막 3보 도움닫기부터 최고정점높이까지 국면별 신체중심속도는 신체중심의 좌우(X), 수평(Y)축에 대한 수직(Z)방향으로 우수선수가 일반선수보다 더 크게 나타났다.
4. 높이뛰기 도움닫기 후 발구름 까지의 각도변화는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았지만 고관절(좌), 추진다리(우), 발목관절(좌)은 우수선수가 일반선수보다 더 굴곡된 자세가 나타났고, 무릎관절(좌)은 일반선수 보다 우수선수가 더 신전된 자세를 보였다.
5. 높이뛰기 발구름 전 마지막 3보 도움닫기부터 최고정점높이까지 동체의 전후경각은 일반선수보다 우수선수가 후경각 자세를 더 크게 하는 것으로 나타났고, 일반선수는 마지막 직진스트라이드와 발구름 이륙시 더 큰 전경각 자세를 보였다.

이상의 결론을 종합해 보면 효율적인 발구름 동작을 수행하기 위해서는 도움닫기 마지막 3보의 좌우(X), 수평(Y)방향으로의 속도를 도약순간과 동시에 감소시키면서 수직(Z)방향으로 속도를 전환하고 증가시켜야 한다. 이를 위해서는 도움닫기 유형에 맞는 신체중심의 높이변화와 도약순간 시간을 짧게 하여 충격량 보다는 수직 충격력을 크게 하여야 하고 발구름 국면에서의 고관절과 무릎각은 신전된 상태로 접지하여 breaking force를 크게 유발하여 상체가 후경에서 직립자세에 가까워야 하며 내경에서 외경으로의 각 변화를 크게 함으로써 효율적인 높이뛰기 운동수행을 할 수 있을 것으로 사료된다.

높이뛰기 경기력 향상을 위한 보다 정밀한 연구를 위해서는 곡선 주로에서의 신체자세에 대한 운동학적 변인들과 발구름 순간의 운동역학적 변인의 상호 연관성을 살펴볼 필요가 있다. 또한 국내 엘리트 선수들의 운동학적, 운동역학적 요인들을 장기간 많은 자료수집과 이를 통한 최적의 기술적 모델 개발이 요구된다.

## 참고문헌

- 곽창수, 권영후, 김의환, 도호영(1996). 높이뛰기의 발구름 동작 및 공중동작 분석. 체육과학연구원.
- 구본철(2005). 고등학교 높이뛰기 선수의 동중동작 루틴 프로그램의 구성과 효과. 한국스포츠리서치, 16(4), 19-26.
- 김선필(2007). 근골격 최적제어 모델을 이용한 최대높이뛰기의 도약시간에 대한 연구. 한국체육학회지, 46(4), 495-507.
- 김용대, 김정태, 박성현(2008). 포스배리 높이뛰기 동작 시 인체 무게중심 및 관절각도 변화에 대한 분석. 한국여성체육학회지, 22(4), 75-87.
- 김윤희, 류성빈(1998). 높이뛰기 경기의 기록향상을 위한 동작별 관련 운동 분석 연구.
- 김제필(2004). 엘리트 높이뛰기 선수들의 발구름 동작에 관한 운동학적 분석. 한국스포츠리서치, 15(1), 947-958.
- 도호영, 이진택, 백진호(2002). 국가대표 높이뛰기 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), 563-573.
- 박경실(1999). 높이뛰기 선수들의 5보 도움닫기 리듬에 관한 운동학적 분석. 한국체육학회지, 38(3), 688-703.
- 박춘식(2003). 높이뛰기의 도움닫기 속도와 발구름의 위치가 기록에 미치는 영향. 미간행 석사학위논문. 대구대학교 교육대학원.
- 서영주(1985). 육상경기의 최신기술. 서울: 형설출판사.
- 성낙준, 정철수 외(1989). 높이뛰기 기술의 발구름과 동중동작에 관한 운동 역학적 분석. 체육과학과제 종합보고서, 한국체육과학원.
- 성낙준, 정철수, 김용기(1990). 높이뛰기의 발구름과 공중동작에 관한 운동역학적 분석. 스포츠 종합과학 보고서, 한국체육과학원.
- 성낙준(1991). 포스배리 높이뛰기의 발구름 동작에 관한 운동역학적 분석. 미간행 박사학위논문. 서울대학교 대학원.

- 윤희중, 김태삼, 이진택(2005). 남자 높이뛰기 BKH 선수를 중심으로 한 도움닫기 마지막 1보와 발구름 국면의 운동학적 분석. *한국운동역학회지*, 15(3), 105-115.
- 이종훈(2004). 높이뛰기 발구름 및 공중동작의 운동학적 분석. *한국학교체육학회지*, 14(2), 79-89.
- 이진택, 윤희중, 류재균(2002). 남자 높이뛰기 마지막 3보와 발구름 동작의 운동학적 분석. *한국체육학회지*, 41(4), 591-599.
- 이진택(2003). 높이뛰기 우수선수와 일반선수의 도움닫기 경로에 대한 비교분석. *한국체육학회지*, 42(6), 985-993.
- 이진택, 백진호, 김태삼(2006). 제 16회 아시아선수권대회 남자 높이뛰기 발구름 동작의 운동학적 분석. *체육과학연구*, 17(2), 134-143.
- 이진택(2007). 남자 높이뛰기 성공과 실패시 발구름 국면의 운동학적 요인에 대한 Variability 분석. *한국스포츠리서치*, 18(5), 79-90.
- Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation from comparator into object space coordinates in close-range photogrammetry. *Proceeding of the Symposium on close-range Photogrammetry*(1-18). Falls church, VA: American society of photogrammetry.
- Ae, M., Sakinori, Y., Yokoi, T., Hashihara, Y., & Shibukawa, K. (1986). Biomechanical analysis of the preparatory motion for takeoff in the Fosbury flop. *International journal of Sport Biomechanics*, 2, 66-77.
- Ae, M. (1990). [주고도와 주폭도의 답질시 신체 각부의 공현도]. *Japanese Journal of Sports Science*, 9(3), 130-136.
- 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.
- Chu, D. A. (1984). The Approach Pattern in the Fosbury Flop. *Track & Field Quarterly Review*, 84(4), 15-16.
- Conrad, A., & Ritzdorf, W. (1990). Scientific research project at the games of the XXIth Olympiad: Biomechanical analysis of the high jump, *New Studies in Athletics*, 177-217.
- Cooksey, S. M. (1986). Teaching progression in the flop. *Track & Field Quarterly Review*, 86(4),

36-37.

- Dapena, J. (1980). Mechanics of translational 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 # (Men), Report for scientific services project(USOC/TAC).
- 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., Ncdonald, C., & Cappaert, 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 Omnibook*, New York, Tafnews press.
- Doherty, K. (1985). *Track and Field Omnibook* (4th ed.). Los Altos, California: Tafnews, Inc.
- Ecker, T. (1976). *Track and field - technique through dynamics*. Trfnews press, Los Altos, Ca.
- Fildler, 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), 39-45.
- Hay, J. G. (1985). *The Biomechanics of Sports Technique*(3rd ed.).Englewood cliffs N. J.: prentice Hall, Inc.
- Henson, P. (1992). Jump training. *Track & Field Quarterly Review*, 92(4), 50.
- Henson, P. (1996). *Elements of the high jump*.
- Humphrey, S. (1986, Winter). High jump - The back layout way. *Track & Field Quarterly Review*, 86(4), 32-35.
- Jacoby, E. (1987). 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.
- Kwon, Y. H. (2004). KWON 3D Motion Analysis Package ver. 3.1. Seoul : Visol corp.

- Muraki, Y. (1984). Fundamentals of approach running and takeoff. *Track Technique*, 89, 2843-2845.
- Myers, B. (1988, Winter). Mechanics of the high jump. *Track & Field Quarterly Review*, 88(4), 17-18.
- Ozolin, N. (1973). The high jump takeoff mechanism. *Track Technique*, 52, 1668-1671.
- Plagenhoef, S. C., Evans, F. G., & Abdelnour, T. (1983). Anatomical data for analyzing human motion. *Research quarterly for Exercise and Sport*, 54(2), 169-178.
- Reid, P. (1986). Approach and take-off of the back lay-out high jump. *NSCA journal*, 8(1), 12-14.
- Sloan, R. (1984). Factors influencing the development of the flop high jumper. *Track & Field Quarterly Review*, 84, 12-14.
- Tellz, K. (1993). Elements of the high jump. *Track Technique*, 125, fall, 3987-3990.
- Winsor, M. (1996). Coaching the beginning and advanced high jumper. *Track & Field Coaches Review*, 95(40), 14-15.

<Abstract>

**A Kinematic Analysis of the Last 3 Strides of the Run-up  
and Take-off Motion in the High Jump**

**Hyun, Seung-Hyun**

*Physical Education Major*

*Graduate school of Education, jeju National University*

*Jeju, Korea*

(Supervised by professor Ryew, Che-Cheong)

This research was conducted to gain necessary information on kinematic variables to evaluate and analyze movements of effective approach and take off motion that can increase high jump record. To accomplish the purpose of this research, the subjects consisted of athlete 1 of national representative level and athletes 3 of high school student.

Analyzed kinematic variables are average time by each phases, center of gravity displacement, center of gravity rate change/standing height, and anterior-posterior tilting angle of trunk and to verify the characteristics of skill in approach and take off motion. SPSS12.0 Statistics Program was used to carry out the independent-t test, and the significance level was set at  $p < .05$ . The conclusion were as follows.

**1. Temporal variable**

In elapsed time by each phases from final 3 approach strides up until the peak height point, elite athletes were proven to spend less time than the athlete of high student.

**2. Linear motion variables by Each Phases**

The representative level athlete continued shorter displacement(X axis) and lower COG in vertical



displacement (Z axis) than that of high school athlete. Also, the velocity of COG showed higher in X, Y and Z axis than that of high school athlete.

### 3. Angular motion variables

#### 1) The Angular displacement of lower leg(hip, knee, ankle)

Angular displacement from approach run to take off didn't show significant difference statistically in both, but national representative athlete showed more flexed posture in hip joint(left), lead leg(right), ankle joint(left) than that of the high school athlete while knee joint(left) showed more extended than that of high school athlete.

#### 2) Titled angle of anterior-posterior of trunk

High school athlete displayed greater anterior-posterior angle and showed greater in final 3 approach strides prior to the take off up to the peak height point than that of the National representative athlete.

When considering all of the above results, velocity in direction of left&right axis(X) and horizontal axis(Y) of final 3 approach strides and the jumping moment has to be decreased simultaneously, and velocity in vertical axis(Z) direction should be shifted and increased to perform more effective take-off movement.

To accomplish this, the impulse has to be greater than that of the vertical impact force by shortening the height changes of center of gravity and the moment of take off. Also, it is considered to increase the efficiency in high jump performance when the angle of hip joint and knee is flexed by greater breaking force. It was desired when the trunk is close to upright posture in backward tilting and when greater angular is continued from inside to the external diameter.