

박사학위논문

아시아 엘리트 여자 세단뛰기 선수들의
도움닫기와 발구름 동작에 대한
운동학적 분석

지도교수 류 재 균

경희대학교 체육대학원
스포츠 의·과학전공
김 수 연

2014년 2월

아시아 엘리트 여자 세단뛰기 선수들의
도움닫기와 발구름 동작에 대한
운동학적 분석

지도교수 류 재 균

이 논문을 체육학 박사학위 논문으로 제출함.

경희대학교 체육대학원

스포츠 의·과학전공

김 수 연

2014년 2월

김수연의 체육학 박사학위 논문을 인준함.

주심교수 _____ (印)

부심교수 _____ (印)

부심교수 _____ (印)

부심교수 _____ (印)

부심교수 _____ (印)

경희대학교 체육대학원

2014년 2월

목 차

I. 서 론	1
1. 연구의 필요성	1
2. 연구의 목적	6
3. 연구의 제한점	7
4. 용어의 정의	7
II. 연구 방법	9
1. 연구대상	9
2. 실험장비	9
3. 실험절차	11
4. 자료처리방법	12
5. 변인계산방법	15
III. 연구 결과	19
1. 도움닫기 마지막 스트라이드와 홉, 스텝, 점프의 거리 및 국면비	19
2. 도움닫기 마지막 스트라이드와 홉, 스텝, 점프의 수평속도	20
3. 홉, 스텝, 점프의 수직속도 및 도약각도	22
4. 홉, 스텝, 점프의 신체무게중심 높이	24
5. 홉, 스텝, 점프의 상체 좌·우 기울기	25
6. 홉, 스텝, 점프의 상체 전·후 기울기	26
7. 홉, 스텝, 점프의 고관절각도	27

8. 흡, 스텝, 점프의 무릎각도	29
IV. 논 의	31
V. 결 론	40
VI. 제 언	42
참고문헌	43
ABSTRACT	46

표 차 례

<표 1> 연구대상자의 신체적 특성과 기록	9
<표 2> 도움닫기 마지막 스트라이드와 각 국면 거리 및 국면비	19
<표 3> 도움닫기 마지막 스트라이드와 각 국면 수평속도 및 속도 변화	20
<표 4> 각 국면 이륙순간의 수직속도 및 도약각도	22
<표 5> 각 국면 이륙순간의 신체무게중심 높이	24
<표 6> 각 국면 이륙순간의 상체 좌·우 기울기	25
<표 7> 각 국면 이륙순간의 상체 전·후 기울기	26
<표 8> 각 국면 발구름하는 동안에 스윙하는 자유다리의 고관절각도 변화	27
<표 9> 각 국면 발구름 다리의 고관절각도	28
<표 10> 각 국면 이륙순간에 자유다리의 무릎각도	29
<표 11> 각 국면 이륙순간에 발구름 다리의 무릎각도	30

그 립 차 례

<그림 1> 도움닫기와 세단뛰기 운동수행 모형도	7
<그림 2> 실험장비의 배치도	12
<그림 3> 인체관절 중심의 좌표화 순서	13
<그림 4> 고관절각도, 무릎각도 및 상체 좌·우, 전·후 기울기 각도	18
<그림 5> 홉 퍼센티지 대 점프 퍼센티지 그리고 각 연구대상자가 사용한 기술유형	19
<그림 6> 도움닫기 마지막 스트라이드와 각 국면 수평속도와 속도 변화	21
<그림 7> 각 국면 이륙순간의 수직속도와 도약각도	23
<그림 8> 각 국면 접지와 최대무릎굴곡 및 이륙순간의 신체무게중심 높이 변화	24

I. 서 론

1. 연구의 필요성

세단뛰기는 도약 종목 중에서도 기술적으로 아주 복잡한 종목이며 도움닫기를 이용하여 홉(Hop), 스텝(Step), 점프(Jump)의 세 번 연속적인 발구름 동작을 통해 뛴 수평거리의 합으로 순위를 겨루는 경기이다.

도움닫기는 선수의 달리기 능력이 구름판까지 최고 가속에 도달할 수 있어야 한다. 홉 동작은 도움닫기를 통해 가장 먼저 발구름판에서 도약하는 동작으로 도움닫기 스피드를 홉 착지까지 얼마나 작게 감속하여 연장하느냐가 중요한 관건이다. 이때 신체무게중심의 비행 높이는 세 국면 중에서 가장 낮게 수행하여야 한다. 스텝 동작으로 홉을 수행한 발구름 발로 다시 도약하여 반대쪽 다리의 발로 착지를 하여야 하는데, 이때 다리의 동작이 바뀌면서 착지하는 다리의 무릎은 신체를 충분히 리드하여야 하며 지나치게 높을 경우 점프 거리에 영향을 미칠 수 있다. 마지막으로 점프 동작은 스텝에서 바뀐 다리의 발로 발구름을 수행하며 공중동작은 멀리뛰기의 젓혀뛰기 혹은 다리 모아뛰기와 유사하다. 세단뛰기는 위에서 기술한 도움닫기와 홉, 스텝, 점프의 각 국면은 어느 한 국면만이 잘 수행되었다고 좋은 경기력이 나타나는 것은 아니다. 각 국면이 상호 연관되어있어 조화롭고 율동적인 일련의 동작으로 연결되어야 최고의 경기력을 발휘할 수 있다.

세단뛰기는 남자의 경우 약 10 m/s, 여자의 경우 8 m/s 이상의 수평속도로 구름판에서 시작하여 홉, 스텝, 점프의 각 국면에서 지지와 비행단계를 거치면서 점진적으로 감속이 이루어지고 차례대로 발구름 발을 바꾸어가며 운동을 수행한다. 이때 도약거리는 각 국면에서 발구름을 실시한 후 구름판 도약 직전의 속도와 신체무게중심의 도약각도 및 높이에 의해 결정된다. 세단뛰기는 도움닫기의 빠른 수평속도와 더불어 각 국면에서의 수평속도 감속이 작을 때 경기력과 매우 높은 상관관계가 있는 중요한 요인이다(류재균, 2003). 그러나 빠른 수평속도는 각 국면별 발구름 지지시간을 짧게 하여 선

수들이 신체를 운동 방향으로 높게 비행시키기 위한 발구름 동작을 방해하는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 각 국면별 지지단계보다 큰 힘을 발생시킬 필요가 있는데 이 때 수평속도의 부분적인 감속을 통해 신체중심과 운동방향의 변화와 도약 높이 증가 폭을 크게 할 수 있다.

도움닫기의 목적은 선수가 구름판을 이륙할 때까지 가능한 최대의 속도로 구름판을 도약하고 이때 신체의 움직임을 조절하여 흡착지까지 도움닫기 속도의 감속을 최소화하여 연결하는 것이다. 또한 도움닫기에서 중요한 것은 발구름 준비 동작이 자연스럽게 수행되는 연결자세로 구름판을 정확하게 밟는 것이다.

도움닫기 속도와 관련된 선행연구들을 살펴보면, 세단뛰기 도움닫기 마지막 3(three) 스트라이드, 즉 발구름 전 5 m 내외의 속도가 평균 10.40 m/s 이상 도달할 수 있어야 한다(Susanka, Jurdik, Koukal & Velebil, 1987). Nixdorf & Bruggeman(1990)은 1988년 서울올림픽경기에서 결승에 오른 상위 8명의 선수를 대상으로 도움닫기 마지막 스트라이드의 수평속도를 조사한 결과 평균 10.29 m/s라고 보고하였다. Hay(1995)는 도움닫기 수평속도가 구름판 접지순간에 10.5 m/s에 도달하고 발구름 전에는 10.4 m/s에서 10.6 m/s에 도달하여야 한다고 보고하였다. 그 예로 1992년 미국 올림픽 세단뛰기 예선경기에서 Mike Conley의 경우 도움닫기 속도가 평균 11.1 m/s라고 보고하였고, 류재균과 여홍철(2008, 2009)은 도움닫기 마지막 스트라이드의 수평속도가 10.36 m/s 이상으로 높아야 17 m 후반에서 18 m 이상을 뛸 수 있다고 하였다. 이상연, 서정석, 김호묵, 남기정, 최성범과 김용운(2011b)은 2011 대구세계육상선수권대회 여자 세단뛰기경기에서 최종라운드에 진출한 8명의 선수를 대상으로 도움닫기 마지막 스트라이드의 수평속도를 분석한 결과 평균 9.09 m/s라고 보고하였다.

현재 세단뛰기의 도움닫기 속도는 멀리뛰기와 버금갈 정도로 높은 수평속도를 선수들에게 요구하고 있다. 과거 선행연구들은 멀리뛰기보다 세단뛰기의 도움닫기 속도가 느리다고 보고하고 있었으나 남자 18 m와 여자 15 m 중반의 경기력을 발휘하면서 세단뛰기 선수들에게 빠른 도움닫기 속도를 수행할 수 있는 능력이 필요하게 된 것이다.

홉은 세단뛰기의 제 1국면으로 홉의 목적은 구름판에서 도움닫기 속도의 손실을 줄이고 홉 착지까지 도움닫기 수평속도를 연장해 가능한 홉 거리를 멀리 뛰는 것이다. 구름판에서 홉을 수행하는 발구름 동작은 구름판 접지순간에 발뒤꿈치부터 접지함으로 구름판을 지나가듯이 뒤쪽으로 할퀴는 (pawing) 동작을 하거나 빠른 속도로 운동방향의 반대쪽으로 움직여 신체가 빨리 구름판을 지나 전상 방향으로 비행할 수 있도록 유도하여야하기 때문에 멀리뛰기보다 신체무게중심의 높이 변화가 작다. 그리고, 발구름하는 다리의 반대쪽 다리가 뒤쪽에서 앞쪽으로 스윙 될 때 다리의 뒤꿈치가 발구름하는 다리의 무릎보다 높게 있어야 도약각도를 낮게 하면서 도움닫기 수평속도를 유지할 수 있다. 구름판 도약 후 상체는 직립자세를 유지하면서 양팔은 앞뒤로 힘차게 스윙되고 동체 앞으로 스윙한 팔의 상완은 지면과 수평이 되도록 끌어 올린 후 멈추고 비행 중 다음 국면의 발구름 동작을 위한 자세변화를 준비한다.

스텝은 세단뛰기의 제 2국면으로 세 국면 중에서 거리가 가장 짧으며 홉에서의 수평속도를 점프까지 유지하는 중간 역할을 한다. 스텝 발구름은 홉을 수행한 발로 발구름하여 이륙하고, 발구름 한 반대 발로 점프 발구름을 준비한다. 스텝 발구름 동작은 착지하는 다리 발끝을 당긴 상태에서 상체의 앞쪽으로 뻗어 착지하는 발이 발바닥 전체로 지면에 접지하도록 한다.

점프는 세단뛰기의 제 3국면으로 스텝 발로 지면을 힘차게 발구름하고, 공중자세는 멀리뛰기의 젓혀뛰기와 유사한 hang 스타일과 "C" 스타일 혹은 sail 스타일을 수행하여 모래사장에 양발로 착지하는 것이다. 이때 수평속도를 모래사장 착지까지 유지하여 신체가 모래사장에 닿는 순간 비행거리의 손실이 없도록 효율적인 착지자세를 취하는 것이 중요하다.

Hay & Miller(1985)는 남자 세단뛰기 선수 12명을 대상으로 한 연구에서 홉, 스텝, 점프 이륙순간의 수평·수직속도가 각각 평균 9.42 m/s, 2.09 m/s, 8.06 m/s, 1.82 m/s, 6.96 m/s, 2.37 m/s라고 보고 하였고, 수평속도 감속과 비율은 각각 평균 -0.60 m/s(6.0%), -1.36 m/s(14.4%), -1.10 m/s(13.6%), 도약각도는 평균 12.54°, 12.80°, 18.83°라고 보고 하였다. Koh & Hay(1990)는 1986년과 1987년 2년 동안 TAC 선수권대회(미국 내 육상선수권대회: The

Athletics Congress)에 참여한 상위 16명의 엘리트 남자 세단뛰기 선수들을 대상으로 한 연구에서 홉, 스텝, 점프의 수평속도 감속이 -0.69 m/s, -1.25 m/s, -1.50 m/s라고 보고하였다. 성낙준, 김용기와 박성재(1992)는 세계 우수선수들의 홉, 스텝, 점프 이륙순간의 수평·수직속도는 각각 평균 9.2 m/s, 2.1 m/s, 8.2 m/s, 1.7 m/s, 6.47 m/s, 2.3 m/s 이상이며, 도약각도는 각각 평균 13.1° , 12.1° , 18.5° 이다. 홉, 스텝, 점프 수평속도 감속은 각각 평균 -0.64 m/s, -1.0 m/s, -1.4 m/s라고 보고하였다.

각 국면에서의 발구름 지지시간은 수평속도와 수직속도에 영향을 미치는 요인으로서, Hommel(1998)은 세계기록 수립자인 Jonathan Edwards 경우 각 국면 지지시간이 0.10 sec에서 0.12 sec이라고 하였고, Hay(1992)는 각 국면 평균 지지시간 범위가 각각 0.12-0.14 sec, 0.15-0.18 sec, 0.16-0.19 sec이며, 각 지지국면 동안에 감속되는 평균 수평속도의 범위는 각각 5-9%, 7-15%, 13-20%라고 보고하였다. 류재균과 송주호(2011)는 남자 한국기록 보유자를 분석하여 각 국면 지지시간이 0.11 sec, 0.14 sec, 0.15 sec이라고 보고하였다. 이들 연구는 홉과 스텝에서 지지시간이 짧은 것은 속도의 손실이 작다는 것을 의미하며 바람직하다고 보고하고 있지만, 그 전제에는 도움닫기 속도가 각 국면을 통해서 최소로 감속되며 모래사장까지 연결되고 발구름 동작과 상체 및 팔의 동작이 정확히 조화를 이룰 때라고 하였다.

류재균과 여홍철(2008)은 2003년 대구유니버시아드대회에서 올림픽 B 기준 기록을 통과한 5명의 선수를 대상으로 한 연구에서 홉, 스텝, 점프 이륙순간의 수평·수직속도는 각각 평균 9.33 m/s, 2.67 m/s, 8.23 m/s, 1.95 m/s, 6.95 m/s, 2.76 m/s이며, 도약각도는 각각 평균 16.0° , 13.4° , 21.7° , 평균 수평속도 감속은 각각 -0.71 m/s(7.6%), -1.11 m/s(13.5%), -1.28 m/s(18.4%)라고 보고하였다. 이상연 등(2011b)은 2011년 대구세계육상선수권대회에 참가한 여자 8명의 선수를 대상으로 보고한 홉, 스텝, 점프 이륙순간의 수평·수직속도는 각각 평균 8.14 m/s, 1.98 m/s, 7.38 m/s, 1.59 m/s, 6.24 m/s, 2.21 m/s이며, 도약각도는 각각 평균 12.3° , 13.2° , 18.9° 였고, 평균 수평속도 감속은 각각 -0.95 m/s, -0.76 m/s, -1.14 m/s라고 보고 하였다.

세단뛰기에서 각 국면의 속도와 각도 변인도 중요하지만 각 국면 거리분

배 또한 선수들의 경기력 향상에 중요하며 이를 통해 기술유형을 분류할 수 있다.

Hay(1992)는 홉, 스텝, 점프의 국면거리를 근거로 국면비를 산출하여 세 가지 기술유형을 정의하였다. 이것은 홉을 가장 길게 뛰는 홉 강조(Hop-dominated)기술, 점프를 가장 길게 뛰는 점프 강조(Jump-dominated)기술, 홉과 점프를 강조한 밸런스(Balanced)기술이다. 홉과 점프 강조기술의 분류는 최대 국면비와 차 국면비사이 적어도 2% 차이가 나야 하고, 홉과 점프를 강조한 밸런스(Balanced)기술은 2% 이상 차이가 나서는 안 된다고 하였다. Brimberg, Hurley & Ladan(2006)은 점프 강조기술이 다음의 가장 큰 구간비보다 적어도 4% 더 커야 한다고 하였다.

Hay(1995)에 의하면 세계적인 엘리트 선수들은 과거 50년부터 지금까지 홉 강조기술을 주로 선호해왔으나, 세계기록을 수립한 Jonathan Edwards 선수는 기록이 18.29 m로 국면비가 31.7% : 32.0% : 36.3%로 점프를 강조하는 것으로 나타났다. 이 때문에 경기현장에서 홉 강조기술이 대세를 이루고 있지만, 경기력 측면에서 점프 강조기술이 최적의 기술로 주목받고 있다. Panoutsakopoulos & Kollias(2008)는 “테살로니키 2008”에 참가한 여자 세단뛰기 선수 10명을 대상으로 한 연구에서 홉, 스텝, 점프 평균 국면비가 각각 36.5%, 29.3%, 34.2%로 관찰되었다고 보고하였다. 국내에서 송주호와 류재균(2010)은 2009년 전국육상경기선수권대회에서 한국 신기록을 수립한 KDH 선수의 실제 경기상황을 촬영분석 하였다. 총 4회의 성공과 실패시기에서 나타난 기술 유형은 홉 강조와 밸런스 기술을 병행한다고 하였는데 한국 신기록 수립 당시 밸런스 기술을 사용한 것으로 보고하였다. 이상연 등(2011a,b)은 2011 대구세계육상선수권대회의 남녀 세단뛰기 선수들이 사용한 기술유형이 남자 선수들의 경우 홉 강조기술 6명, 점프 강조기술 2명이며, 여자 선수들의 경우 홉 강조기술 4명, 밸런스 기술 2명 및 점프 강조기술 2명이라고 보고하였다. 이와 같은 결과로 볼 때 남자 선수의 경우 점프 강조기술이 경기력 측면에서 추천되지만 아직까지 홉 강조 기술을 널리 사용하고 있으며, 여자 선수는 홉 강조기술이 아직까지 좋은 기록을 보인 것으로 나타났다.

세단뛰기에 대한 연구는 1980년대 초부터 현재까지 경기력 향상에 필요한

기술과 훈련방법 개발을 위해 운동학적 운동역학적 변인들을 다양하게 다루어왔다. 대표적인 변인들로는 도움닫기 속도와 각 국면의 속도변화, 국면비 및 기술유형, 도약 및 신체무게중심과 관절 점과의 거리, 신체무게중심의 높이, 운동수행에서 나타나는 동작들의 분절 간 각도, 도약각도, 각운동량, 충격력, 지면반력 등이 지속해서 연구되었다. 이러한 연구들의 결과를 토대로 기술과 훈련을 개선하여 경기력이 급속도로 성장하였다. 세단뛰기 경기력 향상은 남자의 경우 근대 육상경기가 시작되는 시기부터 빠른 속도로 진전되었으나 최근에는 둔화되었다. 여자 세단뛰기 역시 짧은 기간에 급속히 향상되었다가 둔화된 모습을 보여주고 있다.

위에서 기술된 선행연구들 대부분이 남자 선수들을 연구대상자로 하여 나타난 결과를 제시한 것인데, 이러한 연구 결과를 남녀 간에 신체적 특성의 차이가 있음에도 불구하고 여자 세단뛰기 선수들에게 그대로 적용하여 기술 훈련을 하는 것은 다소 무리가 따른다고 보인다. 국내에서는 정식 경기종목 도입이 다른 국가에 비해 늦었으며 선수층과 경기력이 낮아 그동안 연구 분야에서 소외되어 왔다. 우리나라에서 여자 세단뛰기 선수를 대상으로 한 연구는 김수연(2012)의 연구가 유일하다. 우리나라 여자 세단뛰기 선수들이 세계 정상급 선수들과 어깨를 나란히 하기 위해서는 먼저 아시아권 정상에 올라야 할 것이다. 이에 아시아 정상급 선수들의 경기특성을 분석하여 우리나라 여자 세단뛰기 선수들 육성에 필요한 기초자료를 얻는 노력이 필요하다고 본다.

2. 연구의 목적

제16회 아시아육상경기선수권대회 여자 세단뛰기 결승라운드에 진출한 상위 8명을 대상으로 도움닫기와 흡, 스텝, 점프 동작의 운동학적 변인들을 분석하고, 아시아 엘리트 여자 세단뛰기 선수들의 경기력에 영향을 미치는 변인들을 파악하여 국내 여자 세단뛰기 선수들의 수준향상을 위한 정량적 자료 수집에 이 연구의 목적을 둔다.

3. 연구의 제한점

이 연구의 제한점은 다음과 같다.

- 1) 세단뛰기 홉, 스텝, 점프 연결 시 팔 동작의 유형을 고려하지 않았다.
- 2) 13 m 이상의 기록만을 자료로 하였다.
- 3) 13 m 이상의 세단뛰기 기록만을 분석하였으므로 그 이하의 기록과 기술적인 특성을 일반화하는데 주의를 필요로 한다.
- 4) 여자 세단뛰기 선수들의 도약 유형은 남자와 다르므로 일반화에 유의할 필요가 있다.
- 5) 관중에 의해 돌발적으로 발생한 촬영 중단을 통제할 수 없었다. 6명의 선수는 경기의 최고기록이 아닌 차 기록을 분석에 사용하였다.

4. 용어의 정의

분석하고자 하는 용어의 정의는 <그림 1> 과 같다.

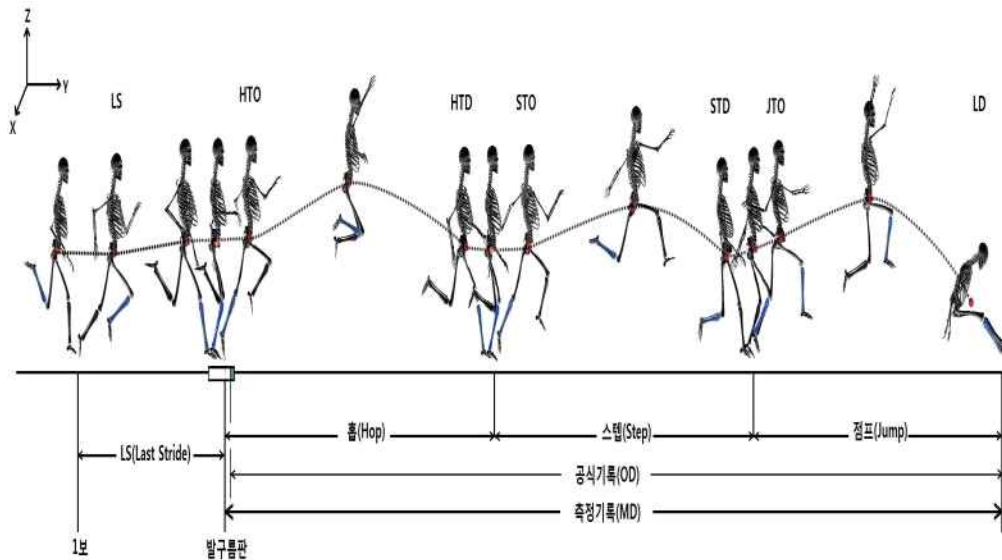


그림 1. 도움닫기와 세단뛰기 운동수행 모형도

접지(Touchdown; TD): 지면에 발이 닿는 순간.

이지(Takeoff): 발이 지면에서 떨어지는 순간.

이륙(Takeoff; TO): 각 국면 발구름 발이 지면에서 떨어지는 순간.

마지막 스트라이드(Last Stride; LS): 마지막 1보 발이 이지하는 순간에서
 홉을 위하여 발구름판에 접지하는 순간.

홉(Hop): 발구름판에서 발의 발끝이 구름판에서 이지하여 스텝동작을 수행
 하기 위해 발구름하는 발의 발끝이 접지하는 순간.

스텝(Step): 홉을 수행한 발구름 발의 발끝이 이지 한 후 점프 동작을 수행
 하기 위해 발구름하는 발의 발끝이 접지하는 순간.

점프(Jump): 스텝을 수행한 발구름 발의 발끝이 이지하여 모래사장에 양발
 이 착지하는 순간.

착지(Landing; LD): 모래사장에 양발의 뒤꿈치가 닿는 순간.

도약 각도(Takeoff angle; TA): 이륙순간 신체무게중심의 합성속도가 Y축과
 이루는 각.

최대 무릎 굴곡(Maximum knee flexion; MKF): 발구름하는 다리의 반대쪽
 다리 무릎이 지면을 지지하고 있는 발구름 다리의 무릎과 서로 겹치는
 순간에 지지하는 다리의 무릎이 최대로 굴곡 된 순간.

공식기록(Official distance; OD): 구름판 앞 가장자리로부터 선수가 모래사
 장에 표시한 가장 가까운 지점까지의 수평거리.

측정 거리(Measured distance; MD): 발구름 순간 선수의 구름발 발끝에서
 모래사장에 표시한 가장 가까운 지점까지의 수평거리.

국면비(Phase ratio): 홉, 스텝, 점프 거리를 측정 거리로 나누어 퍼센티지로
 표시.

홉 강조(Hop-dominated)기술: 홉 퍼센티지가 점프 퍼센티지보다 적어도 2%
 더 큰 유형의 기술.

점프 강조(Jump-dominated)기술: 점프 퍼센티지가 홉 퍼센티지보다 적어도
 2% 더 큰 유형의 기술.

밸런스(Balanced)기술: 가장 큰 국면 퍼센티지가 다음에 가장 큰 국면 퍼센
 티지보다 적어도 2% 더 크지 않은 유형의 기술.

II. 연구방법

1. 연구대상

이 연구는 제16회 아시아육상경기선수권대회에 참가한 여자 세단뛰기 선수 중 결승라운드에 진출한 8명의 선수를 대상으로 하였다.

이 경기에서 13 m 이상의 기록 중 2명의 선수를 제외한 6명의 선수는 경기의 최고기록이 아닌 차 기록을 분석에 사용하였다. 그 이유는 3번 카메라가 5차와 6차 시기에서 관중들의 방해로 인하여 촬영이 이루어지지 않았기 때문이다. 6명의 선수가 5, 6차 시기에서 수립한 대회 최고기록과 차 기록의 평균차이는 9.8 cm이다.

연구대상자의 신체적 특성과 공식기록은 <표 1> 과 같다.

표 1. 연구대상자의 신체적 특성과 기록

Rank	Subject (trial)	Nation	Height (cm)	Weight (kg)	Age (yr)	Trial distance(m)	Official distance(m)
1	XIE(4)	CHN	175	55	19	14.24	14.38
2	YUR(3)	UZB	173	56	24	14.14	14.14
3	HUA(1)	CHN	170	58	25	13.66	13.75
4	PAR(4)	KAZ	171	54	31	13.40	13.45
5	KIM(1)	KOR	167	53	28	13.15	13.43
6	YOS(2)	JPN	165	55	24	13.20	13.20
7	MUA(3)	THA	168	53	22	13.08	13.16
8	RIT(1)	THA	168	57	29	13.09	13.12
M± SD			169.6±3.2	55.1±1.8	25.2±3.9	13.49±0.4	13.58±0.5

2. 실험장비

이 연구에 사용된 실험장비는 영상촬영 장비와 분석 장비로 나누어진다.

1) 영상촬영 장비와 분석 장비

(1) 비디오카메라(Video camera)

연구대상자의 세단뛰기 동작 수행을 촬영하기 위해 JVC 비디오카메라 (GR-HDIKR) 4대와 Kwon3D 3.1 영상분석용 프로그램을 사용하였다. 이때 카메라의 프레임 속도는 60 fields/sec, 셔터노출시간은 1/500 sec으로 고정하여 촬영하였다. 이 카메라의 특징은 HD, SD, DV의 촬영 모드를 통해 고해상도로 녹화가 가능하며 노출시간을 1/1000 sec까지 조절할 수 있어서 선명한 화질을 얻을 수 있다. 그리고 60 Hz의 샘플링 주파수로 연구대상자의 운동수행과 통제점 틀을 촬영하였다.

(2) 통제점 틀(Control object)

DLT(Direct linear transformation) 방법을 이용하여 3차원 공간좌표를 산출하기 위하여 V-TEK사 부설광계측 기술연구소에서 개발한 통제점 막대를 세단뛰기 동작이 수행되는 범위를 촬영할 수 있도록 가로 1 m, 세로 2 m, 높이 2 m 직사각형으로 조립하여 사용하였다. 이 통제점 막대는 20 cm, 30 cm, 30 cm, 20 cm 간격으로 통제점이 표시되고 3차원 공간 내 위치좌표를 예측하는데 재구성 오차(Reconstruction errors)를 줄일 수 있어 유용하다.

(3) 동작분석 시스템(Motion analysis system)

4대의 비디오카메라로부터 촬영된 통제점 틀과 선정된 시기는 Kwon3D 3.1 영상분석용 프로그램을 이용하여 디지털화(Digitizing) 하였다. 이 프로그램은 인체를 연구자가 원하는 연구목적에 맞추어 모델링하여 분석하고자 하는 변인들을 산출할 수 있고, 각 프레임은 두 개의 필드로 나누어 화면에 홀수, 짝수로 모니터에 영상을 보내준다.

3. 실험절차

이 연구에서 선정된 8명 선수의 수행 시기는 시합진행 프로그램의 순서에 따라 촬영하였다. 예선경기 3번의 시기는 출전 경기 순으로 뛰고 이후 결승 3회는 역순으로 진행되기 때문에 선수들의 가슴에 달고 있는 번호를 보고 판단하였다.

선수들의 세단뛰기 운동수행과 통제점 틀을 촬영하기 위하여 JVC 비디오 카메라(GR-HDIKR) 4대를 60 Hz 샘플링 주파수로 설정하여 촬영하였다. 실제 경기상황이라 경기장 내에 카메라를 설치할 수 없어 <그림 2>와 같이 관중석에 부채꼴 모양으로 설치하였다. Cam 1은 모래사장 쪽으로 세단뛰기 운동이 진행되는 방향의 정면에 설치하여 구름판 이륙에서 모래사장 착지까지 촬영 하였고, Cam 2는 측면에서 홉 착지에서 모래사장 착지까지 촬영하였다. 그리고 Cam 3은 측면 후방에서 도움닫기 마지막 스트라이드와 홉 착지 후 도약까지 촬영하였고, Cam 4는 운동수행의 후방에서 도움닫기 마지막 스트라이드와 모래사장 착지까지 촬영되도록 설치하였다. 4대의 카메라는 촬영범위가 서로 겹치게 하였고, 노출시간은 1/500 sec으로 설정하였다.

72개의 통제점을 가진 틀을 발구름판을 기준으로 도움닫기 마지막 스트라이드가 수행되는 시점부터 모래사장까지 총 18.30 m에 일정한 간격으로 통제점 틀을 설치하였으며 <그림 2>와 같다.

전역좌표계는 X(medial-lateral)축을 대상자의 오른쪽이 양의 방향으로 y 축에 직교하며 수평면과 평행하고, Y(anterior-posterior)축을 운동방향이고 조주로와 평행하게 정의하였고, Z(vertical)축은 수직방향으로 수평면과 직교하는 축으로 정의하였다.

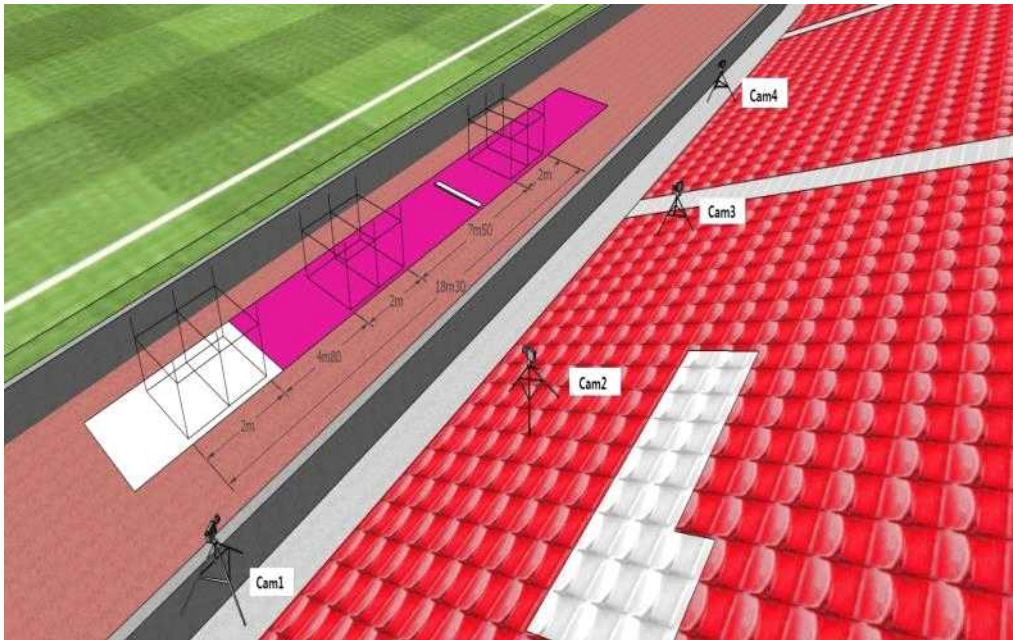


그림 2. 실험장비의 배치도

4. 자료처리방법

Kwon3D 3.1 영상분석용 프로그램을 이용하여 4대의 비디오카메라에 의해서 촬영된 영상자료를 DLT 방법을 통해 3차원 좌표값을 계산하고 동조 처리를 하였다.

1) 영상자료

(1) 좌표화

실 공간 좌표값은 72개의 통제점을 10번씩 디지털이징하여 산출하였고, 인체 관절의 중심점 좌표화는 4대의 비디오카메라의 촬영된 영상에서 20개의 관절을 순서대로 디지털이징 하였다. 인체의 모델링은 20개의 관절점과 14개의 분절이 서로 연결되어 있는 강체계(Linked rigid body system)로 정

의 하였고, 각 분절의 무게중심과 전신 무게중심의 위치를 구하기 위한 인체 분절지수(Body segment parameter)는 Plagenhoef(1983)의 자료를 이용하였다.

인체 관절 중심점의 좌표화 순서는 <그림 3>과 같다.

1. 오른 손가락 끝(right finger)
2. 오른 손목 관절(right wrist joint)
3. 오른 팔꿈치 관절(right elbow joint)
4. 오른 어깨 관절(right shoulder joint)
5. 왼쪽 손가락 끝(left finger)
6. 왼쪽 손목 관절(left wrist joint)
7. 왼쪽 팔꿈치 관절(left elbow joint)
8. 왼쪽 어깨 관절(left shoulder joint)
9. 오른발 끝(right toe)
10. 오른발 뒤꿈치(right heel)
11. 오른쪽 발목 관절(right ankle joint)
12. 오른쪽 무릎 관절(right knee joint)
13. 오른쪽 고관절(right hip joint)
14. 왼발 끝(left toe)
15. 왼발 뒤꿈치(left heel)
16. 왼쪽 발목 관절(left ankle joint)
17. 왼쪽 무릎 관절(left knee joint)
18. 왼쪽 고관절(left hip joint)
19. 머리 상단 끝(vertex)
20. 턱(chin)

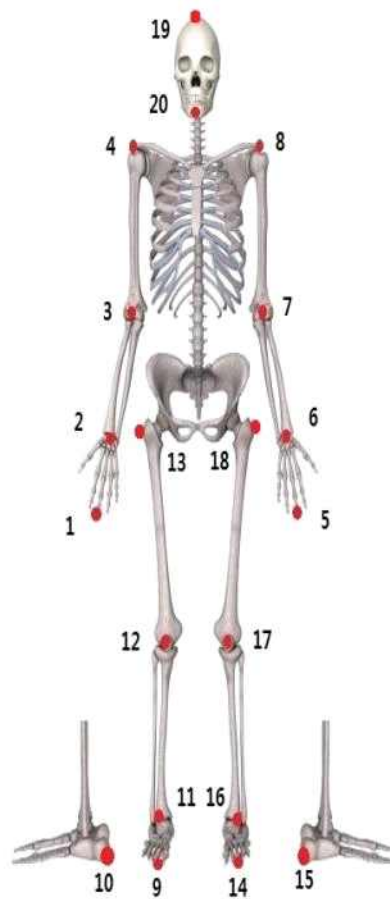


그림 3. 인체관절 중심의 좌표화 순서

(2) 3차원 좌표의 계산

4대의 비디오카메라에서 촬영된 영상을 실제 계측이 이루어지는 2차원 평

면상의 좌표계인 영상 평면 좌표계(Comparator coordinate system)와 피사점이 위치한 공간의 좌표계인 실 공간 좌표계(Space coordinate system)에 기록된 좌표 사이의 선형변환 식을 추출하는 방법인 DLT 방법을 이용하여 3차원 좌표를 산출하였다(Abdel-aziz & Karara, 1971).

그리고 통제점들을 활용하여 미리 실 공간 좌표값을 구하고, 이 좌표값들을 사용하여 DLT 변환식의 계수를 계산하였다. 계산된 DLT 변환식 계수와 동조된 2차원 좌표로부터 인체 관절점의 3차원 좌표가 계산되었다. 3차원 좌표값을 산출하는 과정에서 디지털이징 오차와 같은 여러 가지 원인에 의한 노이즈(noise)가 발생하는데, 이러한 노이즈를 제거하기 위하여 스무딩(Smoothing)을 하였다.

이 연구에서는 버터워스(Butterworth) 4차 저역통과필터(Low-pass filter)를 사용하였으며 이때 차단주파수는 Yu에 의해 제안된 아래의 식을 이용하였다(Yu & Andrew, 1998).

이 연구에서는 차단주파수를 7.4Hz로 설정하였다.

$$F_c = (1.4845 + 0.1532 F_s^{\frac{1}{2}})^2 \quad [1]$$

F_c : 차단주파수

F_s : 촬영속도(sampling rate)

2) 동조(synchronization)

4대의 비디오카메라의 시각적 동조는 Kwon3D 3.1 영상분석용 프로그램에 내장된 동조 기능을 사용하여 각 카메라에 촬영된 영상에서 각 국면 도약순간을 동조 프레임(synchronization-frame)으로 설정하였다.

5. 변인계산 방법

1) 거리

실제 거리(d_a)는 구름판에서 잃어버린 거리와 공식거리의 합으로 정의된다. 실제 거리는 다시 홉 거리(d_1), 스텝 거리(d_2), 점프 거리(d_3)로 나눌 수 있다. 그리고 각 국면 거리는 이륙거리($d_{(to),i}$), 비행 거리($d_{(ft),i}$), 착지 거리($d_{(ld),i}$)로 나누어진다.

실제 거리는 세 국면 거리의 합으로 표현될 수 있으며 다음과 같다.

$$d_a = \sum_{i=1}^3 d_i \quad (i = 1, 2, 3) \quad [2]$$

1=hop, 2=step, 3=jump

식[2]에서 d_i 의 크기는 다음과 같은 식을 사용하여 결정된다.

$$d_i = d_{(to),i} + d_{(ft),i} + d_{(ld),i} \quad [3]$$

$d_{(ft),i}$ 의 크기는 다음 식으로 계산 된다.

$$\begin{aligned} d_{(ft),i} &= v_{y(t_0),i} \Delta t_i \\ &= v_{y(t_0),i} \cdot \frac{v_{z(t_0),i} + \sqrt{v_{z(t_0),i}^2 - 2g(z_{(ld),i} - z_{(to),i})}}{g} \end{aligned} \quad [4]$$

2) 속도

식 [4]에서 $v_{y(to),i}$ 와 $v_{z(to),i}$ 의 크기는 다음 식에 의해 계산된다.

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

$$v_{z(to),i} = v_{z(ld),i} + \Delta v_{z,i} \quad (i = 1, 2, 3) \quad [6]$$

여기서 $v_{y(ld),i}$ 와 $v_{z(ld),i}$ 는 i 국면 착지순간 전신 무게중심의 수평·수직 속도이며, 공기저항을 무시하면 각각 $v_{y(to),i-1}$, $v_{z(to),i-1}$ 와 동일하다. $\Delta v_{y,i}$ 는 i 국면 지지순간에 전신 무게중심의 손실된 수평 속도이며, $\Delta v_{z,i}$ 는 i 국면 지지순간에 전신 무게중심의 증가한 수직 속도이다.

i 지지국면에서 이륙순간에 전신 무게중심의 수평 속도($v_{y(to),i}$)는 다음 식에 의해 계산된다.

$$v_{y(to),i} = \frac{y_{(ld),i+1} - y_{(to),i}}{\Delta t} \quad [7]$$

여기서 $x_{(ld),i+1}$ 은 $i+1$ 지지국면에서 착지순간에 전신 무게중심의 y 좌표이며, $x_{(to),i}$ 는 i 지지국면에서 이륙순간에 전신 무게중심의 y 좌표이다. 그리고 Δt 는 i 지지국면에서 $i+1$ 지지국면까지의 시차다. $i+1$ 지지국면에서 착지순간에 전신 무게중심의 수평 속도($v_{y(ld),i+1}$)는 공기저항을 무시하면 $v_{y(to),i}$ 와 동일하다.

i 지지국면에서 이륙순간에 전신 무게중심의 수직 속도($v_{z(t_0),i}$)와 $i+1$ 지지국면에서 착지순간에 전신 무게중심의 수직 속도($v_{z(t_0),i+1}$)은 다음 식에 의해 계산된다.

$$v_{z(t_0),i} = \frac{z_{(td),i+1} - z_{(t_0),i} + 0.5g\Delta t^2}{\Delta t} \quad [8]$$

$$v_{z(ld),i+1} = v_{z(t_0),i} - g\Delta t \quad [9]$$

여기서 $z_{(t_0),i}$ 는 i 지지국면에서 이륙순간에 전신 무게중심의 z 좌표이며, $z_{(ld),i+1}$ 은 $i+1$ 지지국면에서 착지순간에 전신 무게중심의 z 좌표이다. g 는 중력 가속도이다.

3) 각도

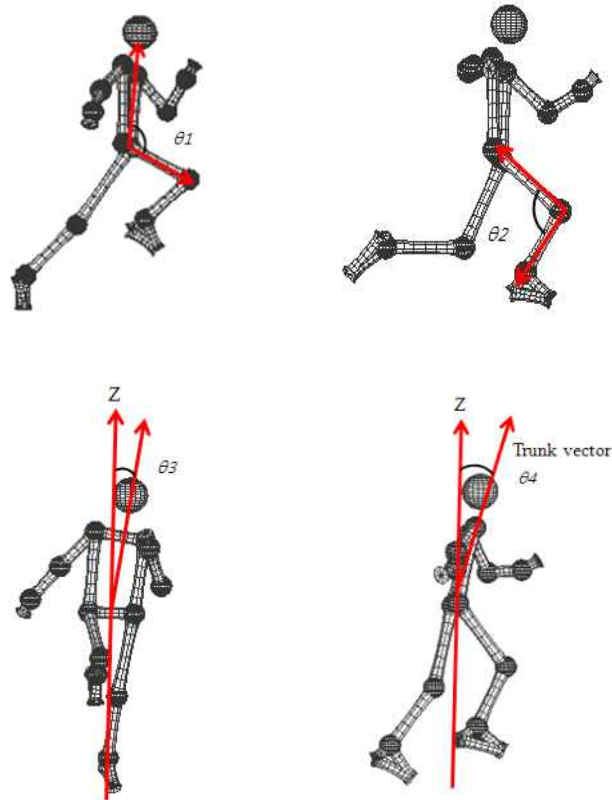


그림 4. 고관절각도, 무릎각도 및 상체 좌·우, 전·후 기울기 각도

이 연구에서 분석하는 관절 각도와 상체의 기울기 각도는 다음과 같다.

1) 고관절각도(θ_1)

상체 벡터와 대퇴 벡터가 이루는 사이의 각도.

2) 무릎각도(θ_2)

대퇴 벡터와 하퇴 벡터가 이루는 사이의 각도.

3) 상체의 좌·우 기울기 각도(θ_3)

상체 벡터와 전역좌표계 Z축과 이루는 사이의 각도.

4) 상체의 전·후 기울기 각도(θ_4)

상체 벡터와 전역좌표계 Z축과 이루는 사이의 각도.

Ⅲ. 연구결과

1. 도움닫기 마지막 스트라이드와 홉, 스텝, 점프의 거리와 국면비

도움닫기 마지막 스트라이드와 홉, 스텝, 점프의 거리 및 국면비에 대한 결과는 <표 2>, <그림 5>와 같다.

표 2. 도움닫기 마지막 스트라이드와 홉, 스텝, 점프의 거리 및 국면비 (단위: m, %)

Subject	LS	신장대비		Hop	Step	Jump	MD
		보폭	비율(%)				
1. XIE	2.20	26		5.25(37%)	4.05(28%)	4.99(35%)	14.29
2. YUR	2.15	24		5.30(37%)	3.63(26%)	5.22(37%)	14.15
3. HUA	2.09	23		5.24(38%)	3.89(28%)	4.80(34%)	13.93
4. PAR	2.23	30		4.97(37%)	3.73(28%)	4.65(35%)	13.35
5. KIM	2.05	23		4.94(36%)	3.76(28%)	4.88(36%)	13.58
6. YOS	1.89	15		5.15(39%)	3.49(26%)	4.60(35%)	13.24
7. MUA	1.89	13		4.91(37%)	3.73(28%)	4.65(35%)	13.29
8. RIT	2.26	35		4.73(36%)	3.81(29%)	4.77(36%)	13.31
M± SD	2.09±0.1	24.8±6.3		5.06±0.2(37%)	3.76±0.1(28%)	4.82±0.2(35%)	13.64±0.4

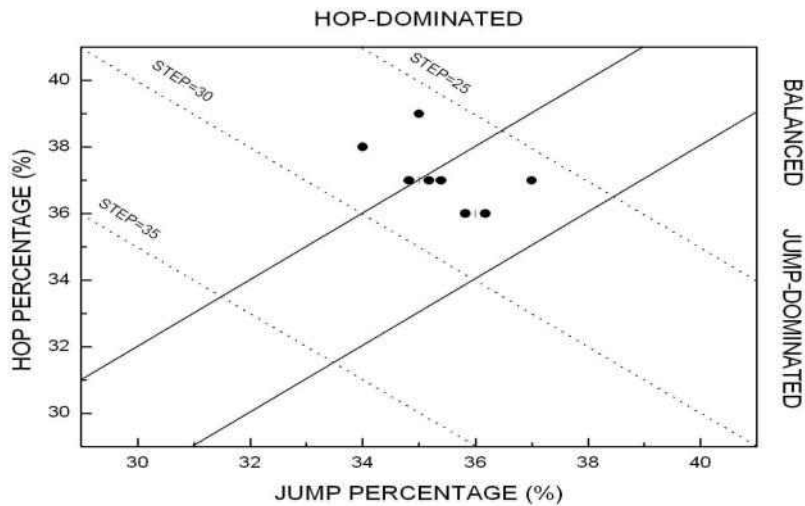


그림 5. 홉 퍼센티지 대 점프 퍼센티지 그리고 각 연구대상자가 사용한 기술유형

도움닫기의 마지막 스트라이드 보폭은 신장대비 보폭 비율이 23-26% 범위 내에 있는 선수들의 경기력이 우수한 것으로 나타났다. 반면에 신장대비 보폭 비율이 30% 이상이거나 15% 이하일 경우 경기력이 떨어지는 것으로 나타났다.

이 연구에서 선수들이 사용하고 있는 기술유형을 각 국면의 거리로 조사한 결과, 5명의 선수가 홉 강조기술을 사용하고 있었고, 3명의 선수는 밸런스 기술을 사용하고 있는 것으로 나타났다.

각 국면 국면비를 살펴보면, 홉 강조기술을 사용하는 선수 중 XIE, PAR 그리고 MUA 선수들의 홉 국면비는 점프의 국면비보다 2% 더 컸고, HUA와 YOS 선수들은 4% 더 크게 홉을 뛰는 것으로 나타났다.

홉, 스텝, 점프의 평균 도약거리와 국면비는 각각 5.06 ± 0.2 m, 3.76 ± 0.1 m, 4.82 ± 0.2 m와 37%, 28%, 35%로 스텝의 국면비는 선수들 간에 큰 차이를 보이지 않았으나 상대적으로 다른 도약거리와 국면비에 비해 크게 차이가 나타났다.

2. 도움닫기 마지막 스트라이드와 홉, 스텝, 점프의 수평속도

도움닫기 마지막 스트라이드와 홉, 스텝, 점프의 수평속도 결과는 <표 3>, <그림 6>과 같다.

표 3. 도움닫기 마지막 스트라이드와 각 국면 수평속도와 속도 변화 (단위: m/s)

Subject	LS			Hop			Step			Jump		
	TD	TO	Δv	TD	TO	Δv	TD	TO	Δv	TD	TO	Δv
1. XIE	9.19	9.06	-0.13	9.29	8.17	-1.12	8.45	7.08	-1.37	7.54	6.65	-0.89
2. YUR	9.68	9.74	0.06	8.66	9.15	0.49	8.97	8.30	-0.67	8.05	6.34	-1.71
3. HUA	8.44	8.95	0.51	8.65	7.34	-1.31	6.99	7.84	0.85	7.29	5.71	-1.58
4. PAR	8.48	8.31	-0.17	8.84	7.83	-1.01	7.40	7.03	-0.37	6.28	5.62	-0.66
5. KIM	8.43	9.65	1.22	9.05	8.44	-0.61	8.54	7.75	-0.79	7.46	6.61	-0.85
6. YOS	8.76	8.63	-0.13	7.66	7.50	-0.16	7.14	7.17	0.03	7.02	6.29	-0.73
7. MUA	7.87	8.04	0.17	8.58	7.21	-1.37	7.37	6.96	-0.41	6.40	5.85	-0.55
8. RIT	7.95	8.85	0.90	8.32	7.84	-0.48	7.74	7.87	0.13	7.05	6.07	-0.98
M \pm SD	8.72 ± 0.53	8.90 ± 0.59	0.30 ± 0.52	8.63 ± 0.49	7.93 ± 0.64	-0.69 ± 0.63	7.82 ± 0.73	7.50 ± 0.50	-0.32 ± 0.67	7.13 ± 0.58	6.14 ± 0.39	-0.99 ± 0.42

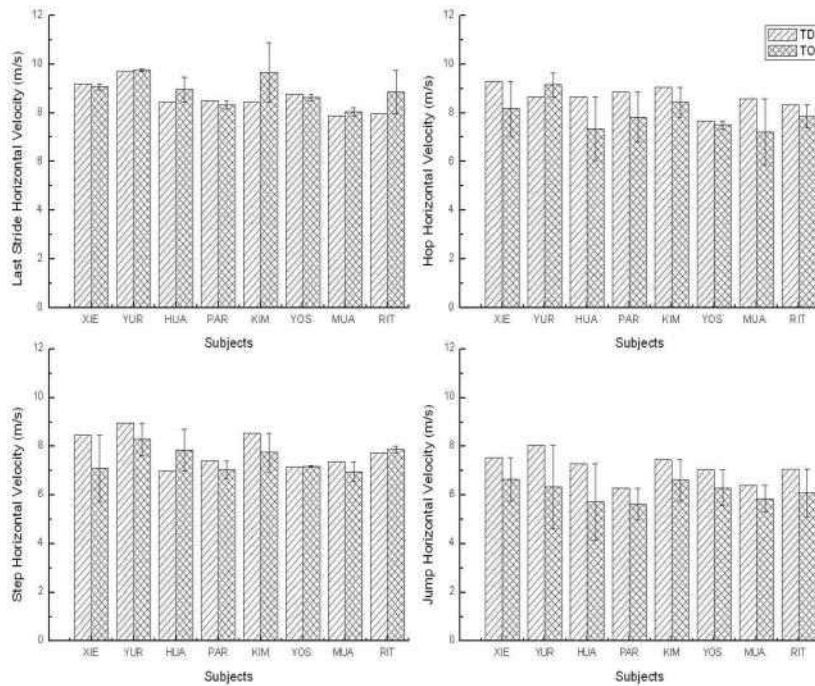


그림 6. 도움닫기 마지막 스트라이드와 각 국면 수평속도와 속도 변화

도움닫기의 마지막 스트라이드에서 접지와 이지 순간 수평속도의 감속은 XIE, PAR 그리고 YOS 선수들이 각각 -0.13 m/s, -0.17 m/s, -0.13 m/s 수평속도의 손실이 있었고, 나머지 선수들은 수평속도가 증가되는 것으로 나타났다.

홉 발구름 국면에서 수평속도는 감속되는 것이 일반적으로 나타나는 현상이지만 YUR 선수만이 0.49 m/s 수평속도가 증가하였다. 반면에 나머지 선수들은 발구름 동안 감속이 되었으나 특히 XIE, HUA, PAR과 MUA 선수들은 1.00 m/s 이상 감속되었다.

스텝 발구름 국면에서는 HUR, RIT, YOS 선수들의 수평속도가 각각 0.85

m/s, 0.13 m/s, 0.03 m/s로 증가하였고, 나머지 선수들은 감속되었다. 특히 XIE 선수가 -1.37 m/s로 크게 감속되는 것으로 나타났다.

점프 발구름 국면에서도 대부분의 선수의 수평속도의 감속 폭이 평균 수평속도 감속인 -0.99 m/s 보다 작게 감속되었으나, YUR과 HUR 선수들만이 각각 -1.71 m/s, -1.58 m/s로 큰 수평속도 감속이 나타났다.

3. 홉, 스텝, 점프의 수직속도 및 도약각도

각 국면 이륙순간의 수직속도와 도약각도 결과는 <표 4>, <그림 7>과 같다.

표 4. 각 국면 이륙순간의 수직속도 및 도약각도 (단위: m/s, deg.)

Subject	Hop		Step		Jump	
	TO	Angle	TO	Angle	TO	Angle
1. XIE	2.06	14	1.33	10	1.90	15
2. YUR	2.09	12	1.06	7	2.02	17
3. HUA	2.10	15	1.55	11	2.30	21
4. PAR	2.08	14	1.45	11	2.53	24
5. KIM	1.71	11	1.27	9	1.67	11
6. YOS	2.39	17	1.27	10	2.28	19
7. MUA	2.19	16	1.36	11	2.15	20
8. RIT	1.88	13	1.30	9	2.10	19
M± SD	2.06±0.20	14±2	1.32±0.14	10±1	2.11±0.26	18±4

홉 이륙순간에 수직속도는 KIM과 RIT 선수만이 2.00 m/s 이하로 나타났으며, RIT 선수는 수직속도가 YUR 선수보다 낮음에 불구하고 도약각도가 1° 더 높았다.

스텝에서의 수직속도는 평균 1.32 m/s로 홉과 점프보다 상대적으로 크게 낮았으며 결과적으로 도약각도 또한 11° 이하로 낮게 나타났다.

점프의 수직속도는 XIE와 KIM 선수들이 각각 1.90 m/s와 1.67 m/s로 낮게 나타났으며 그 결과 도약각도가 15°와 11°로 가장 낮게 나타났다.

홉, 스텝, 점프 연결 국면의 도약각도를 살펴보면 KIM은 국면 간 도약각도의 차이가 2°로 가장 작게 나타났는데 홉과 점프는 11°로서 도약각도가 같았고 전체 선수들의 평균에 비해서는 2° 낮은 것이며, 가장 큰 차이를 보

인 PAR 선수의 13° 보다는 크게 낮은 것이다. 홉과 스텝의 도약각도는 YOS 선수가 7°의 차이로 가장 크게 나타났는데 이것은 홉의 수직속도가 2.39 m/s로 가장 크게 나타났기 때문이다. 스텝과 점프는 PAR 선수가 13°의 차이를 보였는데 이때 점프의 수직속도가 2.53 m/s로 가장 높게 나타났다.

단 한 명의 선수도 홉의 도약각도 보다 스텝을 높게 뛰는 선수가 없는 것으로 나타났다.

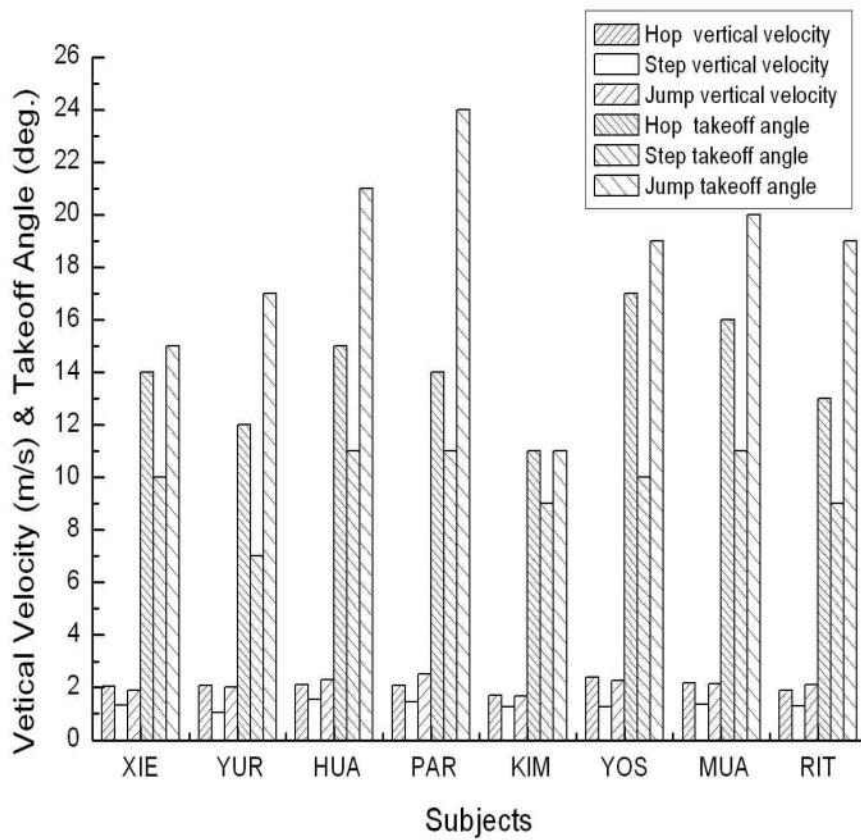


그림 7. 각 국면 이륙순간의 수직속도와 도약각도

4. 홉, 스텝, 점프의 신체무게중심 높이

각 국면 이륙순간의 신체무게중심 높이는 <표 5>, <그림 8>과 같다.

표 5. 각 국면 이륙순간의 신체무게중심 높이 (단위: m)

Subject	Hop			Step			Jump		
	TD	MKF	TO	TD	MKF	TO	TD	MKF	TO
1. XIE	0.92	0.92	1.04	0.97	0.94	1.00	0.97	0.96	1.05
2. YUR	0.95	0.97	1.08	0.99	0.96	1.00	0.96	0.96	1.06
3. HUA	0.97	1.03	1.09	0.95	0.93	1.00	0.95	0.94	1.08
4. PAR	0.95	0.97	1.08	1.00	0.96	1.06	0.98	0.99	1.18
5. KIM	0.95	0.97	1.06	1.01	0.96	1.02	0.99	0.96	1.05
6. YOS	0.89	0.94	1.04	0.93	0.89	0.93	0.90	0.89	1.04
7. MUA	0.92	0.94	1.05	0.99	0.93	0.98	0.92	0.96	1.05
8. RIT	0.95	0.97	1.07	0.98	0.93	0.99	0.92	0.91	1.04
M± SD	0.93 ±0.02	0.96 ±0.03	1.06 ±0.01	0.97 ±0.02	0.93 ±0.02	0.99 ±0.03	0.94 ±0.03	0.94 ±0.03	1.06 ±0.04

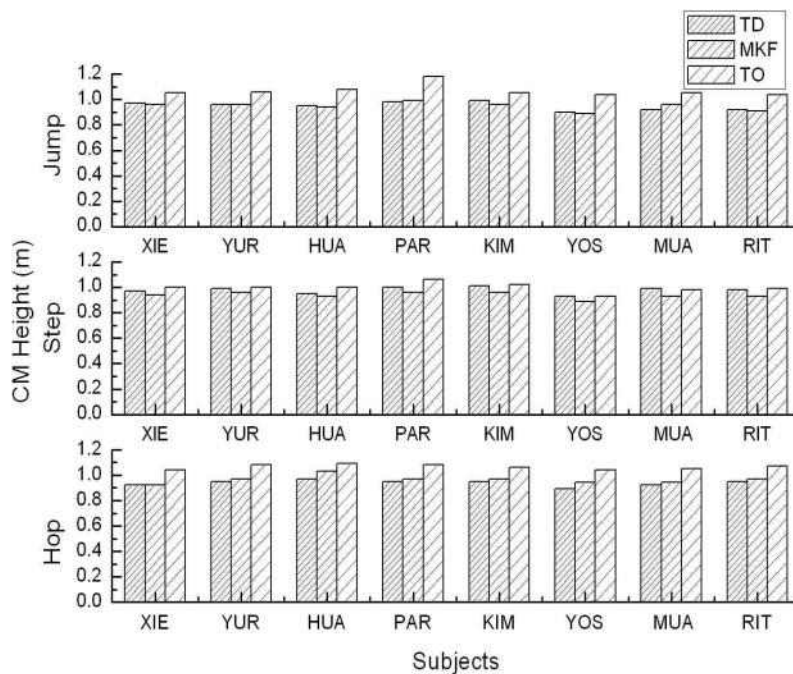


그림 8. 각 국면에서 접지, 최대무릎굴곡 및 이륙순간 신체무게중심의 높이 변화

홉 발구름하는 동안 XIE 선수만을 제외하고 모든 선수가 접지보다 최대 무릎굴곡과 이륙순간의 신체무게중심 높이가 높아지는 변화를 보였다. 그러나 스텝 발구름하는 동안은 접지보다 최대무릎굴곡이 낮아졌다가 이륙순간 상승하는 패턴을 보였다. 하지만 점프 발구름하는 동안에는 접지와 이륙으로 신체무게중심이 이동되는 패턴이 접지 이후 최대무릎굴곡에서 신체무게중심이 낮아졌다가 이륙순간 높아지는 패턴(XIE, HUA, KIM, YOS, RIT)과 YUR 선수처럼 접지와 최대무릎굴곡의 신체무게중심 높이가 같고 이륙순간에 높아지는 패턴, 마지막으로 PAR과 MUA 선수들처럼 접지 이후 이륙순간까지 신체무게중심의 높이가 점차 높아지는 패턴이 나타났다.

최대무릎굴곡을 살펴보면, XIE 선수는 홉, 스텝, 점프를 수행하면서 신체무게중심의 높이가 2 cm씩 상승하는 것으로 나타났고, RIT 선수는 낮아지는 것으로 나타났다. HUA 선수는 홉과 스텝의 최대무릎굴곡 순간에 신체무게중심의 높이 차이가 10 cm를 보였다. 반면에 YUR과 KIM 선수들은 각 국면에서 신체무게중심의 높이 차이가 거의 없이 일정한 높이를 보였다.

5. 홉, 스텝, 점프의 상체 좌·우 기울기

각 국면 이륙순간의 상체 좌·우 기울기는 <표 6>과 같다.

표 6. 각 국면 이륙순간의 상체 좌·우 기울기 (단위: deg.)

Subject	Hop			Step			Jump		
	TD	MKF	TO	TD	MKF	TO	TD	MKF	TO
1. XIE	-2	-5	-11	-11	-12	-10	5	6	6
2. YUR	-9	-12	-15	-11	-10	-10	2	0	1
3. HUA	-15	-18	-19	-10	-7	-3	12	12	11
4. PAR	-10	-11	-13	-13	-12	-9	3	4	5
5. KIM	-4	-5	-6	-6	-6	-4	4	5	5
6. YOS	-10	-12	-13	-14	-13	-9	9	11	10
7. MUA	8	7	8	17	15	10	-11	-9	-3
8. RIT	-9	-10	-12	-11	-11	-8	1	0	-2
M± SD	8±4	10±4	12±4	12±3	12±3	8±3	6±4	6±5	5±4

* 홉에서 MUA만 발구름 발이 left 이고, 나머지 선수들은 right 임.

* 상체각도 : (-)오른쪽, (+)왼쪽으로 기울어짐.

홉과 스텝에서 발구름하는 동안 상체의 좌·우 기울기 변화는 발구름하는 다리 쪽으로 상체가 기울어지는 현상을 보였고, XIE 선수는 홉 접지에서 이륙 사이에 상체 좌·우 기울기의 폭이 9°로 가장 큰 변화를 나타냈다. 스텝에서는 접지와 이륙순간 상체 좌·우 기울기 각도 변화가 HUA, MUA 선수가 7°로 나타났으며 점프에서는 MUA 선수가 8°로 큰 변화를 보였다.

홉 국면과 스텝의 접지와 이륙 사이 상체의 좌·우 기울기 차이는 비슷하게 나타났으나 홉, 스텝, 점프로 국면이 전개되면서 기울기의 변화가 줄어들어 점프에서는 평균 1° 정도의 기울기 차이만을 보였다. RIT 선수의 경우 점프에서 접지와 이륙순간 상체의 좌·우 기울기 방향이 바뀌는 것으로 나타났다. 각 국면의 기울기를 보면 HUA 선수는 홉 이륙 시 발구름하는 쪽으로 19° 기울어지나 스텝에서는 3°에 그치고 점프에서는 다시 11° 기울어지는 것으로 나타났다. YOS 선수는 스텝과 점프의 기울기 차이가 -9° 와 10°로 19°의 큰 기울기 변화를 보였다.

6. 홉, 스텝, 점프의 상체 전·후 기울기

각 국면 이륙순간의 상체 전·후 기울기는 <표 7>과 같다.

표 7. 각 국면 이륙순간의 상체 전·후 기울기 (단위: deg.)

Subject	Hop		Step		Jump	
	TD	TO	TD	TO	TD	TO
1. XIE	-4	9	11	20	8	11
2. YUR	3	15	14	13	3	19
3. HUA	5	11	4	3	-11	2
4. PAR	2	2	0	4	-2	12
5. KIM	11	-2	0	4	2	-4
6. YOS	5	4	5	12	8	14
7. MUA	19	18	-4	12	12	-1
8. RIT	9	14	8	16	11	17
M± SD	7±6	9±6	6±5	10±6	7±4	10±7

* (+) 전경, (-)후경으로 기울어짐.

홉의 접지와 이지에서 상체의 전·후 기울기 변화는 XIE, KIM과 YUR 선수들이 각각 13°, 13°, 12°로 가장 큰 변화를 보였다. 그러나 PAR, YOS와

MUA 선수들은 1° 이하로 상체의 전·후 움직임 없이 발구름을 하는 것으로 나타났다.

스텝의 접지와 이지에서 상체의 전·후 기울기 변화는 접지 시에 PAR과 KIM 선수들은 직립자세를 취하였고 MUA 선수는 후경자세였다. MUA는 접지 시 4° 후경자세에서 이륙 시 12° 전경자세를 보여 16°의 큰 상체 전·후 기울기 차이를 보였다. 스텝 이륙순간에는 모든 선수가 전경자세를 취하고 있었다.

점프의 접지와 이지에서 YUR 선수는 16° 기울기 차이를 보였다. 각 국면 이륙순간에는 평균 9°-10° 전경자세를 취하고 있는 것으로 나타났다.

7. 홉, 스텝, 점프의 고관절각도

각 국면 발구름하는 동안 스윙하는 자유다리의 고관절각도 변화와 발구름하는 다리의 고관절각도 변화는 각각 <표 8>, <표 9>와 같다.

표 8. 각 국면 발구름하는 동안 스윙하는 자유다리의 고관절각도 변화 (단위: deg.)

Subject	Hop				Step				Jump			
	TD	MKF	TO	$\Delta\theta$	TD	MKF	TO	$\Delta\theta$	TD	MKF	TO	$\Delta\theta$
1. XIE	197	163	113	84	184	156	106	78	204	166	123	81
2. YUR	192	158	103	89	173	154	111	62	189	158	105	84
3. HUA	180	152	143	37	190	176	139	51	200	174	123	77
4. PAR	173	149	125	48	191	165	124	67	181	157	104	77
5. KIM	174	150	127	47	194	172	134	60	200	163	137	63
6. YOS	196	161	115	81	178	161	118	60	185	163	117	68
7. MUA	156	127	109	47	190	156	114	76	171	149	121	50
8. RIT	179	153	117	62	199	173	124	75	187	160	120	67
M \pm SD	181 ± 14	152 ± 11	119 ± 13	62 ± 20	187 ± 8	164 ± 9	121 ± 11	66 ± 10	190 ± 11	161 ± 7	119 ± 11	71 ± 11

* 발구름 발이 MUA만 left 이고, 나머지 선수들은 right 임.

* $\Delta\theta$: TD와 TO간 고관절 각변위 차이.

홉과 스텝에서의 자유롭게 스윙하는 다리의 고관절각도는 뒤쪽으로 최대한 과신전 되어있어야 운동진행 방향으로 강하게 스윙다리를 차면서 무릎을 끌어당길 수 있다. 홉 착지순간 MUA 선수만이 156°로 작았으며 이후 최대

무릎굴곡에서도 127°로 작게 나타났다. 홉 이륙순간 스윙하는 다리의 고관절 각도가 작다는 것은 대퇴를 지면과 수평으로 끌어당겨 신체의 최적 비행 궤적을 유도하는 것을 의미하지만 HUA 선수는 143°로 가장 크게 나타났다.

홉 착지와 이륙순간 자유롭게 스윙하는 다리의 고관절각도 변화는 XIE, YUR과 YOS 선수가 80° 이상으로 큰 각변위의 변화를 나타냈다.

스텝 착지순간 스윙하는 다리의 고관절각도는 홉에서와 같이 과신전된 상태에서 착지하고 이륙순간 급격한 각변위 차이를 보였다. 그러나 HUA, PAR, KIM, MUA와 RIT 선수들은 이륙순간의 고관절각도가 큰 것으로 나타났다.

점프에서 자유롭게 스윙하는 다리의 고관절각도 변화는 XIE와 YUR 선수가 각각 81°와 84°로 가장 크게 나타났고, MUA 선수가 50°로 가장 작은 각변위 변화를 보였다.

표 9. 각 국면 발구름 다리의 고관절각도 (단위: deg.)

Subject	Hop				Step				Jump			
	TD	MKF	TO	$\Delta\theta$	TD	MKF	TO	$\Delta\theta$	TD	MKF	TO	$\Delta\theta$
1. XIE	154	172	200	46	158	161	193	35	138	157	191	53
2. YUR	132	138	176	44	136	145	195	59	140	148	172	32
3. HUA	154	164	175	21	155	170	201	46	161	173	196	35
4. PAR	148	164	205	57	160	164	206	46	156	161	187	31
5. KIM	144	161	207	63	158	169	203	45	151	160	204	53
6. YOS	135	147	171	36	148	150	182	34	136	149	182	46
7. MUA	118	127	171	52	157	156	188	31	152	165	199	47
8. RIT	143	150	182	39	155	168	201	46	138	151	186	48
M \pm SD	141	153	186	45	153	160	196	43	146	158	190	43
	± 12	± 15	± 16	± 13	± 8	± 9	± 8	± 9	± 10	± 9	± 10	± 9

* 발구름 발이 MUA만 left 이고 나머지 선수들은 right 임.

* $\Delta\theta$: TD와 TO간 고관절 각변위 차이.

홉에서 발구름하는 다리의 고관절각도는 접지순간 MUA 선수만이 118°로 작았으며 이후 최대무릎굴곡에서는 127°로 가장 크게 굴곡 되는 것으로 나타났다. 그리고 KIM 선수는 발구름하는 다리의 고관절각도 변화는 63°로 가장 크게 각변위 변화를 보였다.

스텝에서 발구름하는 다리의 고관절각도는 이륙순간에 196°로 홉과 점프

이륙순간 보다 크게 나타났으며, 각변위의 변화는 43°로 홉 보다는 작게 나타났다. 그리고 최대무릎굴곡에서 이륙순간까지 고관절각도의 변화는 YUR 선수가 50°로 가장 컸으며 HUA 선수가 31°로 가장 작았다.

점프에서 발구름하는 다리의 고관절각도는 접지와 이륙순간까지 가장 큰 각변위 변화를 보인 선수는 XIE와 KIM 선수로 53°의 변화를 보였다. 그리고 최대무릎굴곡에서 이륙순간까지 고관절각도의 변화는 KIM 선수가 44°의 보인 반면 XIE 선수는 34°로 10°의 차이를 보였다.

8. 홉, 스텝, 점프의 무릎각도

각 국면 발구름하는 동안 스윙하는 자유다리의 무릎각도 변화와 발구름하는 다리의 무릎각도 변화는 각각 <표 10>, <표 11>과 같다.

표 10. 각 국면 발구름하는 동안 스윙하는 자유다리의 무릎각도 (단위: deg.)

Subject	Hop				Step				Jump			
	TD	MKF	TO	$\Delta\theta$	TD	MKF	TO	$\Delta\theta$	TD	MKF	TO	$\Delta\theta$
1. XIE	45	35	53	8	121	101	93	28	127	113	120	7
2. YUR	70	39	35	35	99	93	103	4	110	105	102	8
3. HUA	74	81	133	59	130	123	122	8	123	106	118	5
4. PAR	50	42	56	6	116	114	112	4	120	105	97	23
5. KIM	67	45	50	17	101	92	105	4	134	101	101	33
6. YOS	107	81	49	58	102	97	108	6	101	104	128	27
7. MUA	75	46	73	2	103	91	94	9	113	107	96	17
8. RIT	71	56	84	13	128	128	124	4	109	107	111	2
M± SD	70 ±19	53 ±18	67 ±31	25 ±23	113 ±13	105 ±15	108 ±11	8 ±8	117 ±11	106 ±3	109 ±12	15 ±11

* 홉에서 MUA만 발구름 발이 left 이고, 나머지 선수들은 right 임.

* $\Delta\theta$: TD와 TO간 무릎 각변위 차이.

홉에서 발구름하는 동안 스윙하는 다리의 무릎각도는 HUA와 YOS 선수가 서로 상반되는 무릎각도 변화를 보였다. HUA 선수는 접지와 이륙순간 각각 74°와 133°로 59°의 각변위를 보였고, YOS 선수는 접지와 이륙순간 각각 107°와 49°로 58°의 각변위를 보였다.

스텝에서 발구름하는 동안 스윙하는 다리의 무릎각도는 XIE 선수가 접지

와 이륙순간 28°로 가장 큰 각변위 변화를 나타냈다.

점프에서 발구름하는 동안 스윙하는 다리의 무릎각도는 YOS와 RIT 선수가 다른 선수들과 서로 상반되는 무릎각도 변화를 보였다.

표 11. 각 국면 발구름 다리의 무릎각도 (단위: deg.)

Subject	Hop				Step				Jump			
	TD	MKF	TO	$\Delta\theta$	TD	MKF	TO	$\Delta\theta$	TD	MKF	TO	$\Delta\theta$
1. XIE	161	176	176	15	176	173	172	4	159	148	177	18
2. YUR	160	158	172	12	157	145	171	14	152	135	163	11
3. HUA	150	177	165	15	161	150	171	10	162	147	172	10
4. PAR	146	155	167	21	171	141	166	5	160	160	179	19
5. KIM	179	175	176	3	179	165	170	9	175	148	161	14
6. YOS	173	151	157	16	168	150	150	18	167	156	167	0
7. MUA	142	134	157	15	170	140	162	8	172	152	177	5
8. RIT	167	175	168	1	170	167	176	6	153	145	176	23
M \pm SD	160 ± 13	163 ± 16	168 ± 9	12 ± 7	169 ± 7	154 ± 13	167 ± 8	9 ± 5	163 ± 8	149 ± 8	171 ± 7	13 ± 8

* 홉에서 MUA만 발구름 발이 left 이고, 나머지 선수들은 right 임.

* $\Delta\theta$: TD와 TO간 무릎 각변위 차이.

홉에서 발구름하는 다리의 무릎각도는 접지와 이륙순간 무릎의 각도 변화가 선수마다 다양하게 나타났으며 특히 KIM과 YOS 선수들은 이륙순간 무릎각도가 작아지는 것으로 나타났다. 또한, HUA와 RIT 선수들은 최대무릎굴곡에서 이륙순간 무릎각도가 각각 12°와 7° 작아졌다.

스텝에서 발구름하는 다리의 무릎각도는 접지보다 이륙순간의 무릎각도가 커진 선수는 YUR, HUA, RIT 선수들로서 각각 14°, 10°, 6°씩 커진 것으로 나타났다. 그리고 최대무릎굴곡에서 이륙순간 무릎각도는 XIE 선수가 1° 작아졌고, YOS 선수는 유지하였고 나머지 선수들은 굴곡 되었다가 신전 되는 것으로 나타났다.

점프에서 발구름하는 다리의 무릎 각도는 KIM 선수만이 14°로 작아졌으며 나머지 선수들은 접지보다 이륙순간 신전 되어 이륙하는 것으로 나타났다. 그리고 최대무릎굴곡에서 이륙순간 무릎각도는 모든 선수가 커지는 것으로 나타났으며 가장 큰 각변위 변화는 RIT, XIE, YUR 선수들 순으로 각각 31°, 29°, 28°였다.

IV. 논의

도움닫기 마지막 스트라이드의 보폭은 구름판 이륙순간에 신체무게중심의 수평속도와 수직속도 및 도약각도에 영향을 미치는 요인으로서 도움닫기에 서 얻은 속도와 구름판에서 신체무게중심의 비행궤적높이를 결정짓는 매개체 역할을 한다. 이 연구에서 도움닫기의 마지막 스트라이드 보폭은 신장대비 보폭 비율이 23-26% 범위에 있는 선수들의 경기력이 우수한 것으로 나타났다.

우상연 등(2011b)은 2011 대구세계육상선수권대회에서 여자 세단뛰기 상위 8명의 선수를 대상으로 마지막 도움닫기 스트라이드의 신장대비 보폭 비율을 조사한 결과 평균 25%로 나타나 이 연구의 결과와 유사하게 나타났다. 국내에서는 전국육상경기선수권대회 상위 3명 여자 선수의 경우 8%의 낮은 신장대비 보폭 비율을 보였다(김수연, 2012).

Hay(1985)는 1984년 LA 올림픽에 결승에 진출한 12명의 남자 선수 역시 평균 24%로 이 연구 결과 범위 내에 있다. 반면 국내에서 남자 KDH 선수는 한국 신기록 수립 당시 22%(류재균과 송주호, 2011)였다고 보고하였다.

Bruggemann(1990)는 세단뛰기 마지막 스트라이드의 보폭변화가 선수들의 기술유형에 따라 다르며, 류재균과 여홍철(2009)은 보폭변화는 일정한 패턴이 없고 선수가 선호하는 것에 따라 다양하다고 하였다.

도움닫기 마지막 스트라이드의 보폭은 선수마다 다르게 나타나지만, 신장대비 보폭 비율로 표준화하면 선행연구들의 결과가 22%에서 25%의 범위에 있는 것으로 조사되었고, 이 연구의 결과에서도 경기력이 우수한 선수들이 신장대비 보폭 비율이 23-26% 범위에 있는 것으로 나타났다.

Hay(1999)은 세단뛰기의 성공적인 수행은 홉, 스텝, 점프의 국면에 대한 거리분배라고 하였다. 따라서 선수들이 선호하는 기술유형에 따라 국면의 분배가 요구된다. Hay(1995, 1999)에 의한 기술유형을 보면, 홉 강조(hop-dominated)기술, 점프 강조(jump-dominated)기술, 밸런스(balanced)기술로 분류하였고, 이 기술유형들은 가장 큰 국면비가 두 번째 국면비보다 적

어도 2% 더 크거나 작아야 한다고 하였고, 밸런스(balanced)기술은 2% 더 커서는 안 된다고 하였다. 그러나 Brimberg, Hurley & Ladan.(2006)은 점프 강조기술의 경우 홉 국면비보다 적어도 4% 더 커야 한다고 하였다.

Hay(1995)는 세계적인 엘리트 선수들은 과거 50년부터 지금까지 홉 강조 기술을 주로 선호했고, 상위 기록의 선수들은 홉과 점프를 강조한 밸런스 기술을 사용한다고 보고하였다(Hay, 1995, 1999). 세계기록을 수립한 Jonathan Edwards(18.29 m) 선수는 31.7% : 32.0% : 36.3%로 다음의 가장 큰 홉 국면비보다 4% 이상 더 크게 나타나 점프를 강조하는 것으로 나타났다. 우상연 등(2011a)은 대구세계육상선수권 남자 선수들의 경우 국면비를 평균 36%, 30%, 34%로 보고하고, 이 중 상위의 Christian Taylor 선수(34%, 29%, 37%)와 Will Claye 선수(33%, 31%, 36%)가 점프 강조기술을 사용하고 있는 것으로 보고하였다. 이 때문에 경기현장에서 홉 강조기술이 대세를 이루고 있지만, 경기력 측면에서는 점프 강조기술이 최적의 기술로 주목받고 있다.

여자 선수들의 경우 2009 베를린 세계육상선수권대회에서 상위 8명의 선수가 홉 강조기술과 밸런스 기술을 사용하는 것으로 보고되었다. 반면 2011 대구세계육상선수권대회의 상위 8명의 선수 중 Olga Rypakova 선수(35%, 28%, 37%)와 Yargeris Savigne 선수(36%, 26%, 38%)가 점프 강조기술을 시도한 점이 주목받았으며 기술 변화가 시도되고 있음을 보여주었다(우상연 등 2011b).

이 연구에서 선수들의 기술유형은 5명의 선수(XIE , HUR, PAR, YOS, MUA)가 홉 강조기술, 3명의 선수(YUR, KIM, RIT)는 밸런스 기술을 사용하고 있었다. 홉, 스텝, 점프의 국면비는 평균 37%, 28%, 35%로 나타났다. 선행연구들의 국면비 결과와 비교해 보면, 스텝의 국면비 비중이 낮은 것을 알 수 있으며 이는 홉에 많은 비중을 두고 있는 것을 알 수 있다. 앞서 Hay가 진술한 것처럼 각 국면의 분배가 아직 아시아선수들에게는 기술적으로 미흡한 부분이라고 할 수 있다.

세단뛰기에서의 수평속도는 각 국면의 도약거리를 결정하는 주요한 변인이다. Miller & Hay(1986)는 우수한 선수일수록 빠른 수평속도를 가진다고

하였다. 류재균과 여홍철(2008, 2009)은 도움닫기 마지막 스트라이드의 수평 속도가 10.36 m/s 이상이어야 17 m 후반에서 18 m의 경기력을 발휘할 수 있다고 하였고, Hay(1995)는 도움닫기 속도가 10.4 m/s-10.6 m/s가 되어야 구름판에 접지 시 10.5 m/s의 수평속도에 도달 할 수 있다고 보고하였다. 이를 뒷받침하고 있는 Jonathan Edwards 선수의 세계기록 당시의 수평속도는 10.5 m/s 이상이라고 보고하였다(Hommel, 1998). 류재균과 송주호(2011)는 국내 남자 세단뛰기 KDH 선수가 한국 신기록 당시 9.85 m/s의 수평속도를 보여 수평속도 향상의 필요성을 지적하기도 했다.

류재균과 윤희중(2001)은 착지까지 가능한 한 수평속도의 감속을 최소화 할 수 있는 능력이 세단뛰기 기술에서 가장 중요하다고 보고하였고, 다른 연구자들도 각 국면에서 수평속도 감속을 최소화해야 한다고 일관성 있게 보고하고 있다(김창환, 박영준, 2003; 류재균, 2003, 2005, 2006; Hay, 1985; Miller & Hay, 1986; Yu, 1999).

우상연 등(2011b)은 2011 대구세계육상선수권대회와 2009 베를린세계육상선수권대회에서 상위 8명의 수평속도는 각각 평균 9.09 m/s, 8.14 m/s, 7.38 m/s, 6.24 m/s와 9.08 m/s, 8.35 m/s, 7.65 m/s, 6.41 m/s로 보고하였다.

이 연구에서는 도움닫기 마지막 스트라이드와 각 국면의 수평속도가 평균 8.90 m/s, 7.93 m/s, 7.50 m/s, 6.14 m/s로 나타났으며 우상연 등의 연구 결과와 비교해보면 0.19 m/s, 0.32 m/s, 0.01 m/s, 0.19 m/s의 수평속도 차이를 보였다. 스텝을 제외하고 모든 국면에서 세계 엘리트 여자 세단뛰기 선수들 보다 수평속도가 낮았고, 스텝에서 차이가 없는 것은 스텝 발구름이 추진력 있게 되지 않고 관성에 의해 신체가 밀려 나아갔기 때문에 높게 나타난 것으로 판단된다. 이를 뒷받침 해주는 결과는 스텝 거리에서 알 수 있다.

2011 대구세계육상선수권대회와 2009 베를린세계육상선수권대회 여자 세단뛰기 상위 8명 선수들의 수평속도 감속은 각각 평균 0.95 m/s, 0.76 m/s, 1.14 m/s와 0.73 m/s, 0.70 m/s, 1.24 m/s라고 보고되었다(우상연 등 2011b). 하지만 이 연구에서 수평속도 감속은 평균 0.69 m/s, 0.32 m/s, 0.99 m/s로 선행연구의 결과보다 현저하게 감속이 작았다. 이러한 차이는 선행연구에서 정의한 속도 차이는 각 국면 이륙순간의 속도 차이를 나타낸 것이고 이 연

구에서는 각 국면 접지와 이륙순간의 속도 차이를 나타냈기 때문이라고 판단된다. 그러나 스텝에서의 큰 차이는 발구름 동작이 지면을 강하게 차지 못하고 지면에 발구름 발을 놓는 것으로 속도의 손실은 작을 수 있으나 국면 거리의 손실을 가져 올 수 있다. 특히 각 국면에서 선수 개인의 속도 변화를 보면, 홑 국면은 YUR 선수가 0.49 m/s, 스텝 국면에서 HUR, YOS, RIT 선수들이 각각 0.85 m/s, 0.03 m/s, 0.13 m/s로 수평속도가 증가하는 것으로 나타났다. 세단뛰기는 홑 발구름 국면에서부터 착지하는 순간까지 발구름 국면에서 수평속도가 감속이 되는 것이 일반적인 현상인데도 불구하고 증가한다는 것은 각 국면에서의 발구름 자세에 문제 있기 때문이라고 판단된다.

Hay(1992)는 홑, 스텝, 점프의 각 지지국면 동안에 수평속도의 감속이 각각 5-9%, 7-15%, 13-20% 범위에 있다고 하였다. 우상연 등(2011b)의 세계 엘리트 선수들의 감속비율은 평균 8%, 8%, 16%의 비율로 Hay의 홑, 스텝, 점프의 수평속도 감속 범위 안에 있었다. 이 연구에서 평균 수평속도 감속은 홑에서 0.69 m/s(8%), 스텝에서 0.32 m/s(4%), 점프에서 0.99 m/s(14%)로 나타났다. 이 또한 선행연구의 결과와 비교하기는 다소 무리가 있으나 아시아 선수들이 스텝과 점프의 감속 비율이 상대적으로 낮은 것을 알 수 있었다.

우상연 등(2011b)은 2011 대구세계육상선수권대회와 2009 베를린세계육상선수권대회 상위 8명 선수들의 수직속도가 각각 평균 1.98 m/s, 1.59 m/s, 2.21 m/s와 2.37 m/s, 1.63 m/s, 2.38 m/s로 보고하였다. 이 연구에서 각 국면 이륙 순간 평균 수직속도는 2.06 m/s, 1.32 m/s, 2.11 m/s로 나타나 스텝과 점프에서는 세계선수권보다 낮은 것을 볼 수 있다. 모든 선수가 홑 국면보다는 스텝에서 수직속도가 감속되었다가 다시 점프 국면에서 크게 상승하는 패턴을 보였다. 이러한 수직 속도의 변화는 선행연구들과 유사하게 나타났다. 그러나 스텝에서 수직속도 낮다는 것은 도약각도가 낮게 된다는 것을 예측할 수 있고 결과적으로 거리가 짧아지는 것을 알 수 있다.

홑 국면에서 KIM과 RIT 선수가 각각 1.71 m/s, 1.88 m/s로 2.00 m/s 이하, 스텝 국면에서는 YUR 선수가 1.06 m/s, 점프 국면에서는 KIM 선수가 1.67 m/s의 낮은 수직속도가 나타났다. 수직속도가 높을 경우 다음 국면에서 수평 속도 손실과 거리의 손해를 초래할 수 있다.

이 연구에서 각 국면의 수직속도가 가장 높은 선수들이 도약각도가 가장 높았다. 하지만 홉에서 RIT 선수(1.88 m/s)는 YUR(2.09 m/s)선수보다 수직속도가 낮음에도 불구하고 도약각도가 1° 더 높았다. 그것은 도움달기 마지막 스트라이드의 보폭이 길었기 때문에 나타난 현상이라고 판단된다.

남자 세단뛰기 선수의 경우 1984년 올림픽에 진출한 12명 선수의 도약각도는 평균 12.54°, 12.80°, 18.83°로 나타났다(Hay, 1985). 우상연 등(2011a)은 2011 대구세계육상선수권 남자 세단뛰기 상위 8명의 도약각도를 홉에서 평균 12.3°, 스텝에서 13.2°, 점프에서 18.9°로 보고하였다. 남자 선수들의 경우 홉보다는 스텝에서 도약각도가 커지고 스텝보다는 점프에서 도약각도가 커지는 특징을 볼 수 있다.

여자 세단뛰기 선수의 경우 2011 대구세계육상선수권대회 상위 8명 선수들의 도약각도를 평균 14°, 12°, 20°로 보고하였다(우상연 등 2011b). 이 연구에서는 평균 14°, 10°, 18°의 도약각도를 보였는데 이를 세계 엘리트 선수들과 비교해 보면 홉 국면에서는 유사한 도약각도를 보인 반면 스텝 국면에서는 2° 낮은 것을 알 수 있었다. 한편 밸런스 기술을 강조한 YUR, KIM, RIT 선수는 도약각도가 모든 국면에서 홉 강조기술을 사용한 다른 선수들과 다르게 낮은 도약각도로 도약한 것을 볼 수 있었는데 이것은 선수들의 기술유형과 각 국면 발구름 동작에 따른 것으로 생각한다.

여자 세단뛰기 선수들을 남자 선수들과 단순 비교하기에는 다소 무리가 따르지만, 여자 선수들의 도약유형과 기술은 남자 선수들과 같지는 않다. 여자 선수들의 경우 남자 선수들과는 다르게 스피드의 감소에도 불구하고 도약거리가 유지되기도 하며, 스텝의 도약각도를 현저히 낮게 하며 반대 다리만 드라이브하는데도 불구하고 점프 연결이 된다는 것이다. 남자 초보자들의 경우 도약각도는 낮지만 빠르게 반대 무릎을 전방으로 드라이브하는 모습을 볼 수 있는데 이것은 여자 선수들이 흔히 사용하는 도약연결 기술이다. 이 연구에서 모든 선수들의 홉 도약각도가 스텝보다 높은 것을 볼 수 있는데 여자 선수들이 한 단계 더 나은 경기력을 발휘하기 위해서는 스텝의 도약각도가 홉보다 더 커져야 한다.

신체무게중심 높이 변화는 홉의 접지에서 이륙순간까지 진행되면서 점차

높아지는 신체무게중심의 이동궤적이 나타났고, 스텝에서는 접지보다 최대무릎굴곡 순간이 낮아졌다가 이륙순간 상승하는 패턴을 보였다. 그리고 점프에서는 접지와 최대무릎굴곡에서 신체무게중심 높이 변화가 작았으며 이륙순간에 높아지는 패턴을 보였다. 또한, 최대무릎굴곡 순간에 XIE 선수는 각 국면을 수행하면서 신체무게중심의 높이가 2 cm씩 상승하는 것으로 나타났고, RIT 선수는 낮아지는 것으로 나타났다. HUA 선수는 홉과 스텝의 최대무릎굴곡 순간에 신체무게중심 높이의 차이가 10 cm였다. 이륙순간 신체무게중심 높이는 평균적으로 각각 1.06 m, 0.99 m, 1.06 m로 high-medium-high 패턴의 변화를 보였다.

류재균과 여홍철(2008)은 신체무게중심의 이동 패턴이 선수가 수행하는 기술유형에 따라 다르지만, medium-medium-high 패턴 또는 동일한 패턴, 신체무게중심 높이의 차이가 작을수록 좋은 경기력을 발휘할 수 있다고 하였다. 이 연구에서는 류재균과 여홍철(2008)의 결과와는 다른 결과를 도출하였다. 이 연구의 결과가 선행연구와 다른 것은 각 국면 발구름 동작에서의 문제라고 판단되며 XIE 선수처럼 최대무릎굴곡 순간에 신체무게중심이 점차 높아진다는 것은 스텝과 점프에서 높은 수직속도를 얻을 수 없고, 반면에 RIT 선수처럼 낮아지는 것은 최대무릎굴곡에서 이륙순간까지 무릎의 신전이 빠르게 되지 않는 것으로 수직속도와 도약각도를 낮게 하는 원인이라고 판단된다.

상체의 좌·우 기울기 변화는 발구름하는 다리 쪽으로 상체가 기울어지는 현상을 보였는데 홉, 스텝, 점프의 이륙 순간 상체 좌·우 기울기 평균은 국면별로 각각 12°, 8°, 5°로 볼 때 도약 국면이 진행되면서 기울기가 점차 줄어들었다.

XIE 선수는 홉 접지에서 이륙 사이에 상체의 좌·우 기울기 폭이 9°로 가장 큰 변화를 보였고 스텝에서는 접지와 이륙순간 상체의 좌·우 기울기 각도 변화가 작아지는 것으로 나타났다. 점프에서는 MUA 선수가 접지와 이륙순간 상체의 좌·우 기울기가 8°로 큰 변화를 보였다. RIT 선수의 경우 점프에서 접지와 이륙순간 상체의 좌·우 기울기 방향이 바뀌는 것으로 나타났다. 홉과 스텝에서 발구름하는 동안 상체의 좌·우 기울기 변화는 모든 선수

가 발구름하는 다리 쪽으로 상체가 기울어지는 현상을 보였다.

발구름 순간 상체의 좌·우 기울기 변화가 크다는 것은 신체무게중심의 비행궤적의 방향에 영향을 미치는 것으로 이륙순간에 기울기 각이 클수록 각 국면을 지그재그형로 수행하게 된다고 할 수 있다. 그렇지만 팔의 협응동작으로 인해 상체의 좌·우 기울기가 수반될 수는 있으나 이는 각 국면에서 발구름 동작의 기술적인 요인에 의해 자연스럽게 나타나는 현상이다.

흡의 접지와 이지에서 상체의 전·후 기울기 변화는 XIE, KIM과 YUR 선수들이 각각 13°, 13°와 12°로 가장 큰 변화를 보였다. 스텝의 접지와 이지에서 상체의 전·후 기울기 변화는 MUA 선수, 점프의 접지와 이지에서는 YUR 선수가 16° 기울기 차이를 보였다. 스텝 이륙순간에는 모든 선수가 전경자세를 취하고 있었다.

류재균과 송주호(2011)는 상체의 전·후 기울기는 흡 이륙순간 90° 전후의 직립자세가 바람직한 자세라고 하였고, 직립자세가 유지되면, 리드하는 다리의 하체가 고관절을 중심으로 힘차게 앞뒤로 스윙 될 수 있다고 하였다. 우상연 등(2011c)은 각 국면 이륙순간에 상체의 전·후 기울기가 각각 4°, 11°, 9°라고 보고하였다. 그러나 이 연구에서는 PAR, KIM, YOS 선수를 제외한 나머지 선수들이 각 국면 이륙순간에 9-18°의 전경자세를 취하였다. 이러한 자세는 고관절의 전·후방 드라이브 가동 범위를 제약하고 지나치게 무릎만 들어 올리면서 하퇴가 앞으로 나아가는 동작을 유발하게 하여 발구름하는 다리의 역할 제어와 비행거리의 손실을 일으킬 수 있다. 그리고 이러한 동작은 남자 선수들보다 여자 선수들에게서 흔히 나타나는 일반적인 현상으로 볼 수 있다.

흡 착지와 이륙순간 자유롭게 스윙하는 다리의 고관절각도 변화는 XIE, YUR과 YOS 선수가 80° 이상으로 큰 각변위의 변화를 나타냈다. 스텝 착지순간 스윙하는 다리의 고관절각도는 HUA, PAR, KIM, MUA와 RIT 선수들이 이륙순간의 고관절각도가 큰 것으로 나타났다. 점프에서 자유롭게 스윙하는 다리의 고관절각도 변화는 XIE와 YUR 선수가 각각 81°와 84°로 가장 크고, MUA 선수가 50°로 가장 작은 각변위 변화를 보였다.

흡, 스텝, 점프에서 발구름하는 다리의 고관절각도는 접지에서부터 최대무

를굴곡을 거쳐 이륙까지 단계적으로 고관절이 신전 되는 것으로 나타났고, 각 국면 이륙순간에 스텝, 점프, 홉 순으로 발구름하는 다리의 고관절각도의 평균 각변위 변화를 보였다. 홉에서 MUA 선수는 접지순간에 고관절각도가 크게 굴곡 된 자세로 접지하였고 KIM 선수는 발구름하는 다리의 고관절각도 변화는 63°로 가장 크게 각변위를 보였다. 스텝에서 발구름하는 다리의 고관절각도는 이륙순간에 196°로 홉과 점프 이륙순간 보다 크게 나타났다. 점프에서 발구름하는 다리의 고관절각도는 접지와 이륙순간까지 가장 큰 각변위는 XIE와 KIM 선수로 53°의 변화를 보였다.

자유롭게 스윙하는 다리와 발구름하는 다리의 고관절각도는 여자 선수를 대상으로 한 연구의 결과가 없어 이 연구와 비교할 수는 없었지만, 자유롭게 스윙하는 다리의 각변위 변화가 크다는 것은 운동방향으로 힘차게 스윙을 한다는 것을 의미한다. 그리고 발구름하는 다리의 고관절각도는 이륙순간에 홉에서는 크고, 스텝과 점프에서는 작아야 충분한 비행거리를 확보할 수 있다. 그러나 이 연구에서는 XIE 선수만이 자유롭게 스윙하는 다리의 각변위가 크면서 발구름하는 다리의 고관절각도가 각 국면 이륙순간에 작아지는 것으로 나타나 우수한 경기력을 보였다고 판단된다. 하나 더 좋은 경기력을 발휘하기 위해서는 스텝과 점프 이륙순간에서 발구름하는 다리의 고관절각도를 줄여 신체무게중심의 높이를 홉과 같게 해야 할 것이다.

홉에서 발구름하는 동안 스윙하는 다리의 무릎각도는 HUA와 YOS 선수가 상반되는 무릎각도 변화를 보였다. 스텝에서는 XIE 선수가 접지와 이륙순간 28°로 가장 큰 각변위 변화를 보였으며, 모든 선수가 90° 이상의 무릎각도를 나타냈다. 점프에서는 YOS와 RIT 선수가 다른 선수들과 상반되는 무릎각도 변화를 보였다.

홉에서 발구름하는 다리의 무릎각도는 접지와 이륙순간의 무릎각도 변화가 선수마다 다양하게 나타났으며 특히 KIM과 YOS 선수들은 이륙순간 무릎각도가 작아지는 것으로 나타났다. 또한 HUA와 RIT 선수들은 최대무릎굴곡에서 이륙순간 무릎각도가 각각 12°와 7° 작아졌다. 스텝에서는 접지보다 이륙순간의 무릎각도가 커진 선수는 YUR, HUA, RIT 선수들로서 각각 14°, 10°, 6°씩 커진 것으로 나타났다. 그리고 최대무릎굴곡에서 이륙순간 무

릎각도는 XIE 선수가 1° 작아졌고, YOS 선수는 유지하였고 나머지 선수들은 굴곡 되었다가 신전 되는 것으로 나타났다. 점프에서는 다리의 무릎각도는 KIM 선수만이 14° 로 작아졌으며 나머지 선수들은 접지보다 이륙순간 신전 되어 이륙하는 것으로 나타났다. 그리고 최대무릎굴곡에서 이륙순간 무릎각도는 모든 선수들이 커지는 것으로 나타났다.

자유롭게 스윙하는 다리와 발구름하는 다리의 무릎각도 역시 여자 선수를 대상으로 한 연구의 결과가 없어 이 연구와 비교할 수는 없었지만, 이 연구에서 나타난 현상은 자유롭게 스윙하는 다리의 무릎각도가 홉에서 HUA 선수처럼 클 경우 신체무게중심의 이륙거리를 충분히 얻을 수 없고 홉에서의 거리 손실을 볼 수 있다. 그리고 스텝과 점프에서도 이륙순간 무릎각도가 100° 를 넘을 경우 하퇴가 앞으로 나간다는 것을 의미하며 이를 보상하기 위하여 상체가 전경자세를 취하게 된다. 결과적으로 스텝에서는 강하고 추진력 있는 발구름을 할 수 없게 되고, 점프에서는 높은 비행 높이를 얻을 수 없게 된다. 따라서 두 국면에서의 거리에 손실을 보게 되는 것이다. 반면에 고관절각도와는 반대로 발구름하는 다리의 무릎각도는 각 국면 이륙 순간에 커져야 한다. 그러나 스텝에 YOS 선수처럼 접지보다 이지 순간에 무릎각도가 작게 되면 수평속도에 밀려 추진력 있는 발구름을 할 수 없었다는 것을 의미한다.

V. 결론

이 연구에서는 아시아육상경기선수권대회 여자 세단뛰기 결승 경기에 진출한 선수들의 도움닫기와 발구름 동작을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도움닫기 마지막 스트라이드 보폭은 신장대비 보폭 비율이 23-26% 범위 내에 있는 선수들의 경기력이 우수하였다.
2. 세단뛰기 기술유형으로 분류하면, 이 연구의 아시아 여자 세단뛰기 선수들은 홑 강조유형 기술이 5명, 밸런스 기술유형이 3명으로 조사되었고, 스텝의 국면비율이 세계 엘리트 선수들에 비하여 약 1-2% 낮았다. 따라서 스텝의 국면비를 30% 까지 증가시켜야 할 것이다.
3. 홑, 스텝, 점프의 수평속도 감속은 스텝에서 가장 작은 것으로 나타났다. 스텝에서 수평속도 감속을 감안하더라도 수직속도와 비행거리를 높여주어야 한다.
4. 아시아 여자 세단뛰기 선수들은 스텝과 점프에서 수직속도를 세계 엘리트 선수들 수준에 이르도록 각각 약 0.30m/s, 0.20m/s 증가시켜야 한다. 그리고 한 단계 더 나은 경기력을 위해서는 각 국면이 거듭될수록 도약 각도가 커져야 한다.
5. 선수들의 신체무게중심의 높이 변화는 high-medium-high 패턴으로 나타났다으며 신체무게중심의 높이 차이가 각 국면 이륙순간 크지 않아야 한다.
6. 상체의 좌·우 기울기는 발구름하는 다리 쪽으로 상체가 기울어지는 것으로 나타났다.
7. 상체의 전·후 기울기는 PAR, KIM, YOS 선수들을 제외한 나머지 선수들이 각 국면 이륙순간 9-18°의 전경자세를 취하고 있었다.
8. 홑, 스텝, 점프 발구름하는 동안 스윙하는 자유다리의 고관절각도는 이륙순간 100° 이상의 각변위를 보였고, 발구름하는 다리의 고관절각도는 스텝 이륙순간 너무 크게 과신전 되는 것으로 나타났다. 결과적으로 스윙

하는 자유다리의 고관절각도가 크면서 발구름하는 다리의 고관절각도가 크면 도약각도가 작아지지만, 스윙하는 자유다리의 고관절각도와 발구름하는 다리의 고관절각도가 작으면 도약각도는 커진다.

9. 발구름하는 다리의 무릎각도는 홉 접지 이후 최대무릎굴곡에서 이륙순간으로 전환 될 때 점차적으로 신전되어 높아지는 경향을 보였으나, 스텝과 점프에서는 최대무릎굴곡에서의 무릎이 굴곡 되는 것으로 나타났다. 반면에 스윙하는 다리의 무릎각도는 스텝과 점프에서 이륙순간에 하퇴가 앞으로 나아가 무릎각도를 크게 하였다.

VI. 제언

이 연구를 통하여 다음과 같이 제언하고자 한다.

이 연구에서 다룬 여자 세단뛰기 선수들에 대한 운동학적 변인들을 국면별로 더 세분하여 조사할 필요성이 있으며 기술유형별로 많은 자료의 수집이 요구된다. 앞으로 국내에서 개최되는 국제 및 국내 여자 세단뛰기 선수들에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 하며 현장에서 활용할 수 있는 정량적 자료 축적이 필요하다.

참고문헌

- 김수연(2012). 한국 엘리트 여자 세단뛰기 선수들의 도움닫기와 도약국면에 대한 운동학적 분석. 한국스포츠학회지, 10(4), pp.359-368.
- 김창환, 박영준(2003). 남자 세단뛰기 동작의 운동학적 변인 분석. 한국체육학회지, 제42권, 제4호, pp.697-705.
- 류재균(2003). 세단뛰기 지지국면 시 사지의 각운동량과 운동수행과의 관계. 박사학위논문. 한국체육대학교 대학원.
- 류재균(2005). 남자 세단뛰기 선수들의 운동학적 특성들에 대한 영상분석. 한국체육학회지, 제44권, 제1호, pp.353-364.
- 류재균(2005). 세단뛰기 각 국면의 착지에 대한 운동학적 변인 분석. 한국운동지도학회지, pp.31-40.
- 류재균(2006). 세단뛰기의 운동학적 운동역학적 분석. 한국스포츠리서치, 제17권 4호, pp.219-230.
- 류재균, 여홍철(2008). 남자 대학 세단뛰기 선수들의 충격력과 운동학적 변인 분석. 한국운동역학회지, 제18권 4호, pp.209-216
- 류재균, 여홍철(2009). 구름판 이륙 준비구간에서 엘리트 세단뛰기 선수들이 사용하는 도움닫기 기술. 한국사회체육학회지, 제35호, pp.1073-1081.
- 류재균, 윤희중(2001). 세단뛰기 기록과 운동학적 특성들의 비교. 한국체육학회지, 제40권, 제2호, pp.833-841.
- 류재균, 송주호(2011). 세단뛰기 국내 엘리트 선수의 운동학적 분석을 통한 기술 개선 방향. 체육과학연구원. 제22권, 제3호, 2237-2247.
- 우상연, 서정석, 김호묵, 김용운, 최성범, 남기정 (2011a). 2011 대구세계육상선수권대회 남자 세단뛰기 경기의 운동학적 분석. 한국운동역학회지 21(5), 611-619.
- 우상연, 서정석, 김호묵, 남기정, 최성범, 김용운 (2011b). 2011 대구세계육상선수권대회 여자 세단뛰기 경기의 운동학적 분석. 한국운동역학회지 21(5), 621-629.

- 우상연, 서정석, 김호묵, 남기정, 최성범, 김용운 (2011c). 2011 대구세계육상 선수권대회 운동역학 프로젝트 연구보고서, 여자세단뛰기, 한국운동역학회, 127-135.
- 성낙준, 김용기, 박성재(1992). 육상 도약경기 훈련지도서, 한국체육과학 연구원, 197-221.
- 송주호, 류재균(2010). 국내 엘리트 세단뛰기 선수의 기술 유형과 국면 분석. 체육과학연구, 제21권 2호, pp. 1105-1114.
- 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 Photo.
- Brimberg, I., Hurley, B., & Ladany, S. P.(2006). An operations research approach to the triple jump. Int. J. Sport Management and Marketing. Vol. 1, No. 3, 208-214.
- Bruggeman, G. P.(1990). Biomechanical analysis of the triple jump - An approach towards a biomechanical profile of the world's best triple jumpers. New Studies in Athletics, 303-362.
- Fukashiro, S., Imoto, Y., Kobayashi, H., & Miyashita, M.(1981). A biomechanical study of the triple jump. Medicine and Science in Sports and Exercise. 13(4), 233-237.
- Hay, J. G., & Miller, J. A.(1985). Techniques used in the triple jump. International Journal of Sports Biomechanics, 1. 185-196.
- Hay, J. G.(1992). The biomechanics of the triple jump: A review. Journal of Sports Science, 10. 343-378.
- Hay, J. G.(1995). The case for a jump-dominated technique in the triple jump. Track Coach, summer. 4214-4219.
- Hay, J. G.(1997). Phase distances, percentages, and techniques in the men's triple jump at the 1996 U.S. olympic trials. Track Coach, spring. 4435-4442.

- Hay, J. G.(1999). Effort distribution and performance of olympic triple jumpers. *Journal of Applied Biomechanics*, 15. 36-51.
- Hommel, H. (1998). Triple Jump: Jonathan Edwards. *New Studies in Athletics*, 13(4), 47-51.
- Hommel, H.(Eds) (2009). Biomechanical Report WC Berlin 2009 Triple Jump. Biomechanical Analyses of Selected Events at the 12th IAAF World Championships in Athletics, Berlin from [Http://www.iaaf.org](http://www.iaaf.org).
- Koh T. J. & Hay. J. G.(1990). Landing leg Motion Performance in the Horizontal jumps II: The Triple jump. *International Journal of Sports Biomechanics*, 6, 361-373.
- Miller, J. A., & Hay, J. G.(1986). Kinematics of a world record and other world-class performances in the triple jump. *International Journal of Sports Biomechanics*, 2. 272-288.
- Nixdorf, E., & Bruggeman, G. P.(1990). Biomechanical analysis of the long jump - An approach towards a biomechanical profile of the world's best long jumpers. *New Studies in Athletics(Scientific Research Project at the Games of the XXLVth Olympiad-Seoul 1988)*, 263-301.
- Panoutsakopoulos, V. & Kollias, I. A.(2008). Essential parameters in female triple jump technique. *New studies in Athletics*, 4, 53-61.
- Susanka, P., Jurdik, M., Koukal, J., Kratky, P., & Velebil, V. (1987). Biomechanical analysis of the triple jump. In G. P. Bruggeman & Susanka(Eds.), *International Athletic Foundation Scientific Report on the 2nd World Championship in Athletics, Rome 1987 (F1-67)*.
- Yu, B., & Andrews, J. G.(1998). The relationship between free limb motions and performance in the triple jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 4. 223-237.
- Yu, B.(1999). Horizontal-to-vertical velocity conversion in the triple jump. *Journal of Sports Sciences*, 17. 221-229.

ABSTRACT

The Kinematic Variables Analysis of the Approach Run and Takeoff Motion at the Asia Elite Women's Triple Jump

Soo Yun Kim

Major in Sports Medicine & Science
Graduate School of Physical Education
Kyung Hee University

Advised by Jae-Kyun, Ryu Ph. D

The purpose of this study was to analyze technical variations of the Asia elite women triple jumpers. The subjects included 8 jumpers who placed in the final at the 16th Asian Track and Field Championship held in Incheon. Four JVC video cameras were used to record the competition at the 60 field/sec frame rate, 60 Hz sampling frequency. Data were digitized and smoothed by using the Kwon3D 3.1 program. The conclusions are as follow :

First, jumpers within the 23-26% rate of height to last stride during the Approach run showed good results. Second, five jumpers used a hop dominated technique, and three jumpers used a balance technique. Also,

range of steps was lower than world class athletes' such that the range must be increased to 30% during competition. Third, reduction of horizontal velocity was lowest for step compared to hop and jump such that the vertical velocity and flight length must be increased for step. Fourth, Asia elite women triple jumpers need to increase their vertical velocity by 0.30 m/s, 0.20 m/s in order to approach level of world class triple jumpers, as well as increase their take off angle during the hop, step, jump in order to improve performance. Fifth, the CM of the athletes showed a high-medium-high pattern, and this CM must be kept consistent at the take-off. Sixth, upper body was tilted toward the take-off leg during the jump, and except for PAR, KIM and YOS, athletes' upper body was tilted forward 9-18° at the take-off. High angle of coxalarticulation makes low angle at take-off, and low angle makes higher take-off angle by the leading free leg. The knee angle showed steadily up after landing at hop, but it showed down at step and jump. In order to improve their level to world-wide class athletes, Asia elite women triple jumpers need to increase their horizontal velocity of CM at touch down and take off phase.