육상 종목과 스포츠과학: 멀리뛰기(Long Jump)

DOI: 10.3938/PhiT.23.021

류 재 군

Track and Field & Physics: Long Jump

Jae Kyun RYU

Track and field is a collection of many different events such as sprints, long-distance running, hurdle, long jump, triple jump, high jump, pole vault, shot put, discus throw, hammer and the javelin throw. This section will introduce jumping events. Human being, in an effort to defy the omnipresent pull of gravity, have fallen short of this fabulous achievement in the jump events. Especially, predicting the athletes' performances will be based on the Newton's motion of law. The long jump consists of speedy approach run, explosive takeoff from a takeoff board, flight and landing in a sand pit.

서 론

인간의 육체적 움직임은 자연 현상에 적용되는 기본법칙인 물리학으로 설명할 수 있다. 특히 인간의 움직임을 어떠한 특정 경기장에서 정해진 규칙에 따라 경쟁을 하는 육상경기는 과학적으로 인체의 모든 움직임 현상을 설명하는 기본법칙인 운동법칙 즉 뉴턴의 운동방정식으로 경기력을 평가하고 예측할 수 있으며 선수 개개인의 기술을 최적화할 수 있다.

육상경기는 단거리, 중장거리, 장애물, 도약, 투척 그리고 마라톤과 경보 경기로 종목들이 세분화되어 있다. 육상경기 전 종목들에 대한 기술적 특성들을 운동법칙에 따라 설명하기에는 너무나 광범위하여 여기에서는 도약 종목인 멀리뛰기, 세단뛰기, 높이뛰기, 장대높이뛰기 중에서 수평거리를 겨루는 멀리뛰기에 대하여 종목 특성과 이와 관련된 기술적 특성들을 설명하고 각 종목에서

저자약력

류재균 교수는 한국체육대학교에서 공부하였으며 육상종목 중 멀리뛰기와 세단뛰기를 전공하였다. 아시안 게임에서 세단뛰기에서 동메달을 획득하였고 한국체육대학교에서 운동역학 박사과정을 마친 후 현재 경희대학교 교수로 재직 중이다. (ryu69kor@khu.ac.kr)

그림 1. 운동을 수행하는 동안에 착지하는 다리가 굴곡상태(correct)로 착지하면 추진력있는 다음 동작을 수행하고 신전상태(wrong)에서 지면에 착지하게 되면 제동을 일으키는 달리기 동작.

수행되는 동작들에 적용되는 운동법칙과 이 기본법칙에 의거하여 산출되는 자료들을 가지고 경기력을 평가하고, 더불어 경기력 향상에 기초자료로 활용하여 훈련방법을 보다 과학적으로 할 수 있다.

멀리뛰기(Long Jump)

멀리뛰기는 빠른 도움닫기 스피드를 이용하여 모래사장 안을 가능한 멀리 뛰는 도약 종목으로서 도움닫기, 발구름, 공중동작 그리고 착지의 4가지 상호 의존적인 단계로 구성되어 있다. 멀리뛰기 기록은 신장, 도움닫기 속도 그리고 발구름 순간 속도 및 도약각도 등에 의해서 결정되며 이 중 멀리뛰기 경기력 결과에 가장 중요한 영향을 미치는 변인은 도움닫기 속도이며 도움닫기와 비행거리를 연결시켜주는 매개체 역할이 발구름 준비동작이다(Lees, Graham-Smith & Fowler 1994).

최근 여러 연구에서 일관성 있게 지적하고 있는 것은 도움닫기의 마지막 단계에서 달리기 자세의 의도적인 조절(adjustment)이 필요하다는 것이다(Hay & Nohare, 1990; Lees, Fowler & Derby, 1993). 조절이란 마지막 2보에서 도움닫기 속력이 최고가 되고, 도움닫기 초반의 보폭보다 마지막 2보의 보폭이 조금 더 길며, 마지막 1보의 접지 순간 신체 무게중심의 위치를 낮추고, 마지막 1보는 2보보다 비행거리가 조금 더 짧고, 발구름 다리는 달려오던 관성을 가장 잘 이용할 수 있는 자세로 접지되며, 마지막으로 힘차게 앞 방향으로 자유다리(lead leg)와 팔 그리고 몸통을 들어 올리는 것이다. 특히 Hay와 Nohare (1990)는 도움

그림 2. 멀리뛰기 기술동작들과 발구름판 구조 및 성공과 무효시기를 판별하는 영역.

달기 지지구간에서 마지막 4보의 이지거리(발끝이 지면에서 떨어지는 순간과 신체무게중심 위치와의 직선거리)와 마지막 1보의 접지거리(발이 지면에 닿는 순간과 신체무게중심 위치와의 직선거리) 그리고 도약순간 이지높이는 멀리뛰기 기록과 의의 있는 관계가 있다고 밝혔다. 즉, 동작을 분석하고 측정할 수 있는 이러한 조절 과정이 기술 개선에 매우 중요한 의미를 갖는다.

1. 도움달기(The run-up)

멀리뛰기의 도움달기 거리는 선수들이 수행하는 기술과 관련되어 저마다 거리의 차이는 있지만 대략 20~22 스트라이드(stride)로 도움달기 달리기를 하며 구름판 1보 혹은 2보 전에 최고 속력에 도달하여야 한다. 도움달기 마지막 세 스트라이드에서 많은 선수들이 이 스트라이드 율(stride rate)을 높이기 위하여 노력한다. 이는 구름판에서 도약하기 위한 도움달기 기술과 관련이 있다. 사실 멀리뛰기 기술에 관한 전문서적들은 제일 먼저 발구름(takeoff)에 대하여 기술하고 있으며 거의 모든 선수들도 기본 매뉴얼처럼 연습을 하고 있다.

물리학적 관점에서 멀리뛰기는 “crooked throw”이다. 멀리뛰기 비행거리는 도움달기 수평속도에 매우 높은 의존도를 가지고 있기 때문에 선수들은 우선적으로 신체무게중심의 수평속도가 최고조에 도달되도록 해야 한다. 동시에 다음 단계의 목표로 결합시켜야 하는데 그것은 발구름 순간에 수평속도의 손실을 최소화하면서 최대의 수직 impulse를 일으키면서 최적의 비행 동작을 수행하면서 유지하는 것이다. 비행거리를 늘리기 위하여 도움달기 속도를 증가시키게 되면 대각선으로 올라가는 비행궤적 즉, 신체무게중심이 방향 전환하는 과정에서 상대적으로 이용할 수 있는 소요시간이 줄어들게 된다. 그러므로 멀리뛰기의 기술과 요구 조건들은 달리기 능력의 향상과 더불어 더욱 요구되어진다.

선수들은 도움달기 마지막 세 스트라이드를 수행하는 동안에 달리기 리듬을 변화시키면서 신체무게중심을 낮추고 동시에 스트라이드 길이(보폭)의 변화를 동반한다. 일반적으로 이 구간을 발구름 준비구간이라고 하고 길어진 스트라이드를 페널티메이트 스트라이드라고 한다. 이때 달리기 동작은 페널티메이트 스트라이드를 수행하는 동안 뒤꿈치로 지지하고 지지다리는 완전히 신전되지 않는다. 이러한 동작은 발구름을 하는 다리에 에너지를 저장하고 힙(hip)과 신체무게중심의 높이를 낮추게 한다. 또한 상체를 직립자세가 되게 한다. 페널티메이트 스트라이드의 비행곡면을 “Floating stride”라고 하며 발구름하는 다리의 백스윙이 작아져 자연스럽게 힙과 무릎이 굴곡되어 짧은 발구름 시간에 구름판에서 신체를 비행시킬 수 있는 자세를 갖추게 된다.

페널티메이트 스트라이드 접지순간에 자세는 “Swing leg squat” 자세가 되어 마지막 스트라이드를 짧고 비교적 플랫폼 궤적(flat trajectory)의 스트라이드를 수행하게 만들고, 지지하는 동안에 발구름하는 다리의 무릎이 완전히 신전되지 않은 상태에서 구름판에 접지하여 높은 수평 impulse을 일으킬 수 있게 한다. 발구름하는 다리의 뒤꿈치를 뒤쪽으로 차는 것이 아니라 빠르고 추진력 있게 뻗어 구름판에 접지하는데 신체자세가 특히 상체가 약간 뒤쪽으로 기울어져 있기 때문에 발구름 다리는 구름판을 “push off”하게 되고 이러한 발구름 동작을 “uphill step” 혹은 “pawing step”이라고 한다.

2. 발구름(Takeoff)

발구름은 멀리뛰기 기술 동작에서 가장 필수적인 기술 부분이다. 발구름의 성공여부는 위에 기술하였듯이 발구름 준비구간인 페널티메이트 스트라이드와 마지막 스트라이드에서의 준비과정이 정확히 수행되었을 때 수평속도의 손실을 최소화하면서 이루어진다. 발구름하는 발이 구름판에 접지하는 순간에 신체무게중심이 최저 지점에 도달하게 되고 이때 상체는 약간 뒤쪽으로 기울어진 후경자세를 취하게 된다. 이와 같은 자세는 구름판 이륙 후 전상방향으로 신체무게중심의 가속 경로를 가능한 길게 할 수 있게 한다. 구름판 접지 이후 양 무릎이 서로 교차되는 시점인 amortization

Dr. L. Mendez / E. Nuss / R. Isen / C. Gortner

Biomechanical Analysis of the Long Jump Men Final
12th IAAF World Championships in Athletics - Berlin 22, August 2009

© Olympiastützpunkt Hessen
http://www.osp-hessen.de

그림 3. Phase structure of the penultimate run-up stride divided into: (from right to left or from left to right) rear support, flight form, landing preparation and landing (=swing leg squat). Final preparation for take-off during the last stride, shown from the swing leg squat up to the board contact phase (from right to left or from left to right). The take-off process (approximately 120 msec) presented in three phases (from right): heel strike, amortization and take-off posture.

Biomechanical Analysis of the Long Jump Men Final
12th IAAF World Championships in Athletics - Berlin 22, August 2009

그림 4. 멀리뛰기 공중동작의 기술 유형으로 1) running-in-the-air style 2) hang style 3) sail style 4) running-in-the-air style(다리동작)과 hang style(팔동작)이 결합된 동작.

(caused by the pressure of landing)은 발목, 무릎 그리고 힙 관절의 관절 운동에서 일어나는 것이 아니라 수동적인 “compulsive flexing”에 의해서 발생된다. 다시 말해서 구름판 접지순간에 발구

름 다리의 기능은 골반(pelvis)의 방향을 전환시키는 elastic lever의 역할을 하고 신체무게중심이 사선방향으로 상승하는 경로의 가속을 돕는 것이다. 끝으로 구름판 이륙순간에 발구름 자세(takeoff posture)는 impulse transmission을 위해 동시에 양팔과 스윙하는 다리의 동작을 활기차게 스윙하고 갑자기 멈춤으로서 폭발적으로 관절의 신전 움직임을 이끌어내는 것이다.

3. 공중동작(Flight)

비행구면에서 공중동작은 running-in-the-air style(hitch-kick: 3½ step, 2½ step technique)과 hang style(젖혀뛰기) 그리고 sail style(다리모아 뛰기: 1½ step running-in-the air style)과 running-in-the-air style의 다리동작과 hang style의 팔동작이 결합된 동작이 현재 엘리트 선수들이 사용하고 있는 대표적인 4가지 멀리뛰기 공중동작 기술들이다.

3½ step technique의 대표적인 선수는 Carl Lewis이며, 2½ step technique은 Larry Myricks 선수이다. 그리고 hang style의 대표적인 선수는 Robert Emmiyan 선수이다. Running-in-the-air style은 발구름 자세에 간접적인 영향을 받으며 발구름 순간에 발생하는 전방회전의 밸런스를 잘 조절할 수 있게 하고, 공중에서 상체에 상반되는 반작용력을 일으키기 위해 팔과 다리의 각운동을 사용함으로써 선수의 공중자세를 조절한다. Hang style은 양팔을 위로 들어 올리고 양 다리는 뻗음으로서 transverse축에 대하여 신체의 관성모멘트를 최대화하고 그 축을 중심으로 전방 각속도를 최소화하여 좋은 착지를 하기 위하여 가능한 증가시켜야 한다. Sail style은 구름판 이륙 후 신체의 앞쪽에 무릎을 90°로 끌어올려 앉은 자세를 유지하여 비행하는 동작으로 구름판에서 매우 작은 각운동량(angular momentum)으로 도약하게 되고, transverse축에 대하여 낮은 관성모멘트로 인하여 사실상 좋지 못한 착지동작을 하게 된다.

Running-in-the-air style과 hang style에서 구름판 이륙 후 도약 자세를 유지하여 공중으로 떠오르는 동작을 “first step”이라고 하고, 이 동

작의 특징은 스윙하는 무릎 관절의 각도가 커진다는 것인데 running-in-the-air style은 매우 힘찬 움직임을 수행하는 반면에 hang style은 자연스러우면서 매우 수동적이다. Running-in-

그림 5. 착지준비(Landing preparation). (a) Running-in-the-air style에서의 착지준비가 시작되는 "second step"과 (b) hang style에서 착지준비가 시작되는 "hang phase"(Tidow, 1989).

the-air style의 팔동작은 스윙하는 다리의 측면에 있는 팔이 앞으로 "windmilling" 움직임을 시작하고 동시에 반대쪽에 있는 팔은 스윙하는 다리와 평행하게 앞에서 아래쪽으로 동작을 수행한다. Circling windmill wings의 이미지와 일치하는 것처럼 양팔은 동일한 방향으로 회전하지만 leading 팔과 following 팔은 위상차 180°를 유지해야 한다. Hang style은 양팔 스윙을 수행하며 발구름 자세에서 수행해야 하는 counter-swinging 팔이 수행되지 않는다(eliminated). 따라서 스윙하는 다리가 아래로 향해 내려갈 때 반대쪽 팔은 앞과 위에서 동작을 멈추고 스윙하는 다리의 측면에 있는 팔은 상체를 향해 움직이면서 뒤로 회전하여 반대쪽 팔이 기다리고 있는 위치로 움직인다. Running-in-the-air style에서 "one-leg stand"는 스윙하는 다리를 완전히 신전시켜 뒤쪽으로 움직이면서 발구름 다리를 굴곡시켜 앞으로 움직이는 것은 매우 중요한데 이는 forward rotation의 balance를 유지하기 위한 최고의 방법이다. 즉 running-in-the-air style의 반작용의 역학적 원리(mechanical principle)를 알 수 있는데 스윙하는 다리가 뒤쪽으로 힘차게 스윙하면 forward rotation이 발생되고 상대적으로 높은 질량 관성 모멘트로 움직이게 되는데 그에 상응하게 상체에서도 반작용이 일어난다. 발구름 다리가 앞으로 움직이는 것은 backward rotation을 발생시키고 상대적으로 작은 토크(torque)를 일으켜 양 다리에서 발생된 rotation을 중화시켜 신체 balance를 잡게 하고 여기에 팔 동작도 함께 병행되어 안정된 공중동작을 수행하게 한다. Hang style에서 "swing-leg stance" 동작은 힙의 신전근육을 사용하지 않고 수동적으로 아래로 스윙하여 대퇴의 longitudinal축과 평행한 위치로 유지하고, 굴곡된 발구름 다리는 아직 뒤쪽에 머물게 함으로서 forward rotation의 움직임을 제어한다. 이때 팔 동작도 병행하게 된다.

4. 착지(Landing)

최적의 착지동작을 이끌어내기 위해서는 공중동작에서 신체가 하강하는 시점에서 착지를 위한 동작이 수행되어야 하는데, running-in-the-air style은 "second step"에서, hang style은 "hang phase"에서 일어난다. 이러한 동작을 수행하기 위해서 running-in-the-air style은 rear 팔이 상체 앞 수평위치에서 기다리고

있는 leading 팔을 따라 잡아야 하고, 굴곡되어 있는 스윙 다리를 뒤쪽에 위치하여 유지시키면서 발구름 다리를 신체 앞쪽에 고정시켜야 한다. 다음으로 이 동작들이 동시에 작용하여 양팔과 양다리가 평행한 자세가 되게 하면서 상체는 약간 앞으로 기울어진다.

착지의 손실을 최소화하기 위해서 양다리는 수평보다 조금 높게 유지하여야 한다. Forward rotation 관점에서 보면, 힙 관절의 각도를 약간 opening함으로서 최적의 "diving into the sand angle"을 쉽게 만들어 낼 수 있다. Hang style은 힙 관절을 힘차게 굴곡시키면서 양팔은 힘차게 forward circling하고 상체를 앞으로 구부림으로서 "bundle" 동작이 되게 하여야 한다. 이때 무릎 관절은 굴곡상태를 유지한다. 마지막으로 모래사장에 착지하는 동작으로서, "economical landing"은 모래사장에 착지하는 발의 뒤꿈치와 신체무게중심 사이의 최대 수평거리와 모래사장의 표면과 신체무게중심 사이의 최소 수직거리의 최적의 절충(조화)에 의해서 결정되어진다.

맺음말

육상경기의 모든 종목들이 경기력 향상을 위해 우수한 운동능력을 가진 선수들을 선발하여 훈련을 통해서 세계적인 엘리트 선수들로 양성하고 있다. 그러나 이러한 세계적인 선수로 만들기 위해서 10년 이상의 시간이 소요되는데 이 시간을 단축시켜 주는 것이 스포츠과학이며 이 배경은 물리학이 그 근본이다. 운동 상황을 영상으로 촬영하여 과학적으로 분석하고 기술적인 부분을 개선해 줌으로서 선수의 경기력을 단 1%라도 향상시킬 수 있어야 한다.

멀리뛰기 동작들인 도움닫기 마지막 세 스트라이드, 발구름 동작, 공중동작, 착지동작에서의 기술동작들이 물리학적 법칙의 과학적 내용들에 내재되어 수행되고 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 이러한 동작이 운동학적, 운동역학적인 분석을 통해 새로운 기술이 개발되어야 하는데도 불구하고 스포츠 현장에서 묵인되고 있다는 것이 스포츠 과학을 연구하는 한 사람으로서 아쉬움이 남는다. 그리고 현장의 지도자와 과학자들간의 벽이 아직 높음을 실감한다.

이 글을 통해서 육상 종목의 멀리뛰기뿐만 아니라 모든 종목에서 다루어져야 할 과학적 기술 분석과 인체움직임의 물리적 자연법칙을 현장의 지도자들이 이해하여 선수의 경기력 향상과 더불어 훈련프로그램의 새로운 개발이 이루어질 기원한다.

REFERENCES

- [1] B. Yu, Journal of Sports Sciences 17, 221 (1999).
- [2] A. Lee, P. Graham-Smith and N. Fowler, Journal of Applied Biomechanics 10, 61 (1994).
- [3] A. Lees, N. Fowler and D. Derby, Journal of Sports Sciences 11, 303 (1993).
- [4] J. G. Hay and H. Nohara, Journal of Biomechanics 23(3), 229 (1990).
- [5] G. Tidow, New Studies in Athletics 3, 47 (1989).