

등산화 아웃솔의 독립적 서스펜션 기능이 발의 안정성 및 부하에 미치는 효과*

이기광¹ · 최치선² · 은선덕²

¹국민대학교 체육대학 / ²서울대학교 체육교육학과

Effect of Independent Suspension Function of Hiking Boots on the Stability and Load of Foot

Ki Kwang Lee¹, Chi Sun Choi², Seon Deok Eun²

¹College of Physical Education, Kookmin University, Seoul, 136-702

²Department of Physical Education, Seoul National University, Seoul, 151-742

ABSTRACT

To investigate the effects of independent suspension technology(IST) of hiking boot on the stability and load of foot, eight participants performed medial and lateral drop landing from 33.4cm height and 85cm distance to uneven surface while wearing normal & IST hiking boots. For the stability of foot during the drop landing, the balance angle & suspension angle and rearfoot angle was analyzed using high-speed video analysis. Also kinetic analysis using the force plate and insole pressure measurement was conducted to analyze vertical & breaking ground reaction force and pressure distribution. Not only the balance angle & suspension angle but also rearfoot angle was improved with IST boots for lateral drop landing. These results indicate the IST boots may have the suspension function which keeps the foot to be stable during landing. However the IST boots did not show any effect for medial landing. This might be related to the hardness of medial part of outsole. Therefore the softer outsole of medial part could be recommended. Furthermore the impact force & breaking force and insole pressure were reduced with IST boot. These results means that IST boot has not only cushioning effect but also good grip effect. Therefore the hiking boots applied the independent suspension function may help to reduce fatigue and prevent injury such as ankle sprain in hiking on uneven surface.

Keyword: Hiking boot, Footwear, Foot stability

1. 서 론

등산은 연령과 비용에 구애 받지 않고 누구나 쉽게 즐길 수 있는 범국민적인 스포츠로서 많은 동호인들을 확보하고 있는 여가 활동이다. 특히 전 국토의 70% 이상이 산악 지형

인 우리나라의 지리적 특성상 앞으로도 여전히 많은 이들의 관심을 받게 될 것임에 틀림없다. 그러나 우리나라 산악은 바위나 돌이 많아 지면이 고르지 않으며 전체적으로 또는 부분적으로 지표면이 딱딱하고 요철이 많은 특성을 지니고 있다. 이러한 조건은 산악 지형에서의 보행시 발의 피로감을 가중시키고 발목 관절에 여러 가지 상해를 일으키는 원인이

*본 연구는 2006년도 산업자원부 생활용품, 섬유직물 단기실용화 기술사업에 의해 수행되었음.

교신저자: 이기광

주 소: 136-702 서울시 성북구 정릉동 861-1, 전화: 02-910-4785, E-mail: kkleee@kookmin.ac.kr

되기도 한다. 발목 관절에서 일어나는 상해의 대부분은 발목의 무리한 좌우 꺾임으로 인해 발생하게 된다. 따라서 발목의 과도한 내번(inversion)이나 외번(eversion)은 발목 염좌 뿐만 아니라 무릎이나 고관절 등 하지 관절의 상해 원이 되기 때문에(Hintermann, Nigg, Sommer & Cole, 1994) 이에 대한 각별한 주의가 필요하다. 발목관절 상해의 주 원인인 과도한 내외번을 감소시켜주는 가장 일반적인 장비가 바로 신발인데, 신발의 착용은 갑작스런 내번 상황이 발생했을 때 근수축력을 증가시켜 발목 외측 인대의 상해 유발을 감소시키는 효과가 있기 때문이다(Kerr, Arnold, Kochrane, Drew & Abboud, 2005).

Lafortune & Hennig(1992)는 이러한 상해 예방을 위해 신발의 쿠션과 안정성 확보를 위한 디자인의 중요성을 강조하였으며, Hettinga, Stefanyshyn, Fairbairn & Worobets(2005)는 불규칙한 지면에서의 하이킹은 부상의 위험성이 잠재하기 때문에 이러한 조건에서는 특별히 디자인된 기능적 등산화의 착용을 권장하였다.

그 밖에도 신발과 부상의 관계에 대해 많은 학자들이 다양한 주장을 펼치기도 했는데, 그 중에는 보행에서 바닥면의 상태에 따라 균형을 유지시켜주는 역할을 담당하는 것이 신발의 어느 부위인가에 대한 언급도 있다. Robbins, Waked & Allard(1997)는 발의 위치 지각에 대한 오류는 나이가 들수록 증가하며, 얇고 딱딱한 신발은 운동화와 같이 바닥이 두껍고 부드러운 신발에 비해 발의 위치 지각이나 안정성을 증가시킨다고 보고하였다. 하지만 Lord, Bashford & Howland(1999)는 목이 높은 신발이 낮은 신발이나 맨발에 비해 높은 보행 안정성을 제공하지만 신발 바닥의 견고성은 특별히 균형과는 관련이 없다는 결과를 내놓기도 하였다.

최근에 국내에서 깔이 뾰족하거나 작은 돌들이 많아 오철이 심한 국내 산악 환경에서 등산객들의 발목을 보호하기 위해 아웃솔에 독립적 서스펜션 테크놀로지(Independent Suspension Technology: IST)를 적용한 등산화가 개발되었다. IST란 신발 바닥에 부분적으로 일정한 임계치의 압력이 가해지면 독립적으로 아웃솔이 변형하여 수축함으로써 그 부분의 압력을 감소시키는 한편 발을 수평으로 유지시켜 발목의 과도한 회전을 방지하여 상해를 예방하려는 의도에서 개발된 기술이다.

따라서 본 연구에서는 신발의 기능적 디자인 특성과 부상 방지와의 관계 연구의 연장선상에서 국내 기술로 개발된 여러 연구 성과물 가운데 하나인 IST 등산화가 하지의 안정성에 미치는 효과를 생체역학적으로 규명하여 기술의 유효성을 평가하고자 하였다. 이를 위해 일반 등산화와 IST 기술이 적용된 등산화를 사용하여 착지시 하지의 생체역학적 특성을 비교, 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1 자료수집

본 연구를 위해 하지 질환이 없는 건강한 8명의 성인 남자(연령: 33.4 ± 4.4 세, 체중: 85.7 ± 10.7 kg)를 동원하였다. 운동학적인 자료는 고속 비디오 카메라(DFK-HC1000, Dartfish Korea)를 사용하여 250Hz의 속도로 촬영하여 얻었으며, 착지시의 지면반력의 변화 양상은 지면반력기(AMTI Force platform, OR 6-5)를 통해 1000Hz로 샘플링하여 획득하였다. 또한 족저압력 분석을 위해 등산화 내부에 압력 센서(F-scan, Tekscan)를 장착하여 100Hz의 샘플링 빈도로 영역별 압력분포 자료를 수집하였다.

실험에 사용된 신발은 두 종류의 등산화로서, 일반 등산화와 이 등산화에서 아웃솔을 IST 아웃솔로 교체한 서스펜션 기능이 적용된 270 mm의 등산화를 사용하였다(그림 1). 두 신발이 닫게 되는 바닥면은 돌출된 부분을 인위적으로 제작하여 지면반력기 위에 설치하였으며, 신발과 발의 변화를 운동학적으로 측정하기 위해 신발에는 3개의 반사선을, 하퇴 뒷부분에는 2개의 반사마커를 부착하였다(그림 2). 장애물을 밟는 조건은 착지 시 충격흡수 효과를 극대화시키기 위해 높이 33.4cm인 박스 위에서 85cm의 거리를 뛰어 내려오며 오른발로 착지하게 하였다. 또한 발의 종골(calcaneus)의 중심과 제2중족골(2nd metatarsal)를 연결한 선을 중심으로 발의 외측(lateral side)과 내측(medial side)로 각각 5회씩 착지하도록 하였다.



그림 1. 서스펜션 기능이 있는 등산화(좌)와 일반 등산화(우)

2.2 자료분석

발의 안정성은 <그림 3>과 같이 밸런스 각도, 서스펜션 각도, 후족 각도(rearfoot angle) 등의 각도 변인을 통해 분



그림 2. 외측 착지(좌)와 내측 착지(우)

석하였다. 밸런스 각도는 등산화가 지면, 즉 수평면과 이루는 각도로써 발의 내, 외변을 측정하기 위한 변인이며, 서스펜션 각도는 등산화의 서스펜션 기능을 조사하기 위한 변인으로 요철을 밟았을 경우 등산화 뒤축 아웃솔의 상부와 하부의 사이의 각도를 측정하였다. 또한 후족 각도는 달리기 운동 상해와 관련이 있는 변인으로 발과 하퇴 사이의 각도를 측정하였다.

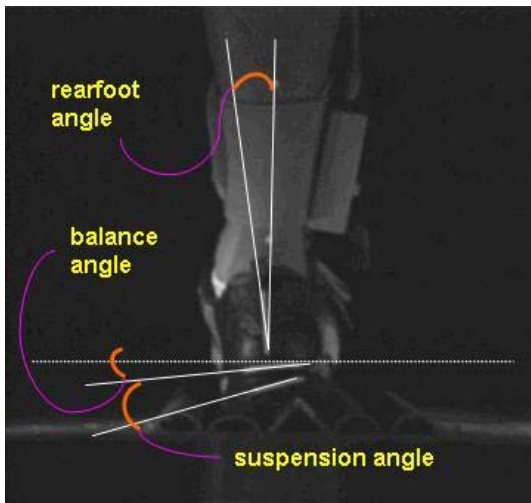


그림 3. 발과 발목 각도 변인

지면반력 변인은 최대 수직지면반력(vertical ground reaction force)과 제동지면반력(breaking ground reaction force)을 측정하여 각자의 체중으로 나누어 일반화시킨 값을 사용하였다. 그리고 수직지면반력을 통해 나타난 힘-시간 곡선에서의 힘을 시간으로 미분하여 접선의 기울기를 구하여 그 최대값을 최대부하율(maximum loading rate)로 정의하여 분석하였다.

한편 신발 내부에 장착한 압력센서를 통한 압력값을 통하여, 각 부위별 최대압력을 구하기 위하여 아웃솔 접지면 전체를 <그림 4>와 같이 후족 6부위(M1~6)와 전족 6부위(M7~12)로 구분하여 총 12부위의 영역별 최대압력(peak

pressure)을 구하여 비교하였다. 이때 족저압의 최대압력은 접지기 동안 아웃솔 전체와 각 영역별로 가해지는 압력의 최대값을 의미한다.

두 가지 등산화에 대한 각 변인별 유의성에 대한 검증은 .05의 유의수준에서 종속 t-검증(paired sample t-test)을 이용하여 비교하였다.

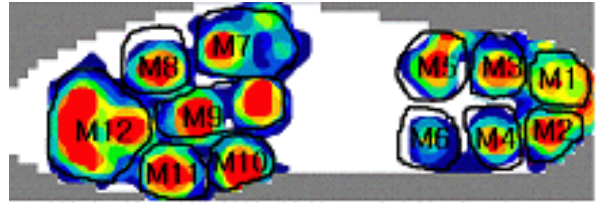


그림 4. 족저압력 분석을 위한 MASK

3. 연구결과 및 토의

3.1 발의 안정성 평가

높은 곳에서 요철이 있는 부분에 발의 내측과 외측으로 착지하는 동안 나타난 운동학적 변인의 비교 결과는 <표 1>에 나타난 바와 같다. 즉, 외측 착지시 일반 등산화에 비해 IST 등산화 조건에서 밸런스 각도가 적게 나타나 착지 중 발이 수평을 유지하는데 효과가 있음을 알 수 있다.

또한 서스펜션 각도에 있어서도 외측 착지시 IST 등산화 조건이 일반 등산화에 비해 3배 가량 크게 나타나 등산화의 미드솔과 아웃솔에 적용된 서스펜션 기능이 밸런스 기능, 즉 발을 수평으로 유지시켜주는 효과가 있음을 알 수 있다. 또한 하퇴에 대한 발의 상대적인 내, 외변 정도를 의미하는 후족각에 있어서도 외측 착지시 IST 등산화 조건에서 발목의 외변이 40% 가량 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 외측 착지시 IST 등산화의 서스펜션 기능이 발의 과도한 외변을 감소시키는 효과가 있다는 사실을 의미한다.

보행이나 주행 중 많은 하지관절 상해가 갑작스러운 과회전에 의하기 보다는 장시간 반복되는 관절의 회전에 의한 과사용 상해(overuse injury)에 의한다는 주장에 비추어 볼 때(Kennedy, Knowles, Dolan M & Bohne, 2005) 이러한 후족각 등의 감소 효과는 상해 예방에 긍정적인 역할을 할 것으로 판단된다.

한편 내측 착지에 있어서 서스펜션 각도를 제외하고 밸런스 각도와 발목의 후족 각도에 있어서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 즉, 발의 내측으로 착지할 때는 서스펜션 기능이 작용했지만 그 크기에 있어서 밸런스 각도나

후족각에 영향을 미칠 정도로 충분하지 않았음을 알 수 있다. 이러한 결과는 많은 발목관절 염좌가 내번에 의해 일어나게 되고 외측 인대의 상해와 복합적으로 발생한다는 주장(Lesic & Bumbasirevic, 2004)에 비추어 볼 때 외번 상황에 대한 안정성과 비슷한 수준으로의 보완이 이루어져야 할 부분으로 판단된다. 따라서 향후 내측에 장착된 서스펜션 기능의 미드솔이나 아웃솔을 디자인하는데 있어서 외측 보다 경도가 낮은 재질을 사용하여 민감도를 높이는 것을 고려해 볼 만하다.

표 1. 발의 안정성 평가결과

	Lateral landing		Medial landing	
	Normal	IST	Normal	IST
Max balance angle (deg)	19.23±5.57	13.03±3.87*	17.60±4.65	15.41±4.61
Max suspension angle (deg)	1.82±1.19	6.65±4.04*	0.28±2.11	2.89±2.60*
Max rearfoot angle (deg)	21.01±6.26	12.58±5.60*	11.43±6.77	12.69±6.38

*p<.05

3.2 발의 부하 평가

최대 수직지면반력에 있어서 외측과 내측 착지시 모두 IST 등산화 조건이 일반 등산화에 비해 작은 것으로 나타났다(p<.05). 또한 통계적으로 유의하지는 않았지만 내측 착지시 최대부하율에 있어서도 IST 등산화 착용시 감소함을 알 수 있었다. 높은 부하율은 근골격에 부담을 유발해 상해에 직접적 원인이 되며 이러한 부하율이 쿠셔닝 인지의 결정 요소라는 주장(Henigg, Valiant & Liu, 1996; Hennig & Malini, 1995; Valiant, 1995)이 있으므로, 독립적 서스펜션 기능이 발목의 안정성 뿐만 아니라 충격 완화에 긍정적 영향을 미치는 쿠셔닝 효과가 있음을 알 수 있었다.

또한 최대 제동지면반력에 있어서도 IST 조건에서 다소 작게 나타나 적절한 마찰력을 제공해 발의 안정성을 향상시킨다고 볼 수 있다. 이는 IST의 돌출된 부분이 서스펜션 기능뿐만 아니라 발을 제동시키는데 있어서 기능적 역할을 수행한 결과라고 볼 수 있다. 이와 같이 IST 조건에서 수직지면반력과 제동지면반력이 감소시키고 적절한 제동력을 제공하는 기능은 발목 관절의 상해에 긍정적인 효과가 있다고 볼 수 있다(Ramsey & Hamilton, 1976).

한편 외측 착지시 영역(mask)별 최대 족저압력에 있어서는, 전반적으로 지지기 동안 거의 모든 영역에 있어서 일반 등산화에 비해 IST 등산화 조건에서의 최대압력값이 작은 것으로 나타났는데 특히 압력이 집중되는 영역에서의 최대압력값의 감소가 두드러진 것으로 나타났다. 초기 입각기

표 2. 지면반력 평가결과

	Lateral landing		Medial landing	
	Normal	IST	Normal	IST
Max impact force (BW)	2.35±0.24	2.18±0.27*	2.48±0.33	2.25±0.33*
Max loading rate (BW/s)	76.01±9.22	75.40±13.24	83.61±16.76	75.63±16.62
Max braking force (BW)	0.49±0.07	0.46±0.06	0.49±0.08	0.44±0.06*

*p<.05

에서는, 가장 먼저 지면과의 접지가 일어나는 영역인 발의 후족면 외측인 M1의 최대압력값이 일반 등산화에 비해 IST 등산화 조건에서 유의하게 작은 것으로 나타났다. 후족면 내측의 가장 뒷부분인 M2는 발의 내측에서 가장 먼저 접지가 일어나는 부분으로 이 영역에서의 최대압력값 역시 IST 등산화 조건에서 유의하게 작은 측정치를 나타냈다. 초기 입각기시 M2의 연결선으로 M4역시 유의한 차이를 나타내긴 했지만 M1과 M2 영역에 비해 그 차이는 크지 않았다. M1의 바로 앞부분에 있으면서 초기 입각기시 압력의 가장 큰 부분을 받는 M3, 초기 입각기 후족면 외측의 마지막 부분인 M5, 그리고 후족면 내측의 힘값인 M6은 유의한 차이를 보이지 않았다.

후기 입각기에서는 추진을 위해 전족부로 압력이 이동할 때 가장 먼저 지면과의 접지가 일어나는 영역인 발의 전족면 외측의 M7과 전족면 외측의 M8, 그리고 전족부 내측의 M10, M11 영역에서는 신발 조건에 따른 최대압력값의 차

표 3. 외측 착지시 영역별 최대족저압력

단위: Kpa

영역	등산화 종류	
	Normal	IST
M1*	661.60±24.66	590.77±51.26
M2*	683.58±47.04	637.18±38.33
M3	653.60±37.74	625.60±31.67
M4*	617.78±75.59	591.65±24.61
M5	515.09±34.63	466.30±19.21
M6	333.41±28.85	332.61±58.15
M7	440.91±57.31	432.09±30.78
M8	414.91±46.75	397.04±53.78
M9*	592.26±43.56	511.78±20.76
M10	336.48±31.43	310.68±39.25
M11	237.63±48.73	229.78±34.14
M12*	590.73±48.98	540.36±40.99

*p<.05

이가 유의하지 않은 것으로 나타났으나, 전족부의 중족인 M9과 추진형태가 마무리되는 단계에서 발 앞측부분의 영역인 M12 영역에서는 IST 조건의 등산화 조건에서 유의하게 작은 압력을 보였다.

따라서 최대족저압에 있어서도 IST조건에서 발뒤꿈치와 엄지발가락 부위의 압력이 현저하게 감소하는 것으로 미루어 볼 때 IST가 압력 분산 및 감소에 효과가 있음을 알 수 있다.

4. 결론 및 검토

IST를 적용한 등산화 착용이 요철 위로 착지하는 상황에서 발목 관절의 안정성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 수직충격력 및 족저압을 감소시켜주며 적절한 제동력을 제공하는 것으로 나타났다. 따라서 IST 등산화가 고르지 못한 우리나라 산악환경에서 하지 부상 방지에 도움을 주리라고 결론 내릴 수 있다.

그러나 외측 착지에 비해 내측 착지시 안정성 효과가 거의 없거나 적게 나타난 결과를 통해, 향후 IST를 작동케 하는 압력 임계치에 있어서 등산화 내측 아웃솔의 경도를 더 낮게 설계하는 것을 고려해 볼 필요가 있다. 또한 후속 연구로 이러한 IST 기능이 장시간의 등산에서 하지 근육의 피로에 미치는 영향뿐만 아니라 착화감에 미치는 효과에 대해 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

Hennig, E. N. and Milani, T. L., The perception of cushioning during impact loads of the human body. *Proc. of the 2nd Symp. on Footwear Biomechanics*, Dept. Leichtathletik und Tuernern, Deutsche Sporthochschule, Cologne, 30-31, 1995.

Hennig, E. N., Valiant, G. A. and Liu, Q., Biomechanical variables and the perception of cushioning for running in various types of footwear. *J. Applied Biomechanics*, 12, 143-150, 1996.

Hettinga, B. A., Stefayshyn, D. J., Fairbairn, J. C. and Worobets, J. T., Biomechanical effects of hiking on a non-uniform surface. *Proc. of the 7th Symp. on Footwear Biomechanics*, 2005, Cleveland, OH, USA, 41-42, 2005.

Hintermann, B., Nigg, B. M., Sommer, C. and Cole G. K., Transfer of movement between calcaneus and tibia in vitro, *Clinical Biomechanics*, Vol. 9, Issue 6, 349-355, 1994.

Kennedy J. G., Knowles B., Dolan M. and Bohne W., Foot and ankle injuries in the adolescent runner. *Curr. Opin. Pediatr.*, 17(1), 34-42, 2005.

Kerr R., Arnold G., Cochrane L., Drew T. and Abboud R., The effect of shoes on ankle injuries. *Journal of Biomechanics*. Vol. 39. sup(1), s110, 2006.

Lafortune, M. A. and Hennig, E. M., Cushioning properties of footwear during walking: accelerometer and force platform measurements, *Clinical Biomechanics*, Vol. 7, Issue 3, 181-184, 1992.

Lesic, A. and Bumbasirevic, M., Disorders of the Achilles tendon, *Current Orthopaedics*, 18(1), 63-75, 2004.

Lord S. R., Bashford G. M., and Howland A., Effect of Shoe collar height and sole hardness on balance in older women. *J. Am. Geriatr. Soc.*, 47, 681-684, 1999.

Ramsey P. L. and Hamilton W., Changes in tibiotalar area of contact caused by lateral talar shift. *J. Bone Joint Surg.*, 58A, 356-357, 1976.

Robbins S., Waked E. and Allard P., Foot position awareness in younger and older men: The influence of footwear sole properties. *J Am Geriatr Soc*, 45, 61-66, 1997.

Valiant, G. A., Perception of running shoe cushioning. *Proc. of the 2nd Symp. on Footwear Biomechanics*, Dept. Leichtathletik und Tuernern, Deutsche Sporthochschule, Cologne, 32-33, 1995.

● 저자 소개 ●

❖ 이 기 광 ❖ kkleee@kookmin.ac.kr
Oregon State University 운동과학과 박사
현 재: 국민대학교 체육학과 교수
관심분야: 생체역학, 근골격계질환

❖ 최 치 선 ❖ baekho27@snu.ac.kr
서울대학교 체육교육과 석사
현 재: 서울대학교 체육교육과 박사과정
관심분야: 생체역학

❖ 은 선 덕 ❖ thunder1@snu.ac.kr
서울대학교 체육교육과 박사
현 재: 서울대학교 스포츠과학연구소 선임연구원
관심분야: 생체역학

논문 접수 일 (Date Received) : 2006년 09월 07일

논문 수정 일 (Date Revised) : 2006년 11월 07일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 11월 16일