



## Uneven Rocky Surface 이동 시 압력분포를 적용한 운동역학적 활용

### Biomechanical Application of Plantar Pressure Distribution for Walking on Uneven Rocky Surface

정용민\*(동명대학교)

Chung, Yong-Min\*(Tongmyong University)

#### 국문요약

여가시간의 증대로 인한 개인의 신체활동이 증가하고 있다. 또한 대한민국의 지형적인 조건과 더불어 등산은 대중적인 야외 신체활동으로 각광을 받고 있다. 한편 바닥이 평평하지 않은 경사진 지면을 장시간 이동하는 데는 견고하고 안정적이면서도 편안함을 제공할 수 있는 등산화가 제공되어야 한다. 5명의 피험자들이 실험에 참여하였으며 4가지 조건하(맨발, 일반등산화, 경도 60의 등산화, 경도 65의 등산화)에서 압력분포가 측정되었다. 경도 60과 65의 등산화는 아웃솔의 바닥이 여러개로 분리되어 충격흡수에 적합한 디자인으로 설계되었다. 연구결과 경도 60과 65의 등산화의 경우 일반 등산화에 비해 접촉면적이 넓고 신체의 추진과 관련된 압력분포 변인에 긍정적인 영향을 미치는 것을 나타내었다. 따라서 등산 시 착용하는 신발 및 의류나 기구의 운동역학적 적용을 통하여 건강한 신체를 유지할 수 있을 것이라 판단되어 진다.

#### ABSTRACT

Y. M. CHUNG, Biomechanical Application of Plantar Pressure Distribution for Walking on Uneven Rocky Surface. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 19, No. 2, pp. 387-397, 2009. Physical activity has been increased with increased leisure time. Specifically, due to our mountainous geographical benefits, people actively participate in hiking and climbing as regular daily activities. Thus, more stable and comfortable hiking boots are required to walk on uneven and sloped rocky surface for a long period of time. 5 male subjects were recruited for testing plantar pressure patterns of four different conditions(barefoot, classic hiking boot, stiffness 60 and stiffness 65). Tested hiking boots(stiffness 60 and stiffness 65) consists of the multiple pieces of outsoles as they are designed for a better shock absorption. In the results, some positive aspects of stiffness 60 and stiffness 65 such as wide contact area and powerful propulsive patterns at take off was observed compared to the classic hiking boots. Therefore, biomechanical development of hiking related clothes and footwear as well as equipment would be beneficial for people who enjoy hiking to maximize their quality of activities.

KEYWORDS : UNEVEN ROCKY SURFACE, HIKING BOOTS, CONTACT AREA, PROPULSIVE

\*Corresponding Author : 정용민

부산광역시 남구 신선로 179번지 동명대학교 사회과학대학 체육학과

Tel : 051-629-2103, Fax : 051-629-2019

E-mail : [yongmin@tu.ac.kr](mailto:yongmin@tu.ac.kr)

## I. 서론

경제의 발전으로 인한 고도성장과 동시에 국민의 삶에 대한 질적 욕구향상이 증가하면서 여가 및 레저활동에 많은 시간을 투자하고 있을 뿐만 아니라 건강에 대한 관심이 증가하고 있다. 여가 및 레저인구의 지변화대 및 증가는 레저활동을 즐기는 일반인들의 여가욕구를 증가시켜 일반적인 레저수준의 여가활동을 즐기게 보다는 가능성이 구비된 전문화된 장비를 사용하여 전문가와 동일한 활동을 즐기려는 여가인구가 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 산악 조건이 좋은 대한민국은 지리적인 이점으로 인해 등산은 대중적인 여가 및 레저 스포츠로 많은 사람들에게 사랑 받는 스포츠 중 하나이다. 등산은 보행을 기초로 한 운동으로 지형 및 지면의 변화에 따라 낮은 강도에서 높은 강도까지 다양한 운동 효과를 낼 수 있는 운동의 하나로, 근육 및 건 등의 근골격계 부위의 활동 뿐만 아니라 생리학적 심혈관계 활동까지 다방면의 측면에서 인체에 긍정적인 효과를 제공하는 유용한 여가활동으로 알려져 있으며 꾸준한 지변화대가 이루어지고 있는 여가 활동 중 하나이다(서정석, 김용운, 윤태진, 2007; Donovan, Lott, Hastings, Commean, Smith & Michael 2007; LaCroix, Leveille, Hecht, Grothaus & Wagner, 1996).

등산에서의 보행은 일상 생활에서의 평평한 지면과는 달리 매우 불규칙하며 바위, 돌, 굴곡이 심한 지면 같은 돌출물들에 의해 보행에 방해를 받으며 일반 평지를 보행할 때보다 발에 발생하는 피로도가 가중되면서 신체부하가 증가하고 발목 및 무릎등과 같은 근골격계 질환의 발생 가능성을 유발한다(Koukoubis, Kyriazis & Rigas 2003). 이러한 이유에 있어 등산화는 슬립 방지 및 발의 피로를 줄일 수 있는 기능성을 가지고 있는 기능을 필요로 한다. 등산화의 구성품 중 아웃솔의 디자인 설계와 경도에 따라 보행 시 등산화의 기능성을 높일 수 있는지에 대한 평가는 생체역학적이고 인체공학적인 연구 및 운동역학적 평가에 관한 기존연구들의 결과를 살펴 볼 때 족저압, 근전도, 지면반력, 동작분석등과 같은 다양한 생체역학 및 운동역학적 연구를 통해 밝혀 낼 수 있다(양창수, 김규완 2003; 여민우, 이상도 및

이동춘, 2006; 최치선, 남기정, 신인식, 서경서, 은선덕 및 김석범, 2006; Diliberto, Baumhauer, Wilding & Nawoczenski 2007).

급경사도의 지형과 돌이나 나무와 같은 다양한 지형물이 불규칙한 지면에서의 등산활동은 발목의 뒤틀림으로 인해 발생하는 인대 및 건의 손상을 야기시킬 위험에 노출되어 있으므로 특수한 지형 및 기능에 적합하도록 디자인된 기능성 등산화를 착용하여야 잠재되어있는 부상의 위험을 경감시킬 수 있다. Hettinga, Stefanyshyn, Fairbairn 및 Worobets(2005)의 연구에서 10명의 남성 피험자를 이용하여 바닥이 고르지 않은 면을 걷게 하였을 때 하지의 근육의 활동형태와 하지 관절의 모멘트를 산출결과 평평한 지면에 비해 울퉁불퉁한 콘크리트 바닥위에서 이동 시 충격률(the rate of impact force)이 16.7%정도 증가하고 TA(Tibialis Anterior)근육의 활동의 감소와 BF(Biceps Femoris)근육의 활동이 증가한다고 보고하였다.

일반적으로 등산화들이 무겁고 발목의 움직임에 제한하는 경우들이 일반적이지만 이러한 형태의 등산화들이 등산 시 요구되는 이상적인 기능을 발휘하지 않을 수 있고 이로 인해 운동역학적인 변인들의 부정적인 변화도 예상되어 질수 있다. 또한 보행 시 아웃솔의 형태 및 지형에 따라 신체균형을 유지시켜주기 위해 작용하는 부위가 달리 나타나고 연령이 증가할수록 아웃솔 바닥의 두께가 두껍고 쿠션감이 적당한 신발이 신체를 안정하게 유지하는데 도움을 줄 수 있으므로 목적에 적합한 종류 및 형태의 등산화를 착용하는 것이 바람직하다(Robbins, Waked & Allard, 1997).

충격 흡수 기능성 디자인 및 구조를 사용한 신발은 보행 시 신체하중으로 인해 발에 발생하는 충격과 지면에서 발생하는 반발력의 충격을 흡수하고 착지시 발생하는 충격을 흡수하여 발목 및 다양한 인체관절 보호를 통해 상해를 예방하고 부상을 방지하는 기능을 가지고 있다. 그러나 인체에 적합하지 않은 구조적 설계 및 디자인 오류 발생 시 하지 분절에 손상이 발생되므로 사용자에게 적합한 안정적인 구조설계와 하지충격을 적절히 분산시켜 줄 수 있는 솔의 경도조합 및 기능성 구조물이 필요하다(Kevin & James 2003; Laforutne & Hennig, 1992; Lee & Hong 2005; Nigg, Hintzen &

Ferber, 2006; Steven& Edward1997).

본 연구에서는 불규칙한 지면과 연동하여 반응하는 독립적으로 분리된 아웃솔 구조를 가진 등산화를 사용하여 실험을 실시하였다. 이를 통해 독립적으로 분리된 아웃솔 구조를 가진 등산화가 지면과 접촉 시 분리된 아웃솔 조각구조에 따라 압력변화에 어떠한 효과가 나타나는 지를 알아보고, 지면과 접촉 시 발생하는 충격을 최소화 시켜 운동성과 안전성을 향상시키고 족저압을 경감시킬 수 있도록 높은 충격방지기능을 제공할 수 있는 경도를 찾아내고자 연구를 실시하였다. 연구 결과를 통해 일반 일체형 아웃솔 구조를 가진 등산화와 2가지 경도로 만들어진 독립적으로 분리된 아웃솔 구조를 가진 등산화를 비교하여 지면과 발에 발생하는 압력을 최소화 시켜 신체에 발생하는 충격력을 경감시키고 편안함 및 안정성을 증진시킬 수 있는 독립적으로 분리된 아웃솔 구조를 가진 등산화 경도를 제공하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구를 실시하기 위해 하지 및 족부 질환 경험이 없고 건강한 20~30대 남자 대학생을 모집하였다. 모집된 대상을 상대로 족형 검사기를 이용하여 족부변형 검사를 실시한 후 변형이 없는 5명의 피험자를 선정하여 실험을 실시하였다.

표 1. 피험자의 신체적 특성

피실험자	연령(yrs)	체중(kg)	신장(cm)	신발(mm)	
1	28	74.1	181.0	270	
2	29	74.8	174.0	270	
3	27	80.4	171.0	270	
남	4	30	83.8	183.3	270
	5	28	85.8	176.7	270
평균	28.40	79.78	177.20	270.00	
표준편차	1.14	5.24	5.01	0.00	

피험자 선정 시 사이즈 변화 및 Test등산화의 사이즈 변화에 따라 발생할 수 있는 외적 변수를 제거하기 위해 발 사이즈는 270mm로 통일하여 선정하였다. 피험자의 평균 신체적 특성은 연령 28.4±1.14yrs, 체중 79.78±5.24kg, 신장 177.2±5.01cm이다(표 1).

### 2. 실험도구

아웃솔 변화 및 경도변화에 따라 나타나는 발압력변화량과 동작의 변화를 일차시켜 분석하기 위해 비디오 카메라 1대를 설치하였고 발바닥 압력분포측정은 미국 Tekscan사의 F-Scan 족저압력분포 측정기를 사용하여 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 F-Scan사의 족저압력 측정 센서는 1260개의 센서로 이루어져 있으며 7/1000인치 두께로 얇은 필름 형식으로 되어있어 두께의 제약 없이 가장 이상적으로 실제 발생하는 압력값을 측정할 수 있는 장점을 가진다. 본 연구에 사용된 압력분포 측정 실험장비 및 분석장비는 다음과 같다(표 2, 그림 1).

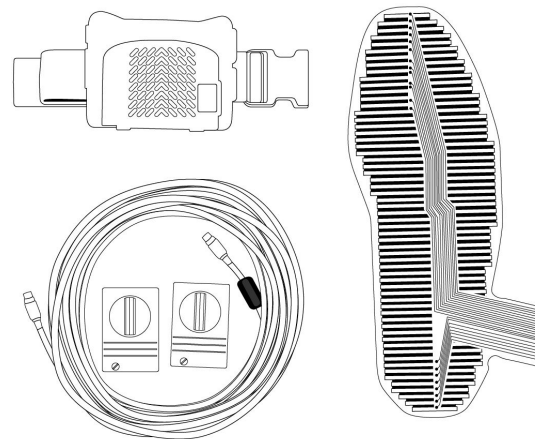


그림 1. 족저압력 측정장비 F- scan 및 압력측정센서

표 2. 실험장비

장 비	모델명	제조회사
압력분포측정기	F-Scan	Tekscan
족저압력분포 분석기	Tekscan System 5.23	Tekscan

실험은 맨발(Barefoot)인 상태와 일체형 아웃솔 등산화로 신은 상태, 독립적으로 분리된 아웃솔 등산화를 신은 상태로 실험을 실시하였다. 단 분리된 아웃솔의 등산화를 신은 상태에서의 실험은 분리된 아웃솔의 경도를 달리하여 등산화 아웃솔 경도60과 65의 두 가지 형태로 실험하였다. 총 실험은 맨발인 상태(Type A), 일체형 아웃솔형식의 일반등산화(Type B), 경도가 60인 독립적으로 분리된 아웃솔 구조를 가진 등산화(Type C), 경도가 65인 독립적으로 분리된 아웃솔 구조를 가진 등산화(Type D)로 총 4개의 형태를 선정하여 실험을 실시하였다(그림 2, 그림 3).

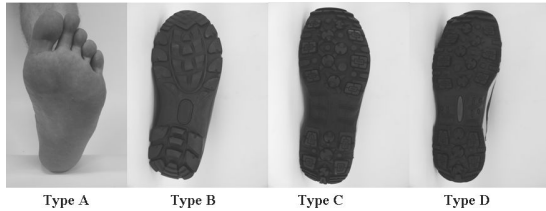


그림 2. 실험을 실시한 맨발 및 아웃솔 형태



그림 3. 장비를 착용한 실험장면

### 3. 실험절차 및 분석

실험 시 발생할 수 있는 외적 변수를 최소화 시키고 등산화의 아웃솔 구조 및 경도 변화에 따른 압력변화를 측정하기 위해 양면테이프를 이용하여 등산화 아웃솔에 압력센서를 부착한 뒤 실험을 실시하였으며 맨발의 경우에도 양면 테이프를 사용하여 압력센서를 발바닥에 부착한 상태로 실험을 실시하였다. 피험자 몸무게 및 등산화의 무게에 따른 압력변화는 Calibration을 실시하여 일정하게 조정하였다. 실험은 실험실 내부에서 실시하였으며 평지를 걷는 일반보행형태로 실시되었다. 보행속도는 1초에 1회 사이클 걸음으로 보행하도록 하였다. 보행 데이터 측정은 피험자가 인지하지 못하는 상태에서 보행 패턴이 가장 안정적인 시점에 총 10 Stance구간을 측정하였다.

압력센서에서 측정된 압력 값은 Version Tekscan Pressure Measurement System 5.23 소프트웨어를 사용하여 분석을 실시하였다. 데이터 분석은 독립적으로 분리된 아웃솔 구조를 가진 등산화와 맨발, 일체형 아웃솔 구조를 가진 등산화의 구역별 압력변화량을 비교하기 위해 접지면을 총 12(M1~M12)개의 구역으로 나누어 보행 국면에 따라 접촉면적과 최대힘, 최대압력을 비교하였다. 보행 국면은 초기입각기(heel strike)와 말기입각기(toe off)로 나누어 분석을 실시하였다(그림 4).

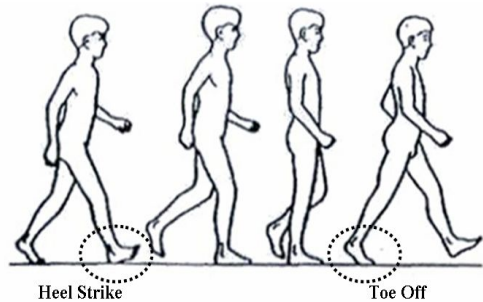


그림 4. 보행국면에 따른 초기입각기와 말기입각기

초기 입각기(heel strike) 시 초기 지지가 일어나는 후족부 부위인 M1에서 M6까지이며 말기입각기(toe off) 시 접지면은 전족부부위에서부터 발가락까지의 부위인 M7에서 M12까지로 구분하였다(그림 5).



그림 5. 보행국면에 따른 초기입각기와 말기입각기 접지면 분류

### III. 결과 및 분석

#### 1. 접촉면적의 변화

보행 시 발이 지면에 닿는 순간부터 다음발이 지면에 닿는 순간까지의 최대접촉면적(Contact area)변화를 각 구역의 면적값(area(mm<sup>2</sup>))을 살펴보면 맨발(Type A)과 등산화 아웃솔 형태(Type 2, 3, 4)에 따라 <그림 6>, <그림 7>에 나타났다.

먼저 초기입각기시 첫 번째로 지면과 접촉이 일어나는 후족부 뒤쪽 외측 M1의 경우 맨발(barefoot, Type A)이 가장 높게 나타났으며 다음으로 분리형 아웃솔 중 경도 65인 Type D가 다음으로 나타났다. 후족부 가장 뒤쪽 내측 면적(M2)은 Type D가 가장 높게 나타났으며 다음으로 Type C와 Type A의 순으로 나타났다. M3의 값은 M1의 면적이 넓어진 것으로 Type B의 면적이 높아진 것이 그 유의한 차이라 할 수 있을 것이다. M4는 M2에서 면적이 넓어진 것으로 Type A의 면적이 급격히 높아지고 있는 것으로 나타났으며 M5에서도 접촉면의 비율은 M3와 같다. 초기 입각시에 마지막 구역M6에서는 일체형 아웃솔 등산신발(Type B)가 가장 넓은 접촉면적을 나타내었으며 맨발(Type A)가 급격히 감소하였다(그림 6).

말기입각기에서는 발의 외측 부분인 M7은 Type A (맨발)에서 가장 높게 나타났으며 다음으로 Type D(분리형 아웃솔 경도 65), Type C(분리형 아웃솔 경도 60), Type B(일체형 일반 아웃솔)의 순으로 나타났으며 그 연장선인 M8은 Type B, Type D, Type C, Type A의 순으로 나타났다. M9는 발 중앙부분의 접촉면적으로 Type A에서 가장 높은 값이 나타났으며 다음으로

Type D, Type C는 유의한 차이를 보이며 Type B의 값이 가장 작게 나타났다. 전족부 내측부분인 M10, M11에서는 Type A가 가장 높게 나타났으며 Type D, Type C, Type B의 순서로 나타났다. 마지막 발의 끝인 M12는 Type D의 값이 가장 높게 나타났으며, Type C, Type A의 순으로 나타났다(그림 7).

초기입각기와 말기 입각기의 최대 접촉면적을 비교한 결과 초기 전체적으로 맨발(barefoot, Type A)에서 가장 넓은 면적값이 나타났으며 등산화 군에서는 초기입각기에서 말기입각기로 갈수록 분리형 아웃솔 구조 중 경도 65인 Type D에서 가장 넓은 면적값이 나타났다. 최대접촉면의 증가는 발에서 발생하는 압력의 단위 면적을 넓혀줌으로 발에서 발생하는 부하의 경감 및 편안함의 증가는 등산화 군 중 분리형 아웃솔 구조의 경도 65인 Type D가 우수할 것으로 사료된다(표 3).

초기입각기(Heel Strike) 영역별 최대 접촉면적 비교

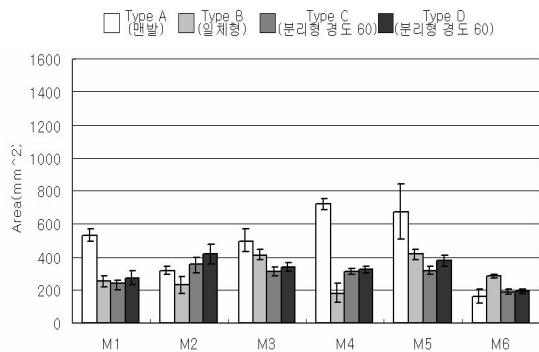


그림 6. 초기입각기(Heel Strike) 시 구역별 최대접촉면적 비교

말기입각기(Toe Off) 영역별 최대 접촉면적 비교

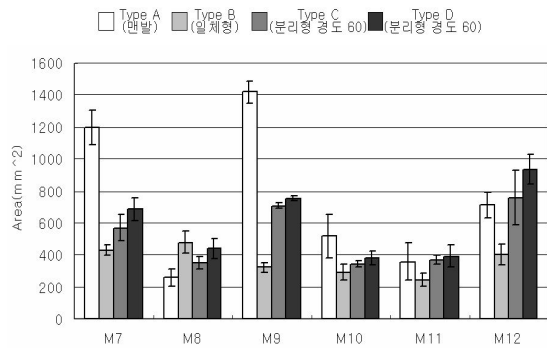


그림 7. 말기입각기(Toe Off) 시 구역별 최대접촉면적 비교

표 3. Type 별 최대접촉면적 비교

		높은 값 > 낮은 값			
		1	2	3	4
초기 입각기	M1	Type A	Type D	Type B	Type C
	M2	Type D	Type C	Type A	Type B
	M3	Type A	Type B	Type D	Type C
	M4	Type A	Type D	Type C	Type B
	M5	Type A	Type B	Type D	Type C
	M6	Type B	Type D	Type C	Type A
말기 입각기	M7	Type A	Type D	Type C	Type B
	M8	Type B	Type D	Type C	Type A
	M9	Type A	Type D	Type C	Type B
	M10	Type A	Type D	Type C	Type B
	M11	Type A	Type D	Type C	Type B
	M12	Type D	Type C	Type A	Type B

2. 최대 힘(Maximum Force) 변화

보행 시 발생하는 족저압의 최대힘(MF, Maximum Force)은 접지동안 발 전체와 각 구역별로 걸리는 힘의 최대값을 나타낸다. 각 신발 조건별로 총 입각기의 입각기 동안의 그래프를 구하였고, 다시 초기입각기(heel strike)와 말기입각기(push off, toe off)로 나누어 각 구역별 최대힘을 구하여 비교하였다(그림 8).

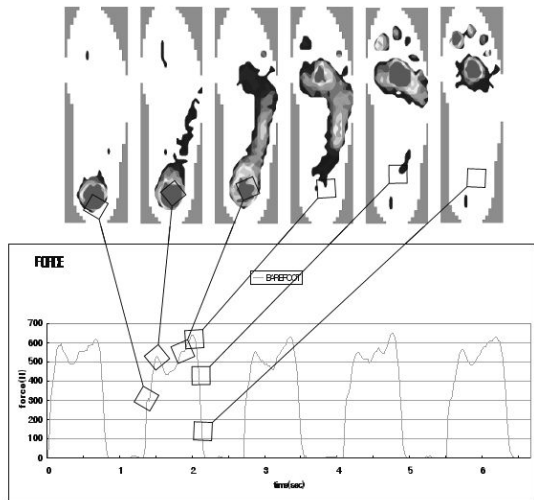


그림 8. 보행 시 국면에 따른 발의 압력 및 힘의 변화 예

1) 총 입각기동안의 최대 힘 변화

발이 지면에 닿는 전체 입각기에서 발생하는 최대 힘값은 맨발(barefoot, Type A)이 가장 크게 나타났으며 분리형 아웃솔 구조 중 경도 65(Type D)는 맨발에 비해 약 10%정도 작은 값으로 나타났으며 또 다른 아웃솔 구조 중 경도 60(Type C)은 약 13% 작은 값으로 나타났다. 일체형 아웃솔(Type B)의 경우에는 약 30% 작은 값으로 나타났다(그림9).

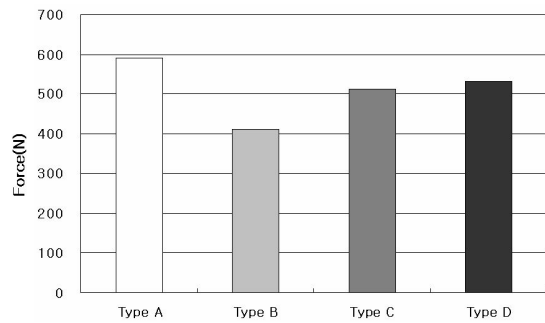


그림9. Type 별 최대 힘 비교

총 입각기 동안의 최대 힘 변화를 비교한 결과 맨발인 상태가 가장 높은 힘이 발에 발생되었으며 등산화를 신었을 경우 3 Type모두에서 솔(inside, middle sole, out sole)의 영향으로 인해 맨발인 경우보다 최대힘이 경감하였다. 이를 통해 맨발인 경우보다 등산화를 착용하였을 경우 보행 시 발생하는 지면 반발력과 신체 하중에 의한 충격이 감소하여 인체에 발생하는 부하가 경감하는 효과가 발생할 수 있을 것이라 예상된다.

2) 초기 입각기(Heel Strike)동안의 최대 힘 변화

총 입각기 동안 발생하는 최대 힘의 변화는 발 전체에 발생하는 최대힘을 비교할 수 있으나 보행 국면의 변화에 따른 구체적인 부위의 최대 힘 변화는 분석할 수 없다. 본 연구에서는 보행 국면에 따른 정밀한 구역별 변화량을 분석을 위해 전체구역 중 초기 입각기의 후족 6부위(M1~6)를 추가 분석하였다(표 4, 그림 10).

초기입각기시 가장 먼저 지면과의 접지가 일어나는 발의 후족면 외측 M1의 최대 힘값은 일체형 아웃솔(Type B)이 가장 크게 나타났으며 맨발(Type A), 분리형 아웃솔 경도 60(Type C), 분리형 아웃솔 경도

65(Type D)순으로 유의한 차이가 나타났다. 발의 내측에서 가장 먼저 접지가 일어나는 부분인 후족면 내측의 가장 뒷부분 M2에서는 Type D의 값이 가장 크게 나타났으며 Type C, Type B, Type A의 순으로 힘의 변화가 변하였다. 보행국면변화에 따라 M1에서 이동되는 M3구역은 초기입각기시 충격힘의 가장 큰 부분을 받는 곳으로 Type B가 가장 큰 값을 나타내며 Type C, Type A, Type D의 순으로 나타나 분리형 아웃솔 정도 65(Type D)가 가장 작은 힘값이 발생하는 것을 알 수 있다. 초기 입각기 후족면 내측 부분인 M2에서 연결되는 M4의 경우는 Type A에서 가장 큰 값을 나타냈으며 Type D과 Type C는 M2과 유사한 경향을 보이고, Type B에서 M2와 대조적으로 가장 작은 값이 나타났다. 초기입각기 후족면 외측 마지막 부분인 M5는 Type B가 가장 큰 값을 나타내며 Type C와 Type D, Type A 순으로 가장 작은 힘값을 나타내고 있다. 후족면 내측 마지막 부분인 Type B가 가장 큰 값을 나타내며 Type C와 Type D순으로 나타나고 M5와 같이 Type A에서 가장 작은 값이 나타났다(그림 10).

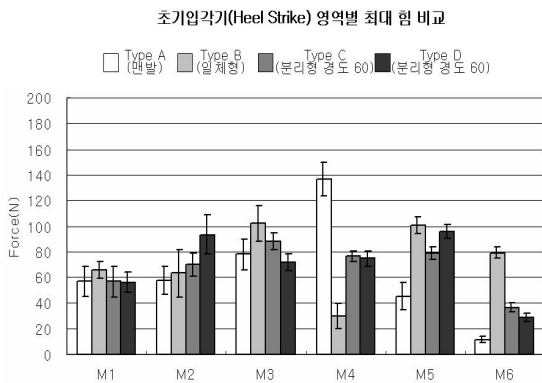


그림 10. 보행 시 초기입각기 구역별 최대 힘 비교

하지의 후족 부위가 지면에 닿는 초기 입각기(Heel Strike)분석 결과 전체적으로 일체형 아웃솔(Type B)의 구역별 최대힘이 초기 입각기에 관찰되었다. 이는 각 구역별로 힘이 집중된다는 것을 의미한다. 이에 비해 분리형 아웃솔의 경우 보행상의 동일 시점에서 보다 넓은 지면접촉면적 확보를 통해하여 주변 구역으로 힘을 분산시킨 결과 구역별 힘 값이 일정하게 유지되거나 낮

아진 것을 관찰하였다. 맨발(barefoot, Type A) 보행의 경우 M4 지점에서 힘이 집중화 되고 나머지 구역은 상대적으로 힘 값이 떨어진다는 것은 실험에 참여한 피험자들의 보행 특성 및 외적변수로 인해 발생한 것이라 할 수 있으며 전체적으로 초기 입각기에서 맨발의 경우 구역별 최대 힘의 균형이 고르게 분포됨을 알 수 있다. 맨발(Type A)과 일체형 아웃솔(Type B)에서 발생하는 앞발의 내측과 외측부분 M3와 M4구역간 힘 분배의 큰 불균형은 분리된 아웃솔 구조(Type C, Type D)에서는 구역에 따른 분리된 아웃솔 형태로 인해 전체적으로 안정된 힘의 변화가 나타남을 발견하였다. 그러므로 분리된 아웃솔 구조(Type C, Type D) 형태의 등산화를 사용함으로써 후족부 발바닥에 발생하는 힘의 값이 골고루 분포되어 최대힘의 원활한 분배로 인한 하지의 충격이 감소되는 것을 알 수 있다(표 4).

표 4. Type 별 초기입각기 구간의 구역별 최대 힘 비교

		높은 값 > 낮은 값			
		1	2	3	4
초기 입각기	M1	Type B	Type A	TypeC	Type D
	M2	Type D	TypeC	Type B	Type A
	M3	Type B	TypeC	Type A	Type D
	M4	Type A	Type D	TypeC	Type B
	M5	Type B	TypeC	Type D	Type A
	M6	Type B	Type D	TypeC	Type A

### 3) 말기 입각기(Toe Off)동안의 최대 힘 변화

초기 입각기 후 지지기를 지나 하지의 전족 부위가 지면에 닿는 말기 입각기의 경우 전족 6부위(M7~12)로 구분하여 구역별 최대힘을 분석하였다.

말기입각기시 전족부에서 추진을 위해 가장 먼저 지면과의 접지가 일어나는 영역인 발의 전족면 외측 M7의 최대 힘값은 분리된 아웃솔 정도 65(Type D)가 144±14N로 가장 크게 나타났으며 맨발(barefoot, Type A)은 120±27.7N, 일체형 아웃솔(Type B)은 110±20.5N, 분리형 아웃솔 정도 60(Type C)은 101±21N의 순으로 나타났으며 전족면 외측의 M8의 최대 힘값은 Type B

가 가장 크게 나타났으며 Type D, Type C, Type A 순으로 나타났다. 전족부의 중족인 M9는 Type A가 가장 큰 값으로 나타났으며 Type D, Type C 순으로 최대 힘값을 나타내고 있다. M10, M11은 전족부 내측으로 발 앞꿈치의 힘값은 두 양상이 같으나 M11의 값이 유의하게 작게 나타났다. 추진형태가 마무리되고 발앞족 부분의 힘값은 Type D가 가장 크게 나타났으며 Type C, Type A, Type B의 순으로 나타났다(그림 11).

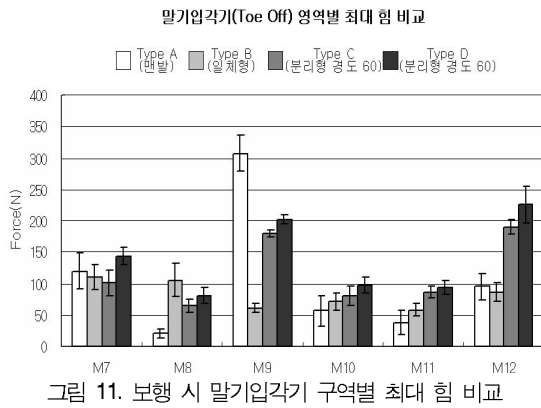


표 5. Type 별 말기입각기 구간의 구역별 최대 힘 비교

		높은 값 > 낮은 값			
		1	2	3	4
말기 입각기	M1	Type D	Type A	Type B	Type C
	M2	Type B	Type D	Type C	Type A
	M3	Type A	Type D	Type C	Type B
	M4	Type D	Type C	Type B	Type A
	M5	Type D	Type C	Type B	Type A
	M6	Type D	Type C	Type A	Type B

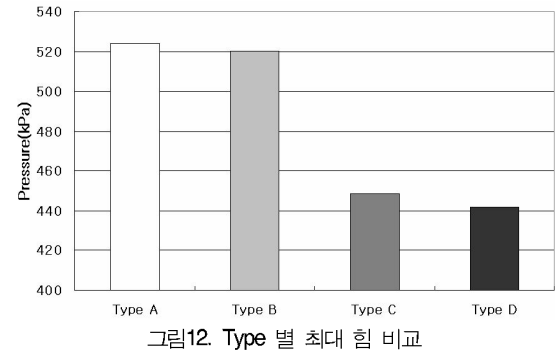
말기 입각기(Toe off)에서는 지지기 후 보행을 다시 시작하기 위해 발의 전족부 부위 및 발가락 부위에서 힘의 추진이 발생하는 것이므로 분석결과 구역별 최대 힘값에서 분리형 아웃솔 경도 65(Type D)가 가장 크게 나타나는 것은 힘의 추진력이 뛰어난 것을 알 수 있다. 말기 입각기는 추진을 위하여 힘이 전족부로 이동된다. M9 지점에서는 맨발(Type A)이 힘을 다소 흡수 시키고

분리형 아웃솔 구조 등산화는(Type C, Type D) 힘이 흡수되기도 전에 그대로 추진이 발생하여 말기 입각기에서 높은 힘이 발생되는 것이라 할 수 있다. 그러므로 분리형 아웃솔 구조는 초기 입각기시 발생된 힘이 전족부로 이동되면서 말기 입각기시 힘의 흡수력보다는 추진력이 더 강하게 작용한다고 볼 수 있다(표 5).

### 3. 최대 압력(Maximum Pressure) 변화

최대압력값 역시 신발 조건별로 총 입각기동안의 값을 구하여 비교하였고, 다시 초기입각기(heel strike)와 말기입각기(push off, toe off)로 나누어 각 구역별 최대 압력값을 비교하였다.

총 입각기 동안의 최대 압력값을 비교한 결과 맨발(barefoot, Type A)의 값이 가장 높게 나타났고 일체형 아웃솔(Type B), 분리형 아웃솔 경도 60(Type C), 분리형 아웃솔 경도 65(Type D) 순으로 나타났다(그림12).



#### 1) 초기 입각기(Heel Strike)동안의 최대 압력 변화

초기입각기시 가장 먼저 지면과의 접지가 일어나는 영역인 발의 후족면 외측 M1의 최대 압력값은 일체형 아웃솔(Type B)이 가장 크게 나타났으며 분리형 아웃솔 경도 60(Type C), 분리형 아웃솔 경도 65(Type D), 맨발(barefoot, Type A)의 순으로 나타났다. 후족면 내측의 가장 뒷부분인 M2는 발의 내측에서 가장 먼저 접지가 일어나는 부분으로 Type B의 값이 가장 크게 나타났으며 Type C, Type D, Type A 순으로 최대 압력값이 나타났다.

M1의 바로 앞부분인 M3는 초기입각기시 압력의 가



장 큰 부분을 받는 곳으로 Type C, Type B, Type D, Type A 순으로 가장 큰 값이 관찰되었다. 초기입각기 M2의 연결선으로 M4는 Type B에서 가장 큰 값이 나타났고 Type C, Type D가 유의한 차이로 다음값을 보이며 Type A에서 가장 작은 값이 나타났다. 초기입각기 후측면 외측의 마지막 부분인 M5는 Type B가 가장 큰 압력값을 나타내며 Type C, Type D의 순으로 역시 Type A 값이 가장 작은 압력값을 나타내고 있다. 후측면 내측의 힘값인 M6역시 M5와 동일한 순으로 압력값이 나타났다(그림 13).

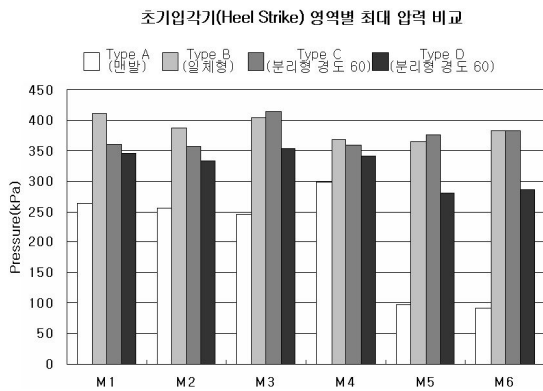


그림 13. 보행 시 초기입각기 구역별 최대 압력 비교

표 6. Type 별 초기입각기 구간의 구역별 최대 압력 비교

		높은 값 > 낮은 값			
		1	2	3	4
초기 입각기	M1	Type B	Type C	Type D	Type A
	M2	Type B	Type C	Type D	Type A
	M3	Type C	Type B	Type D	Type A
	M4	Type B	Type C	Type D	Type A
	M5	Type C	Type B	Type D	Type A
	M6	Type B	Type C	Type D	Type A

M3는 초기입각기시 압력의 가장 큰 부분을 받는 곳으로 M1과 M3의 비교 시 Type D와 Type A의 값이 유사한 차이가 없이 압력이 고르게 분산되어 이동되는 것을 알 수 있다. 전체적으로 후측부에서 발바닥에 미

치는 압력의 값은 barefoot이 현저히 작은 값을 나타냈으며 등산화 착용하였을 경우 분리형 아웃솔 구조 정도 65인 Type D가 가장 작은 값으로 안정된 고른 분포를 보임으로써 지면과 발의 압력을 경감시켜주는 효과가 증가됨을 알 수 있다(표 6).

2) 말기 입각기(Toe Off)동안의 최대 압력 변화

말기 입각기시 전족부에서 추진을 위하여 전족부로 발이 이동시 가장 먼저 지면과의 접지가 일어나는 영역인 발의 전족면 외측인 M7의 최대 압력은 분리형 아웃솔 정도 65(Type D)가 402.086±30.177kPa로 가장 크게 나타났으며 일체형 아웃솔(Type B)은 390.913±57.310 kPa, 분리형 아웃솔 정도 60(Type C)은 359.965±46.449 kPa, 맨발(barefoot, Type A) 274.433±95.623kPa 순으로 나타났다. 전족면 외측의 M8의 최대 압력값은 분리형 아웃솔 정도 60(Type C)이 가장 크게 나타났으며 일체형 아웃솔(Type B)과 유의한 차이를 보이지 않고 있다. 다음으로는 분리형 아웃솔 정도 65(Type D)가 나타났고 맨발(barefoot, Type A)이 가장 작게 나타났다. 전족부의 중족인 M9는 Type A가 가장 큰 값으로 나타났으며 Type D, Type C의 순으로 최대 압력값을 나타내고 있다. M10, M11은 전족부 내측으로 발 앞꿈치의 압력값은 두 양상이 같으나 M11의 값이 유의하게 작게 나타났다. 추진형태가 마무리되고 발 앞축부분의 압력값은 Type D 값이 가장 크게 나타났으며 Type C, Type B, Type A의 순으로 나타났다(그림 14).

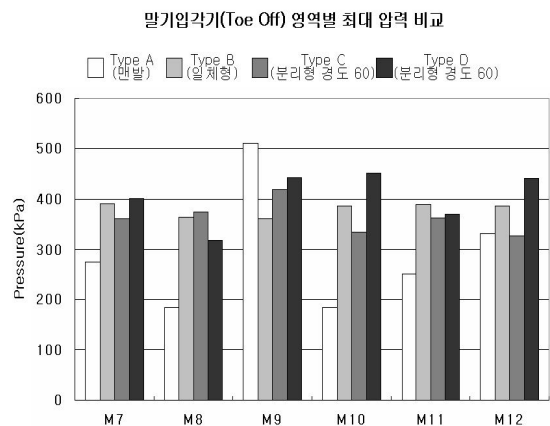


그림 14. 보행 시 말기입각기 구역별 최대 압력 비교

표 7. Type 별 말기입각기 구간의 구역별 최대 압력 비교

		높은 값 > 낮은 값			
		1	2	3	4
초기 입각기	M1	Type D	Type B	Type C	Type A
	M2	Type C	Type B	Type D	Type A
	M3	Type A	Type D	Type C	Type B
	M4	Type D	Type B	Type C	Type A
	M5	Type B	Type D	Type C	Type A
	M6	Type D	Type B	Type C	Type A

말기 입각기의 분석결과 분리형 아웃솔 경도 65(Type D)가 대체적으로 말기 입각기시 최대 압력값이 높게 나타난 것으로 볼 때 추진력과 관계있는 지면과의 반발력이 높아졌기 때문이라 해석된다. 이러한 반발력은 보행이나 작업에 있어서 인체에서 물리적으로 가하는 힘을 최소화시키기 때문에 체력소모 및 에너지 사용량을 줄일 수 있으므로 분리형 아웃솔 경도 65(Type D)를 사용하였을 때 신체부하를 경감시키면서 보행 효율을 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다(표 7).

#### IV. 결론

등산화의 경우 지면이 매우 불규칙하기 때문에 다양한 환경에 적응할 수 있는 가능성을 가져야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 맨발과 아웃솔의 변화에 따른 접지면적, 최대힘, 최대압력을 측정하여 지면과 접촉 시 발생하는 충격을 최소화 시켜 운동성과 안전성을 향상시키고 높은 충격방지기능을 제공할 수 있는 아웃솔 구조를 찾고자 실험을 실시하였다.

실험결과 최대 접촉면적에서는 초기 입각기에서 말기입각기로 갈수록 분리형 아웃솔 구조 중 경도 65인 Type D에서 가장 넓은 면적값이 나타났다. 이를 통해 발에서 발생하는 부하의 경감 및 편안함의 증가는 등산화 군 중 분리형 아웃솔 구조의 경도 65인 Type D가 우수할 것으로 사료된다.

초기 입각기(Heel Strike)의 최대힘 분석에서는 분리

형 아웃솔(Type C, Type D)의 경우 보행상의 동일 시점에서 보다 넓은 지면접촉면적을 확보하여 M3와 M4 구역간 힘 분배의 균형으로 인해 전체적으로 안정된 힘의 변화가 나타남을 발견하였다. 이는 후족부 발바닥에 발생하는 힘의 값이 골고루 분포되어 최대힘의 원활한 분배로 인하여 하지의 충격이 경감될 것으로 사료된다. 말기 입각기(Toe off)에서는 힘의 추진이 발생하는 것이므로 분리형 아웃솔 경도 65(Type D)가 가장 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 추진력의 증가는 신체의 힘을 원활히 사용하여 보행효율을 증가시키므로 분리형 아웃솔 사용이 보행기능을 증가시켜줄 것으로 보여진다.

최대압력값의 변화에서는 초기입각기시 가장 큰 부하가 발생하는 M1과 M3의 비교 시 분리형 아웃솔 구조 경도 65인 Type D에서 압력이 고르게 분산되어 이동되는 것을 알 수 있다. 또한 등산화를 착용하였을 경우 분리형 아웃솔 구조 경도 65인 Type D가 가장 작은 값으로 안정된 고른 분포를 보임으로써 지면과 발의 압력을 경감시켜주는 효과가 증가됨을 알 수 있었으며 최대힘의 결과 값과도 동일한 결과가 나타났다. 말기 입각기에서는 추진력과 관계있는 지면과의 반발력의 증가가 보행효율에 있어 매우 중요한 부분을 차지한다. 분석결과 분리형 아웃솔 경도 65(Type D)가 대체적으로 말기 입각기시 최대 압력값이 높게 나타난 것으로 볼 때 최대 힘의 결과값과 마찬가지로 보행 효율을 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다.

결론적으로 일체형 아웃솔 구조의 기존 등산화 제품보다는 분리형 아웃솔 기술을 적용한 등산화(경도 65)의 사용이 에너지 소비율에서 효율적이며 안정적이라 사료되며, 발의 충격과 관련 있는 초기 입각기의 경우 발의 압력 및 충격을 원활히 분산시키고 신체의 추진과 관련 있는 후기 입각기 시 추진력을 증가시켜 줄 것으로 사료된다.

#### V. 제 언

본 연구에서는 최대 압력, 최대힘 최대 접촉면적을 분석하여 아웃솔의 구조에 따른 발의 충격력 완화 및 보행 효율의 증가를 알아보았다. 그러나 비교대상군의

아웃솔 구조가 제한적이고 단일 아웃솔의 세부형태에 따른 비교가 이루어 지지 못하였다. 또한 실험환경 및 실험도구의 제약으로 인해 산악지형에서의 실험은 이루어지지 않았다. 추후 연구를 통해 다양한 비교 대상을 통한 연구와 실제 환경과 동일한 산악지형의 연구를 실시한다면 등산화의 기능적 발전에 이바지 할 수 있을 것이라 생각한다.

## 참고문헌

- 양창수, 김규완(2003). 운동화 착용 유무와 주행속도 차이에 의한 지면반력 변화. *한국체육학회지*, 42(6), 939-952.
- 여민우, 이상도, 이동춘(2006). 안전화 착용 시 보행 속도에 따른 족저압 분포에 관한 연구. *대한설비관리학회지*, 11(1), 51-63.
- 서정석, 김용운, 윤태진(2007). 등산복 사용이 보행과 근활동에 미치는 영향. *한국운동역학회지*, 17(3), 209-215.
- 최치선, 남기정, 신인식, 서경서, 은선덕, 김석범(2006). 트랩렌딩 시 backpack 중량 변화에 따른 충격 흡수 기전. *한국운동역학회지*, 16(2), 25-35.
- Diliberto, F. E., Baumhauer, J. F., Wilding, G. E. & Nawoczenski, D. A.(2007). Alterations in plantar pressure with different walking boot designs. *Foot & Ankle International*, 28(1), 55-60.
- Donovan J. Lott, Mary K. Hastings, Paul K. Commean, Kirk E. S., & Michael J. Mueller(2007). Effect of footwear and orthotic devices on stress reduction and soft tissue strain of the neuropathic foot. *Clinical Biomechanics*, 22, 352-359.
- Hettinga, B. A., Stefayshyn, D. J., Fairbairn, J. C., & Worobets, J. T.(2005). *Biomechanical effects of hiking on a non-uniform surface*. Proceeding of the 7th Symposium on Footwear Biomechanics, Cleveland, OH, USA, 41-42.
- Kevin A. G., & James P. D.(2003). Determination of the effectiveness of materials in attenuating high frequency shock during gait using filter bank analysis. *Clinical Biomechanics*, 18(1), 50-59.
- Koukoubis, T. D., Kyriazis, V., & Rigas, C.(2003). The influence of mountain boots on gait. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, 4(2), 81-83.
- Lafortune, M. A., & Hennig, E. M.(1992). Cushioning properties of footwear during walking: accelerometer and forceplat for measurements. *Clinical Biomechanics*, 7(3), 181-184.
- LaCroix, A. Z., Leveille, S. G., Hecht, J. A., Grothaus, L. C., & Wagner, E. H.(1996). Does walking decrease the risk of cardiovascular disease hospitalization and death in older adults. *Journal of the American Geriatric Society*, 44, 113-120.
- Lee Y. H., & Hong W. H.(2005). Effects of shoe inserts and heel height on foot pressure, impact force, and perceived comfort during walking. *Applied Ergonomics*, 36(3), 355-362, 2005.
- Nigg, B. M., Hintzen, S., & Ferber, R.(2006). Effect of an unstable shoe construction on lower extremity gait characteristics. *Clinical Biomechanics*, 21(1), 82-88.
- Robbins S., Waked E., & Allard P.(1997). Foot position awareness in younger and older men: The influence of footwear sole properties. *Journal of the American Geriatrics Society*, 45, 61-66.
- Steven, R., & Edward, W.(1997). Balance and vertical impact in sports: Role of shoe sole materials. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 78(5), 463-467.

투 고 일 : 04월 30일  
 심사 일 : 05월 12일  
 심사완료일 : 06월 22일