

미드솔 내·외측 경도차를 이용한 워킹용 등산화 개발에 관한 생체역학적 연구

Seung Bum Park^{1*}, Kyung Deuk Lee¹, Dae Woong Kim¹, Jung Hyeon Yoo¹, Kyung Hun Kim¹,
Young Min Jang¹, Taeyong Lee^{2,3}, Hye Jung Hong⁴, Tae Jin Yun⁴, Simon Luthi⁵

¹Footwear Biomechanics Team, Footwear Industrial Promotion Center, Busan Economic Promotion Agency,
Busan, Korea, 618-820

²Division of Bioengineering, National University of Singapore, Kent Ridge, Singapore, 117576

³Department of Medical Biotechnology, Dongguk University, Seoul, Korea, 100715

⁴Lafuma, LF, Seoul, Korea, 135-896

⁵i-generator LLC, Portland, USA, 97209

ABSTRACT

Objective: 본 연구는 기능성 트레일 워킹화에 대하여 일반 워킹용 등산화와의 족저압력 분포 및 3차원 동작분석 비교를 통하여 압력분포 변화 및 하지 동작에 미치는 영향을 알아보려고 한다. **Background:** 등산은 국내에서 뿐만 아니라 국외에서도 많은 동호인들이 연령과 비용에 구애 받지 않고 쉽게 즐길 수 있는 대중적인 여가 활동이며, 최근 일상생활과 접목하여 자갈이나 흙으로 된 평탄한 지형에서 즐기는 트레일 워킹 등이 주를 이루며, 이러한 형태의 워킹용 등산화가 개발되고 있는 추세이다. **Method:** 실험은 개발된 기능성 트레일 워킹화(Type A)와 일반 워킹용 등산화 3가지 모델(Type B, C, D)에 대하여 족저압력 분포 패턴 및 3차원 동작분석을 실시하였다. 실험은 하지에 상해가 없는 신체 건강한 남성을 대상으로 족저압력(국내 대학생 10명)과 3차원 동작분석(싱가포르국립대학교 학생 10명)을 실시하였다. 압력분포 분석은 발전체(Total), 전족부(Mask 1), 중족부(Mask 2) 그리고 후족부(Mask 3)로 나누어 접촉면적, 최대힘, 최대압력 그리고 최대평균압력 분석을 실시하였으며, 3차원 동작분석을 통해 무릎관절모멘트와 지면반력 분석을 실시하였다. **Results:** 족저압력분석 결과 기능성 트레일 워킹화 Type A가 일반 워킹용 등산화 Type B, Type C, Type D보다 넓은 접촉면적이 나타났으며, 3차원 동작분석에서는 내측 지면반력을 감소시키며 신체 무게 중심의 측면 이동에 유리할 것으로 나타났다. **Conclusion:** 개발 제품은 접촉면적의 증가와 3차원 동작분석을 통한 내측 지면반력 감소로 발에 발생하는 압력 감소 및 하지 부하의 경감이 예상된다. **Application:** 기능성 트레일 워킹화의 보급화 및 다양한 기술개발에 있어 기초 데이터로 유용하게 적용 가능할 것으로 기대된다.

Keywords: Variable stiffness shoe(VSS), Foot pressure, 3D Motion analysis, Functional shoe, Outdoor shoe

1. Introduction

등산은 국내에서 뿐만 아니라 국외에서도 많은 동호인들이 연령과 비용에 구애 받지 않고 쉽게 즐길 수 있는 대중적인 여가 활동이다(Lee, Choi, and Eun, 2006). 등산은 자연 속에서 특별한 경비를 들이지 않고 전신운동이 가능한 여가 활동으로 전신의 근력 강화와 심폐기능 향상뿐만 아니라 신진대사 촉진 그리고 스트레스도 해소 시켜줄 수 있는 복합적인 운

동 효과를 가진다(Lee, Jung, and Yoo, 2009).

우리나라 등산활동의 유형은 고산 등정, 암벽 등반 등 산악활동 중심에서 능선 종주, 근교 산림탐방 등 보행활동 중심으로 변화하고 있으며, 등산객의 95%가 가벼운 산책에 참여하고 있다. 또한, 산림 휴양활동 참여자 93%가 등산, 피크닉, 자연 풍경감상에 참여하고, 산림 휴양활동 가운데 등산, 트레킹, 산책, 삼림욕 등 보행위주의 활동이 65%를 차지하고 있다고 한다(Park, Lee, Kim, Yoo, and Kim, 2009). 이러한 영향으로 최근 등산

화 개발과정에서 전문 산악용 등산화 개발보다 가벼운 트레일 워킹 및 하이브리드 아웃도어 워킹화 등의 경등산화 개발이 주를 이룬다.

등산로의 대부분은 지면이 딱딱하고 바위나 돌 등으로 인해 고르지 못한 특성을 가지고 있다. 이러한 지면에서의 등산은 대부분 보행을 통한 운동으로 발이 편안해야 운동의 효과를 제대로 즐길 수 있는 만큼 발의 편안함은 중요한 요소가 된다. 발의 편안함을 위해서는 발을 감싸는 신발에 의해 크게 좌우될 수 있어 등산화는 등산에서 가장 중요한 장비이다(Lee and Park, 2007). 또한, 규칙적이지 못한 지형에서의 하이킹 동안 부상의 위험성이 잠재적으로 존재하며 특수한 기능성을 가지는 등산화를 통해 부상의 위험을 감소시킬 수 있을 것이다(Hettinga, Stefanyshyn, Fairbairn, and Worbets, 2005).

이러한 환경에서 발목관절의 상해 요인 중 발목의 과도한 내외번을 감소시켜 주는 중요한 장비인 신발은 지면에 의한 급격한 내번 상황에서 근수축력을 증가시켜 발목 외측 인대의 상해 유발을 감소시켜 주는 역할을 함에 있어(Keer, Arnold, Kochrane, Drew, and Abboud, 2006) 등산화의 중요성은 더욱 강조되고 있으며 상해 방지 등을 위하여 신발의 미드솔에 다중경도를 적용하여 하지 관절의 부하 등을 줄여주는 신발이 개발되어지고 있으며 기능성 등이 검증되고 있다(Park, Lee, Kim, Yoo, Kim, Lee, Tech, Jang, and Luthi, 2014).

본 연구에서는 트레일 워킹 및 하이브리드 워킹 시 하지 부하 감소와 압력분산 효과를 위하여 미드솔 전족부와 후족부 내외측 경도를 다르게 적용하여 개발되어진 트레일 워킹화에 대한 족저압력 분석 및 3차원 동작분석을 통해 기능성을 검증하고자 한다.

2. Method

2.1 Tested shoes

실험에 사용 된 트레일 워킹화는 L사와 공동으로 개발한 신제품(Type A)과 현재 시판중인 비슷한 카테고리 워킹용 등산화 제품군 M사(Type B), K사(Type C), B사(Type D)제품간 족저압력 분석을 실시하였다. L사에서 제작된 트레일 워킹화는 미드솔의 다중경도 시스템(variable stiffness shoes(VSS))을 적용한 등산화로 개발단계에서 여러 번의 경도 측정을 통하여 미드솔

내외측의 최적 경도를 설정 및 적용한 트레일 워킹화이다(Figure 1).



Type A: Image of variable stiffness shoe(VSS) bottom

Figure 1. Tested shoes

2.2 Subject

2.2.1 Foot pressure

본 연구는 20대를 대상으로 실시하였으며 신발 사이즈 변화에 따른 변인을 최소화 하기 위해 발 사이즈 270 mm로 동일한 피실험자를 선정하였다. 또한 1차적으로 족부의 변형유무를 판단하기 위해 족부경검사(podoscope)를 실시하여 평발 등과 같은 발의 형태학적 변형이 의심되는 피실험자는 배제하였다. 최종 실험은 1차 족부경검사를 통과한 피실험자 중 하지와 발에 통증이나 질병을 경험한 적이 없고, 정상적인 보행형태를 가지는 일반 성인 10명을 대상으로 실험을 실시하였다(Table 1).

Table 1. Characteristics of the subjects(n=10)

| | Height(cm) | Weight(kg) | Age(year) | Size(mm) |
|----------|------------|------------|-----------|----------|
| Mean±S.D | 174±4.4 | 73±6.4 | 23±0.80 | 270 |

2.2.2 3D Motion analysis

3차원 동작분석은 싱가포르 국립대학교 소속 20~30대 대상 BMI 18.5~25 범위의 정상 체형 및 발 사이즈 270 mm 피실험자로 발의 형태학적 변형이 없으며, 하지와 발에 통증이나 질병을 경험한 적이 없고, 정상적인 보행형태를 가지는 일반 성인 10명을 대상으로 실험을 실시하였다.

2.3 Data collection

2.3.1 Foot pressure

모든 실험은 트레드밀에서 4.2 km/h 보행속도로 실시하였으며, 피험자들은 충분한 보행 연습 후 랜덤으로 선정하여 각 데이터 수집 시점을 인지하지 못하도록 한 후 측정하였다(Figure 2).

족저압력 분석은 Novel GmbH사(novel, pedar mobile)의 pedar-X mobile system을 사용하여 인솔형 압력센서를 오른쪽 신발에 삽입 후 발전체(Total), 전족부(Mask 1), 중족부(Mask 2), 후족부(Mask 3)로 나누어 접촉면적(contact areas), 최대힘(maximum force), 최대압력(peak pressure) 그리고 최대평균압력(maximum mean pressure)을 측정하였다.



Figure 2. Foot pressure measurement

2.3.2 3D Motion analysis

3차원 동작분석은 Vicon 모션 캡처 시스템(Vicon T-series 8 Digital RealTime System)을 사용하여 하지에 반사마커를 부착 후 보행 시 지면반력(GRF: ground reaction forces) 및 관절 모멘트(knee and ankle moment)를 측정하였다(Figure 3).

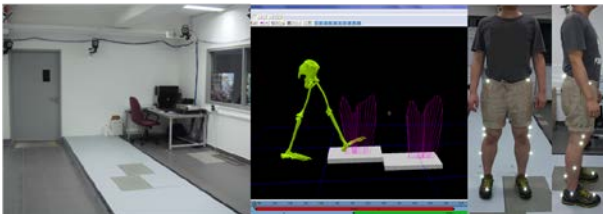


Figure 3. Vicon Motion Analysis system and stationary force plates are available for the gait analysis

3. Results

본 연구에서는 L사와 공동으로 개발한 트레일 워킹화의 보행 동작 시 발생하는 압력분산 효과 및 하지 부하 감소 효과 분석을 위한 결과는 다음과 같다.

3.1 Foot pressure

3.1.1 Contact areas

접촉면적 분석 결과 발전체 및 후족부 측정부위에서 접촉면적이 가장 넓게 나타났으며, 발전체에서 Type C < Type B < Type D < Type A 순으로 나타났다. 대조군 평균과 비교 시 접촉면적이 발전체 약 3.95%, 전족부 약 0.64%, 중족부 약 11.01%, 후족부 약 0.93% 넓게 분포되었다(Figure 4).

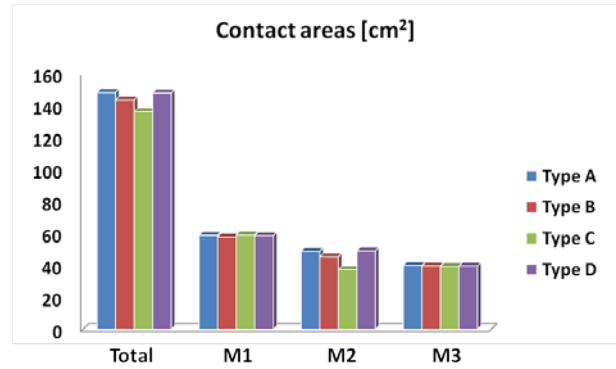


Figure 4. Results of contact areas

3.1.2 Maximum force

최대힘 분석 결과 발전체에서 최대힘은 Type B < Type D < Type A < Type C 순으로 나타났으며, 대조군 평균과 비교 시 최대힘이 발전체 약 -1.86%, 후족부 약 -1.54% 낮게 나타났다(Figure 5).

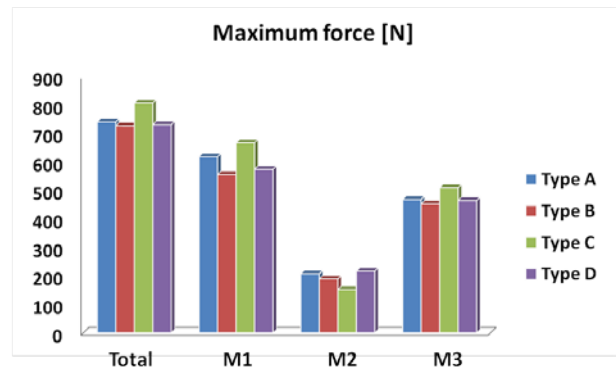


Figure 5. Results of maximum force

3.1.3 Peak pressure

최대압력 분석 결과 발전체에서 최대압력이 가장 높게 나타났다. 발전체에서 최대압력은 Type B < Type D < Type C < Type A 순으로 나타났으며, 대조군 평균과 비교 시 최대압력이 후족부에서 약 -3.13% 낮게 나타났다(Figure 6).

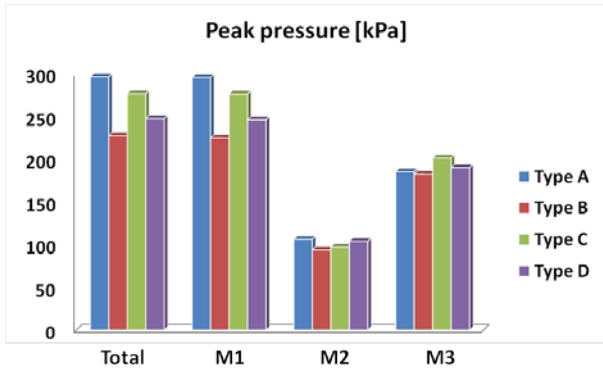


Figure 6. Results of peak pressure

3.1.4 Maximum mean pressure

최대평균압력 분석 결과 발전체에서 최대평균압력이 Type C보다 낮게 나타났다. 발전체에서 최대평균압력은 Type B < Type D < Type A < Type C 순으로 나타났으며, 대조군 평균과 비교 시 최대평균압력이 중족부 약 -0.97%, 후족부 약 -3.17% 낮게 나타났다(Figure 7).

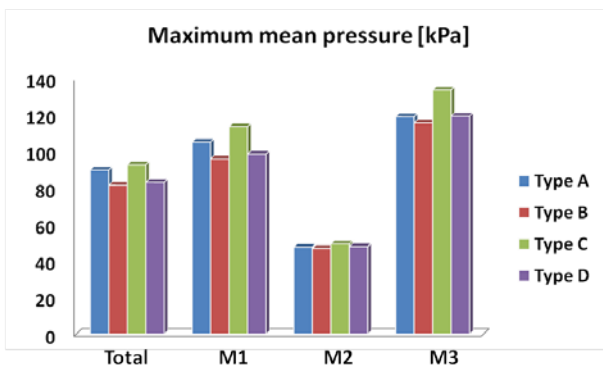


Figure 7. Results of maximum peak pressure

3.2 3D Motion analysis

3.2.1 Kinetics Analysis

무릎의 부하 검사 결과 외적무릎 내반력(external

knee adduction moment(EKAM))은 임팩트 피크 및 액티브 피크 모두에서 유의한 감소를 보여 주었다. 이것은 퇴행성 관절염(OA)등 중요한 무릎 부상을 방지하기 위해 신발의 가능성을 보여주고 있다(Figure 8).

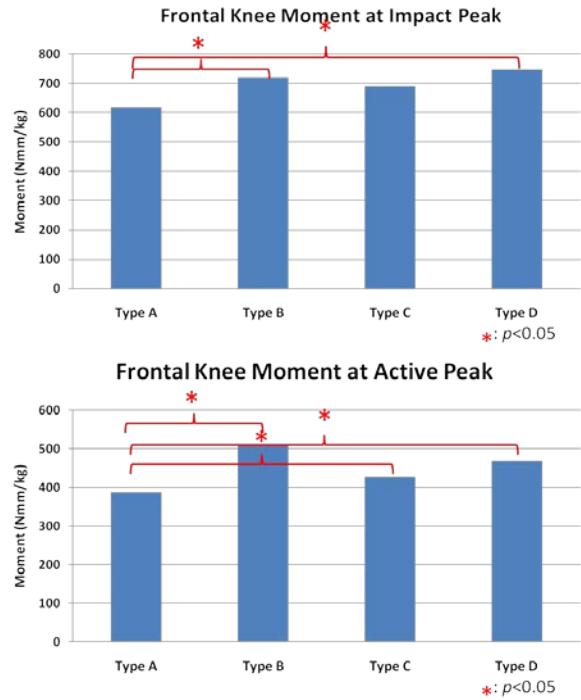


Figure 8. Graph of knee moments in frontal plane at impact and active peak

3.2.2 Mediolateral Ground Reaction Forces(GRF)

지면반력 측정 결과 Type A 신발이 대조군에 비해 내측 GRF가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 압력중심(center of pressure:COP)이 내측으로 이동하는 결과가 나타났다(Figure 9).

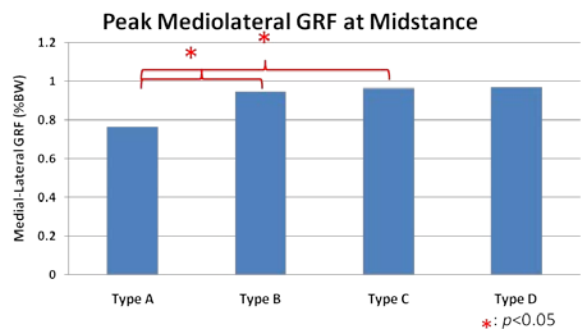


Figure 9. Graph of mediolateral GRFs at midstance

4. Conclusion

본 연구에서는 개발한 트레일 워킹화의 족저압력 분석을 위해 보행 시 접촉면적, 최대힘, 최대압력 그리고 최대평균압력을 비교 분석하였으며, 하지 부하 감소 효과 검증을 위한 3차원 동작분석을 실시하였다.

족저압력 분석결과 접촉면적에서 발전체 및 후족부 부위에서 가장 높은 접촉면적이 나타나 착화감을 향상시켜 줄 것으로 사료된다.

최대힘과 최대압력 분석 결과 발전체에서는 다소 높게 나타났으나 후족부에서 대조군 평균에 비해 낮게 나타났다. 최대평균압력에서는 중족부와 후족부에서 대조군 평균보다 모두 낮게 나타났다. 이는 후족부에서 다른 대조군에 비해 낮은 값을 나타내어 보행 시 Heel Strike 구간에서 발생하는 충격을 줄여 발을 보호하는 기능과 부상예방 기능을 제공해 줄 것으로 사료된다. 하지만 발전체에서 모두 높은 값을 보임으로 추후 개발 과정에서 수정 및 보완을 통한 개선 제품에 대한 추가 족저압력 분석 연구가 필요할 것으로 보여진다.

3차원 동작분석에서는 내측보다 외측이 높은 경도를 가지도록 설계되었던 미드솔을 사용함으로써 무릎 질환의 위험을 줄이는 것을 도울 수 있을 것으로 사료되어진다. 개발 제품은 발이 지면에 닿을 때 충분한 발목의 동작 범위를 제공하며, 이것은 발이 지면에 닿았을 때 발목 부상의 위험을 감소시켜 줄 것으로 보여지며, 내측 지면반력을 감소시키며 신체 무게 중심의 측면 이동에 유리할 것으로 사료된다. 또한 무릎관절염(OA)의 발달과 관련이 높은 외부 무릎내전모멘트(EKAM)를 감소시키며, 감소된 외부 무릎내전모멘트(EKAM)는 내측 무릎관절염의 위험을 감소시켜 줄 것으로 사료된다.

본 연구를 통하여 개발되어진 트레일 워킹화의 기능성에 대한 분석이 이루어졌으며, 개발 제품에 대한 기초자료를 제공함으로써 기능성 향상에 도움이 될 것으로 보인다. 그러나 향상된 제품 개발을 위해서는 향후 다양한 각도의 생체역학적 성능평가 및 물성검사 등을 통해 종합적인 분석이 이루어져야 할 것이다.

Acknowledgements

본 연구는 2013년 (주)LF(구 LG패션) Lafuma 지원에 의하여 수행되었음.

References

- 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.
- Kerr, R., Arnold, G., Cochrane, L., Drew, T., and Abboud, R., The effect of shoes on ankle injuries. *Journal of Biomechanics*, 39(1), 110, 2006.
- Lee, K. K., Choi, C. S., and Eun, S. D., Effect of Independent Suspension Function of Hiking Boots on the Stability and Load of Foot. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 25(4), 115-119, 2006.
- Lee, H. S., Jung, G. S., and Yoo, H. H., Slope Analysis of Mountain Trail Using Mobile GPS. *The Korean Society for GeoSpatial Information System*, 17(2), 81-90, 2009.
- Lee, J. S., and Park, S. B., *The Study of the Performance Test of the Hiking Boots on the Foot Pressure Distribution*. Ergonomics Society of Korea Conference, 211-221, 2007.
- Park, S. B., Lee, K. D., Kim, D. W., Yoo, J. H., and Kim, K. H., *워킹용 등산화에 대한 압력분포 비교*. Proceedings 2012 Fall Conference of The Ergonomics Society of Korea, 2012.
- Park, S. B., Lee, K. D., Kim, D. W., Yoo, J. H., Kim, K. H., Lee, T. Y., Tech, J. C., Jang, Y. M., and Luthi, S., *Investigation of the Biomechanical Effect of Variable Stiffness Shoe(VSS) on External Knee Adduction Moment(EKAM) of Lower Extremity in Walking*. Proceedings of 2014 International Conference of Korean Society of Sport Biomechanics, 2014.

Author listings

Seung Bum Park: sbpark@shoenet.org

Highest degree: Ph. D., Department of Physical Education, Pusan National University

Position title: Head of Team, Footwear Biomechanics Team, Footwear Industrial Promotion Center, Busan Economic Promotion Agency

Areas of interest: Footwear Biomechanics

Kyung Deuk Lee: leekd79@shoenet.org

Highest degree: Master, Department of Industrial and Management Engineering, Dong-Eui University

Position title: Manager, Footwear Biomechanics Team, Footwear Industrial Promotion Center, Busan Economic Promotion Agency

Areas of interest: Footwear Biomechanics

Dae Woong Kim: dwkim@shoenet.org

Highest degree: Master, Department of Industrial and Management Engineering, Dong-Eui University

Position title: Assistant Manager, Footwear Biomechanics Team, Footwear Industrial Promotion Center, Busan Economic Promotion Agency

Areas of interest: Footwear Biomechanics

Jung Hyeon Yoo: jhyoo@shoenet.org

Highest degree: Master, Department of Industrial and Management Engineering, Dong-Eui University

Position title: Assitant Manager, Footwear Biomechanics Team, Footwear Industrial Promotion Center, Busan Economic Promotion Agency

Areas of interest: Footwear Biomechanics

Kyung Hun Kim: kimkh@shoenet.org

Highest degree: Master, Department of Physical Education, Kyungsung University

Position title: Assistant Manager, Footwear Biomechanics Team, Footwear Industrial Promotion Center, Busan Economic Promotion Agency

Areas of interest: Footwear Biomechanics

Young Min Jang: min3032@shoenet.org

Highest degree: Master, Department of Physical Education, Silla University

Position title: Research, Technology Convergence Support Center, Busan Economic Promotion Agency

Areas of interest: Footwear Biomechanics

Taeyong Lee: bielt@nus.edu.sg

Highest degree: Ph.D., Wisconsin-Madison University

Position title: professor, National University of Singapore and Dongguk University

Areas of interest: Footwear Biomechanics

Hye Jung Hong: hjhong@lfcorp.com

Highest degree:

Position title: Lafuma LF

Areas of interest: Footwear Biomechanics

Tae Jin Yun: footwear99@lfcorp.com

Highest degree: Kyungnam College of Information & Technology

Position title: Lafuma LF

Areas of interest: Footwear Biomechanics

Simon Luthi: simon@i-generator.com

Highest degree: Ph.D., Biomechanics, University of Calgary

Position title: CEO, i-generator LLC

Areas of interest: Human Performance, Sports Injuries