JESK J Ergon Soc Korea 2018; 37(4): 475-487
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2018.37.4.475
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

The Effects of Insole Material and Hardness in Different Plantar Sites on the Comfort and Impact Absorption

Sihyun Ryu[1], Hojong Gil[1], Sejin Kong[2], Yongsuk Choi[2], Jiseon Ryu[1], Sukhoon Yoon[1], Sang Kyoon Park[1]

[1]Motion Innovation Center, Korea National Sport University, Seoul, 05541
[2]LS Networks Co., Ltd. / R&D Center, Seoul, 04386

발바닥 부위별 인솔 소재 및 경도 변화가 착화감과 충격 흡수에 미치는 영향

류시현[1], 길호종[1], 공세진[2], 최용석[2], 류지선[1], 윤석훈[1], 박상균[1]

[1]한국체육대학교 모션이노베이션 센터
[2](주)LS네트웍스 / R&D센터

Corresponding Author
Sang Kyoon Park
Motion Innovation Center, Korea National Sport University, Seoul, 05541
Mobile : +82-10-5467-5834
Email : spark@knsu.ac.kr

Received : May 17, 2018
Revised : August 01, 2018
Accepted : August 06, 2018

Copyright@2018 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Objective: The purpose of this study was to evaluate the biomechanical effects of insole material and hardness in different plantar regions on the comfort and impact absorption during walking and to analyze the correlations between comfort and impact variables.

Background: It is necessary to apply materials tailored to the functionalities of different plantar regions during different phases of the gait cycle: the rearfoot portion should absorb the impact force during the heel-contact phase, the midfoot portion should support the entire arch, and the forefoot portion should enhance the swing efficiency during the toe-off phase.

Method: Twenty men in their twenties were recruited for the study (age: 23.4±2.7 yrs; height: 175.9±4.1cm; weight: 72.9±9.4kg). They wore insoles in random order. Pedar-X system (Novel GmbH, USA) and Treadmill (Instrumented treadmill, Bertec, USA) were used to measure the plantar pressure and ground reaction force. The walking speed was set at 1.3m/s and 1.7m/s. The sampling rate was set at 50Hz and 1,000Hz, respectively. For comfort testing, the subjects administered a questionnaire survey using the visual analogue scale (VAS) after walking 1km. Three insole models were tested: Insole A using a mixed material with shock-absorbing and anti-rebound components uniformly spread throughout the insole; Insole B and Insole C using sponge and ethylene vinyl acetate (EVA), respectively, as underlying material and strengthened with shock absorber in the rearfoot portion, high-hardness material in the midfoot portion, and anti-rebound function in the forefoot portion. The impulse, mean impact force, initial peak of ground reaction force, and loading rate were calculated.

Results: First, Insole B significantly outscored Insole A in terms of the forefoot cushioning comfort ($p<.05$), with Insole B and C showing higher overall comfort scores compared with Insole A ($p<.05$). Second, Insole A showed higher mean impact force, initial and peak vertical ground reaction forces, and loading rate compared with Insoles B and C, but without reaching statistical significance. Third, Insole B and C showed statistically higher mean pressure in the midfoot portion compared with Insole A ($p<.05$).

Conclusion: Positive effects in terms of comfort and impact absorption were

demonstrated by the insoles fabricated with different materials and hardness tailored to the functionalities of different plantar regions in comparison with the conventional insoles using the uniform material throughout the insole. In particular, positive effects on overall comfort were found to be ascribable to the enhanced hardness in the midfoot portion, which supported the arch more efficiently and contributed to an even distribution of the overall pressure on the plantar.

Application: The study results can be applied to insole development as follows: Insole material and hardness should be varied for different plantar regions, and shock absorber and high-hardness material should be used for the rearfoot and midfoot portions, respectively.

Keywords: Insole material, Insole hardness, Comfort, Impact absorption

1. Introduction

인간 보행은 복합적인 상·하지의 리드믹컬한 주기적 움직임으로 나타나는 기본적인 이동 수단이다. 보행은 신체적 특성과 보행 속도, 보행 습관 및 성격 등에 따라 다양하게 나타난다. 잘못된 보행 습관이나 자세로 인하여 인체 구조의 불균형이 야기되고 질병이나 상해가 발생할 수 있다(Moon, 2005; Scott and Winter, 1990; Shin et al., 2008; Tirosh and Sparrow, 2005; Whittle, 1990; Yoo et al., 2016; Yoo et al., 2017). 특히, 걷는 동안 지면을 접촉하는 발에 작용하는 충격력은 체중의 1.5배, 달리는 동안에는 체중의 2배 이상의 힘으로 전달되고 있다(Nigg, 1986). 보행 이동 과정은 발의 뒤꿈치로 착지되어 발가락으로 이지하는 과정으로 이루어지는데 이때, 지면에서 발생된 충격은 신발의 미드 솔에서 먼저 흡수되고 다음으로 인솔을 통해 발로 전달된다. 이러한 충격은 발을 통하여 신체에 전달되어 관절, 건, 인대에 부하로 작용하게 되고 발과 지면 사이의 반복되는 충격은 피로 골절과 연골파괴, 요통 등 부상의 원인이다(Clement et al., 1984; Jin and Shin, 2007; Radin et al., 1972; Shin and Jin, 2006). 보행 시 발생하는 충격은 보행 속도, 보행 유형, 신발 구조와 소재에 따라 그 크기가 달라질 수 있다(Vaughan et al., 1987).

신발은 외부에서 가해진 힘을 완화시켜주는 충격 흡수 장치로서 발을 보호하며 효율적 움직임을 유도하고 나아가 부상 예방에 가장 큰 역할을 한다. 보행과 달리기와 같은 이동 운동뿐만 아니라 각종 스포츠 경기에서 신발의 역할은 매우 크다고 할 수 있다. Cavanagh and Lafortune (1980)와 Mann (1980)은 달리기 시 신발을 착용한 상태에서 인체가 지면으로부터 받는 최대 수직반력은 체중의 2~3배에 이르며, 이때의 지면반력의 크기와 방향에 따라 하지 관절의 토크(회전력)도 크게 발생하다고 보고하였다. Kim et al. (2010)은 발목 관절에서 작용하는 힘은 걷거나 달리는 동안 높은 수준의 관절 부하를 발생시킨다고 주장하였다.

이동 운동에 따른 충격으로부터 신체를 보호하기 위해서는 충격을 흡수하는 신발의 기능이 무엇보다도 중요하다(Nigg, 1986). 신발 인솔(insole)은 발과 신발 사이에서 직접적 접촉이 일어나는 구조적 특성으로 발의 움직임과 원활한 상호작용이 요구되는 기능적 역할을 한다. 따라서 인솔은 발의 비정상적인 움직임을 제어하고 발목 관절의 과도한 회내 움직임을 감소시키며, 지면으로부터 받는 충격을 흡수, 분산시키는 목적으로 개발되어 왔다(Eng and Pierrynowski, 1994; Janisee, 1994; McPoil and Cornwall, 1991; Park, 2010). 또한, 인솔은 각종 신발에 넣어 편히 사용할 수 있으며, 충격력(impact force)과 부하율(loading rate)을 감소시켜 발목과 무릎 관절을 보호하고 체중을 분산시켜 피로를 줄일 수 있다고 보고되어 왔다(Chen et al., 2003; Garner et al., 1988; Marshall et al., 2000; Windle et al., 1999). 이렇듯, 인솔은 발에 전달되는 충격의 일부를 흡수하는 생체역학적 기전으로 이해할 수 있으며 보행이나 달리기 시 발과 접촉되는 동적인 상황에서 발의 움직임과 신발의 기능 사이의 중요한 역할을 담당하고 있다.

그 동안 개발되고 검증되어온 인솔 연구는 발바닥 전체의 소재 변화를 통하여 충격 흡수 기능을 검증한 연구가 대부분을 차지하고 있다(Chae and Jung, 2015; Chae et al., 2012; Eun et al., 2007; Garner et al., 1988; Jeong and Hah, 2004; Jin and Shin, 2007; Kim et al., 2010; Lee et al., 2011; Park, 2010; Park et al., 2011; Shin and Jin, 2006). 뒤꿈치로 착지되어 엄지발가락으로 이지하는 과정이 반복적으로 나타나는 보행은 후족 부위에서 착지 구간의 충격 흡수 기능, 중족 부위에서는 전반적인 아치 지지 기능, 전족 부위에서는 추진 구간의 효율성이 요구된다. 따라서 발의 동적 안정성과 기능성을 고려하여 인솔에 적용되는 소재를 최적화할 필요가 있으며, 부위별 기능에 적합한 소재 적용의 필요성이 요구된다. 뿐만 아니라 인솔 기능 차이에 따라 발의 편안함에 대한 평가는 상이하게 나타날 수 있기 때문

에 사용자의 주관적 불편도 조사를 통하여 신발의 적합성(fitting)과 신축성(expansion), 유연성(flexibility), 그리고 순응성(adaptation) 등을 살펴보아야만 한다(Jordan and Bartlett, 1995). 인솔의 경도는 충격 흡수 기능뿐만 아니라 착화감에 영향을 미치므로(Henning et al., 1993; Chen et al., 1994) 인솔의 경도와 사용자의 착화감을 동시에 살펴보아야 한다(Henning et al., 1996). 즉 기능적 보행화 개발에서 인솔 차이에 따른 착화감 평가와 생체역학적 변인과의 관련성을 살펴보는 작업은 인솔 개발 및 평가 과정에서 반드시 연구되어야할 과제이다.

이에 본 연구의 목적은 발바닥 부위별 다른 소재로 제작된 인솔을 착용하고 보행을 실시하는 과정에서 인솔 소재 및 경도에 따라 착화감과 충격 흡수 관련 변인에 미치는 영향들을 살펴보고 착화감과 생체역학적 변인 간의 관련 정도를 분석하는 것이다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구 대상자는 정형외과적 병력이 없는 20대 성인 남자 중 신발사이즈 265mm를 착용하는 20명(나이: 23.4±2.7세, 신장: 175.9±4.1cm, 체중: 72.9±9.4kg)으로 선정하였다. 이때, 본 연구는 K대학교 생명윤리위원회에서 심의 승인을 받았으며(과제관리번호: 1263-201706-HR-007-01, 승인번호: 20170810-011, 승인날짜: 2017.08.10), 모든 대상자는 자발적 동의로 연구에 참여하였다.

2.2 Experimental procedure

대상자는 인솔의 종류나 형태를 인지하지 못한 상황(blinded test)에서 진행되었으며, 인솔 착용 순서는 무작위(randomization) 방법으로 결정하였다. 우선, 족저압력 측정을 위하여 신발에 99개 센서가 내장된 Pedar-X system (Novel GmbH, Germany) Pedar insole을 삽입하여 실시하였으며, 촬영 속도는 50Hz로 설정하였다. 신발을 착용한 후, 자연스러운 동작을 유도하기 위하여 5분 간 준비 운동을 실시하였으며, Treadmill (Instrumented treadmill, Bertec, USA) 위에서 (Figure 1)과 같이 1.3m/s와 1.7m/s 속도로 보행을 실시하였다(Zhang et al., 2012). 이때, 30 stride를 촬영하여 보행이 안정적으로 일정한 패턴을 보이는 10 stride를 분석에 활용하였으며, 촬영 속도는 1,000Hz로 설정하였다. 착화감 검사는 1km 보행을 실시한 후 Visual analogue scale (VAS) 설문 조사를 실시하였으며(Mundermann et al., 2001; Mundermann et al., 2002; Mundermann et al., 2004), 설문 문항은 앞꿈치 너비와 쿠션, 뒤꿈치 너비와 쿠션, 편안함, 그리고 전체적인 편안함으로 구성하여 본 연구 목적에 부합하도록 수정, 보완하였다. 설문은 (Figure 2)와 같이 각 항목별로 15cm 길이의 측정 바에 표시하는 방법으로 진행되었으며, 중간을 기준으로 우측에 가까울수록 좋음 혹은 편함, 좌측에 가까울수록 나쁨 혹은 불편함을 의미한다.

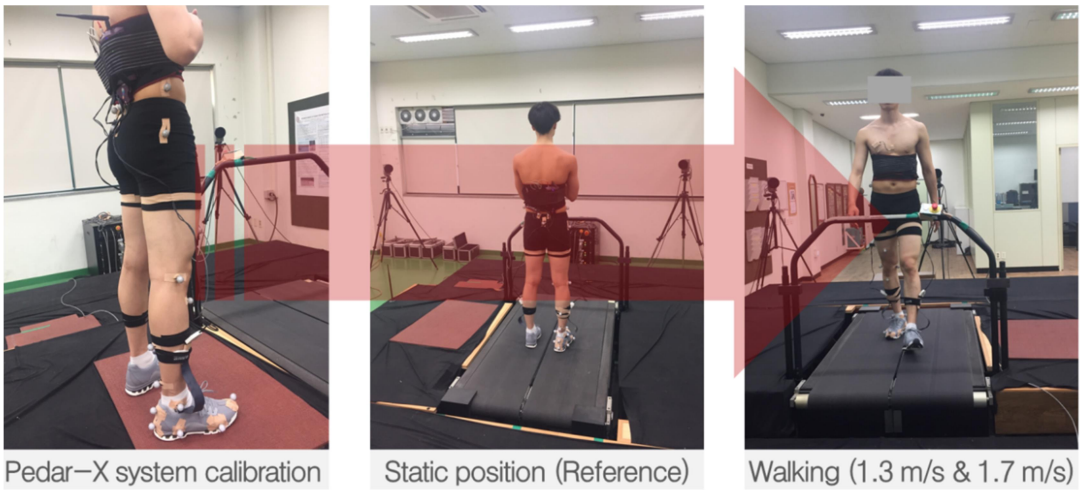


Figure 1. Experimental procedure

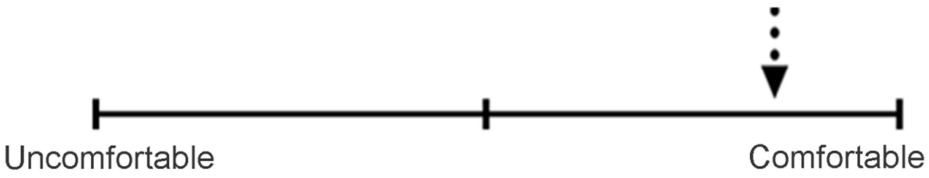


Figure 2. Visual analog scale

2.3 Insole information

실험에 사용된 인솔 정보는 (Figure 3)과 같으며, 본 연구에서 사용된 신발은 동일한 워킹화(모델명: 임펄스 142, Prospecs, size: 265mm)로 진행되었다. 이때, A와 C 인솔을 구성하고 있는 EVA (Ethylene Vinyl Acetate)는 에틸렌(Ethylene)과 초산비닐(Vinyl Acetate)의 공중합체로 열가소성수지를 일컬으며, EVA의 물성은 에틸렌과 초산비닐의 함량에 따라 탄성력과 열 접착온도, 내구성, 투과력 등이 달라지는 특성이 있다(Alex and Henderson, 1993; Kim, 2008). 에틸렌이 많이 함유되어 있을수록 단단하고, 적게 함유되어 있을수록 고무와 비슷

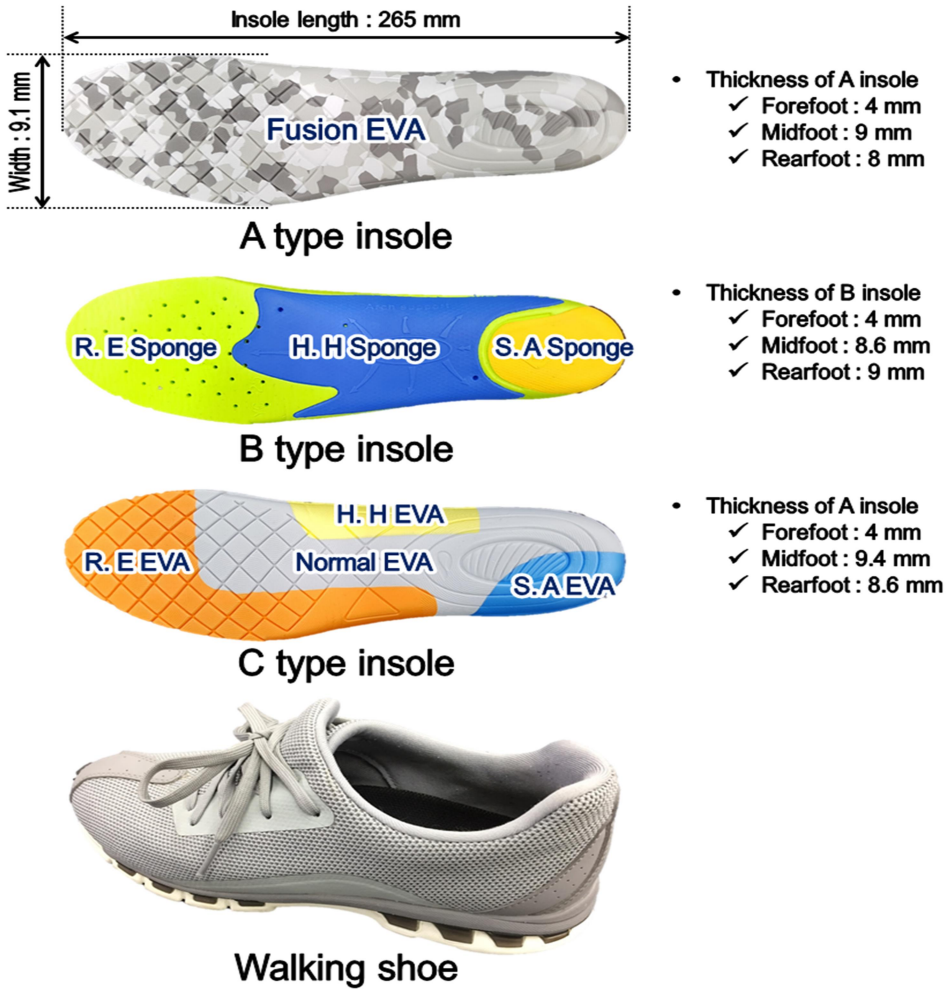


Figure 3. Insole & shoe

한 성질을 지닌다. 이때, A 인솔 제작에 사용된 Fusion EVA는 충격 흡수(Shock & Absorption) 기능과 반발탄성(Rebound & Elastic) 기능을 지는 EVA를 혼합하여 제작한 소재를 인솔 바닥 전체에 동일하게 적용한 특성이 있다. 한편, B 인솔의 경우, 전족 부위의 R. E Sponge는 반발탄성 기능을 지닌 스펀지이고, 중족 부위의 H. H Sponge는 60~65 경도로 구성된 고경도(High hardness) 스펀지를 사용하였으며, 후족 부위의 S. A Sponge는 충격 흡수 기능을 지닌 스펀지이다. 따라서 후족 부위에서 발생하는 충격을 완화시키고 전족 부위는 반발력을 높이며, 중족 부위는 고경도의 소재를 통해 안정성을 높이려는 의도로 제작되었다. 마지막으로 C 인솔의 경우, 전족 부위의 R. E EVA는 반발탄성 소재를 적용한 EVA이고, 중족의 내측 부위의 H. H EVA는 아치를 안정적으로 지지할수록 고경도 소재를 적용한 EVA이며, 후족 부위의 S. A EVA는 충격 흡수 소재를 적용한 EVA이다. 인솔 B와 C의 주요한 차이는 중족 부위에 적용된 고경도 소재의 적용 부위의 넓이에서 구별되고 각각의 인솔 간에는 미세한 높이에 차이가 존재하였다.

2.4 Data processing

인솔 유형에 따라 인체에 전달되는 충격 및 부하에 관련된 변인을 산출을 위해서 Qualisys Track Manager software (Qualisys, Sweden)와 Matlab R2009b software (The Mathworks, USA)를 사용하였다. 지면반력 자료는 획득 과정에서 생긴 오차(noise)를 제거하기 위하여 Butterworth 4th order low-pass filter로 smoothing 하였으며, 이때 차단 주파수는 50Hz로 설정하였다. 차단 주파수(cut-off frequency) 결정은 FFT (Fast Fourier Transform) 분석을 실시하고 주파수로 전환된 신호에 대해 PSD (Power Spectral Density)를 계산하여 누적된 PSD의 99.9% 수준을 각 신호 특성의 대표적인 것으로 간주하여 결정하였다. 그리고 족저압력은 기본적으로 425개의 매트릭스(17×52)를 바탕으로 99개의 센서가 작동하는 Pedar-X system 인솔을 이용하여 발바닥 위치별 압력을 측정하였다.

2.5 Analysis phase

인솔의 효과를 확인하기 위하여 체중을 지지하는 구간을 분석하였으며, 총 보행주기(gait cycle)의 62%에 해당하는 오른 뒤꿈치가 지면에 닿는 순간(Right heel contact)부터 오른 발끝이 지면에서 떨어지는 순간(Right toe off)까지로 오른발 지지 구간(Right stance phase)으로 설정하였다(Mummolo et al., 2013).

2.6 Analysis variables

충격량(Impulse)은 착지 순간부터 수직 지면반력이 최초 최대값이 발생되는 시점까지를 착지 및 흡수 구간으로 간주하여 수직 지면반력을 적분하여 총 충격량을 산출하였으며, 이때, 소요시간으로 나누어 착지 구간의 평균 충격력(Mean impact force)을 산출하였다. 수직 지면반력의 최초 최대값을 소요시간으로 나누어 최초 최대값까지의 기울기를 인체에 전달되는 부하율(Loading rate)로 정의하여 계산하였다. 이때, 지면반력 자료는 체중(Body weight)으로 나누어 정지 상태의 지면반력을 1로 표준화하여 대상자들 간의 체중의 차이에서 오는 오차를 제거하여 분석하였다. 족저압력은 기본 구조 425개의 매트릭스(17×52)를 바탕으로 99개의 압력을 측정하여 최대압력값을 산출하였다. 이때, 족저압력의 분석은 발에서 순차적인 체중 부하 패턴이 나타나는 세 부분으로 구분하여 후족부(Rearfoot), 중족부(Midfoot), 전족부(Forfoot)의 분리된 영역(Mask)으로 구분하여 평균 압력값을 산출하였다. 이때, 영역의 정의는 Pedar-X system의 Mask tool을 사용하였다(Park et al., 2011; Yoo et al., 2015).

2.7 Statistical processing

인솔 유형에 따른 차이를 살펴보기 위하여 반복측정변량분석(repeated measure one-way ANOVA)을 실시하였으며, 사후분석은 LSD 방법을 사용하였다. 또한, 충격 및 족저압력 변인과 착화감 결과 간에 관련정도를 살펴보기 위하여 피어슨의 적률상관계수(Pearson's correlation coefficient)를 사용하였으며, 보행 속도에 상관없이 상관계수를 살펴보았다. 이때, SPSS Ver. 18.0 software (IBM, USA)를 사용하였으며, 유의수준은 $\alpha = .05$로 설정하였다.

3. Results

본 연구는 발바닥 부위별 다른 소재로 제작된 인솔에 대한 생체역학적 검증을 실시하고자 일반 보행(1.3m/s)과 빠른 보행(1.7m/s)을

실시하여 충격력과 부하률, 족저압력을 산출하였으며, 인솔에 대한 사용성을 평가하고자 착화감 평가가 실시되었다.

우선, 1km 편안한 보행 후 착화감 검사를 실시한 결과는 (Table 1)과 같다. 검사 항목 중에서 전족 부위의 쿠셔닝은 A 인솔이 46.1±17.4%, B 인솔이 59.3 ± 10.4%, C 인솔이 50.1±22.5%로 나타남에 따라 F=3.391, p=.044 수준에서 통계적인 차이를 보였으며, 사후분석에서는 B 인솔이 A 인솔에 비하여 통계적으로 높게 나타났다(p<.05). 또한 전반적인 착화감은 A 인솔이 54.5±20.2%, B 인솔이 67.2±12.6%, C 인솔이 65.4±17.1%로 나타남에 따라 F=3.250, p=.050 수준에서 통계적인 차이를 보였으며, 사후분석에서는 B와 C 인솔이 A 인솔에 비하여 통계적으로 높게 나타났다(p<.05).

Table 1. Descriptive information for comfort test

No.	Question	A insole	B insole	C insole	F	p	Post-hoc
1	Forefoot width	57.5±13.6	61.6±12.6	59.2±18.1	.519	.599	–
2	Forefoot cushioning	46.1±17.4	59.3±10.4	50.1±22.5	**3.391**	**.044**	**b > a**
3	Heel width	61.1±14.8	61.2±15.9	68.1±10.7	1.765	.185	–
4	Heel cushioning	63.2±21.8	62.8±16.8	68.5±17.0	.758	.476	–
5	Heel cup fit (Stability)	58.0±23.3	60.6±17.6	65.2±19.7	.576	.567	–
6	Overall comfort	54.5±20.2	67.2±12.6	65.4±17.1	**3.250**	**.050**	**b, c > a**

두 번째로, 보행 시 오른발 지지 구간에서 나타난 충격량과 평균 충격력, 수직 지면반력 초기 최대값, 부하율은 (Table 2-3)과 같다. 일반 보행(1.3m/s)과 빠른 보행(1.7m/s)에서 평균 충격력과 수직 지면반력 초기 최대값, 부하율은 A 인솔이 B, C 인솔에 비하여 크게 나타났으나 인솔 간에 통계적인 차이는 없었다.

Table 2. Descriptive information for impulse variables during walking of 1.3m/s

Variables	A insole	B insole	C insole	F	p	Post-hoc
Impulse (kgm/s/BW)	0.12±0.02	0.12±0.02	0.11±0.02	.658	.524	–
Mean impact force (N/BW)	0.65±0.05	0.63±0.09	0.62±0.07	.972	.387	–
V_GRF peak (N/BW)	1.05±0.09	1.03±0.15	1.02±0.12	.487	.618	–
Loading rate (%)	6.08±0.89	5.93±0.63	6.02±0.84	.707	.499	–

Table 3. Descriptive information for impulse variables during walking of 1.7m/s

Variables	A insole	B insole	C insole	F	p	Post-hoc
Impulse (kgm/s/BW)	0.11±0.02	0.11±0.02	0.11±0.02	.101	.904	–
Mean impact force (N/BW)	0.75±0.06	0.72±0.09	0.73±0.05	2.181	.127	–
V_GRF peak (N/BW)	1.20±0.08	1.16±0.13	1.18±0.06	1.569	.221	–
Loading rate (%)	8.78±1.46	8.36±1.35	8.44±1.43	2.615	.086	–

세 번째로, 보행 시 오른발 지지 구간에서 나타난 족저압력 최대값과 전족, 중족, 후족 부위의 평균 압력값은 (Table 4-5)와 같다. 일반 보행(1.3m/s)과 빠른 보행(1.7m/s)에서 족저압력 최대값과 전족, 후족 부위의 평균 압력값은 인솔 간에 통계적인 차이가 없었다. 그러나 중족 부위의 평균 압력값은 일반 보행(1.3m/s)에서 A 인솔이 23.02±11.34kpa, B 인솔이 31.87±13.78kpa, C 인솔이 30.83±12.86kpa로 나타났으며, 빠른 보행(1.7m/s)에서 A 인솔이 25.18±12.87kpa, B 인솔이 31.50±8.61kpa, C 인솔이 28.55±13.91kpa로 나타났다. 이때, 일반 보행(1.3m/s)에서만 F=4.695, p=.015 수준에서 통계적인 차이를 보였으며, 사후분석에서는 B와 C 인솔이 A 인솔에 비하여 통계적으로 크게 나타났다(p<.05).

마지막으로, 착화감 결과와 운동역학적 변인 간의 상관관계는 (Table 6)과 같다. A 인솔과 운동역학적 변인 간의 상관계수는 전족 부위의 평균 압력값과 r=.340, p=.032 수준에서 약한 정도의 정적상관관계가 나타났다. 또한, B 인솔과 운동역학적 변인 간의 상관계수는

Table 4. Descriptive information for pressure variables during walking of 1.3m/s

Variables	A insole	B insole	C insole	*F*	*p*	Post-hoc
Peak pressure (kpa)	167.25±43.95	172.30±43.47	171.03±30.09	.138	.872	–
Forefoot mean pressure (kpa)	52.75±21.17	49.83±22.26	52.88±15.96	.222	.802	–
Midfoot mean pressure (kpa)	23.02±11.34	31.87±13.78	30.83±12.86	**4.695**	**.015**	**b, c > a**
Rearfoot mean pressure (kpa)	105.40±18.13	105.22±18.39	103.77±18.78	.215	.807	-

Table 5. Descriptive information for pressure variables during walking of 1.7m/s

Variables	A insole	B insole	C insole	*F*	*p*	Post-hoc
Peak pressure (kpa)	225.16±79.84	224.49±41.68	235.29±68.76	.197	.822	–
Forefoot mean pressure (kpa)	47.05±17.34	44.56±18.15	45.69±21.01	.160	.853	–
Midfoot mean pressure (kpa)	25.18±12.87	31.50±8.61	28.55±13.91	1.943	.157	–
Rearfoot mean pressure (kpa)	127.27±23.11	128.96±20.54	127.55±20.09	.182	.834	–

Table 6. Descriptive information for pearson's correlation coefficient between comfort and kinetical variables

Variables	Overall comfort of A insole		Overall comfort of b insole		Overall comfort of C insole	
	r	*p*	*r*	*p*	*r*	*p*
Impulse	-.052	.750	.311	.051	.242	.132
Mean impact force	-.106	.516	.287	.073	-.119	.465
V_GRF peak	-.106	.516	.192	.236	-.162	.318
Loading rate	-.015	.927	-.068	.676	**-.316***	**.047**
Peak pressure	-.017	.916	.308	.053	.056	.733
Forefoot mean pressure	**.340***	**.032**	.177	.273	.083	.612
Midfoot mean pressure	.232	.150	**.440***	**.004**	.036	.827
Rearfoot mean pressure	-.108	.505	-.053	.745	.051	.756

*Indicates statistically significant difference p < .05

중족 부위의 평균 압력값과 r=.440, p=.004 수준에서 중간 정도의 정적상관관계가 나타났다. 그리고 C 인솔과 운동역학적 변인 간의 상관계수는 부하율과 r=-.316, p=.047 수준에서 약한 정도의 부적상관관계가 나타났다.

4. Discussion

본 연구는 발바닥 부위별 다른 소재로 제작된 인솔에 대한 생체역학적 검증과 사용성을 평가하기 위하여 실시되었다. 이를 위하여 일반 보행(1.3m/s)과 빠른 보행(1.7m/s)에서 오른발 지지 구간에서 나타나는 충격량과 평균 충격력, 수직 지면반력 초기 최대값, 부하율, 족저압력 최대값, 전족, 중족 후족 부위의 평균 압력값을 산출하였다. 또한, 인솔 차이에 따른 착화감을 평가하고 보행 실험 시 산출되는 충격 흡수 관련 변인과의 관련성을 분석함에 따라 인솔의 기능적 효과를 살펴보고자 하였다.

우선, 1km 편안한 보행 후 착화감 검사를 실시한 결과를 살펴보면, 전족 부위의 쿠션에 대한 착화감은 B 인솔이 A 인솔에 비하여 높게 나타났으며, 전반적인 착화감은 B와 C 인솔이 A 인솔에 비하여 높게 나타났다. 이것은 착지 구간의 충격 흡수 기능이 요구되는 후족 부위, 아치 지지 기능이 요구되는 중족 부위, 추진 구간의 효율성이 요구되는 전족 부위와 같이 발바닥 부위별 기능에 따라 인솔 소재를 변화시킨 B와 C 인솔의 착화감이 A 인솔에 비하여 좋은 것으로 판단되며, 발바닥 부위별 인솔 소재의 변화와 최적화가 필요하다고 언급한 본 연구의 목적에 부합하는 결과라 사료된다.

두 번째로, 보행 시 오른발 지지 구간에서 나타난 충격량과 평균 충격력, 수직 지면반력 초기 최대값, 부하율은 인솔 간에 통계적인 차이가 없었다. 인솔 유무 간의 비교를 통하여 인솔의 충격 흡수 기능을 검증하기 위한 선행연구(Jin and Shin, 2007; Marshall et al., 2000; Shin and Jin, 2006)에서는 인솔의 충격력과 부하율, 수직 지면반력을 감소시키는데 긍정적인 영향을 미친다고 보고되어 왔다. 그러나 인솔 유형 간에 충격 흡수 기능을 비교한 선행연구(Chae et al., 2012; Chae and Jung, 2015; Eun et al., 2007; Park et al., 2011)에서는 충격 관련 변인은 물론 수직 지면반력과 족저압력 변인에 대한 통계적인 차이가 나타나지 않았다. 위 선행연구와 같이 본 연구에서 인솔 유형 간에 충격 관련 변인이 통계적으로 차이가 나타나지 않은 것은 인솔의 미세한 차이가 인체에 전달되는 충격 관련 변인을 크게 변화시키지는 못한다고 판단된다. 그럼에도 불구하고 보행 및 달리기와 같이 반복적인 충격이 장시간 지속되면, 미세한 충격도 만성적 상해와 손상으로 이어질 가능성이 있다고 보고되었으며(Chen et al., 2003; Garner et al., 1988), 장시간 보행으로 하지 손상의 위험성이 제기되었다(Clement et al., 1984). 이러한 선행연구와 같이 통계적인 차이는 나타나지 않았지만 B와 C 인솔은 A 인솔에 비하여 착지 구간에서 충격력과 수직 지면반력, 부하율이 작게 나타나는 경향을 보임에 따라 A 인솔 착용은 반복적인 충격으로 인한 상해 위험에 노출되어 있다고 판단된다. 그리고 이것은 충격 흡수 소재와 반발탄성 소재를 섞어 인솔 바닥 전체에 골고루 기능을 적용하는 것보다는 발바닥 부위별 기능에 따라 후족 부위에는 충격 흡수 기능에 특화되어 있는 소재로 제작하는 것이 바람직하다고 사료된다. 이와 더불어 C 인솔에 대한 전반적인 착화감과 C 인솔의 부하율 간에 r=-.316으로 약한 정도의 부적상관관계가 나타남에 따라 C 인솔의 경우 부하율과 전반적인 착화감은 관련성이 있다고 판단된다.

세 번째로, 보행 시 오른발 지지 구간에서 나타난 족저압력 결과를 살펴보면, 족저압력 최대값과 전족, 후족 부위의 평균 압력값은 인솔 간에 통계적인 차이가 없었으나 중족 부위의 평균 압력값은 1.3m/s 속도에서만 B와 C 인솔이 A 인솔에 비하여 크게 나타났다. 이것은 중족 부위에 경도가 높은 스펀지와 EVA를 사용하여 제작된 B와 C 인솔의 특성으로 인한 결과라 판단된다. 보행 시 아치 지지 기능이 내재된 인솔을 사용하는 것은 중족 부위에 압력을 증가시키면서 아치를 지지하는데 긍정적인 역할을 한다고 판단되지만, 후족 부위의 압력은 감소되지 않아 압력 분산 과정이 원활하게 잘 이루어졌다고 판단하기에는 어렵다. 이와 더불어 B 인솔에 대한 전반적인 착화감과 B 인솔의 중족 부위 족저압력 간에 r=.440으로 중간 정도의 정적상관관계가 나타났다. 이것은 일반적으로 발바닥의 압력이 감소한 인솔을 착용한 경우 사용자의 주관적 편안함의 지수가 높게 나타났다고 보고된 선행연구(Jordan and Bartlett, 1995)와 상반된 결과이지만, 중족 부위의 압력이 크게 나타난 것은 그만큼 아치 지지 기능이 효과적이고 발바닥 전체의 압력이 고르게 분산되었다는 측면에서 전반적인 착화감이 좋게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 보행 시 지지 구간에서 아치를 지지하는데 효과적인 고경도 소재를 사용하여 인솔을 제작하는 것이 유용할 것으로 사료된다.

위 결과를 종합해보면, 후족 부위의 충격 흡수 기능과 중족 부위의 아치 지지 기능, 전족 부위의 추진 기능에 적합한 인솔 소재 변화와 최적화는 생체역학적 기능과 착화감을 위하여 반드시 이루어져야 할 과제이다. 또한, 발바닥 부위별 기능 차이에 따라 인솔 소재 변화를 주었던 B와 C 인솔에 대한 생체역학적 검증과 사용성 평가를 통하여 향후, 인솔 개발에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

5. Conclusion

본 연구는 발바닥 부위별 다른 소재로 제작된 인솔에 대한 생체역학적 검증과 사용성을 평가하기 위하여 실시되었으며, 충격 관련 변인과 족저압력을 분석하였으며, 착화감 검사를 실시하였다. 그 결론은 다음과 같다.

첫째, 전족 부위의 쿠셔닝에 대한 착화감은 B 인솔이 A 인솔에 비하여 높게 나타났으며(p<.05), 전반적인 착화감은 B와 C 인솔이 A 인솔에 비하여 높게 나타났다(p<.05). 둘째, 평균 충격력과 수직 지면반력 초기 최대값, 부하율은 A 인솔이 B, C 인솔에 비하여 크게 나타났으나 인솔 간에 통계적인 차이는 없었다. 셋째, 중족 부위의 평균 압력값은 B와 C 인솔이 A 인솔에 비하여 통계적으로 크게 나타났다(p<.05).

위 결과를 토대로 살펴보면, 발바닥 전체에 같은 소재로 제작한 기존의 인솔에 비하여 발바닥 부위별 기능에 따라 소재와 경도의 변화를 주어 제작한 인솔이 착화감과 충격 흡수 기능에서 긍정적인 결과를 보였다. 특히, 중족 부위 소재의 경도를 높이는 것이 아치를 효과적으로 지지하는 것은 물론 발바닥 전체의 압력을 고르게 분산시킴에 따라 전체적인 착화감에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 인솔 개발에 있어 발바닥 부위별 소재 및 경도 변화가 요구되며, 뒤꿈치의 충격 흡수 기능 소재와 중족 부위의 고경도 소재 사용이 필요하다고 판단된다.

Acknowledgements

본 연구 수행에 도움을 주신 프로스펙스 대표이사 문성준, 상품기획담당 노영찬 이하 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

Alex, M. and Henderson, A.T., Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) Copolymers: A General Review. *IEEE Electrical Insulation Magazine*. January/February 9(1), 1993.

Cavanagh, P.R. and Lafortune, M.A., Ground reaction forces in distance running. *Journal of Biomechanics*, 13, 397-406, 1980.

Chae, W.S. and Jung, J.H., Effects of wearing carbon nanotube-based insole on resultant joint moment and muscle activity of the lower extremity during drop landing. *Korean Journal of Sport Science*, 26(3), 479-487, 2015.

Chae, W.S., Jung, J.H. and Lee, H.S., Biomechanical analysis of wearing carbon nanotube-based insole during drop landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 22(4), 429-435, 2012.

Chen, H., Nigg, B.M. and de Koning, J.J., Relationship between plantar pressure distribution under the foot and insole comfort. *Clinical Biomechanics*, 9(6), 335-341, 1994.

Chen, W.P., Ju, C.W. and Tang, F.T., Effects of total contact insoles on the plantar stress redistribution: a finite element analysis. *Clinical Biomechanics*, 25, 265-270, 2003.

Clement, D.B., Taunton, J.E., Smart, G.W. and McNico, K.L., A survey of overuse running injury. *Physician Sports Medicine*, 9, 47-58, 1984.

Eng, J. and Pierrynowski, M.R., The effect of soft foot orthotics on three-dimensional lower-limb kinematics during walking and running. *Physical Theraphy*, 74(9), 836-844, 1994.

Eun, S.D., Yu, Y.J. and Shin, H.S., The effects of gel-type insole on patients with knee osteoarthritis during gait. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(3), 181-188, 2007.

Garner, L.I., Dziados, J.E. and Jone, B.H., Prevention of lower extremity stress fractures; A controlled trial of a shock absorbent insole. *American Journal of Public Health*, 78, 1563-1567, 1988.

Henning, E.M., Valiant, G.A. and Liu, Q., *Relationships between perception of cushioning and pressure distribution parameters in running shoes*. In: Biomechanics XIV Congress. Paris, 1993.

Henning, E.M., Valiant, G.A. and Liu, Q., Biomechanical variables and the perception of cushioning for running in various types of footwear. *Journal of Applied Biomechanics*, 12(2), 143-150, 1996.

Janisee, D.J., Indications and perspections for orthoses in sports. *Orthopedic Clinics of North America*, 25(1), 95-107, 1994.

Jeong, B.Y. and Hah, H.B., The Change of the Foot Pressure According to the Material and Height of the Shoe Insole during Exercises. *Korea Sport Research*, 15(1), 911-924, 2004.

Jin, Y.W. and Shin, S.H., The biomechanical comparison for running shoes according to the difference of insole. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(2), 51-59, 2007.

Jordan, C. and Bartlett, R., Pressure distribution and perceived comfort in casual footwear. *Gait & Posture*, 3, 215-220, 1995.

Kim, C.S., *A study on the eva material hardness effect to the balance and cushion in case of standing and walking*. Doctor's thesis, Graduate School of Dongseo University, 2008.

Kim, E.H., Cho, H.K., Jung, T.W., Kim, S.S. and Chung, J.W., The biomechanical evaluation of functional insoles. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(3), 345-353, 2010.

Lee, J.S., Kim, D.H., Jung, B.W., Han, D.W. and Park, D.M., The effects of the height and the quality of the material of popular heel-up insole on the mean plantar foot pressure during walking. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(4), 479-486, 2011.

Mann, R.A., *Biomechanics in Running. In Symposium on the Foot & Leg in Running Sports*, R. P. Mack (ed.) St. Louis: The C.V. Mosby, 1980.

Marshall, R.N., Hreljac, A. and Hume, P.A., Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(9), 1635-1641, 2000.

McPoil, T.G. and Cornwall, M.W., Rigid versus soft orthoses. *Journal of American Podiatric, Medical Association*, 81(2), 638-642, 1991.

Moon, G.S., The kinematic analysis of the ankle joint and EMG analysis of the lower limbs muscle for the different walking speed. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(1), 177-195, 2005.

Mummolo, C., Mangialardi, L. and Kim, J.H., Quantifying dynamic characteristics of human walking for comprehensive gait cycle. *Journal of Biomechanical Engineering*, 135(9), 91-96, 2013.

Mundermann, A., Stefanyshyn, D.J. and Nigg, B.M., Relationship between footwear comfort of shoe inserts and anthropometric and sensory factors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(11), 2001.

Mundermann, A., Nigg, B.M. and Stefanyshyn, D.J., Development of reliable method to assess footwear comfort during running. *Gait and Posture*, 16, 38-45, 2002.

Mundermann, A., Nigg, B.M., Humble, R.N. and Stefanyshyn, D.J., Consistent immediate effects of foot orthoses on comfort and lower extremity kinematics, kinetics, and muscle activity. *Journal of Applied Biomechanics*, 20, 71-84, 2004.

Nigg, B.M., *Biomechanics of running shoes*. Champaign, IL, Human Kinetics Publishers, 1986.

Park, J.Y., The analysis of muscle activities on the lower limb during wearing functional insole. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(3), 327-336, 2010.

Park, S.B., Lee, K.D., Kim, D.W., Yoo, J.H. and Kim, K.H., Comparative analysis of foot pressure distribution by functional insole to be transformed and restored during walking. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(2), 231-241, 2011.

Radin, E.L., Paul, I.L. and Rose, R.M., Role of mechanical factors in pathogenesis of primary osteoarthritis. *The Lancet*, 4, 519-521, 1972.

Scott, S.H. and Winter, D.A., Internal forces at chronic running injury sites. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(3), 357-369, 1990.

Shin, S.H. and Jin, Y.W., Biomechanical comparison analysis of popular insole and functional insole of running shoes. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 16(3), 9-18, 2006.

Shin, S.H., Lee, H.K. and Kwon, M.S., Correlation between lower extremities joint moment and joint angle according to the different walking speeds. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(2), 75-83, 2008.

Tirosh, O. and Sparrow, W.A., Age and walking speed effects on muscle recruitment in gait termination. *Gait and Posture*, 21, 279 -288, 2005.

Vaughan, C.L., Toit, L.L. and Roffey, M., *Speed of walking and forces acting on the feet*. In: Biomechanics, X-A, B. Jonsson(ed.), Iillinois: Human Kinetics Publishers, 349-354, 1987.

Whittle, M.W., *Gait Analysis: Introduction*. Oxford Orthopaedic Engineering Centre: University of Oxford, 1990.

Windle, C.M., Gregory, S.M. and Dixon, S.J., The shock attenuation characteristics of four different insoles when worn in a military boot during running and marching. *Gait & Posture*, 9(1), 31-37, 1999.

Yoo, C.I., Jeon, K.H., Won, Y. and Kim, J.J., Biomechanical Evaluation of Trekking Shoes using 3D Bootie Method as Mimics Barefoot Form. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 16(7), 4689-4696, 2015.

Yoo, S.H., Gil, H.J., Kim, J.B., Ryu, J.S., Yoon, S.H. and Park, S.K., The optimization of the number and positions of foot pressure sensors to develop smart shoes. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 36(5), 395-409, 2017.

Yoo, S.H., Kim, J.B., Ryu, J.S., Yoon, S.H. and Park, S.K., Comparative analysis of gait parameters and symmetry between preferred walking speed and walking speed by using the froude number. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 26(2), 221-228, 2016.

Zhang, S., Paquette, M.R., Milner, C.E., Westlake, C., Byrd, E. and Baumgartner, L., An unstable rocker-bottom shoe alters lower extremity biomechanics during level walking. *Footwear Science*, 4(3), 243-253, 2012.

Author listings

Sihyun Ryu: hope222ysh@daum.net
Highest degree: Ph. D
Position title: Researcher
Areas of interest: Biomechanics, Taekwondo

Hojong Gil: gilhojong@knsu.ac.kr
Highest degree: Ph. D
Position title: Researcher
Areas of interest: Biomechanics, Track and field

Sejin Kong: sjkong@lsnetworks.com
Highest degree: Ph. D
Position title: Director of Research and Development
Areas of interest: Biomechanics / Sports footwear, apparel and equipment

Yongsuk Choi: yschoi@lsnetworks.com
Highest degree: MS
Position title: Researcher
Areas of interest: Biomechanics / Sports footwear, apparel and equipment

Jiseon Ryu: jiseon@knsu.ac.kr
Highest degree: Ph. D
Position title: Professor, Department of Health and Exercise Science, College of Lifetime Sport of Korea National Sport University
Areas of interest: Biomechanics

Sukhoon Yoon: sxy134@knsu.ac.kr
Highest degree: Ph. D
Position title: Professor, Department of Community Sport, College of Lifetime Sport of Korea National Sport University
Areas of interest: Biomechanics

Sang Kyoon Park: spark@knsu.ac.kr
Highest degree: Ph. D
Position title: Professor, Department of Physical Education, College of Sport Science of Korea National Sport University
Areas of interest: Biomechanics

Appendix

신발 착화감 검사지 (인솔)

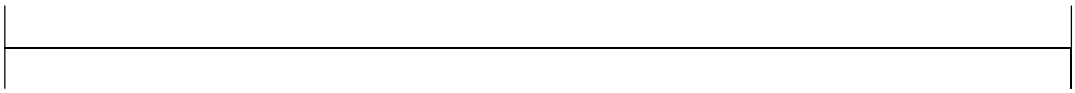
이름 :

신발 종류:

이 검사지는 현재 개발 중인 신발의 착화감을 검사하는 설문지입니다. 설문 문항은 다음과 같습니다.

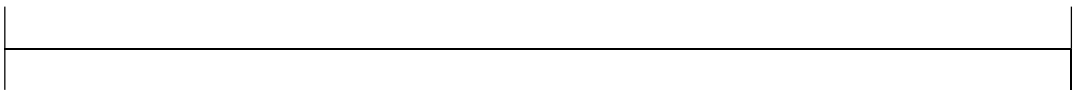
앞꿈치 너비(Forefoot Width): 앞꿈치 부위의 너비는 적절한가?
앞꿈치 쿠션(Forefoot Cushioning): 앞꿈치 부위가 부드러운가?
뒤꿈치 너비(Heel Width): 뒤꿈치 부위의 너비는 적절한가?
뒤꿈치 쿠션(Heel Cushioning): 뒤꿈치 부위가 부드러운가?
뒤꿈치 편안함(Heel Cup fit): 뒤꿈치 부위를 흔들리지 않게 잘 잡아주는가?
전체적인 편안함(Overall Comfort): 신발의 전체적인 느낌이 편안한가?

앞꿈치 너비



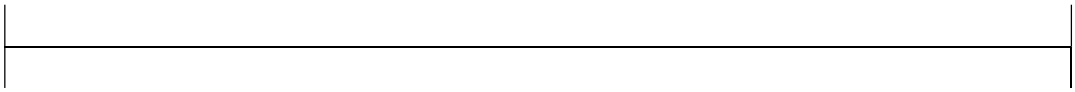
전혀 편안하지 않다. 가장 편안하다.

앞꿈치 쿠션



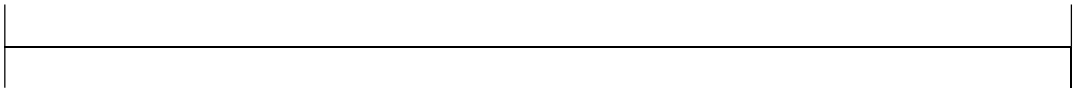
전혀 편안하지 않다. 가장 편안하다.

뒤꿈치 너비



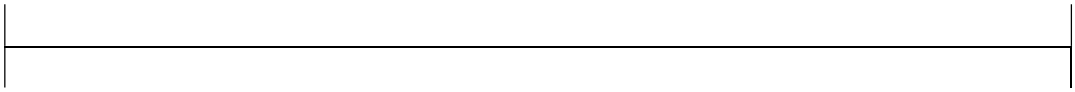
전혀 편안하지 않다. 가장 편안하다.

뒤꿈치 쿠션



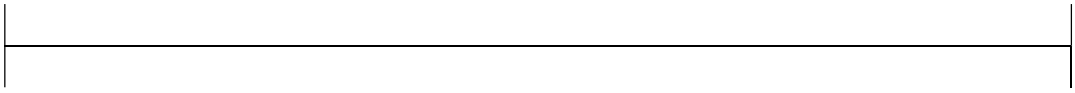
전혀 편안하지 않다. 가장 편안하다.

뒤꿈치 편안함



전혀 편안하지 않다. 가장 편안하다.

전체적인 편안함



전혀 편안하지 않다. 가장 편안하다.