

보행 시 변형 및 복원이 가능한 인솔에 대한 족저압력 비교 분석

박승범¹ · 이경득¹ · 김대웅¹ · 유중현¹ · 김경훈¹
¹부산경제진흥원 신발산업진흥센터 성능평가지원팀

Comparative Analysis of Foot Pressure Distribution by Functional Insole to be Transformed and Restored During Walking

Seung-Bum Park¹ · Kyung-Deuk Lee¹ · Dae-Woong Kim¹ · Jung-Hyeon Yoo¹ · Kyung-Hun Kim¹

¹Footwear Biomechanics Team, Footwear Industrial Promotion Center, Busan Economic Promotion Agency, Busan, Korea
Received 25 February 2011; Received in revised from 31 March 2011; Accepted 12 April 2011

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the distribution of foot pressure generated by active materials of a functional insole. Comfort is an important consideration while selecting footwear and insoles. Consequently, it has an influence on injury. The development of new materials for functional insoles is considered one of the more important points for their manufacture. The method adopted in this study is as follows. First, ten healthy males were selected as subjects for the study. Each subject's foot was pre-screened podoscope(Alfoots, Korea) to check for the presence of any foot abnormalities. Two kinds of equipment were used for the study: a foot pressure device from Pedar-X, Germany, and a treadmill from Pulsefitness, UK. Next, each subject was asked to test four types of insoles(insoles of outdoor shoes, indoor shoes, walking shoes, and sports shoes) via walking trials on the treadmill at a constant speed of 4.2 km/h. The pressure distribution data(contact area, maximum force, maximum peak pressure, and maximum mean pressure) was collected using the pressure device at a sampling rate of 100 Hz. Results of the tests showed that all four types of functional insoles increased contact areas with the foot. Further, functional insoles of walking shoes and sport shoes decreased the foot pressure. From these results, we conclude that the active materials of functional insoles of shoes can increase the contact area and provide greater comfort.

Keywords : Four Type Shoes, Functional Insole, Foot Pressure, Contact Area, Multimask

I. 서론

발은 이동을 위한 모든 운동에 가장 기본으로 사용되는 부위로써 인체의 모든 중량을 받쳐주고 소량의 충격흡수기능을 담당한다. 그러나 이동하는 동안 인체의 발과 바닥 사이에는 반복적인 충격력이 발생하고 이는 신체피로, 부상 및 만성질환이 발생하는 원인으로 작용한다(Nigg, Hintzen & Ferber, 2006; Ramanatahn, Kiran, Arnold, Wang & Abboud, 2010).

본 논문은 2009년도 지식경제부 산업원천기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었음(과제번호: 10034744)
Corresponding Author : Seung-Bum Park
Footwear Biomechanics Team, Footwear Industrial Promotion Center, Busan Economic Promotion Agency, 1735-1 Songjeong-Dong, Kangseo-Gu, Busan, Korea
Tel : +82-51-979-1800 / Fax : +82-51-979-1729
E-mail : sbpark@shoenet.org

발의 형태 및 신발의 구조에 따라 수많은 골격근과 신경들이 총괄적으로 반응하며 보행 시 다양한 결과를 보이고 있다(Mohsen & Mark, 2002; Williams, McClay & Hamill, 2001). 주행(running)과 보행(walking) 시 가장 중요한 역할을 하는 발을 보호하고 효율적인 이동과 자세유지를 지지하는 기능을 하는 도구로 사용되는 신발은 인솔과 함께 이동 시 발생하는 신체 및 발의 피로와 통증을 줄이기 위한 목적으로 사용된다. 그러나 신발 및 인솔은 충격을 흡수하여 신체 및 관절을 보호하고 부상을 예방하는 역할을 하지만, 충격을 흡수하는 기능이나 안정성이 미비할 경우 이동의 불편함을 초래하고 과내·외전등과 같은 보행동작의 비정상적인 형태를 발생시켜, 아킬레스 건, 인대, 발목 등 하지 관절 및 신체에 직접적인 손상이 발생된다(Dixon, Collop & Batt, 2000; Hennig, Valiant & Liu, 1996; Hreljac, Marshall & Hume, 2000; Nigg, 1986; Nigg, Hintzen & Ferber, 2006; Windle,

Gregory & Dixon, 1999; Stewart et al., 2009).

보행은 발뒤꿈치 접지기에서부터 발바닥 전체 그리고 발끝으로 이어지는 일련의 상호작용을 통해 나타나는 발뒤꿈치 접지기의 충격력 및 회족 제어력, 족저압력분포 등에 관한 연구가 다양하게 진행되어오고 있다(Nigg, Stefanyshyn, Cole & Boyer, 2005). 기능성 신발 및 인솔을 개발하는데 핵심적인 중요한 특성으로 작용하는 요소 중 피팅성(fitting), 안정성(stability) 및 쾌적성(comfort)은 신발의 편안함을 느끼는 감성적 측면에서 매우 중요한 부분이다. 기능성의 측면을 만족시켜주기 위해 다양한 경도, 디자인을 접목시켜 기능적인 측면이 강조된 다양한 신발 및 인솔이 연구되어 활용되고 있다(Kim, Cho, Jung, Kim & Chung, 2010; Ko, Choi, Kim, Roh & Lee, 2004). 그러나 진행된 대부분의 연구는 현재 가장 보편화되어 사용되고 있는 EVA 또는 PU 소재에 국한되어 경도 및 디자인 변화를 통해 기능성 향상 연구가 실시되어 활용되고 있다(Jeong & Hah, 2004; Park, 2004, 2006; Park, 2010). 또한 소재의 변화에 따라 인솔의 경도가 변하게 된다. 이러한 인솔이나 중저(midsole)의 경도 변화에 따른 연구는 다양하게 이루어져 왔으나(Lee & Kim, 2009; Lee, Lee, Oh & Kim, 2007; Lee & Oh, 2005), 경도뿐만 아니라 다양한 물성이 변하게 되는 새로운 소재를 접목한 신발에 대한 생체역학적 연구는 미흡한 실정이다. 또한, 편안함의 가장 기본이 되는 충격흡수 기능은 기존의 수동형 소재로는 이러한 특성을 만족시키는데 한계가 있다. 이에 다양한 인솔의 경도의 조합, 소재 그리고 형태들로 많은 연구들이 진행되었다(Brown, Wersch, Harris, Klein & Janisse, 2004; Burns, Keenan & Redmond, 2005; Kanatli, Yetkin & Yalcin, 2003; Stewart, Gibson & Thomson, 2007).

다양한 기술을 접목시킨 기능을 효과적으로 적용하기 위해서는 원천기술 및 핵심역량의 개발 및 연구가 여러 분야에서 반드시 필요하다. 또한 원천 소재 및 기술의 개발은 실생활에 접목되어 유용한 가치를 가지기 위해 가공기술 및 제품으로의 연계기술 등의 접목이 요구된다. 이러한 기능성에 대한 분석 및 평가연구는 대부분 신발과 인솔의 기능성과 소재연구를 통해 생체역학적 분석(Biomechanical Analysis)과 성능평가를 통해 이루어지고 있다.

이에 본 연구에서는 환경의 특성에 적합하게 감응하여 능동적으로 대응이 가능하도록 개발된 변형 및 복원이 가능한 소재의 기능성 인솔이 신체 부하 및 충격흡수 기능에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보고자 한다. 이에 대표적인 4가지 신발 카테고리의 대표 신발에 적용하여 각 카테고리별 신발에 적용 시 나타나는 족저압력 분포 및 변화를 측정함으로써 개발 인솔의 족저압력 분산효과를 분석하였다. 또한 향후 개발 인솔의 개선 사항과 새로운 인솔 개발을 위한 방향 등을 도출하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 20-30대를 대상으로 실시하였으며 신발 사이즈변화에 따른 변인을 최소화하기 위해 발 사이즈를 265 mm로 동일한 연구대상자를 선정하였다. 또한 1차적으로 족부경 검사를 실시하여 평발등과 같은발의 형태학적변형이 의심되는 연구대상자는 배제하였다(Figure 1). 최종 실험은 1차 족부경 검사를 통과한 연구대상자 중 하지와 발에 통증이나 질병을 경험한 적이 없고, 정상적인 보행 형태를 가지는 일반 성인 10명을 대상으로 실험을 실시하였다.



Figure 1. Podoscopy testing & Foot pressure measurement

연구대상자의 신체적 특성은 <Table 1>과 같이 신장 173 cm(S.D 8.64 cm), 몸무게 73 kg(S.D 8.32 kg) 그리고 평균연령 27 yrs(S.D 5.70 yrs)로 나타났다. 모든 연구대상자는 실험 전 실험의 목적과 내용을 확인하고 참가동의서를 작성 후 실험을 실시하였다.

Table 1. General characteristics of the subjects

Subjects (n)	Height (cm)	Weight (kg)	Age (yrs)	<i>(M±SD)</i>
				Shoe size (mm)
10	173±8.64	73±8.32	27±5.70	265

2. 실험도구 및 절차

본 연구에 사용된 개발 인솔의 기능성을 검증하기 위해 족저압력분포 측정을 실시하였으며 연구대상자들은 트레드밀에서 Ryu, Choi, Choi와 Chung(2006)의 연구를 통해 나타난 한국인의 평균일반 보행속도 0.66 m/step을 참고하여 4.2 km/h의 속도로 보행을 실시하였다. 실험에 사용된 신발은 다른 형태와 기능성을 가지는 4가지 카테고리 별 신발을 사용하여 신발과 인솔의 실험 순서는 랜덤으로 착용하여 족저압 데이터를 수집하였다.

1) 족저압력 측정 도구

기존 인솔 및 개발 인솔에 대한 족저압력 측정 장비는 무선 블루투스 형식으로 데이터 전송이 가능한 독일 Novel GmbH사의 Pedar-X Mobile System을 사용하였다. 인솔형태로 신발 내부에 삽입하여 좌우 각각 99개의 압력센서가 있으며, 초당 100 Hz로 보행 시 발생하는 접촉면적, 최대힘, 최대압력 및 최대평균압력 데이터를 수집하였다(Jason & Uwe, 2008).

2) 실험에 사용된 신발

실험에 사용된 인솔의 종류는 다양한 아웃솔 형태 및 기능을 가진 신발에 적용시켜 비교 분석을 실시하기 위해 총 4가지 카테고리별 신발(outdoor shoes, indoor shoes, walking shoes, sport shoes) 인솔에 적용하여 실시하였다. 실험은 각 카테고리별 신발에 기존 인솔(normal insole)을 삽입한 경우와 새로 개발된 변형 및 복원이 가능한 기능성 인솔(new insole)을 삽입한 경우를 비교 평가하였다(Figure 2).

3. 자료 처리

데이터 수집 시 오차를 줄이기 위해 충분한 보행 연습을 실시하였으며, 기존 인솔 및 개발된 기능성 인솔에 대한 족저압력 데이터 수집은 왼발과 오른발의 데이터가 동일하다는 전제 조건하에 트레드밀에서 보행 시 안정화 단계에 이른 후 오른발 12보에 대한 평균값 데이터를 수집하였다. 족저압력 데이터 수집을 위해 각 카테고리별 신발의 용도에 맞도록 <Figure 3>과 같이 마스크(Mask) 영역을 아웃도어 슈즈와 워킹 슈즈의 경우 전족부(M1: forefoot), 중족부(M2: midfoot) 그리고 후족부(M3: rearfoot), 인도어 슈즈의 경우 전족부 외측(M1: lateral forefoot), 전족부 내측(M2: medial forefoot), 중족부(M3: midfoot), 후족부 외측(M4: lateral rearfoot) 그리고 후족부 내측(M5: medial rearfoot), 스포츠 슈즈의 경우 전족부 외측(M1: lateral forefoot), 전족부 내측(M2: medial forefoot), 후족부 외측(M3: lateral rearfoot) 그리고 후족부 내측(M4: medial rearfoot)으로 나누어 분석하였다.

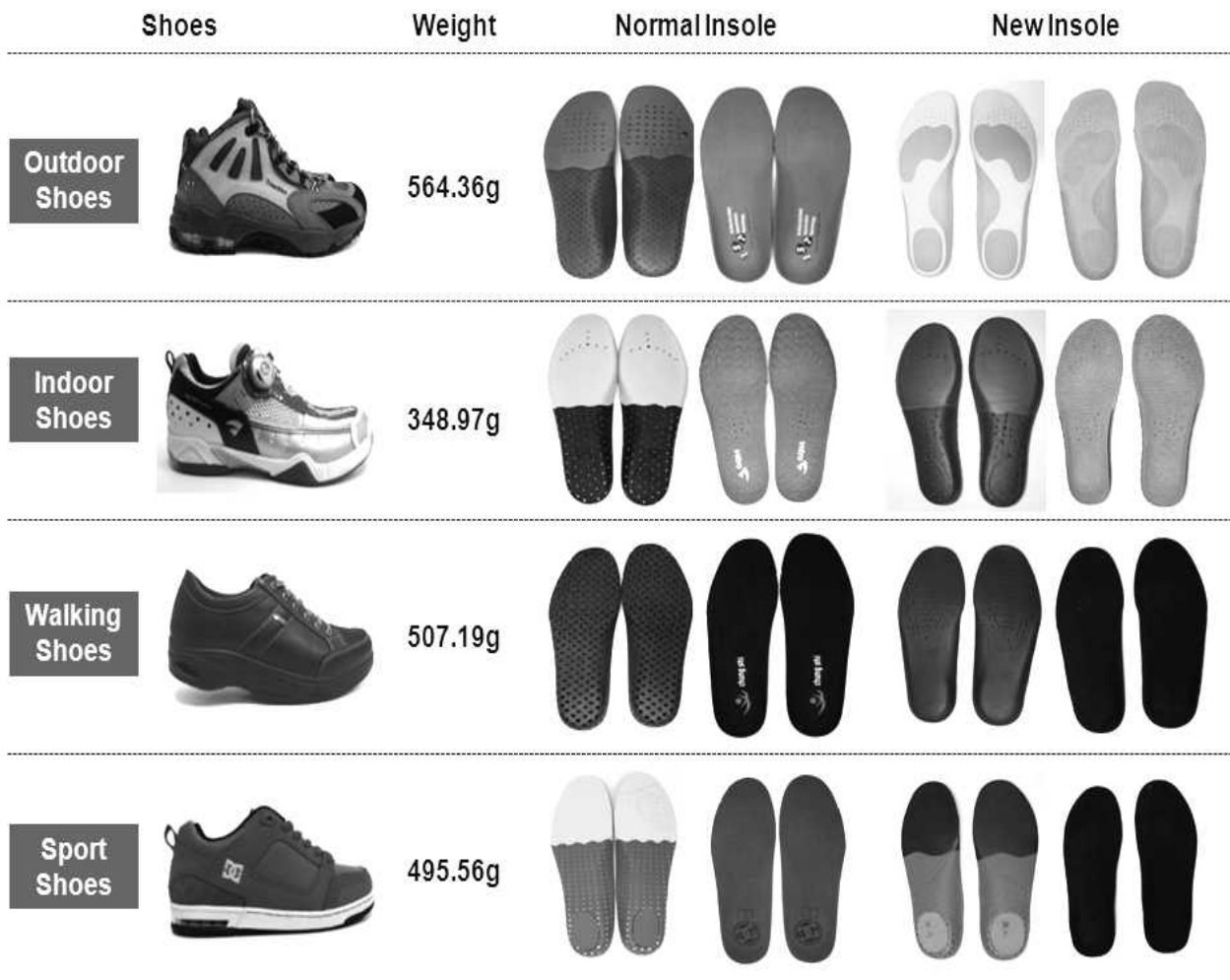


Figure 2. Testing shoes and Functional insole

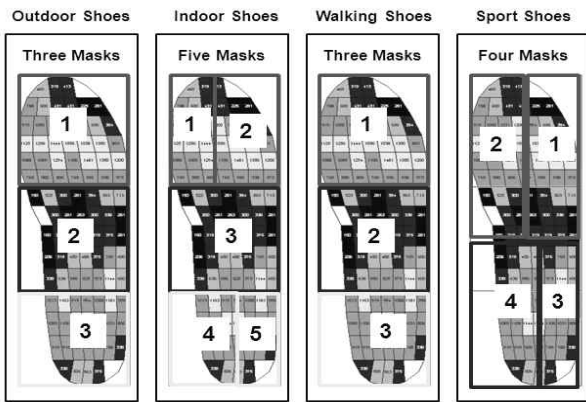


Figure 3. Foot pressure measurement mask

각 마스크 영역별 족저압력 데이터 분석을 위해 novel multimask 20.3.32 프로그램을 이용하여 데이터를 수집하였으며, 데이터 값은 신발 카테고리별 마스크 영역에 대한 접촉면적(area), 최대힘(maximum force), 최대압력(maximum peak pressure), 최대평균압력(maximum mean pressure) 분석을 실시하였다.

4. 통계 처리

각 카테고리별 기존 인솔과 개발 인솔간의 족저압력 분석은 Minitab 15 프로그램을 이용하여 각 신발별 인솔에 따른 유의성을 One-way ANOVA 분석을 통해 검증하였으며 통계적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 하였다.

III. 결과

1. Outdoor shoes 분석결과

1) 접촉면적 분석

아웃도어 슈즈에 적용된 개발 인솔의 접촉면적 분석결과 기능성 인솔이 기존 인솔에 비해 전족부, 중족부, 후족부에서 각각 12.16%(Normal: 48.79 cm², New: 62.30 cm²), 11.44%(Normal: 39.93 cm², New: 50.25 cm²), 2.43%(Normal: 41.36 cm², New: 43.42 cm²) 넓은 접촉면적을 보였으며 전족부의 접촉면적 증가량이 가장 높게 나타났다(Figure 4), <Table 2>. 통계적 유의성은 전족부($p=0.027$)와 중족부($p=0.014$)에서 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$).

2) 최대힘 분석

최대힘 분석결과 전족부와 후족부에서 각각 18.88%(Normal: 435.54 N, New: 638.26 N), 19.19%(Normal: 405.52 N, New:

598.09 N) 증가하여 기존 인솔에 비해 충격흡수 가능성이 낮게 관찰되었다. 중족부에 발생하는 최대힘의 경우 기존 인솔에 비해 -3.38%(Normal: 289.35 N, New: 270.41 N) 감소한 것으로 나타났다(Figure 5), <Table 2>. 통계적 유의성은 전족부($p=0.000$)와 후족부($p=0.041$)에서 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$).

3) 족저압력 분석

최대압력 분석결과 전족부와 후족부에서 각각 27.58%(Normal: 216.50 kPa, New: 381.43 kPa), 0.16%(Normal: 245.29 kPa, New: 246.07 kPa) 증가하여 기존 인솔에 비해 높은 최대압력을 가짐을 알 수 있다. 중족부의 경우 기존 인솔에 비해 -14.54%(Normal: 218.29 kPa, New: 162.86 kPa) 감소한 것으로 나타나 압력분산 효과가 높음을 알 수 있다(Figure 6), <Table 2>. 통계적 유의성은 전족부($p=0.018$)와 중족부($p=0.000$)에서 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$). 최대평균압력 분석결과 전족부와 후족부에서 각각 3.57%(Normal: 90.40 kPa, New: 97.09 kPa), 11.23%(Normal: 105.69 kPa, New: 132.44 kPa) 증가하여 기존 인솔에 비해 높게 나타났으나, 중족부에 발생하는 최대평균압력의 경우 기존 인솔에 비해 -37.46%(Normal: 97.16 kPa, New: 44.20 kPa) 감소한 것으로 나타났다(Figure 7), <Table 2>. 통계적 유의성은 중족부($p=0.000$)에서만 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$).

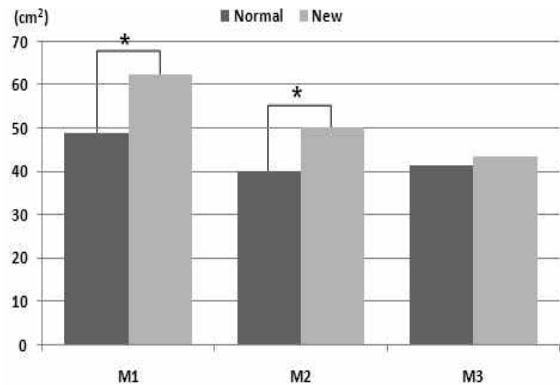


Figure 4. Result for the Contact area(Outdoor shoes)

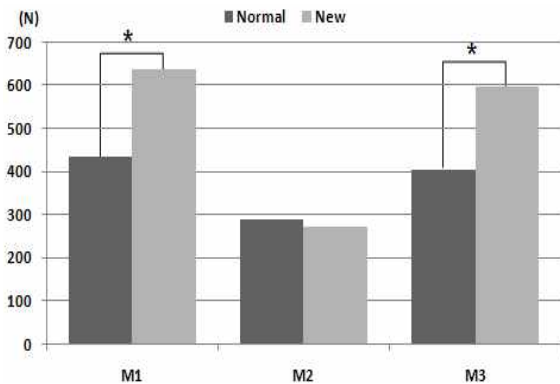


Figure 5. Result for the Maximum force(Outdoor shoes)

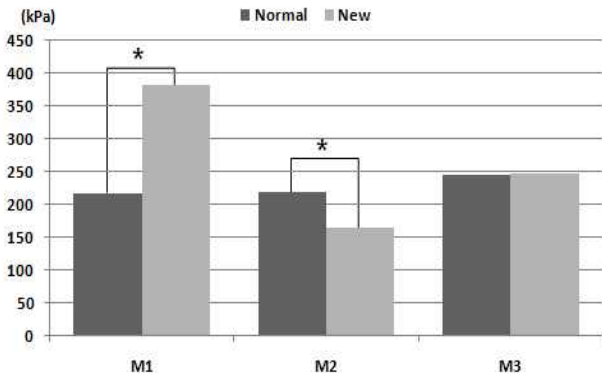


Figure 6. Result for the Maximum peak pressure(Outdoor shoes)

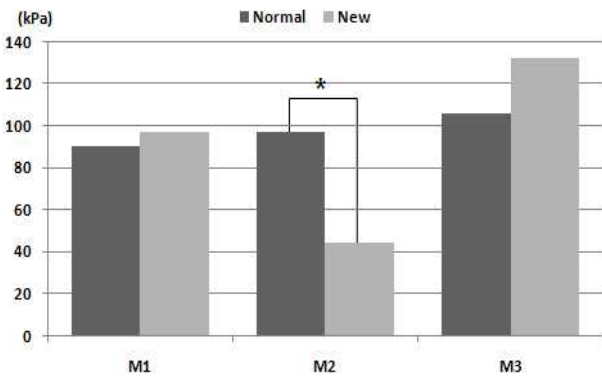


Figure 7. Result for the Maximum mean pressure(Outdoor shoes)

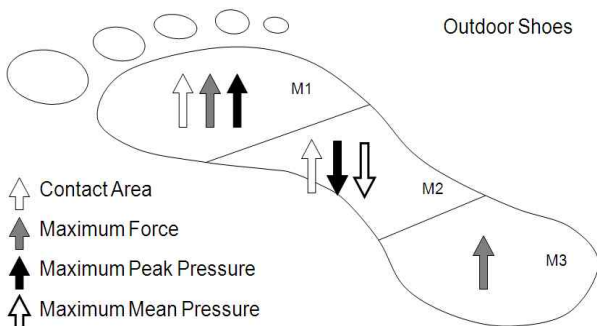


Figure 8. Significant increases(↑) and decreases(↓) of outdoor shoes

2. Indoor shoes 분석결과

1) 접촉면적 분석

인도어 슈즈에 적용된 기존 인솔과 개발 인솔의 접촉면적 분석결과 개발 된 기능성 인솔이 기존 인솔에 비해 전족부 외측, 전족부 내측, 중족부, 후족부 외측 그리고 후족부 내측 모든 부위에서 각각 28.02%(Normal: 20.14 cm², New: 35.82 cm²), 33.66%(Normal: 12.67 cm², New: 25.53 cm²), 42.34%(Normal: 14.90 cm², New: 36.78 cm²), 36.38%(Normal: 13.87 cm², New: 29.73 cm²) 그리고 27.81%(Normal: 13.93 cm², New: 24.66 cm²)

넓은 접촉면적을 보였다(Figure 9), <Table 2>. 통계적 유의성은 중족부($p=0.14$)에서만 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$).

2) 최대힘 분석

인도어 슈즈의 착용에 따른 기존 인솔과 개발 인솔의 최대힘 분석결과 전족부 외측, 전족부 내측, 중족부, 후족부 외측 그리고 후족부 외측 모든 부위에서 각각 27.20%(Normal: 178.49 N, New: 311.86 N), 32.84%(Normal: 162.79 N, New: 322.01 N), 47.86%(Normal: 73.54 N, New: 208.57 N), 41.99%(Normal: 126.19 N, New: 308.89 N) 그리고 21.14%(Normal: 140.60 N, New: 215.96 N) 증가하는 것으로 나타났으며, 모두 개발 인솔에서 최대힘이 높게 나타났으나, 유의한 차이는 없었다(Figure 10)(Table 2).

3) 족저압력 분석

인도어 슈즈의 착용에 따른 기존 인솔과 개발 인솔의 최대 압력 분석결과 전족부 외측, 전족부 내측, 중족부, 후족부 외측 그리고 후족부 외측 모든 부위에서 각각 19.13%(Normal: 146.57 kPa, New: 215.91 kPa), 23.69%(Normal: 142.25 kPa, New: 230.59 kPa), 56.89%(Normal: 58.53 kPa, New: 213.00 kPa), 13.48%(Normal: 138.28 kPa, New: 181.38 kPa) 그리고 14.36%(Normal: 131.72 kPa, New: 175.91 kPa) 증가하여 기존 인솔에 비해 모든 부위에서 높은 최대압력을 가짐을 알 수 있다(Figure 11), <Table 2>. 통계적 유의성은 중족부($p=0.047$)에서만 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$).

최대평균압력 분석결과 전족부 외측, 전족부 내측, 중족부, 후족부 외측, 후족부 외측 모든 부위에서 각각 23.40%(Normal: 57.16 kPa, New: 92.08 kPa), 29.25%(Normal: 70.53 kPa, New: 128.85 kPa), 38.54%(Normal: 29.10 kPa, New: 65.60 kPa), 17.86%(Normal: 72.96 kPa, New: 104.69 kPa) 그리고 5.58%(Normal: 84.34 kPa, New: 94.30 kPa) 증가하여 기존 인솔에 비해 모든 부위에서 높은 최대 평균압력을 보인다(Figure 12), <Table 2>. 중족부($p=0.045$)에서 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$).

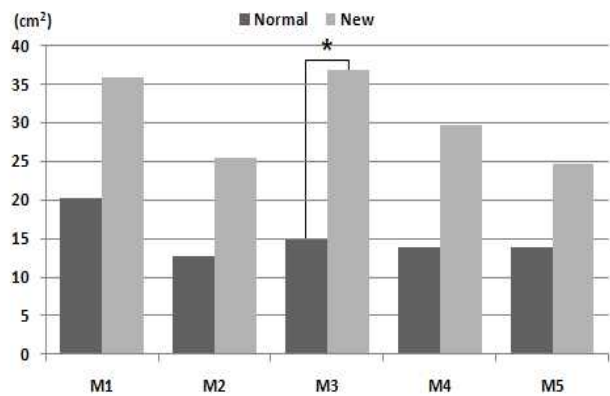


Figure 9. Result for the Contact area(Indoor shoes)

Table 2. The statistical difference of the average values(Mean±SD) of the contact area and foot pressure

Shoes	Mask	Contact area(cm ²)			Maximum force(N)			Maximum peak pressure(kPa)			Maximum mean pressure(kPa)		
		Normal	New	p-value	Normal	New	p-value	Normal	New	p-value	Normal	New	p-value
Outdoor shoes	M1	48.79 ±1.94	62.30 ±2.14	0.027*	435.54 ±31.09	638.26 ±21.48	0.000*	216.50 ±11.87	381.43 ±10.14	0.018*	90.40 ±3.78	97.09 ±1.48	0.219
	M2	39.93 ±1.46	50.25 ±0.94	0.014*	289.35 ±16.33	270.41 ±17.49	0.156	218.29 ±26.64	162.86 ±22.58	0.000*	97.16 ±6.59	44.20 ±7.81	0.000*
	M3	41.36 ±0.73	43.42 ±0.48	0.105	405.52 ±18.23	598.09 ±19.22	0.041*	245.29 ±15.94	246.07 ±12.11	0.718	105.69 ±5.92	132.44 ±4.33	0.324
	M1	20.14 ±16.16	35.82 ±14.18	0.124	178.49 ±160.90	311.86 ±154.14	0.188	146.57 ±122.00	215.91 ±134.18	0.181	57.16 ±41.07	92.08 ±51.26	0.513
	M2	12.67 ±11.60	25.53 ±18.21	0.214	162.79 ±150.80	322.01 ±148.18	0.079	142.25 ±130.40	230.59 ±154.74	0.413	70.53 ±65.35	128.85 ±84.98	0.612
Indoor shoes	M3	14.90± 13.91	36.78 ±18.54	0.014*	73.54 ±69.58	208.57 ±71.99	0.144	58.53 ±54.25	213.00 ±121.12	0.047*	29.10 ±26.81	65.60 ±51.11	0.045*
	M4	13.87 ±9.00	29.73 ±10.18	0.152	126.19 ±101.20	308.89 ±100.01	0.412	138.28 ±87.16	181.38 ±100.17	0.142	72.96 ±30.00	104.69 ±42.14	0.551
	M5	13.93 ±6.78	24.66 ±4.78	0.222	140.60 ±106.90	215.96 ±121.34	0.357	131.72 ±84.34	175.91 ±94.35	0.223	84.34 ±38.59	94.30 ±40.81	0.142
	M1	54.98 ±1.38	62.69 ±1.00	0.047*	567.55 ±33.22	666.62 ±32.11	0.049*	230.16 ±18.10	271.11 ±14.87	0.133	105.23 ±4.83	101.44 ±4.14	0.614
	M2	36.31 ±1.35	59.03 ±1.45	0.000*	179.95 ±13.03	354.69 ±18.14	0.000*	116.30 ±21.64	153.06 ±20.03	0.284	53.64 ±6.31	57.97 ±5.97	0.815
Walking shoes	M3	43.26 ±0.67	45.16 ±0.48	0.089	475.22 ±34.02	483.53 ±40.17	0.418	214.18 ±13.99	159.72 ±18.12	0.033*	116.00 ±7.63	107.07 ±7.18	0.797
	M1	37.71 ±0.91	42.72 ±0.88	0.000*	372.52 ±33.68	263.42 ±14.15	0.044*	218.54 ±8.56	161.42 ±8.11	0.021*	109.10 ±9.40	68.69 ±9.47	0.012*
	M2	42.57 ±1.71	49.92 ±1.48	0.081	424.21 ±48.28	501.17 ±42.18	0.064	202.29 ±7.62	248.43 ±7.04	0.044*	106.08 ±10.06	117.27 ±18.48	0.614
	M3	26.88 ±0.05	31.35 ±0.04	0.024*	271.04 ±14.30	295.97 ±14.33	0.255	233.75 ±10.37	184.59 ±10.14	0.039*	103.37 ±5.06	97.95 ±4.12	0.181
Sport shoes	M4	20.07 ±1.28	36.40 ±1.11	0.000*	263.42 ±14.15	292.39 ±17.11	0.328	215.73 ±10.39	180.78 ±10.33	0.042*	139.79 ±7.51	98.65 ±4.11	0.034*

* M±SD, *p<.05

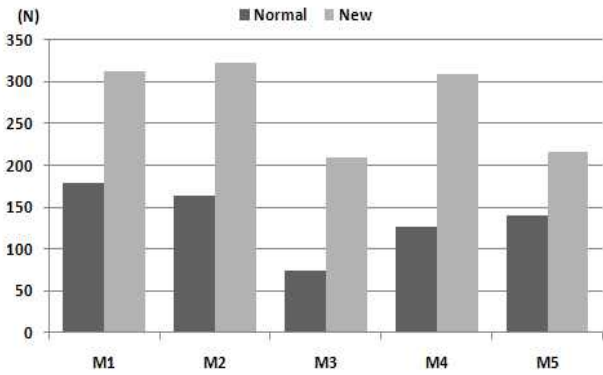


Figure 10. Result for the Maximum force(Indoor shoes)

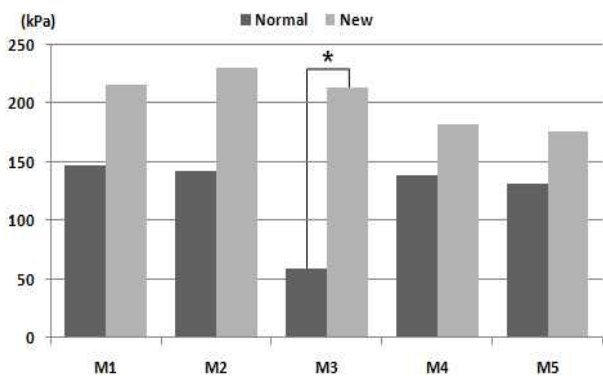


Figure 11. Result for the Maximum peak pressure(Indoor shoes)

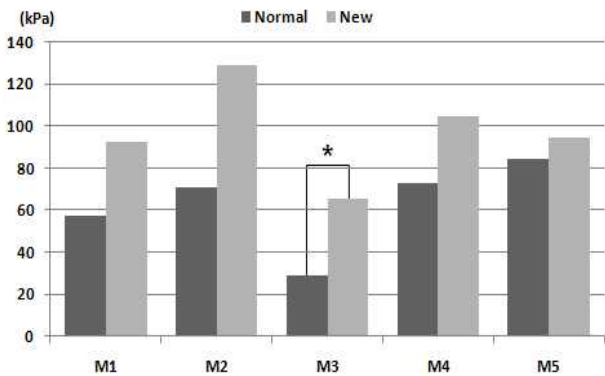


Figure 12. Result for the Maximum mean pressure(Indoor shoes)

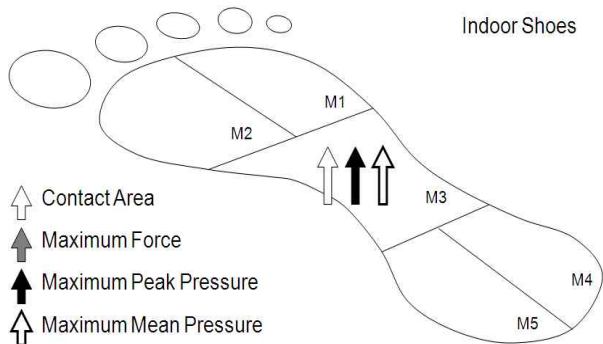


Figure 13. Significant increases(↑) and decreases(↓) of indoor shoes

3. Walking shoes 분석결과

1) 접촉면적 분석

워킹 슈즈에 적용된 개발 인솔의 접촉면적 분석결과 기능성 인솔이 기존 인솔에 비해 전족부, 중족부, 후족부에서 각각 6.55%(Normal: 54.98 cm², New: 62.69 cm²), 23.83%(Normal: 36.31 cm², New: 59.03 cm²), 2.15%(Normal: 43.26 cm², New: 45.16 cm²) 증가한 것으로 나타났으며<Figure 14>, <Table 2>, 통계적 유의성은 전족부($p=.047$)와 중족부($p=.000$)에서 유의한 차이가 나타났다($p<.05$).

2) 최대힘 분석

최대힘의 경우 개발 인솔이 기존 인솔보다 전족부, 중족부, 후족부에서 각각 8.03%(Normal: 567.55 N, New: 666.62 N), 32.68%(Normal: 179.95 N, New: 354.69 N), 0.87%(Normal: 475.22 N, New: 483.53 N) 증가한 것으로 나타났으며<Figure 15>, <Table 2>, 통계적 유의성은 전족부($p=.049$)와 중족부($p=.000$)에서 유의한 차이가 나타났다($p<.05$).

3) 족저압력 분석

최대압력 분석결과 전족부와 중족부에서 각각 8.17%(Normal: 230.16 kPa, New: 271.11 kPa), 13.65%(Normal: 116.30 kPa, New: 153.06 kPa) 증가하는 것으로 나타났으나, 후족부에서 기존 인솔에 비해 -14.57%(Normal: 214.18 kPa, New: 159.72 kPa) 감소한 것으로 나타났으며<Figure 16>, <Table 2>. 통계적 유의성은 후족부($p=.033$)에서만 나타났다($p<.05$).

최대평균압력 분석결과 전족부와 후족부에서 각각 -1.83%(Normal: 105.23 kPa, New: 101.44 kPa), -4.00%(Normal: 116.00 kPa, New: 107.07 kPa) 감소하였으나 중족부에서는 기존 인솔에 비해 3.88%(Normal: 53.64 kPa, New: 57.97 kPa) 증가한 것을 알 수 있다<Figure 17>, <Table 2>. 전족부와 후족부에서 최대평균압력 값이 감소하는 경향을 보였으나 통계적 유의성은 나타나지 않았다.

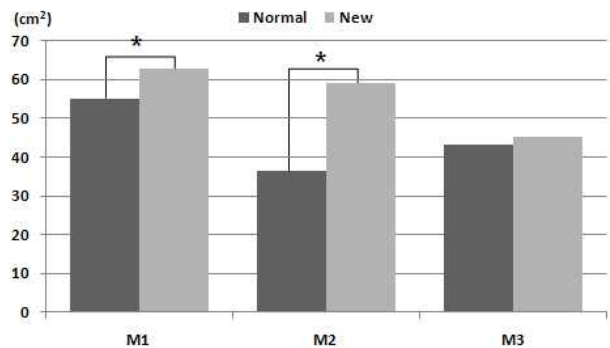


Figure 14. Result for the Contact area(Walking shoes)

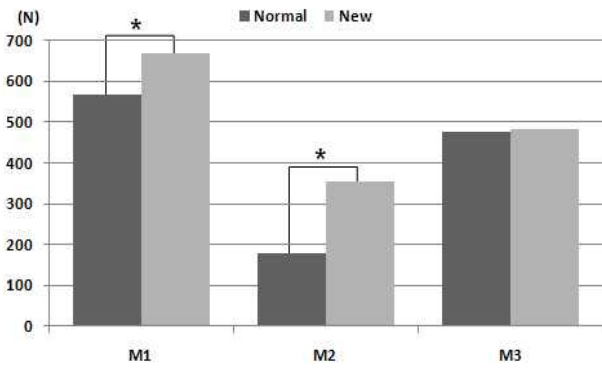


Figure 15. Result for the Maximum force(Walking shoes)

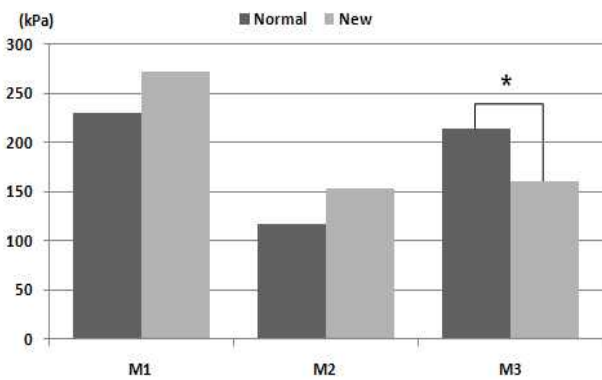


Figure 16. Result for the Maximum peak pressure(Walking shoes)

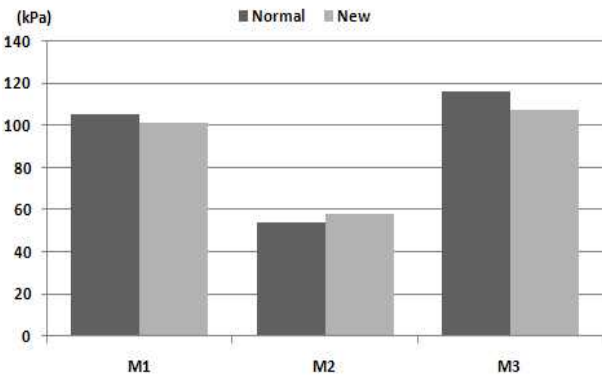


Figure 17. Result for the Maximum mean pressure(Walking shoes)

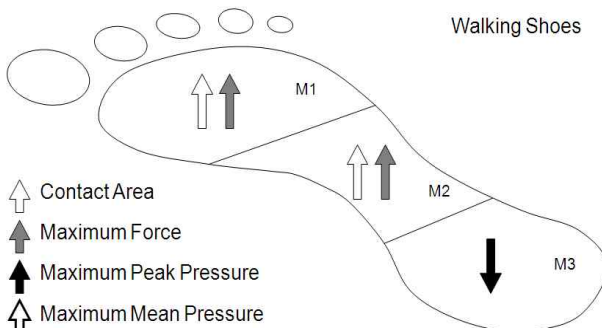


Figure 18. Significant increases (↑) and decreases (↓) of walking shoes

4. Sport shoes 분석결과

1) 접촉면적 분석

스포츠 슈즈에 적용된 기능성 인솔의 접촉면적 분석결과 전족부 외측과 내측에서 각각 6.23%(Normal: 37.71 cm², New: 42.72 cm²), 7.95%(Normal: 42.57 cm², New: 49.92 cm²) 증가하여 기존 인솔에 비해 높은 접촉면적을 나타내고, 후족부 외측과 내측에서도 전족부와 동일한 경향을 보이며 7.68%(Normal: 26.88 cm², New: 31.35 cm²), 28.92%(Normal: 20.07 cm², New: 36.40 cm²)로 넓은 접촉면적을 보였다(Figure 19), <Table 2>. 통계적 유의성은 전족부 내측(p=.000)과 후족부 내(p=.024)·외측(p=.000)에서 유의한 차이가 나타났다(p<.05).

2) 최대힘 분석

최대힘 분석결과 전족부 외측의 경우 -18.67%(Normal: 372.52 N, New: 263.42 N) 최대힘이 감소하였으나 전족부 내측에서는 8.32%(Normal: 424.21 N, New: 501.17 N) 증가하였다. 후족부 외측과 내측에서는 각각 4.40%(Normal: 271.04 N, New: 295.97 N), 5.21%(Normal: 263.42 N, New: 292.39 N)로 기존 인솔에 비해 높게 관찰되었다(Figure 20), <Table 2>. 통계적 유의성은 전족부 외측(p=.044)에서만 유의한 차이가 나타났다(p<.05).

3) 족저압력 분석

스포츠 슈즈에 적용된 기능성 인솔의 최대압력 분석결과 전족부의 경우 전족부 외측에서는 -15.03%(Normal: 218.54 kPa, New: 161.42 kPa) 감소된 결과를 보인 반면 전족부 내측에서는 10.24%(Normal: 202.29 kPa, New: 248.43 kPa) 증가하였다. 후족부의 경우 외측과 내측에서 각각 -11.75%(Normal: 233.75 kPa, New: 184.59 kPa), -8.81%(Normal: 215.73 kPa, New: 180.78 kPa)로 나타나 기존 인솔에 비해 최대압력이 감소한 결과를 보였다(Figure 21), <Table 2>. 통계적 유의성은 전족부 내측(p=.021)·외측(p=.044)과 후족부 내측(p=.039)·외측(p=.042)에서 유의한 차이가 나타났다(p<.05).

최대평균압력 분석결과 전족부의 경우 전족부 외측에서는 기존 인솔에 비해 -22.73%(Normal: 109.10 kPa, New: 68.69 kPa) 감소된 결과를 보인 반면 전족부 내측에서는 5.01%(Normal: 106.08 kPa, New: 117.27 kPa) 증가하였다. 후족부의 경우 후족부 외측에서는 -2.69%(Normal: 103.37 kPa, New: 97.95 kPa), 내측에서는 -17.25%(Normal: 139.79 kPa, New: 98.65 kPa) 최대평균압력이 낮게 나타났다(Figure 22), <Table 2>. 통계적 유의성은 전족부 외측(p=.012)과 후족부 내측(p=.034)에서 유의한 차이를 보였다(p<.05).

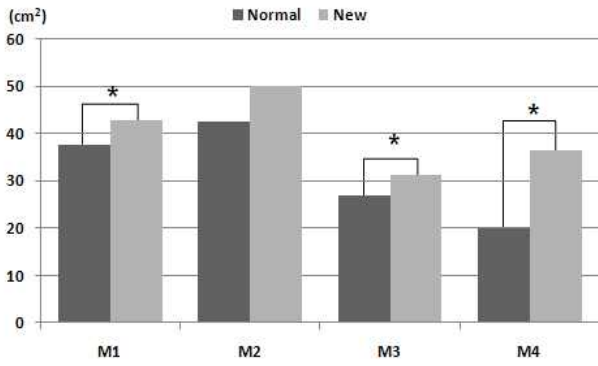


Figure 19. Result for the Contact area(Sport shoes)

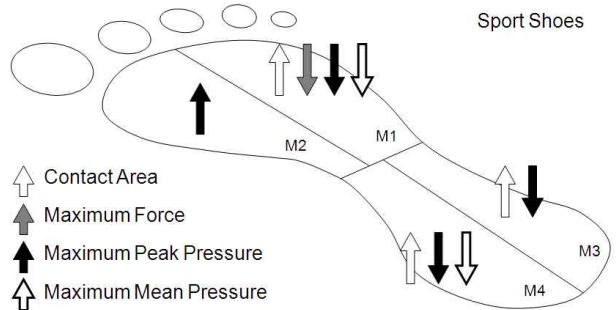


Figure 23. Significant increases(↑) and decreases(↓) of sport shoes

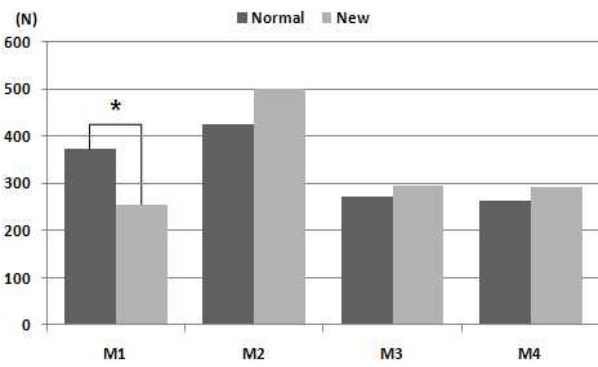


Figure 20. Result for the Maximum force(Sport shoes)

IV. 논 의

4가지 각 카테고리의 신발에 삽입된 기존 인솔과 변형 및 복원이 가능한 기능성 인솔 사용 시 족저압력 비교 분석을 통해 개발 인솔의 압력분산 효과를 카테고리별로 파악하고 추후 제품 개발에 필요한 데이터를 얻고자 하였다.

아웃도어 슈즈의 경우 기능성 인솔이 기존 인솔보다 접촉면적이 증가하였다. 이러한 결과는 아웃도어 슈즈뿐만 아니라 인도어 슈즈, 워킹 슈즈 그리고 스포츠 슈즈 모든 카테고리에서 동일한 결과를 보였다. 이는 Jung et al.(2010)과 Chen, Ju와 Tang(2003)의 연구에서 나타난 맞춤형 인솔의 경우 접촉면적이 증가하여 발의 특정부위에 집중되는 압력을 감소시켜 줄 수 있다는 연구 결과를 통해 본 연구에 사용된 변형 및 복원이 가능한 소재를 사용한 기능성 인솔을 적용함으로써 발을 전체적으로 감싸주고, 기존의 변형 및 복원이 불가능한 인솔의 미 접촉 부위가 발바닥과 접촉됨으로써 나타나는 결과로 해석할 수 있다. 아웃도어 슈즈의 최대힘, 최대압력 그리고 최대평균압력 분석 결과 중족부에서만 개발 기능성 인솔의 압력분산 효과가 높게 나타남을 알 수 있다.

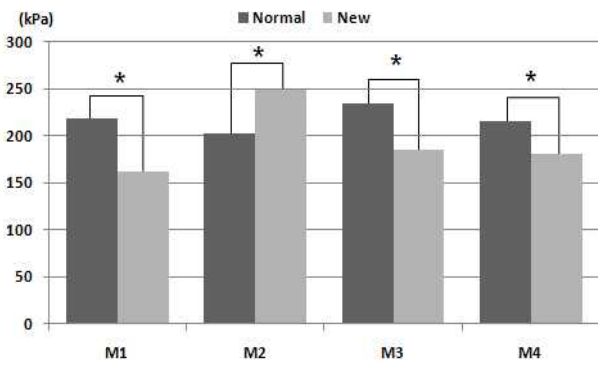


Figure 21. Result for the Maximum peak pressure(Sport shoes)

인도어 슈즈의 경우 모든 결과 값에서 기존 인솔에 비해 개발 기능성 인솔의 압력분산 효과가 낮게 나타났다. 이러한 결과는 기능성 인솔 개발 시 각 카테고리별 신발의 용도에 적합하지 않게 일반 워킹화용으로 공통적으로 개발 및 제작되어 나타난 이유로 볼 수 있으며, 다른 특성을 가지고 착용환경이 상이한 각 카테고리별 신발에 동일한 프로토콜에 의한 실험을 수행한 결과로 해석될 수 있다. 즉, 인도어 슈즈의 경우 착용환경과 신발의 기능성에 적합한 실험 프로토콜을 통한 재검토가 필요할 것으로 보인다. Stefanyshyn과 Nigg(2000)의 연구에서도 기능성 인솔이 생체역학적 성능을 가지기 위해서는 신발의 점탄성 특성이 중요하다고 언급한바 있다. 이에 본 기능성 인솔의 경우에서도 각 카테고리별 용도에 적합하게 인솔의 부위에 따른 점탄성을 변경하여야 할 것으로 판단된다.

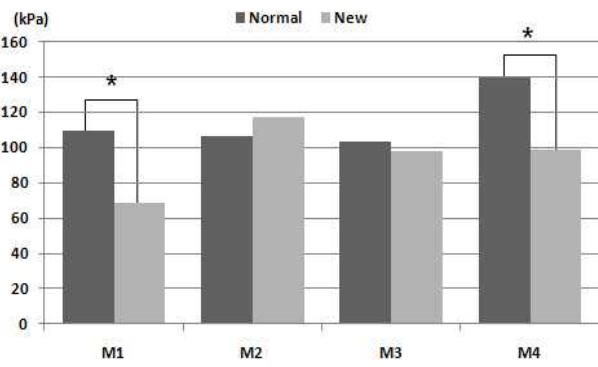


Figure 22. Result for the Maximum mean pressure(Sport shoes)

워킹 슈즈의 경우 기능성 인솔이 기존 인솔보다 후족부에 발생하는 최대압력과 최대평균압력이 낮게 관찰되었다. 이는 일반 워킹화용 신발에 삽입된 기능성 인솔의 경우 Windle et al.(1999)의 연구결과와 같이 서로 다른 충격 흡수를 위한 인솔 사용 시 발뒤꿈치에서 37 %의 압력 감소율에 미치지 못하는 추후 개발 기능성 인솔에 다중경도의 인솔로 제작하여 압력분산 기능성을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

스포츠 슈즈의 경우 기능성 인솔이 기존 인솔보다 전족부 내측을 제외한 측정 부위 모두에서 기존 인솔에 비해 압력이 감소하여 충격흡수 기능이 증가 한 것을 알 수 있다. 이는 본 실험에 사용된 스포츠 슈즈(스케이드보드화)의 특성상 바닥이 편평하고 딱딱하여 기존 인솔의 경우 압력이 높게 나타났으며, 개발 인솔을 통한 압력감소 효과를 증가시킬 수 있었던 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 새로운 형상기억 능동소재를 통해 변형 및 복원이 가능한 기능성 인솔과 기존 인솔의 신체 부하 및 충격 흡수 기능에 대한 차이를 분석하기 위하여 각 카테고리 신발 별 기능성 인솔에 보행 시 발생하는 족저압력변화를 비교 분석하였다.

보행 시 발생하는 족저압력변화 비교 분석결과 아웃도어 슈즈의 경우 기능성 인솔이 기존 인솔보다 접촉면적이 증가하여 안정성과 편안함이 증가할 것으로 판단된다. 최대힘 최대압력, 평균압력의 경우 중족부에서 발생하는 부하가 기존 인솔에 비해 감소한 것을 알 수 있으며 중족부에 대한 피로 및 부하가 감소될 것으로 사료된다. 인도어 슈즈의 경우 제품 카테고리 자체의 특수 기능성으로 인해 일반 보행으로 측정된 족저압력 분석에서는 기능성 인솔이 기존 인솔에 비해 저하된 압력분산 효과를 보이고 있어 인도어 슈즈의 기능성에 알맞은 실험 프로토콜을 통해 재검토가 필요할 것으로 보인다. 워킹 슈즈의 경우 기능성 인솔이 기존 인솔보다 접촉면적이 넓어 착화 시 발의 편안함과 안정성이 증가 할 것으로 판단된다. 또한 후족부에 발생하는 압력의 경감 및 충격감소를 통해 초기 접지 시 발생하는 하지부하 및 보행 시 발생하는 신체 부하가 경감 될 것으로 사료된다. 스포츠 슈즈의 경우 기능성 인솔이 기존 인솔보다 접촉면적이 증가하여 개선된 성능을 가지는 것으로 나타나 착화 시 발의 편안함과 안정성이 증가 할 것으로 판단된다. 압력경감 효과의 경우 전족부 내측을 제외한 측정 부위 모두에서 기존 인솔에 비해 압력이 감소하여 충격흡수 기능이 증가한 것을 알 수 있다. 이를 통해 초기 접지 시 발생하는 충격 및

추진 시 발생하는 충격 감소 효과로 인해 보행 시 발생하는 신체 부하가 경감 될 것으로 판단된다.

변형 및 복원이 가능한 소재를 적용한 기능성 인솔에 대한 각 카테고리 신발 별 생체역학적 기능성을 평가 한 결과 접촉면적의 경우 기존 인솔에 비해 전체적으로 향상된 기능성을 가짐을 알 수 있었다. 그러나 충격흡수 기능에 있어 카테고리 신발에 따라 차이가 있었으나 전체적으로 변형 및 복원이 가능한 기능성 인솔을 적용한 경우 경도가 낮아 장시간 보행 시 많은 힘을 받는 부위에 압력이 집중될 수 있어 기존 인솔 보다 압력이 높게 나타나는 경향을 관찰 할 수 있었다.

이에 추후 변형 및 복원이 가능한 소재를 적용한 기능성 인솔개발의 성공적인 연구를 위해, 압력경감 효과를 증가 시킬 수 있는 변형 및 복원이 가능한 소재의 각 카테고리별 신발의 기능성에 알맞도록 카테고리별 최적 경도 인솔에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

참고문헌

- Burns, J., Keenan, A., & Redmond, A.(2005). Foot type and overuse injury in triathletes. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 95(3), 235-241.
- Brown, D., Wersch, J. J., Harris, G. F., Klein, J., & Janisse, D.(2004). Effect of rocker soles on plantar pressures. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(1), 81-86.
- Chen, W. P., Ju, C. W., & Tang, F. T.(2003). Effects of total contact insoles on the plantar stress redistribution : a finite element analysis. *Clinical Biomechanics*, 25, 265-270.
- Dixon, S. J., Collop, A. C., & Batt, M.(2000). Surface effects on ground reaction forces and lower extremity kinematics in running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(11), 1919-1926.
- Hennig, E. M., Valiant, G. A., & Liu, Q.(1996). Biomechanical variables and the perception of cushioning for running in various types of footwear. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 143-150.
- Hreljac, A., Marshall, R. N., & Hume, P. A.(2000). Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(9), 1635-1641.
- Jeong, B. Y., & Hah, H. B.(2004). 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.
- Jung, J. Y., Kim, J. H., Kim, K., Pham, H. T., Won, Y. G., Kwon, D. K., & Kim, J. J.(2010). Evaluation of insole-equipped ankle foot orthosis for effect on gait based on biomechanical analysis. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(4), 469-477.
- Kanatli, U., & Yalcin, N.(2003). The relationship between accessory navicular and medial longitudinal arch: evaluation with plantar pressure distribution measurement system. *Foot & Ankle*, 24(6), 486-489.
- Kim, E. H., Cho, H. K., Jung, T. W., Kim, S. S., & Chung. J. W.(2010). The Biomechanical Evaluation of Functional Insoles. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(3), 345-353.
- Ko, E. H., Choi, H. S., Kim, T. H., Roh, J. S., & Lee, K. S.(2004). Effect of the Fatigue to Insole Types During Treadmill Exercise. *Physical Therapy Korea*, 11(2), 17-25.
- Lee, Y. K., & Kim, Y. H.(2009). Influence of Midsole Hardness on Vertical Ground Reaction Force and Heel Strike Angle during Men's and Women's Running. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 19(2), 379-386.
- Lee, C. M., Lee, K. D., Oh, Y. J., & Kim, J. H.(2007). The study on the workload decrease effect of multi-hardness insole. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 26(2), 157-165.
- Lee, C. M., & Oh, Y. J.(2005). The Development of the Insole for Gait Load Decreasing by Biomechanics Analysis. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 24(4), 23-30.
- Mohsen, R., & Mark, E.(2002). Foot type classification: a critical review of current methods. *Gait & Posture*, 15, 282-291.
- Nigg, B. M.(1986). *Biomechanics of Running Shoes*. Champaign, IL, Human Kinetics Publishers.
- 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.
- Nigg, B., Stefanyshyn, D., Cole, G., & Boyer, K.(2005). *Footwear Research-Past, Present and Future*. Proceedings of the 7th symposium on Footwear Biomechanics. Cleveland, Oh, USA.
- Park, C. C.(2004). Impact and Rebounding Properties of Shoe Midsole with Temperature. *Elastomer*, 39(4), 274-280.
- Park, C. C.(2006). The Effects of Hardness and Thickness of Midsole on the Bending Properties of Footwear. *Elastomer*, 41(2), 125-130.
- Park, J. Y.(2010). The Analysis of Muscle Activities on the Lower Limb during Wearing Functional Insole. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(3), 327-336.
- Ramanathan, A. K., Kiran, P., Arnold, G. P., Wang, W., & Abboud, R. J.(2010). Repeatability of the Pedar-X in-shoe pressure measuring system. *Foot & Ankle Surgery*, 16, 70-73.
- Ruy, T., Choi, H. S., Choi, H., & Chung, M. K.(2006). A comparison of gait characteristics between Korean and Western people for establishing Korean gait reference data. *Industrial Ergonomics*, 36, 1023-1030.
- Stefanyshyn, D. J., & Nigg, B. M.(2000). Energy aspects associated with sport shoes. *Sportverletz Sportschaden*, 14(3), 82-89.
- Stewart, A., Casey, M., Laura, F., Patricia, M., Edward, P., James, A., & Joseph, H.(2009). The Impact of Footwear and Packweight on Injury and Illness Among Long-Distance Hikers. *Wilderness and Environmental Medicine*, 20, 250-256.
- Stewart, L., Gibson, J. N. A., & Thomson, C. E.(2007). In-shoe pressure distribution in "unstable" (MBT) shoes and flat-bottomed training shoes: A comparative study. *Gait & Posture*, 25, 648-651.
- Williams, D., McClay, I., & Hamill, J.(2001). Arch structure and injury patterns in runners. *Clinical Biomechanics*, 16(4), 341-347.
- Windle, C. M., Gregory, S. M., & Dixon, S. J.(1999). The shock attenuation characteristics of four different insoles when worn in a military boot during running and marching. *Gait & Posture*, 9(1), 31-37.