

트레드밀 보행시 인솔 형태 변화에 따른 족저압력 분석

우정휘¹ · 이증숙¹ · 양정옥¹ · 이범진¹ · 배강호¹ · 한동욱² · 박상묵³ · 배진우⁴

¹신라대학교 보건복지대학 웰빙체육학과 · ²신라대학교 보건복지대학 물리치료학과 · ³동주대학교 산학협력단 · ⁴풋헬스 주식회사

Analysis of Plantar Foot Pressure according to Insole Types during Treadmill Gait

Jung-Hwi Woo¹ · Joong-Sook Lee¹ · Jeong-Ok Yang¹ · Bom-Jin Lee¹ · Kang-Ho Bae¹ · Dong-Wook Han²

Sang-Muk Park³ · Jin-Woo Bae⁴

¹Division of Kinesiology, College of Health and Welfare, Silla University, Busan, Korea

²Department of Physical Therapy, College of Health and Welfare, Silla University, Busan, Korea

³Industry-Academic Cooperation Foundation, Dongju College, Busan, Korea

⁴Foot Health Company, Ltd, Daegu, Korea

Received 27 November 2014; Received in revised form 9 March 2015; Accepted 16 March 2015

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study was to analyze the foot-pressure distribution of 2D(2 dimensional form) & 3D(3 dimensional form; a customized arch-fit for posture correction) insoles for assessing their biomechanical functionality. Background: Recently there has been increased interest in both foot health and foot pain patients. Analysis of the plantar pressure was often used to solve the problems of the foot displayed by such people as rheumatoid arthritis patients.

Method: Subjects who participated in this study were 17 female university students who had no previous injury experience in lower limbs and a normal gait pattern. The shoe size of all subjects was 240 mm. Two models of insoles of 2D(typical flat insole - 2 dimensional form) and 3D(special production - 3 dimensional form) were selected for the test. Using the Pedar-X system and Pedar-X insoles, 4.0 km/h of walking speed, and a compilation of 50 steps walking stages were used to analyze foot-pressure distribution.

Results: Results of the foot-pressure distribution and biomechanical functionality on each insole were as follows; analyses of mean plantar pressure, maximum plantar pressure, maximum vertical GRF, and plantar pressure curve shape all showed overall low plantar pressure and GRF.

Conclusion: This can be evaluated as an excellent insole for low levels on the plantar pressure and GRF. Therefore, it is possible to conclude that according to this analysis the 3D Customized Arch-fit Insole was better than 2D insole on the basis of these criteria.

Keywords: Pedar-X System, Mean Plantar Pressure, Maximum Pantar Pressure, GRF, 3D Arch-fit Insole, Functional Insole, Foot Health

I. 서론

최근 발 건강에 대한 관심이 고조되면서 족부 통증환자, 당뇨병, 류마티스 관절염 환자 등에서 나타나는 발의 문제점

들을 해결하기 위하여 족저압력 분석이 많이 이용되고 있다(Lee, Kim, Jung, Han, & Park, 2011). 또한, 최근에 다양한 형태의 인솔들이 판매되고 있으며, 키 높이 인솔 구입은 여성(30%)보다 남성(70%)이 더 많이 구매하는 것으로 나타났는데, 특히 20대 남성의 비율이 전체의 30%로 가장 높았다(Shin et al., 2012). 10-20대 여성들은 구두 선택시 건강과 편안함 보다는 유행과 패션에 의해 선택하는 경우가 많다(Kim, 2008).

발은 인간이 직립보행을 시작한 이래 가장 많이 혹사당하는 신체부위 중 하나인데, 이러한 발은 인체 전체의 1/4에 해당하는 52개의 뼈와 60개의 관절, 214개의 인대, 38개의 근육

Corresponding Author : Joong-Sook Lee

Division of Kinesiology, College of Health and Welfare, Silla University,
140, Baekyang-daero 700beon-gil, Sasang-gu, Busan, Korea

Tel : +82-51-999-5064 / Fax : +82-51-999-5576

E-mail : jslee@silla.ac.kr

이 논문은 민·군기술협력사업 (Civil-Military Technology Cooperation Program)으로
지원받았음

을 비롯하여 수많은 혈관으로 구성되어 있다(Kim, Cho, Jung, Kim, & Chung, 2010). 인간이 태어나서 평균 60세까지 걷는 거리는 약 16,000 km 정도이며, 1 km를 보행할 때마다 1,100번이 넘게 땅을 딛어야 하고, 딱딱한 지면에 매일 10,000번 정도 들어 올린다(Choi, 2001; Woo et al., 2015).

우리나라에서는 1990년대 이후 보행 및 발과 관련된 연구가 활발히 이루어지고 있으며(Kim, 2006), 다양한 분야에서 족저압력분포를 이용한 보행 및 신발과 관련된 연구가 이루어지고 있다(Park, Kwon, & Kim, 2003; Lee, 2005; Jeong, 2005; Choi, Kim, & Lee, 2005; Seong, 2006; Lee, Lee, Kim, & Yoo, 2006; Kim, 2006; Son, 2007; Kim, 2008; Kim et al., 2010; Lee et al., 2011; Kim, Lee, & Jang, 2012; Lee & Lee, 2012; Moon, Lee, Kim, Jang, & Jung, 2013; Cho & Kim, 2014; Clarke, 1980; Perters & Runge, 2001; Diliberto, Baumhauer, Wilding, & Nawoczinski, 2007; Woo et al., 2015). 또한 족저압력과 지면반력을 이용한 발 관련 연구보고도 지속적으로 발표되고 있다(Kim & Lee, 1996; Linn, 2003; Chae, 2006; Choi et al., 2006; Lee et al., 2011; Barnett, Cunningham, & West, 2001).

운동역학 분야의 신발 관련 족저압력분석 연구는(Shin et al., 2012; Alexander, Chao, & Johnson, 1990; Cavanagh, Hewitt, & Perry, 1992; Hennig & Sanderson, 1995; Hennig & Milani, 1995), 달리기(Hennig & Milani, 1995), 걷기(Rosenbaum, Hautmann, Gold, & Class, 1994), 그리고 재활을 목적으로 한 보행분석(Gheluwe, Nelen, 1999) 등 다양하게 이루어져 왔다(Woo et al., 2015).

최근 남성들은 신장을 커 보이기 위한 노력을 많이 하고 있으며(Cho & Kim, 2012; Koo, 2011), 이로 인해 많은 남성들이 장시간 신발을 착용하고 있고, 격한 운동경기 중에도 무의식적으로 신발을 착용하는 경우가 종종 있다(Cho & Kim, 2014). 이 때 키 높이 인솔은 신발 내 뒤꿈치에 착용하므로 일반적인 보행 시 보다 족저굴곡된 상태로 보행동작을 수행하는 하이힐 보행과 유사한 형태로 여러 가지 문제를 유발시킨다(Cho & Kim, 2012; Ebbeling, Hamill, & Crussemeyer, 1994; Kerrigan et al., 2005; Kerrigan, Todd, & Riley, 1998; Lee, Shieh, Matteliano, & Smiehorowski, 1990; Opila-Correia, 1990). 따라서 보행시 다른 관절을 더 사용해야 하는 보상작용(Fry, Smith, & Schilling, 2003; Powers, 2003)이 나타나 인체에는 좋지 못한 영향을 미칠 수 있다. 족저굴곡각의 증가는 해부학적 안정성을 감소시켜 발목관절의 급성 부상인 내번 염좌의 위험성을 증가시키게 되는데(Ricard, Sherwood, Schulthies,

& Knight, 2000; Safran, Benedetti, Bartolozzi, & Mandelbaum, 1999), 높은 굽 신발은 지면과 접지 시 족저굴곡각을 증가시켜(Frey, 2000; Voloshin & Wosk, 1982) 부상이 발생할 수도 있다. 또한 족저압력을 앞쪽으로 집중시켜 발의 모양 및 보행 패턴을 변형시켜(Frey, 2000; Voloshin & Wosk, 1982) 잘못된 자세 변화에 의한 보상작용(Snow & Williams, 1994)이 나타나 발과 발목 및 무릎 관절에 만성 질환 발병률을 증가시킨다(Nyska, McCabe, Linge, & Klenerman, 1996; Woo et al., 2015).

인체는 연결된 사슬로써(Fry et al., 2003; Powers, 2003), 키 높이가 인솔을 착용 후 보상작용이 나타나는 것은 당연하지만 객관적인 분석을 하기 위해서는 인체 내에서 발생한 운동역학적 기전을 분석하는 것이 필요하다(Kim & Cho, 2013). 하지만 그에 따른 분석은 이루어지지 않은 실정이다. 착지 시 충격을 흡수 및 분산시키기 위해서는 발목, 무릎, 엉덩 관절 및 허리 등의 유기적인 굴곡 움직임과 운동역학적인 전략이 필요하다(Cho, Kim, & Koh, 2012; Dufek & Bates, 1990; McNitt-Gray, 1993; Yeow, Lee, & Goh, 2011). 발목 관절의 대표적인 부상인 내번 염좌부상은 접지 시 족저굴곡각의 증가와 함께 위험성이 높아지는데(Ricard et al., 2000; Safran et al., 1999), 키 높이가 인솔은 족저굴곡각을 증가시켜 내번 염좌를 유발시킬 수도 있는 주요한 원인이 될 수 있을 것이다. 또한 키 높이가 인솔에 의한 발목 움직임이 감소(Cho & Kim, 2012) 함으로써 보상작용에 의한 만성 부상의 위험성이 있을 것이라 생각되지만 이에 대한 객관적인 분석은 이루어지지 않은 실정이다(Cho & Kim, 2014; Woo et al., 2015).

족저압력을 측정하는 장비들 역시 발 관련 연구가 활발하게 진행되면서 다양하게 개발되어 왔으며, 족저압력 측정을 통하여 얻어진 데이터는 최대압력(peak pressure), 평균압력(mean pressure), 최대힘(maximum force), 평균힘(mean force), 접지압력 면적(contact area) 등 다양한 요소들에 의해 분석할 수 있다. 족저압력을 측정하기 위해 사용되는 장비로는 힘판(forceplate), 압력판(pressure platform), 신발내 삽입형 족저압 측정기(in-sole pressure measurement) 등이 있으며, 실험방법에 따른 장비 선택이 중요하다(Lee et al., 2011).

이 연구에서는 보행시 족저압력과 지면반력 분석법을 활용한 자세보정용 맞춤형 아치핏 인솔을 개발하기 위하여 2D 인솔(평면인솔)과 3D 인솔(3차원인솔, 맞춤형 아치핏 인솔) 착용 시 발에 가해지는 족저압력을 객관적으로 측정하기 위하여 Pedar-X system 활용하여 보행시 지지발의 족저압력에 대한 운동역학적인 분석자료를 활용하여 3D 인솔 개발을 위한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상자 선정

연구대상자는 족부변형이 없고, 최근 2년 동안 하지와 족부 부위에 상해가 없었으며, 정상적인 보행동작을 수행하는 신체 건강한 여자 대학생 17명을 선정하였고, 연구대상자의 신발 사이즈는 모두 240 mm 하였다. 실험을 실시하기 전에 연구대상자들에게 실험의 목적과 실험상황에 관하여 설명하고 유의사항을 인지시킨 후 자발적으로 동의서를 받았다. 연구대상자의 특성은 <Table 1>과 같다(Woo et al., 2015).

Table 1. General characteristics of the subjects

N=17	Age (yrs)	Weight (kg)	Height (cm)	Foot length (mm)		Arch of the foot(mm)	
				L	R	L	R
A	21	60.0	167.8	236	237	17	17
B	20	42.4	164.2	233	233	14	14
C	20	51.0	162.2	219	220	24	21
D	23	76.2	166.0	234	234	20	20
E	20	58.8	166.3	234	234	18	18
F	25	65.7	164.3	242	242	11	11
G	25	48.3	160.4	228	230	15	13
H	23	53.6	165.5	222	222	24	23
I	21	56.4	156.8	234	234	18	18
J	21	58.2	168.0	239	240	13	12
K	26	60.7	163.4	239	238	17	17
L	27	50.2	160.5	234	233	19	18
M	22	50.6	163.4	233	233	20	20
N	20	56.4	161.1	228	228	12	12
O	20	52.8	164.2	233	233	21	21
P	20	59.1	157.7	236	236	16	16
Q	20	53.6	168.1	237	237	23	23
M	22.00	56.11	163.18	233.00	233.18	17.76	17.29
SD	3.52	7.57	3.52	5.90	5.71	3.99	3.84

2. 인솔 모델

인솔 모델은 2D 인솔(평면 인솔)과 3D 인솔(3차원 인솔)로 나눌 수 있는데, 이 실험에 사용된 인솔 사이즈는 240 mm 여성용으로 선정하였으며 신발은 아웃솔의 형태가 족저압력에 미치는 영향을 줄이기 위해 바닥이 평면인 신발을 선택하였으며, 신발사이즈는 Pedar-X system의 삽입을 용이하게 하기 위해 260 mm로 하였다. 실험대상 인솔은 <Figure 1>과 같다.

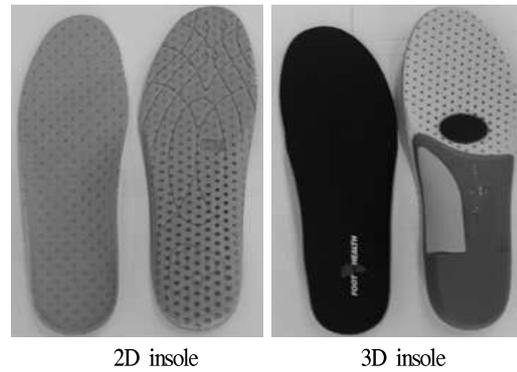


Figure 1. Insole models

2D인솔의 특징은 일반적인 쿠션과 착화감을 가지고 있으며, 종골의 지지가 어려워 발의 정렬이 올바르지 않을 수 있는 특징이 있으며, 3D인솔의 특징은 발의 족궁 지지를 통해 발의 피로 및 통증을 완화 시키는 효과와 쿠션으로 인한 충격 흡수와 관절 보호의 특성이 있다. 그리고 종골을 과도한 회내와 회외를 바로 잡아준다는 특징이 있다(Woo et al., 2015).

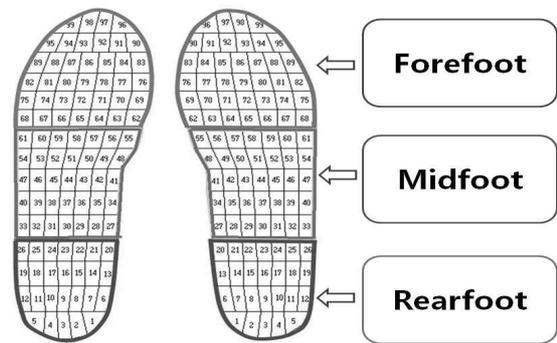


Figure 2. The division of plantar region

압력 측정을 위해 <Figure 2>와 같이 영역(mask)생성을 통해 영역을 전족부(forefoot), 중족부(midfoot), 후족부(rearfoot) 3개의 영역으로 구분하여(Park et al., 2010), 센서에서 감지되는 단위 면적과 그들에게 가해지는 압력을 구획별로 합하여 착용 시 발에 가해지는 족저압력을 객관적으로 측정하기 위하여 Pedar-X system 활용하여 보행시 지지발의 평균족저압력, 최대족저압력, 체중대비 최대수직지면반력, 부위별 족저압력분포, 압력중심이동경로를 측정하였다.

3. 실험방법 및 실험도구

Lim, Ryu, Choi, Choi와 Chung (2006)의 연구에 따르면 20대 여성의 평균 보행속도는 3.9±0.5 km/h로, 20대 여성의 평균 보행 속도에 맞춰 피험자는 자연스러운 보행동작으로 <Figure

3>과 같이 트레드밀에서 보행속도 4.0 km/h에 맞추었으며 보폭과 보수가 자연스러운 동작이 이루어 질 때까지 연습을 실시한 후 본 실험을 실시하였다(Woo et al., 2015).

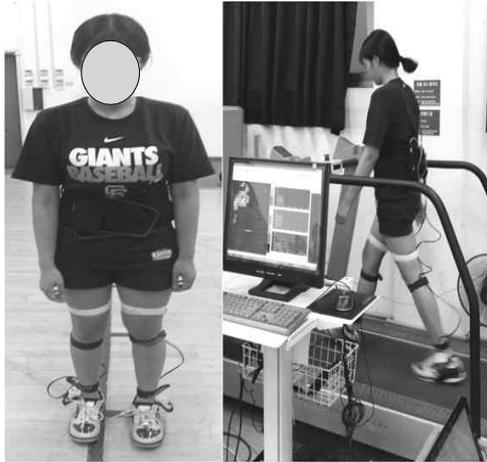


Figure 3. Pedar-X setting and test scene



(A : Pedar-X system, B : Pedar-X insoles)

Figure 4. Measurement equipment

실험의 진행순서는 다음과 같다. 첫째, 피험자들은 트레드밀에서 동일한 보행 동작을 3회 반복하게 하게 하였으며, 가장 자연스러운 보행동작이 이루어 진 시기 수를 선택하여 분석에 사용하였다.

이 연구에 사용된 족저압력 측정장비는 <Figure 4>와 같다. 이 장비는 Novel사의 Pedar-X Mobile System으로 블루투스 형식의 데이터 전송이 가능하다. 측정장비의 세부사항은 <Table 2> 와 같다.

Table 2. Measurement equipments

Pedar-X system	
Size	150x100x40mm
Weight	360g
Sensors	256/1024
Frequency	20,000 sensors/second
Type	32MB internal flash
Time	25min at 100Hz to flash memory
Interface	fiber optic/USB and Bluetooth
Pedar-X insoles	
Size	22 to 49 (european), 3 widths
Thickness	1.9 mm (minimum 1mm)
Sensors	85 - 99
Range	15-600 or 30-1200 kPa
Solutions	2.5 or 5 kPa

실험은 2D 인솔과 3D 인솔 위에 Pedar-X insoles을 삽입한 후 피험자들에게 착용하게 하였으며 보행속도 4.0 km/h에 맞추어 보폭과 보수가 자연스러운 동작이 이루어 질 때까지 연습을 실시한 후 보행동작이 자연스러워 진 후 오른발과 왼발 스텝 각 50보의 족저압력 자료를 수집하였다.

4. 자료처리

자료는 보행동작이 자연스럽게 수행된 3회의 시기 중 1회의 시기를 선택하였고, 오른발과 왼발 스텝 각각 50보의 족저압력 자료를 수집하여 Pedar-X system에서 제공하는 프로그램을 활용하여 평균하였다. 자료통계처리는 실험절차에 따라 각 피험자 별로 2D 인솔과 3D 인솔 자료를 전족, 중족, 후족을 나누어 양발의 평균족저압력, 최대족저압력, 지면반력을 산출하였으며, 지면반력은 수집된 값을 피험자 별로 체중으로 나누어 표준화시켰다. 통계처리는 SPSS Ver. 21.0 프로그램을 활용하여 독립표본 t-test를 사용하였으며, 통계적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과

이 연구에서의 2D 인솔과 3D 인솔의 족저압력을 측정하여 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 평균족저압력

보행속도 4.0 km/h의 Pedar-X system에서 제공하는 프로그램을 활용하여 2D 인솔과 3D 인솔의 평균족저압력을 측정하여 분석한 결과는 <Table 3>에서의 결과에서 같이 평균족저압력의 경우 오른발 전족부의 2D 인솔의 평균은 104.45±9.80 kPa, 오른발 전족부의 3D 인솔의 평균은 96.25±9.50 kPa로 유의하게 감소하였다.

Table 3. Mean plantar pressure of 2D & 3D insole (unit: kPa)

section		2D Mean±SD	3D Mean±SD	t	p
fore foot	left	98.69 ±13.71	91.06 ±12.17	1.716	.096
	right	104.45 ±9.80	96.25 ±9.50	2.477	.019*
mid foot	left	41.79 ±10.51	41.56 ±9.65	.065	.949
	right	41.72 ±11.55	42.95 ±11.18	-.317	.754
rear foot	left	139.73 ±18.78	125.74 ±19.25	2.145	.040*
	right	144.49 ±17.97	126.19 ±13.42	3.365	.002*

*p< .05

후족부의 경우에는 왼발 2D 인솔의 평균은 139.73±18.78 kPa, 3D 인솔의 경우 125.74±19.25 kPa로 유의하게 감소하였고, 오른발도 마찬가지로 2D 인솔의 경우 144.49±17.97 kPa, 3D 인솔의 경우 126.19±13.42 kPa로 유의하게 감소한 차이를 보였다. 하지만 중족부에서는 2D와 3D의 평균족저압력의 유의한 차이는 없었다.

2. 최대족저압력

보행속도 4.0 km/h의 Pedar-X system에서 제공하는 프로그램을 활용하여 2D 인솔과 3D 인솔의 최대족저압력을 측정하여 분석한 결과는 <Table 4>에서의 결과에서 같이 최대족저압력의 경우 왼발 전족부의 2D 인솔의 평균은 331.62±77.01 kPa, 왼발 전족부의 3D 인솔의 평균은 324.44±78.40 kPa로 감소하였으나 유의한 차이는 나타나지 않았다. 오른발 전족부의 2D 인솔의 평균은 367.35±60.02 kPa, 오른발 전족부의 3D 인솔의 평균은 318.53±75.00 kPa로 유의하게 감소한 차이를 보였다. 중족부에서도 2D 인솔의 최대족저압력은 왼발 147.35±42.84 kPa, 오른발 150.59±47.08 kPa로 3D 인솔의 왼발 141.35±47.35 kPa, 오른발 144.85±49.56 kPa로 3D 인솔의 최대족저압력이 낮게 측정되었으나 유의한 차이는 보이지 않았

다. 후족부의 최대족저압력은 2D 인솔의 왼발, 오른발,은 각각 228.53±34.64 kPa, 240.09±37.08 kPa로 3D 인솔의 왼발, 오른발의 230.15±43.53 kPa, 225.29±32.26 kPa과 유의한 차이가 나타나지 않았다.

Table 4. Maximum plantar pressure of 2D & 3D insole (unit: kPa)

section		2D M±SD	3D M±SD	t	p
fore foot	left	331.62 ±77.01	324.44 ±78.40	.269	.789
	right	367.35 ±60.02	318.53 ±75.00	2.096	.044*
mid foot	left	147.35 ±42.84	141.35 ±47.35	.387	.701
	right	150.59 ±47.08	144.85 ±49.56	.346	.732
rear foot	left	228.53 ±34.64	230.15 ±43.53	-.120	.905
	right	240.09 ±37.08	225.29 ±32.26	1.241	.224

*p< .05

3. 최대수직 지면반력

보행속도 4.0 km/h의 Pedar-X system에서 제공하는 프로그램을 활용하여 2D 인솔과 3D 인솔의 최대수직 지면반력을 측정하여 각각의 피험자의 체중으로 나누어 표준화 시켜 분석한 결과는 <Table 5>에서의 결과에서 같이 표준화된 최대수직 지면반력의 경우 전족부의 2D 인솔의 왼발과 오른발의 지면반력은 각각 10.66±0.79 N, 11.11±0.60 N로 측정되었고, 3D 인솔의 왼발과 오른발의 지면반력은 9.67±0.87 N, 10.24±0.83

Table 5. Maximum vertical GRF of 2D & 3D insole (unit: N)

section		2D Mean±SD	3D Mean±SD	t	p
fore foot	left	10.66 ±0.79	9.67 ±0.87	3.471	.002*
	right	11.11 ±0.60	10.24 ±0.83	3.489	.002*
mid foot	left	4.08 ±0.77	4.08 ±0.74	.021	.983
	right	4.08 ±0.83	4.20 ±0.83	-.414	.681
rear foot	left	10.25 ±1.53	8.77 ±2.46	2.103	.043*
	right	10.59 ±1.31	9.24 ±1.08	3.295	.002*

*p< .05

N로 2D 인솔보다 유의하게 감소된 지면반력을 나타내었다. 중족부는 2D 인솔의 왼발, 오른발 4.08 ± 0.77 N, 4.08 ± 0.83 N, 과 3D 인솔의 4.08 ± 0.74 N, 4.20 ± 0.83 N과 차이가 나타나지 않았다. 후족부에서는 왼발과 오른발 모두 2D 인솔의 10.25 ± 1.53 N, 10.59 ± 1.31 N 보다 3D 인솔의 지면반력 8.77 ± 2.46 N, 9.24 ± 1.08 N으로 유의하게 감소된 값이 나타났다.

4. 부위별 족저압력 분포

보행속도 4.0 km/h의 보행시 Pedar-X system에서 제공하는 프로그램을 활용하여 2D 인솔과 3D 인솔의 부위별 족저압력분포를 그림으로 나타내어 분석한 결과는 <Figure 5>와 같이 붉은색이 높은 압력분포를 나타낸 부위인데 2D 인솔의 족저압력분포가 3D 인솔의 붉은색이 많이 감소한 것으로 알 수 있다.

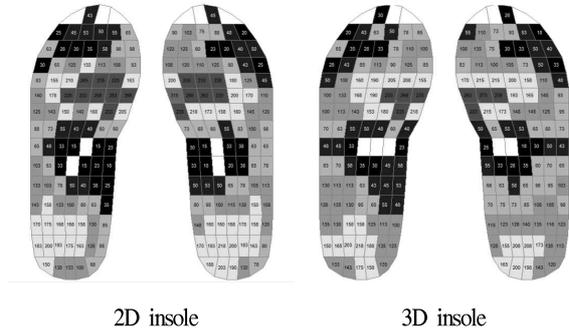


Figure 5. Parts of Plantar pressure on 2D & 3D insole

5. 압력중심 이동경로

보행속도 4.0 km/h의 보행시 Pedar-X system에서 제공하는 프로그램을 활용하여 2D 인솔과 3D 인솔의 압력중심 이동경로를 그림으로 나타내어 분석한 결과는 <Figure 6>과 같이 압력중심이동경로를 나타냈는데 2D 인솔과 3D 인솔의 압력중심 이동경로에는 거의 차이가 없는 것으로 분석되었다.

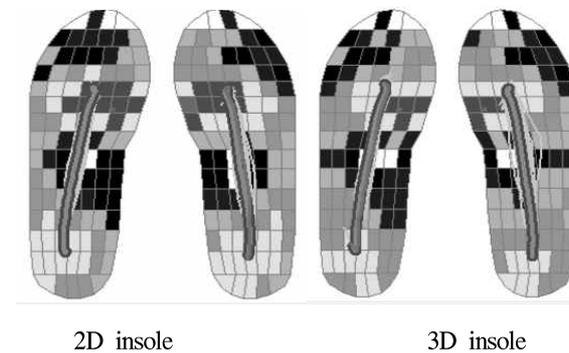


Figure 6. Path of centered movement on 2D & 3D insole

6. 최대족저압력과 최대지면반력의 형태 분석

보행속도 4.0 km/h의 보행시 Pedar-X system에서 제공하는 프로그램을 활용하여 일반 인솔과 3D 인솔 착용시 50 스텝의 동작 수행시 최대족저압력과 최대지면반력 형태를 그림으로 나타내어 분석한 결과는 <Figure 7>과 같이 50보 모두 동일한 패턴을 나타내지 않았다.

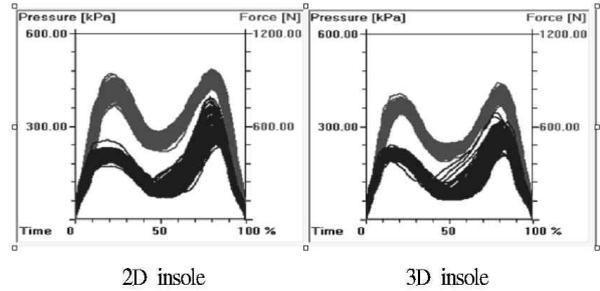


Figure 7. GRF form of 50 steps on 2D & 3D insole

IV. 논 의

1. 평균족저압력

본 연구와 관련된 선행연구 결과를 분석해보면 보행시 착지동작은 중력에 의해 피할 수 없는 동작으로(Cho et al., 2012), 스포츠 활동뿐만 아니라 일상생활에서도 필수적인 동작이다. 보행과 달리기 착지 시 지면반력에 의한 충격은 인체에 부정적인 영향을 미친다(Cavanagh & LaFortune, 1980; McNitt-Gray, 1993). 따라서 착지 시 인체가 받는 충격을 적절하게 흡수하고 분산시키기 위해서는 발목과 무릎, 엉덩이 및 몸통 등을 순차적이면서도 유기적으로 굴곡시켜야 한다(Cho et al., 2012; Yeow, Lee, & Goh, 2009; Woo et al., 2015). 이러한 선행연구결과들은 보행시 되도록 평균족저압력을 낮추는 것이 바람직한 것으로 제시하고 있는데, 본 연구결과의 평균 족저압력은 왼발과 오른발 모두 2D 인솔보다 3D 인솔의 평균 족저압력이 전족부와 후족부에서 모두 낮게 나타난 것으로 분석되었다. 따라서 이러한 결과는 3D 인솔이 2D 인솔보다 발 바닥에 압력 부담을 덜어 주는 것으로 분석되었다.

2. 최대족저압력과 최대수직 지면반력

본 연구와 관련된 선행연구결과를 분석해보면 보행과 달리기 착지 시 지면반력에 의한 충격은 높이와 착지 형태에 따라 다양하게 나타나는데, 특히 높이의 증가와 함께 충격이 증가

하고(Dufek & Bates, 1990; McNitt-Gray, 1993), 큰 충격을 흡수하기 위해서는 인체의 굴곡 움직임을 더 크게 증가시켜야 하지만 인체가 충격을 감소시키기 위해 다른 관절의 움직임을 증가시키게 된다(Fry et al., 2003; Powers, 2003). 착지 시 굴곡 움직임을 증가시키기 위해 착지 순간에는 신진된 상태로 착지하며, 충격을 흡수하기 위해 신속하게 굴곡시켜 충격을 감소시킨다(Cho et al., 2012; Yeow et al., 2011; Woo et al., 2015). Mann(1980)의 연구결과에 따르면 조깅하는 동안 발이 지면에 착지할 때 최대수직 지면반력은 체중의 2~3배에 이르며, 70 kg의 사람이 1km를 달리는 동안 한쪽 발이 받는 충격량은 약 110톤에 달한다고 한다. 이러한 선행연구결과들은 보행과 달리기 최대족저압력과 최대수직 지면반력을 낮추어 충격을 감소시키는 것이 바람직한 것으로 제시하고 있는데, 본 연구결과와 최대족저압력과 최대수직 지면반력은 왼발과 오른발 모두 2D 인솔의 평균보다 3D 인솔의 최대수직 지면반력이 모두 낮게 나타난 것으로 분석되었다. 따라서 이러한 결과는 3D 인솔이 2D 인솔보다 발바닥에 가해지는 충격량을 줄여 주는 것으로 평가할 수 있다.

3. 부위별 족저압력 분포

본 연구와 관련된 선행연구결과를 분석해보면 보행과 달리기 착지 시 충격흡수는 하지 관절뿐만 아니라 전신을 통해 이루어진다(Cho et al., 2012). Choi (2001)의 연구결과 인간이 태어나서 평균 60세까지 걷는 거리는 약 16,000 km 정도이며, 1 km를 보행할 때마다 1,100번이 넘게 땅을 딛어야 하고, 딱딱한 지면에 매일 10,000번 정도 들어 올린다. 족부의 충격이 반복될 경우 상해유발 가능성(Hootman, Dick, & Agel, 2007; Olsen, Myllybust, Engebrestsen, & Bahr, 2004; Woo et al., 2015)이 높아 질 수 있다. 따라서 이러한 선행연구결과들은 보행시 높은 족저압력 분포가 한곳에 집중되면 발바닥 한곳에 부담을 많이 줄 수 있으므로 바람직하지 못한 것으로 제시하고 있다. 이러한 결과를 종합해보면 3차원 입체 구조의 3D 인솔이 일반 인솔보다 부위별 족저압력 분포가 낮게 나타났다. 특히 <Figure 5>에서와 같이 붉은색과 보라색의 족저압력 분포가 많으면 많을수록 발바닥 한곳에 부담을 많이 줄 수 있으므로 바람직하지 못한 것으로 평가할 수 있는데, 2D 인솔의 경우 이러한 현상을 나타낸 것으로 평가할 수 있다. 따라서 부위별 족저압력 분포에서도 3D 인솔이 일반 인솔보다 우수한 것으로 분석되었다.

4. 압력중심 이동경로

연구결과 2D 인솔과 3D 인솔의 압력중심 이동경로에는 거

의 차이가 없는 것으로 분석되었다. 본 연구와 관련된 선행연구결과를 분석해보려고 노력했으나 선행연구결과가 없었으므로 자료제시에 의의를 두었으며, 압력중심 이동경로는 일반적인 3박자 보행시 뒷꿈치로 착지한 후 중족을 통해 전족 엄지 발가락과 검지 발가락 사이로 압력중심 이동경로가 나타나는 경향성이 있는데, 본 연구결과에서도 유사한 결과를 나타낸 것으로 분석되었다.

5. 최대족저압력과 최대지면반력의 형태 분석

본 연구와 관련된 선행연구결과를 비교분석해보면 인체에 가해지는 충격력은 운동의 종류에 따라 달라진다. 발의 착지 형태에 있어 후족착지, 중족착지, 전족착지로 구분하였을 때 대부분의 사람들은 후족착지를 한다. 이 때 충격력이 가장 크게 발생하는 F2 부하반응 정점(loading response peak)에서 제동력이 크면 클수록 발목에 부상의 위험이 커진다(Cavanagh, LaFortune, 1980). 이와 같은 선행연구 결과를 본 연구결과와 비교분석해보면 본 연구결과에서는 3D 인솔의 경우 2D 인솔보다 최대족저압력과 최대수직 지면반력 모두 낮은 형태로 나타났다. 이러한 최대족저압력과 최대수직 지면반력곡선 형태는 일반적인 연구결과(Jin & Shin, 2007; Kim, 2010; Woo et al., 2015)와 유사한 경향성을 나타낸 것으로 분석되었다. 또한 족저압력을 분석할 경우 2~3 스텝의 수집자료로서 족저압력을 분석하는 것은 본 연구결과에서도 알 수 있듯이 많은 오류를 범할 수 있으므로 바람직하지 못한 것으로 분석되었다. 이러한 결과들을 종합해보면 평균족저압력, 최대족저압력, 최대수직 지면반력, 부위별 평균족저압력 분포 등 전반적으로 3차원 입체 구조의 3D 인솔이 2D 인솔보다 우수한 것으로 분석되었다.

V. 결 론

이 연구는 보행시 2D 인솔(2차원 평면인솔)과 3D 인솔(3차원 입체인솔, 맞춤형 아치핏 인솔) 착용시 발에 가해지는 족저압력을 측정 후 족저압력 결과를 활용한 인솔 개발을 위하여 여자 대학생 17명을 선정하고, Pedar-X system 활용하여 신발사이즈; 240 mm, 보행속도; 4.0 km/h 로 보행시 평균족저압력, 최대족저압력, 최대수직지면반력, 중심이동경로 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 족저압력 분석결과 3차원 입체 구조의 3D 맞춤형 아치핏 인솔이 2D 일반 평면인솔보다 평균족저압력, 최대족저압력, 체중대비 최대수직지면반력 분석에서 전족부와 후족부에서 전체적으로 낮은 평균족저압력과

최대족압력 그리고 지면반력을 나타냈다. 이와 같이 평균족저 압력과 최대족저압력 그리고 최대수직지면반력의 수치가 낮게 나타나면 발에 가해지는 압력과 충격을 분산시킬 수 있는 우수한 인솔이라고 평가할 수 있는데, 이러한 평가기준에 따라 3D 맞춤형 아치핏 인솔이 2D 일반 인솔보다 모든 영역에서 우수한 것으로 분석되었다.

참고문헌

- Alexander, I. J., Chao, E. Y. S., Johnson, K. A. (1990). The assesment of dynamic foot to ground force and plantar pressure distribution: A review of the evolution of current techniques and clinical application. *Foot & Ankle*, 11(3), 152-167.
- Barnett, S., Cunningham, J. L., West, S. (2001). A comparison of vertical force and temporal parameters produced by an in-shoe pressure measuring system and a force platform. *Clinical Biomechanics*, 16(4), 353-357.
- Boden, B. P., Dean, G. S., Feagin, J. A., Garrett, W. E. (2000). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*, 23(6), 573-578.
- Cavanagh, P. R., Hewitt, F. G., & Perry, J. E. (1992). In-sole plantar pressure measurement: a review, *The Foot*, 2, 185-194.
- Cavanagh, P. R., LaFortune, M. A. (1980). Ground reaction forces in distance running. *Journal of Biomechanics*, 13(5), 397-406.
- Chae, W. S. (2006). The effects of wearing roller shoes on ground reaction force characteristics during walking. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 16(1), 101-108.
- Cho, J. H., Kim, K. H., & Koh, Y. C. (2012). Analysis of the differences of the shock absorption strategy between drop-landing and countermovement jump. *Korean Journal of Biomechanics*, 22(4), 379-386.
- Cho, J. H., Kim, R. B. (2014). The effect of raised heel insole and landing height on the shock absorption mechanism during drop landing, *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 24(2), 131-138.
- Cho, J. H., Kim, R. B. (2012). The effect of raised heel insole on patellofemoral compressive force during walking. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 50, 935-944.
- Choi, C. S., Nam, K. J., Shin, I. S., Seo, J. S., Eun, S. D., Kim, S. B. (2006). Shock attenuation mechanism in drop landing according to the backpack weight changes. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 16(2), 25-35.
- Choi, J. Y., Kim, S. J., Lee, E. L. (2005). Change of plantar pressure distribution of open stance during forehand stroke in tennis. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(1), 143-153.
- Choi, S. B. (2001). *Influences of Shoe Shape and Gait Characteristics on Feet Discomforts According to Adult Women's Foot Type*. Department of Clothing and Textiles. Graduate School of Kon-Kuk University.
- Clarke, T. E. (1980). *The pressure distribution under the foot during barefoot walking*. Unpublished doctoral dissertation. The Penn State Univ. University Park.
- 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.
- Dufek, J. S., Bates, B. T. (1990). The evaluation and prediction of impact forces during landings. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22(2), 370-377.
- Ebbeling, C. J., Hamill, J., Crussemeyer, J. A. (1994). Lower extremity mechanics and energy cost of walking in high heeled shoes. *The Journal of Orthopedic and Sports Physical Therapy*, 19(4), 190-196.
- Frey, C. (2000). *Foot health and footwear for women*. Clinical Orthopedics and Related Research, 372, 32-44.
- Fry, A. C., Smith, J. C., Schilling, B. K. (2003). Effect of knee position on hip and knee torques during the barbell squat. *Journal of Strength and Conditioning Research/National Strength & Conditioning Association*, 17(4), 629-633.
- Gheluwe, B. V., Nelen, B. (1999). Plantar foot pressure of lower leg amputees during gait and running, *International Society of Biomechanics Fourth symposium on footwear Biomechanics*, Calgary, Canada, 44-47.
- Hennig, E. M., Milani, T. L., (1995). In-sole pressure distribution for running on various types of footwear. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 299-310
- Hennig, E. M., Sanderson, D. J., (1995). In-sole pressure distribution for cycling with two types of footwear at different mechanical loads. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 68-80.
- Hootman, J. M., Dick, R., Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of Athletic Training*, 42(2), 311-319.
- Jeong, K. S. (2005). *The Analysis of Foot Pressure Distribution of The Domestic Tennis Bland and The Foreign Tennis Shoe Bland During 3 Different Tennis Motions*. Department of Physical Education. Graduate School, Hallym University.
- Jin, Y. W., Shin, S. H. (2007). The biomechanical comparison of running shoes according to the difference of insole. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(2), 51-59.
- Kerrigan, D. C., Johansson, J. L., Bryant, M. G., Boxer, J. A., Della, C. U., Riley, P. O. (2005). Moderate-heeled shoes and knee joint torques relevant to the development and pro-gression of knee osteoarthritis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(5), 871-875.
- Kerrigan, D. C., Todd, M. K., Riley, P. O. (1998). Knee osteoarthritis and

- high-heeled shoes, *Lancet*, 351(9113), 1399-1401.
- Kim, D. S., Lee, J. S., Jang, Y. M. (2012). Analysis of GRF & plantar foot pressure of stepping foot on skilled & unskilled player 's in the soccer instep shoot. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 22(1), 17-18.
- 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.
- Kim, J. H. (2006). *The Distribution of Average Plantar Pressure in accordance with Motion Type of Foot. Major in Biomechanics*. Graduate School of Alternative Medicine. Kyonggi University.
- Kim, T. H. (2008). Effect of shoe size on foot pressure, ground reaction force, and fatigue during walking and running, *Physical Therapy Korea*, 15(1), 1-10.
- Kim, T. H., Lee, K. C. (1996). The influence of midsole hardness of aerobic shoes on motion and shock attenuation during high kick. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 6(1), 93-106.
- Koo, B. O. (2011). The effect of height increase elevator shoes insole on gait and foot pressure. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*, 6(2), 199-205.
- Lee, D. K. (2005). *Plantar foot pressure analysis during golf swing motion using plantar foot pressure measurement system* Major in Physical Education. Graduate School of Education Silla University.
- Lee, I. S., Lee, J. H., Kim, H. K., Yoo, K. S. (2006). A study of plantar pressure distribution in the flying camel spins during figure skating. *The Korean Journal of Physical Education*, 45(6), 671-680.
- Lee, J. S., Kim, D. H., Jung, B. W., Han, D. W., Park, D. M. (2011). 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.
- Lee, K. H., Shieh, J. C., Matteliano, A., Smiehorowski, T. (1990). Electromyographic changes of leg muscles with heel lifts in women: therapeutic implications. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 71(1), 31-33.
- Lim, Y. T. (2003). Categorization of two different swing styles using weight transfer patterns of golf swing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 14(2), 179-186.
- Mann, R. A. (1980). Biomechanics of running. In *Symposium on the Foot and Leg in Running Sports*. R. P. Mack(ed.). St. Louis: The C. V. Mosby Co., 1-29.
- McNitt-Gray, J. L. (1993). Kinetics of the lower extremities during drop landing from three heights. *Journal of Biomechanics*, 26(9), 1037-1046.
- Nyska, M., McCabe, C., Linge, K., Klenerman, L. (1996). Plantar foot pressures during treadmill walking with high-heel and low-heel shoes. *Foot & Ankle International*, 17(11), 662-666.
- Olsen, O. E., Mylblebust, G., Engebresten, L., Bahr, R. (2004). Injury mechanism for anterior cruciate ligament injuries in team handball. *American Journal of Sports Medicine*, 32(4), 1002-1012.
- Opila-Correia, K. A. (1990). Kinematics of high-heeled gait with consideration for age and experience of wearers. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 71(11), 905-909.
- Park, K. H., Kwon, O. Y., Kim, Y. H. (2003). Effects of walking speed on foot joint motion and peak plantar pressure in healthy subjects. *Physical Therapy Korea*, 10(1), 77-96.
- Perters, P., Runge, J. (2001). Electronic plantar pressure measurements in different types of mountaineering boots. *Sport verletz sports chaden*, 15(2), 40-44.
- Powers, C. M. (2003). The influence of altered lower-extremity kinematics on patellofemoral joint dysfunction: a theoretical perspective. *The Journal of Orthopedic and Sports Physical Therapy*, 33(11), 639-646.
- Ricard, M. D., Sherwood, S. M., Schulthies, S. S., Knight, K. L. (2000). Effects of tape and exercise on dynamic ankle inversion. *Journal of Athletic Training*, 35(1), 31-37.
- Rosenbaum, D., Hautmann, S., Gold, M., Class, L. (1994). Effects of walking speed on plantar pressure patterns and hind foot angular motion. *Gait & Posture*, 2(3), 191-197.
- Safran, M. R., Benedetti, R. S., Bartolozzi, A. R., Mandelbaum, B. R. (1999). Lateral ankle sprains: a comprehensive review: part 1: etiology, pathoanatomy, histopathogenesis, and diagnosis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(7), 429-437.
- Seong, W. S. (2006). *A Study of Characteristics of Foot Pressure Distribution with of without Partialfoot Prosthesis in Transmetatarsal Amputee*. Major in Exercise Prescription & Rehabilitation. Sports Industry Graduate School of Kookmin University.
- Shin, S. A., Choi, D. S., Kim C. Y., Han, B. R., Lee, H. D., Lee, S. C. (2012). The influence of raised heel insoles on lower extremity joint kinematics of young male during walking. *Korean Journal of Sport Science*, 23(2), 232-243.
- Snow, R. E., Williams, K. R. (1994). High heeled shoes: their effect on center of mass position, posture, three-dimensional kinematics, rearfoot motion, and ground reaction forces. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 75(5), 568-576.
- Son, M. S. (2007). *Comparison of Pressure Distribution Interface between Stump and Socket of Total Surface Bearing and Patellar Tendon Bearing During Walking, Major in Exercise Prescription*. Graduate School of Sports and Leisure Studies Kyungwon University.
- Voloshin, A., Wosk, J. (1982). An in vivo study of low back pain and shock absorption in the human locomotor system. *Journal of Biomechanics*, 15(1), 21-27.

- Woo, J. H., Lee, J. S., Yang, J. O., Lee, B. J., Han, D. W., Bae, K. H., Park, S. M., Bae, J. W. (2015). *Analysis of Plantar Foot Pressure According to 2D & 3D Insole Types During Treadmill Gait*. Department of Physical Education, Graduate School, Silla University. 1-36.
- Yeow, C. H., Lee, P. V., Goh, J. C. (2009). Effect of landing height on frontal plane kinematics, kinetics and energy dissipation at lower extremity joints. *Journal of Biomechanics*, 42(12), 1967-1973.
- Yeow, C. H., Lee, P. V., Goh, J. C. (2011). An investigation of lower extremity energy dissipation strategies during single leg and double-leg landing based on sagittal and frontal plane biomechanics. *Human Movement Science*, 30(3), 624-635.