

## 보행 중 중족골 패드와 인솔의 생체역학적 영향성 평가

최정규<sup>1</sup> · 박인식<sup>1</sup> · 이홍재<sup>2</sup> · 원용관<sup>3</sup> · 김정자<sup>4</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 대학원 헬스케어공학과 · <sup>2</sup>일산백병원 재활의학과

<sup>3</sup>전남대학교 공과대학 전자컴퓨터공학부 · <sup>4</sup>전북대학교 공과대학 바이오메디컬공학부

### Evaluation for Biomechanical Effects of Metatarsal Pad and Insole on Gait

Jung-Kyu Choi<sup>1</sup> · In-Sik Park<sup>1</sup> · Hong-Jae Lee<sup>2</sup> · Yonggwan Won<sup>3</sup> · Jung-Ja Kim<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Healthcare Engineering, Graduate School of Chonbuk National University, Jeonju, Korea

<sup>2</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Inje University, Ilsan Paik Hospital, Goyang, Korea

<sup>3</sup>School of Electronics and Computer Engineering, College of Engineering, Chonnam National University, Gwangju, Korea

<sup>4</sup>Division of Biomedical Engineering, College of Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Korea

Received 29 July 2011; Received in revised form 28 September 2011; Accepted 22 December 2011

#### ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the effects of metatarsal pad (MP) compared with barefoot and MP with using different insoles on gait. 15 healthy females who had no history of injury in the lower extremity with an average age of 22.7 year(SD=1.35), height of 160 cm(SD=3.4), weight of 48.8 kg(SD=5.52) and average foot size of 232.5 mm(SD=6.8) participated in this study as the subjects. The subjects walked on a treadmill under four different experimental conditions: 1) walking with barefoot, 2) walking wearing MP 3) walking wearing a soft insole with MP(SIMP), 4) walking wearing a rigid insole with MP(HIMP). During walking, foot pressure data such as force, contacting area, peak pressure, and mean pressure was collected using Pedar-X System(Novel GmbH, Germany) and EMG activity of lower limb muscles such as tibialis anterior(TA), lateral gastrocnemius(LG), rectus femoris(RF), and musculus biceps femoris(MBF) was gathered using Delsys EMG Work System(Delsys, USA). Collected data was then analyzed using paired t-test in order to investigate the effects of each of experimental conditions. As a result of the analysis, when MP and HIMP were equipped, overall contacting area was increased while the force, peak pressure and the mean pressure were decreased. Especially, when the SIMP was equipped, every data were significantly decreased. In case of EMG, wearing MP, SIMP and HIMP made three muscles(TA, LG, RF)'s activity decrease. A result of the analysis will be able to apply for manufacturing functional shoes, diabetes shoes, senior shoes and lower extremity orthosis. Significance of the study due to a metatarsal pad and the insole is to analyze the changes in muscle strength.

**Keywords :** Gait, Metatarsal Pad, Insole, Foot Pressure, EMG, Biomechanical Analysis

## I. 서론

이동(locomotion)이란 A라는 위치에서 B라는 위치로 움직여

서 자리를 바꾸는 능력을 말하고, 보행(gait)은 발을 움직여 일어나는 특별한 활동이며 인간은 걷기, 달리기, 뛰기 등을 포함하는 두발 보행(bipedal)을 한다(Donatelli, 1995). 인간의 보행은 신체가 앞으로 이동을 할 때 한 쪽의 하지(limb)가 움직임을 지탱하면서 입각기(stance phase)시 안정성을 유지하고 다른 하지가 앞으로 나아감으로써 체간 이동을 하는 하지의 반복 진행을 이용한다(Perry, 1992).

신체 전 표면 중에서 5%에 불과한 발은 인간의 206개의 뼈 중 52개의 뼈가 밀집하여 신체 하중의 95%를 지탱하고 인간의

Corresponding Author : Jung-Ja Kim  
Division of Biomedical Engineering, College of Engineering, Chonbuk National University, 664-14 Deokjin-dong 1, Deokjin-gu, Jeonju, Jeollabuk-do, Korea  
Tel : +82-63-270-4102 / Fax : +82-63-270-2247  
E-mail : jungjakim@jnu.ac.kr

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2009-0077586) 및 한국진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임.(지방연구중심대학육성사업/헬스케어기술개발사업단)

기립 자세와 보행에 가장 큰 역할을 하고 있다(Ramanathan, Kiran, Arnold, Wang & Abboud, 2010). 인간이 1 km를 보행할 때 발에는 약 15 t의 무게의 압력이 느껴지며(Choi & Lee, 2001; Park, 2010), 보행 시의 인간 체중과 바닥을 밀고 나가는 운동(push off)으로 인해 가해지는 힘은 발에 스트레스와 염부 조직 염좌(soft tissue strain)를 가져온다(Lott, Hastings, Commean, Smith & Mueller, 2007).

인솔(inside)은 이러한 발의 피로와 통증을 줄이기 위해 신발 내부에 사용하는 안창을 말하며(Park, Lee, Kim, Yoo & Kim, 2011), 비정상적인 발의 움직임은 조절하고 지면으로부터 오는 충격과 체중을 적절하게 분산시켜 관절과 인대, 근육을 보호하고 디스크 등을 완화시킨다. 또한, 인솔은 장애가 있는 발의 장애 정도를 더 이상 진행 되지 않도록 하며 나아가 정상에 가까워질 수 있도록 교정의 목적으로 사용이 되고 있다(Jung et al., 2010).

Mueller et al.(2006)은 만성 당뇨의 경우 족부 신경 손상과 과도한 족저 압력 때문에 당뇨 족저 궤양이 자주 발생된다고 하였다. 이 때 적절한 조치가 취해지지 않는다면 만성적인 질환으로 인해 그 정도가 악화되어 하지 절단을 하는 경우도 생겨나며, 인솔의 처치는 궤양을 발생시키는 압력으로부터 발을 보호하기 위한 기본적인 방법이라고 하였다.

Albert와 Rinoie(1994)는 회내(pronation)된 당뇨발을 대상으로 하는 인솔의 착용이 제 1 중족골두(metatarsal head)와 내측종골(medial calcaneal) 부위에서 30-40%의 족저압 감소가 있었고 전면 접촉면적은 5-10% 늘었다고 하였으며, Windle, Gregory와 Dixon(1999)은 충격 흡수를 위한 인솔이 발 뒤꿈치에서 37%, 전족(foot)에서 최대 24%의 압력을 감소시킨다고 하였다. Jung et al.(2010)은 맞춤형 인솔이 보행 시 특정 부위에 집중되는 압력을 족부 전체로 고르게 분포시키고 높은 압력으로 인한 충격과 통증을 완화시킨다고 하였다.

인솔과 함께 사용하는 중족골 패드(metatarsal pads)는 중족골 통증(metatarsalgia)과 모튼 신경종(mortons neuroma), 지간 신경종(interdigital neuroma) 질환 등의 통증 완화를 위해 사용되는 치료 방법 중의 하나이다(Deshaies et al., 2011). 모튼 신경종과 지간 신경종은 중족골의 신경 주위가 섬유화되면서 발생하는 신경압박증후군의 가장 흔한 형태로 주로 제 2, 3 지 사이에서 주로 발생한다. Kang, Chen, Chen와 Hsi(2006)는 중족골 통증은 중족골두 밑에서 계속된 지나친 압력 부하가 원인이 되어 일어나는 것으로써 중족골 패드를 사용하여 2주 간 착용하게 한 후 검사한 결과, 중족골두 압력 부하를 감소시키고 통증 또한 절감시키는데 도움이 되는 방법이라 하였다.

Mueller et al.(2006)은 비이상적인 발의 움직임을 수용하면서 과도한 족저압을 분산시키는 전면 접촉 인솔(total-contact insert)과 전족부(foot)의 압력을 추가적으로 분산시키며 줄여주는 중족골 패드를 사용하였을 때, 신발 조건에 비해 전면 접촉 인

솔의 조건일 때 중족골두 밑 부분에서 최대 족저 압력과 압력 시간 적분이 16-24% 감소하고, 전면 접촉 인솔 & 중족골 패드의 조건일 때 29-47%가 감소하였다고 했다.

Hodge, Bach와 Carter(1999)는 돔 타입의 중족골 패드가 바 타입보다 실험자의 통증 감소에 더 효과적이라고 하였다. 반면에, Deshaies et al.(2011)은 돔(dome)과 바(bar)타입의 중족골 패드를 이용하였을 때 바 타입의 중족골 패드를 전장 인솔(full length insoles)에 부착하면 돔 타입의 중족골 패드보다 더 큰 평균 최대 족저압의 감소 효과가 있었다고 하였다.

이와 같이 중족골 패드는 과도한 족저압을 보이는 환자에서 인솔과 더불어 고통 경감을 위해 많이 사용되고 있으나 그 효과에 있어서 아직 많은 변수들이 존재하기에 이에 대한 더 많은 연구가 필요하다. 선행연구들은 보행 중 특히 중족골 패드가 하지의 근 활성도에 미치는 영향에 대해서는 거의 연구되지 않았으며, 중족골 족저압에 미치는 영향에 관한 연구 또한 자세하게 이루어지지 않았다.

이에 본 연구에서는 중족골 패드와 서로 다른 재질의 인솔에 적용한 중족골 패드가 보행에 미치는 영향과 연관성을 분석하여 생체 역학적 주요 정보를 제공하고자 하였다. 실험은 다음의 서로 다른 4가지 조건이 설정된 똑같은 신발을 착용하고 수행하였다. 1) 맨발(barefoot, BF) 2) 돔 타입 중족골 패드(metatarsal pad, BP) 3) Soft 인솔 & 돔 타입 중족골 패드(soft insole with metatarsal pad, SIMP) 4) Rigid 인솔 & 돔 타입 중족골 패드(rigid insole with metatarsal pad, HIMP)로 설정하였으며, 각 조건에서 보행 시 중족골 족저압력 분포 및 근전도를 수집하고 분석하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 피험자

본 연구의 피험자는 20대 대학생 여성 15명이었다. 참여한 피험자의 신발 사이즈는 230-240 mm에 해당되고 평발(pes planus)이나 요족(pes cavus) 등을 포함하여 하지의 근 골격계에 질환이나 부상을 입은 적이 없으며, 보행에 장애가 없고 감각 이상이 없는 자로 선정하였다. 연구에 참가한 모든 대상자에게 실험 전 실험 목적과 실험 절차에 대해 충분히 설명하였고, 실험참가동의서 작성 후 실험을 실시하였다. 피험자의 신체적인 특성은 평균 연령 22.7±1.35 year, 평균 신장 160±3.4 cm, 평균 체중 48.8±5.52 kg, 평균 신발 사이즈 232.5±6.8 mm이었다.

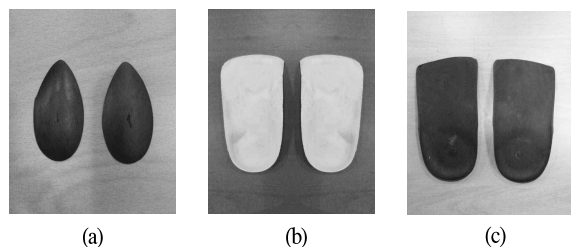
### 2. 실험 도구 및 절차

### 1) 중족골 패드(돔 타입)

중족골 신경 질환은 제 2, 3지 사이에서 주로 발생하며 이를 위해 주로 사용되는 중족골 패드는 돔 타입의 패드이다. 본 연구에서 사용된 중족골 패드는 중족골 돔(metatarsal dome), 소재는 폴리우레탄(poly-urethane), 크기 42 mm × 52 mm × 6.42 mm (가로×세로×높이)을 사용하였다(Figure 1(a)).

### 2) 일반 인솔

본 연구에서는 일반 신발에 들어가는 깔창의 형태와 흡사하고 Soft(연성, 경도 59도)와 Rigid(강성, 경도 98도), 두 가지 재질의 2/3 length insole을 사용하였으며, 발 사이즈에 따라 각각 3가지의 크기(A1, A2, A3)로 준비하였다(Figure 1(b), (c)).



(a) : Metatarsal Pad,  
(b) : Soft 2/3 length insole,  
(c) : Rigid 2/3 length insole

Figure 1. Metatarsal pad and insole

### 3) 신발

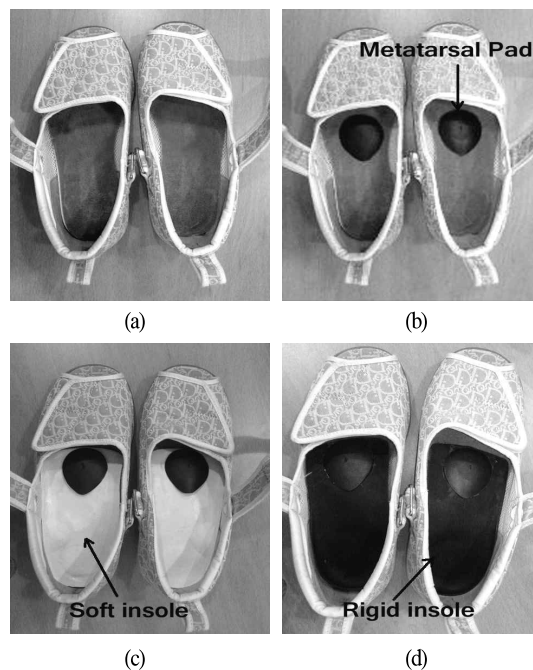
신발은 이 연구에 사용된 인솔과 가장 잘 맞으면서 일반적인 신발 형태와 적합한 것으로 Orthotic fitting shoes R901을 선정하였다. 발 사이즈에 따라 3가지의 크기(A1, A2, A3)로 준비하였다.

### 4) 실험 장비 및 방법

실험은 총 4가지 조건으로 나누어 수행하였다. 첫 번째 조건은 인솔이나 중족골 패드를 부착시키지 않고 보행(BF)을 하게 하였고, 두 번째 조건은 중족골 패드를 신발에 부착시킨 후 보행(MP)을 하게 하였으며, 세 번째 조건은 중족골 패드를 부착한 Soft 인솔을 신발에 부착시킨 후 보행(SIMP)하게 하였고, 네 번째 조건은 중족골 패드를 부착한 Rigid 인솔을 신발에 부착시킨 후 보행(HIMP)하게 하였다<Figure 2>.

중족골 패드는 각 대상자의 발에 맞추어 제 2/3 중족골두 6-10 mm 근위부 아래에 중족골 패드가 오도록 위치 선정을 하고 신발과 인솔에 접착 테이프를 이용하여 탈부착을 하였다. 모든 피험자는 트레드밀에서 보행속도 2.5 km/h, 보폭 50 cm로 하여 60초 간 보행하였으며, 각 조건 당 실험은 5회 실시한 후 평균하였다. 실험에 사용된 트레드밀(Gait Trainer, BIODEX,

USA)은 보행속도와 보폭을 설정하면 메트로놈 경보음과 Fast, Good, Slow 메시지를 통해 피험자에게 일정한 속도를 유지하도록 하였다<Figure 3>.



(a) : BF, (b) : MP, (c) : SIMP, (d) : HIMP

Figure 2. Experimental condition

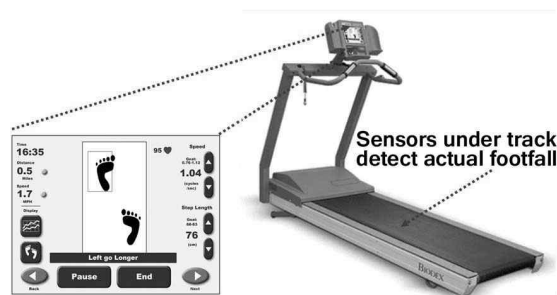
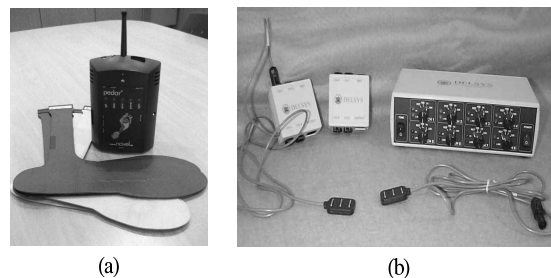


Figure 3. Gait Trainer



(a) : Pedar-X System, (b) : Delsys EMG Work System

Figure 4. Measurement equipment

본 연구는 중족골 패드와 서로 다른 재질의 인솔과 함께 사용된 중족골 패드가 보행에 미치는 영향을 평가하기 위해 보행시 족저압력과 근전도를 측정하였다. 족저압력 측정 장비는 <Figure 4(a)>와 같이 Novel GmbH사의 Pedar-X System으로 블루투스 시스템 형식으로 데이터 전송이 가능하며, 좌우 각각 99개의 압력 센서를 통해 발의 압력을 측정할 수 있다. 본 연구에서는 인솔형 압력 센서를 각 신발의 좌우에 삽입하여 족저압력을 측정하였다. 근전도 측정 장비는 <Figure 4(b)>와 같이 8개의 채널로 데이터 수집이 가능한 Delsys사의 Delsys EMG Work System을 사용하였다.

Perry(1992)는 보행에 있어서 족관절의 배측굴곡(dorsiflexion)과 저측굴곡(plantar flexion)에 각각 전경골근과 비복근, 그리고 고관절과 슬관절의 신전과 굴곡에 각각 대퇴직근, 대퇴이두근이 가장 큰 관여를 한다고 하였다. 이에 본 연구는 보행에 많은 기여를 하는 전경골근(tibialis anterior, TA), 외측 비복근(lateral gastrocnemius, LG), 대퇴직근(rectus femoris, RF), 대퇴이두근(musculus biceps femoris, MBF)을 선정하여 양쪽 하지의 각 근육 부위에 전극을 부착하였다(Kim, Cho, Jung, Kim & Jung, 2010) (Figure 5).

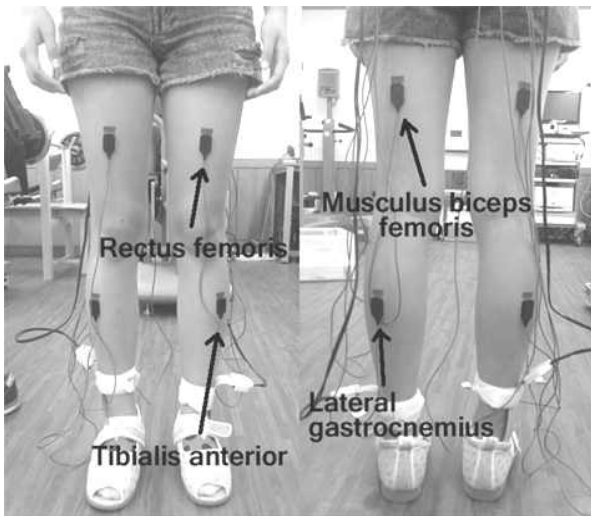


Figure 5. The measurement of EMG

### 3. 자료 수집 및 분석

각 실험 조건에서 수집한 족저압력 분석을 위해 데이터를 제 1 중족골(1st metatarsal, 1st MT), 제 2/3 중족골(2/3rd metatarsal, 2/3th MT), 제 4/5 중족골(4/5th metatarsal, 4/5th MT)로 나누어 영역(mask)을 구분한 후에 해당 영역의 힘(force), 접촉 면적(contacting area), 최대 압력(peak pressure), 평균 압력(mean pressure)을 분석하였다(Figure 6).

각 근육에 부착된 전극을 통해 측정된 아날로그 신호는 피험자들의 피부 저항에 따른 근전도 노이즈를 피하고 정확한 데이터를 수집하기 위해 Delsys EMG Work System의 권장 필터링

대역 주파수 20-450 Hz로 수집되었고 초당 1,000 Hz로 샘플링 하였다. 근 활성도는 FFT(Fast Fourier Transform) 분석의 결과인 파워 스펙트럼 면적 분석에 따라 IEMG(Integrated EMG)값으로 분석하였다(Jung et al., 2010).

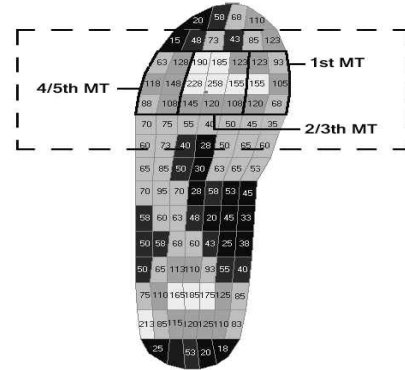


Figure 6. Plantar pressure measurement mask

### 4. 통계처리

각 조건에 따른 족저압력 분포와 근 활성도의 차이를 알아보기 위해 본 실험에서 얻어진 원자료(raw data)를 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 그리고 각 조건 간 통계적인 차이를 규명하기 위해 SPSS ver 19.0을 사용하여 대응표본 t-test를 실시하였다. 통계학적 유의성 검증을 위해 유의수준은  $p < .05$ 로 설정하였다.

## III. 결과

### 1. 족저압력 분석 결과

중족골 패드와 인솔이 족저 압력에 어떠한 영향을 주었는지 평가하기 위한 각 조건 별 제 1 중족골, 제 2/3 중족골, 제 4/5 중족골의 힘, 접촉 면적, 최대 압력, 평균 압력은 다음 <Table 1>과 같다.

보행 시 각 조건에 따른 족부에 미치는 힘을 살펴보면 <Table 1, Figure 7>과 같다. <Table 1>에 나타난 바와 같이, 제 1 중족골에서 힘은 BF  $180.17 \pm 65.38$  N, MP  $183.67 \pm 70.06$  N, SIMP  $164.77 \pm 58.81$  N, HIMP  $175.61 \pm 72.73$  N으로 나타났다. 제 2/3 중족골에서 BF  $238.59 \pm 55.06$  N, MP  $234.97 \pm 50.62$  N, SIMP  $22.36 \pm 47.79$  N, HIMP  $235.91 \pm 54.10$  N으로 나타났으며, 제 4/5 중족골에서 BF  $104.82 \pm 35.92$  N, MP  $99.91 \pm 31.20$  N, SIMP  $91.69 \pm 24.08$  N, HIMP  $98.19 \pm 26.17$  N으로 모두 SIMP일 경우에 작게 나타났다.

대응표본 t-test에 따른 힘의 통계분석 결과, 모든 중족골 부위에서 SIMP의 조건을 각각 BF, MP, HIMP와 비교하는 경우에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < .05$ ).

Table 1. Result of plantar pressure

		BF	MP	SIMP	HIMP
Force (N)	1st MT	180.17 ±65.38 <sup>○</sup>	183.67 ±70.06	164.77 ±58.81 <sup>*▽</sup>	175.61 ±72.73 <sup>δ</sup>
	2-3th MT	238.59 ±55.06	234.97 ±50.62	224.36 ±47.79 <sup>*▽</sup>	235.91 ±54.10 <sup>δ</sup>
	4-5th MT	104.82 ±35.92	99.91 ±31.20	91.69 ±24.08 <sup>*▽</sup>	98.19 ±26.17 <sup>δ</sup>
Contacting Area (cm <sup>2</sup> )	1st MT	13.09 ±2.7	13.99 ±2.67	12.80 ±3.52 <sup>*▽</sup>	13.39 ±3.15 <sup>**δ</sup>
	2-3th MT	22.89 ±2.9	23.34 ±2.48 <sup>*</sup>	22.33 ±3.53 <sup>*▽</sup>	23.34 ±2.52 <sup>δ</sup>
	4-5th MT	8.96 ±1.9	9.14 ±1.36	8.55 ±1.82 <sup>▽</sup>	9.36 ±1.35 <sup>δ</sup>
Peak Pressure (kPa)	1st MT	381.53 ±144.76	379.89 ±158.47	334.04 ±131.60 <sup>*▽</sup>	355.20 ±173.24 <sup>**δ</sup>
	2-3th MT	302.36 ±58.79	295.69 ±65.07	284.52 ±67.48 <sup>*▽</sup>	299.30 ±68.35 <sup>δ</sup>
	4-5th MT	283.47 ±118.12	247.25 ±68.60 <sup>*</sup>	222.637 ±55.77 <sup>*▽</sup>	238.02 ±74.19 <sup>*</sup>
Mean Pressure (kPa)	1st MT	112.11 ±31.19	114.27 ±35.68	102.65 ±29.53 <sup>*▽</sup>	108.74 ±36.94 <sup>δ</sup>
	2-3th MT	100.05 ±20.79	98.38 ±19.37 <sup>*</sup>	94.08 ±18.03 <sup>*▽</sup>	98.78 ±21.01 <sup>δ</sup>
	4-5th MT	99.04 ±33.42	94.15 ±26.79	86.68 ±21.5 <sup>*▽</sup>	92.75 ±23.88 <sup>δ</sup>

○ M±SD, \*significant difference between Barefoot and Metatarsal Pad, <sup>\*</sup>significant difference between Barefoot and Soft insole with Metatarsal Pad, <sup>\*\*</sup>significant difference between Barefoot and Hard insole with Metatarsal Pad, <sup>▽</sup>significant difference between Metatarsal Pad and Soft insole with Metatarsal Pad, <sup>δ</sup>significant difference between Metatarsal Pad and Hard insole with Metatarsal Pad, <sup>δ</sup> significant difference between Soft insole with Metatarsal Pad and Hard insole with Metatarsal pad at  $p < .05$ .

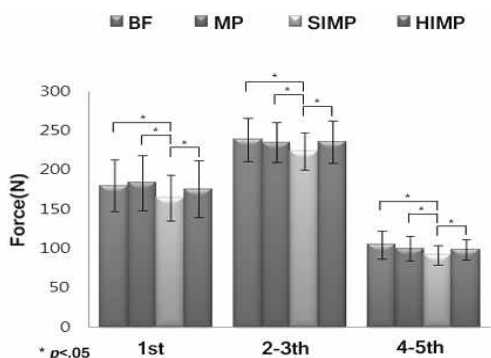


Figure 7. Force

보행 시 각 실험 조건에 따라 발생한 접촉 면적을 살펴보면 <Table 1, Figure 8>과 같다. 제 1 중족골에서 접촉 면적은 BF 13.09±2.7 cm<sup>2</sup> MP 13.99±2.67 cm<sup>2</sup>, SIMP 12.80±3.52 cm<sup>2</sup>, HIMP 13.39±3.15 cm<sup>2</sup>로 나타났으며, 제 2/3 중족골에서 BF 22.89±2.9 cm<sup>2</sup>, MP 23.34±2.48 cm<sup>2</sup>, SIMP 22.33±3.53 cm<sup>2</sup>, HIMP 23.34±2.52 cm<sup>2</sup>로 나타났다. 제 4/5 중족골의 경우 BF 8.96±1.9

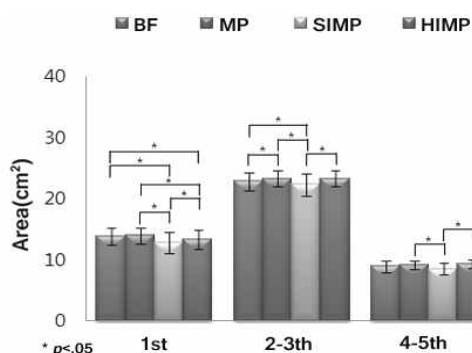


Figure 8. Area

cm<sup>2</sup>, MP 9.14±1.36 cm<sup>2</sup>, SIMP 8.55±1.82 cm<sup>2</sup>, HIMP 9.36±1.35 cm<sup>2</sup>로 모두 SIMP에서 낮게 나타났다.

접촉 면적의 통계분석 결과, 제 1 중족골에서 SIMP의 조건을 BF, MP, HIMP와 각각 비교하고 HIMP의 조건을 BF, MP와 각각 비교하는 경우, 제 2/3 중족골에서 MP의 조건을 BF와 비교하고 SIMP의 조건을 BF, MP, HIMP와 각각 비교하는 경우, 제 4/5 중족골에서 SIMP의 조건을 MP, HIMP와 각각 비교하는 경우에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < .05$ ).

각 실험 조건에 따른 보행 시 최대 압력을 살펴보면 <Table 1, Figure 9>와 같다. 제 1 중족골에서 최대 압력은 BF 381.53±144.76 kPa, MP 379.89±158.47 kPa, SIMP 334.04±131.60 kPa, HIMP 355.20±173.24 kPa로 나타났다. 제 2/3 중족골에서 BF 302.36±58.79 kPa, MP 295.69±65.07 kPa, SIMP 284.52±67.48 kPa, HIMP 299.30 kPa로 나타났고, 제 4/5 중족골에서 BF 283.47±118.12 kPa, MP 247.25±68.60, SIMP 222.637±55.77 kPa, HIMP 238.02±74.19 kPa로 모두 SIMP의 조건에서 낮게 나타났다.

최대 압력의 통계분석 결과, 제 1 중족골에서 SIMP의 조건을 BF, MP, HIMP와 각각 비교하고 HIMP의 조건을 BF와 비교하는 경우, 제 2/3 중족골에서 SIMP의 조건을 HIMP와 비교하는 경우, 제 4/5 중족골에서는 MP의 조건을 BF와 비교하고 SIMP의 조건을 BF, MP와 각각 비교하는 경우, HIMP의 조건을 BF와 비교하는 경우에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < .05$ ).

보행 시 각 실험 조건에 따른 평균 압력을 살펴보면 <Table 1, Figure 10>과 같다. 제 1 중족골에서 평균 압력은 BF 112.11±31.19 kPa, MP 114.27±35.68 kPa, SIMP 102.65±29.53 kPa, HIMP 108.74±36.94 kPa로 나타났고, 제 2/3 중족골에서 BF 100.05±20.79 kPa, MP 98.38±19.37 kPa, SIMP 94.08±18.03 kPa, HIMP 98.78±21.01 kPa로 나타났다. 제 4/5 중족골에서 BF 99.04±33.42 kPa, MP 94.15±26.79 kPa, SIMP 86.68±21.5 kPa, HIMP 92.75±23.88 kPa로 나타났으며, 모두 SIMP의 경우에 작게 나타났다.

평균 압력의 통계분석 결과, 모든 중족골 부위에서 SIMP의 조건을 BF, MP, HIMP와 각각 비교하고, 제 2/3 중족골에서 MP의 조건을 BF와 비교하는 경우 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < .05$ ).

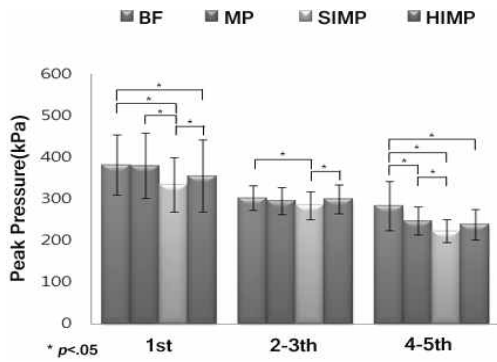


Figure 9. Peak pressure

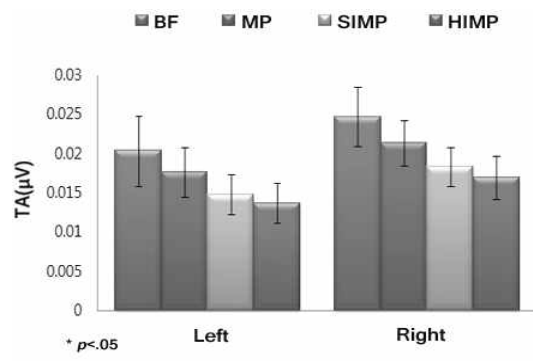


Figure 11. TA : Tibialis Anterior

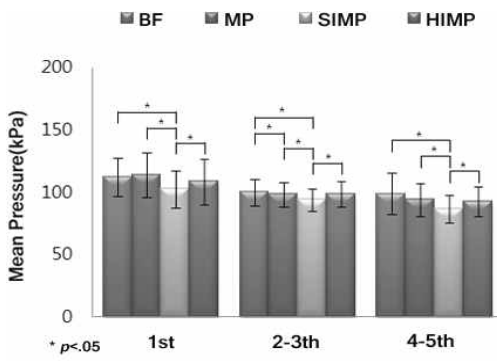


Figure 10. Mean pressure

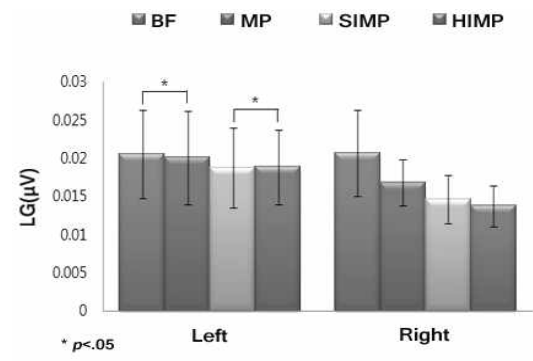


Figure 12. LG : Lateral Gastrocnemius

2. 근전도 분석 결과

중족골 패드와 인솔이 하지 주요 근육에 어떠한 영향을 미쳤는지를 평가하였고 전경골근, 비복근, 대퇴직근, 대퇴이두근의 근 활성도는 <Table 2>와 같다.

Table 2. Result of EMG (unit: μV)

		BF	MP	SIMP	HIMP
TA	Left	0.0204 ±0.0089 <sup>○</sup>	0.0177 ±0.0063	0.0148 ±0.0051	0.0137 ±0.005
	Right	0.0247 ±0.0075	0.0214 ±0.0058	0.0183 ±0.0049	0.0169 ±0.0054
LG	Left	0.0206 ±0.0116	0.0201 ±0.0121*	0.0188 ±0.0104	0.0189 ±0.0098*
	Right	0.0208 ±0.0173	0.0169 ±0.0059	0.0147 ±0.0063	0.0138 ±0.0054
RF	Left	0.0114 ±0.0053	0.0091 ±0.0032	0.0068 ±0.0027	0.0059 ±0.0029
	Right	0.0091 ±0.0041	0.0075 ±0.0022	0.0059 ±0.0023	0.0057 ±0.0025
MBF	Left	0.0098 ±0.0043	0.0085 ±0.0035	0.0089 ±0.0043	0.0084 ±0.0042
	Right	0.0101 ±0.0044	0.0095 ±0.0048	0.0099 ±0.0055	0.0105 ±0.0054

<sup>○</sup>M±SD, \*not significant difference between Barefoot and Metatarsal Pad, \*not significant difference between Soft insole with Metatarsal Pad and Hard insole with Metatarsal Pad at p<.05.

TA:Tibialis Anterior, LG:Lateral Gastrocnemius, RF:Rectus Femoris, MBF:Musculus Biceps Femoris

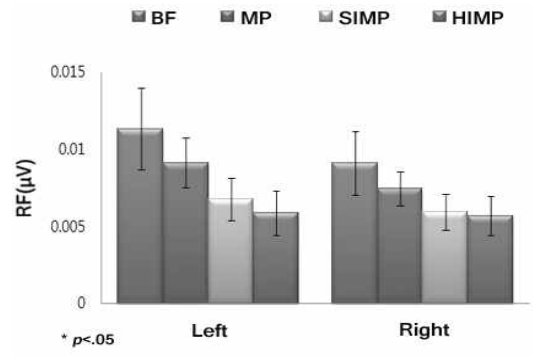


Figure 13. RF : Rectus femoris

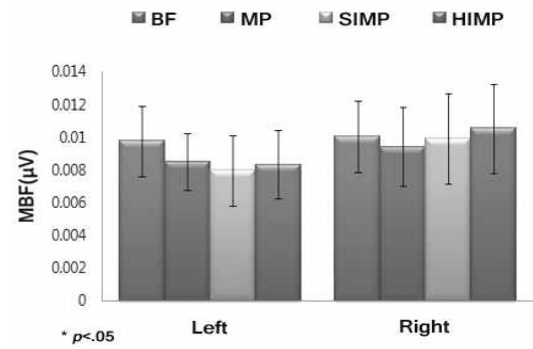


Figure 14. MBF : Musculus Biceps Femoris

보행 시 각 실험 조건에 따른 전경골근 근 활성도를 살펴보면 <Table 2, Figure 11>와 같다. 왼쪽 하지에서 근 활성도는 BF 0.0204±0.0089  $\mu$ V, MP 0.0177±0.0063  $\mu$ V, SIMP 0.0148±0.0051  $\mu$ V, HIMP 0.0137±0.005  $\mu$ V로 나타났다. 오른쪽 하지에서는 BF 0.247±0.0075  $\mu$ V, MP 0.0214±0.0058  $\mu$ V, SIMP 0.0183±0.0049  $\mu$ V, HIMP 0.0169±0.0054  $\mu$ V로 나타났고 양쪽 하지 모두에서 HIMP일 때 근 활성도가 낮게 나타났다.

비복근의 근 활성도를 살펴보면 <Table 2, Figure 12>와 같다. 좌측 비복근에서의 근 활성도는 BF 0.0206±0.0116  $\mu$ V, MP 0.0201±0.0121  $\mu$ V, SIMP 0.0188±0.0104  $\mu$ V, HIMP 0.0189±0.0098  $\mu$ V로 나타났으며, 우측 비복근의 경우 BF 0.0208±0.0173  $\mu$ V, MP 0.0169±0.0059  $\mu$ V, SIMP 0.0147±0.0063  $\mu$ V, HIMP 0.0138±0.0054  $\mu$ V로 나타났다. 좌측 비복근에서 SIMP의 경우와 우측 비복근에서 HIMP의 경우에서 근 활성도가 낮아지는 것을 확인하였다.

대퇴직근의 경우를 살펴보면 <Table 2, Figure 13>과 같다. 좌측 대퇴직근에서의 근 활성도는 BF 0.0114±0.0053  $\mu$ V, MP 0.0091±0.0032  $\mu$ V, SIMP 0.0068±0.0027  $\mu$ V, HIMP 0.0059±0.0029  $\mu$ V로 나타났다. 우측 대퇴직근에서는 BF 0.0091±0.0041  $\mu$ V, MP 0.0075±0.0022  $\mu$ V, SIMP 0.0059±0.0023  $\mu$ V, HIMP 0.0057±0.0025  $\mu$ V로 나타났으며, 양쪽 대퇴직근에서 HIMP의 경우에 근 활성도가 낮게 나타났다.

대퇴이두근의 근활성도를 살펴보면 <Table 2, Figure 14>와 같다. 왼쪽 하지에서 BF 0.0098±0.0043  $\mu$ V, MP 0.0085±0.0035  $\mu$ V, SIMP 0.0089±0.0043  $\mu$ V, HIMP 0.0084±0.0042  $\mu$ V로 나타났고, 오른쪽 하지에서는 BF 0.0101±0.0044  $\mu$ V, MP 0.0095±0.0048  $\mu$ V, SIMP 0.0099±0.0055  $\mu$ V, HIMP 0.0105±0.0054  $\mu$ V로 나타났다. 좌측 대퇴이두근에서는 HIMP의 경우에, 우측 대퇴이두근에서는 MP의 경우에 근활성도가 낮게 나타났다.

근전도의 통계분석 결과, 좌측 비복근에서 BF와 MP의 조건을 비교하는 경우와 SIMP와 HIMP의 조건을 비교하는 경우를 제외하고 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < .05$ ).

## IV. 논 의

보행 시 발생하는 족저압력의 분포를 비교 분석한 결과를 살펴보면 BF에 비해 중족골 패드와 인솔을 사용하였을 경우 접촉 면적이 증가하면서, 힘과 압력이 감소하였음을 확인할 수 있었다. MP의 조건을 BF와 비교할 때, 전체적으로 접촉 면적이 증가함에 따라 힘과 압력이 감소하였다. HIMP의 경우 제 4/5 중족골에서 MP의 경우보다 접촉 면적이 조금 더 증가하면서 제 2/3 중족골에서의 힘과 압력이 함께 증가하였으나, 제 1 중족골과 제 4/5 중족골에서 상대적으로 큰 감소를 하였다. 특히,

SIMP의 경우 다른 조건들과 비교하였을 때 중족골의 모든 부위에서 유의하게 접촉 면적이 감소하면서도 힘과 압력에서 가장 큰 감소를 하였다.

이는 Chang, Abu-Faraj, Harris, Nery와 Shereff(1994)의 연구 결과와 같이 중족골 패드의 사용에 따라 접촉 면적이 증가하면서 중족골의 압력을 어느 정도 분산시켰다는 것을 알 수 있다. 인솔과 중족골 패드와의 관련성은 그대로 딱딱한 재질의 인솔에 부착하거나 신발의 밑창에 단독으로 사용하는 것보다 유연한 재질의 인솔과 함께 사용하였을 때, 중족골에 집중되는 족저압력을 발 전체에 가장 효과적으로 분산시켰다. 이는 높은 압력으로 인한 통증을 효율적으로 완화시키고 보행을 보조하는데 필요한 인솔과 중족골 패드의 선택에 도움을 줄 것으로 판단된다.

근전도의 분석 결과를 살펴보면, BF와 비교하여 중족골 패드와 인솔을 사용하였을 때 전경골근, 외측 비복근, 대퇴직근에서 근 활성도가 낮아지는 것을 확인하였으며, 중족골 패드만 사용한 MP의 경우보다 인솔과 함께 사용한 SIMP와 HIMP의 경우에 유의하게 더욱 많은 근 활성도의 감소가 있었다. 이는 인솔과 함께 사용된 중족골 패드가 하지의 근 피로를 지연시켜 장시간 보행 시 하지 근육의 부담과 통증을 경감시키는데 도움을 주는 것으로 고찰된다. 대퇴이두근의 경우 특별한 경향이 없는 것으로 나타났다.

## V. 결 론

이 연구의 목적은 중족골 패드와 서로 다른 재질의 인솔에 적용한 중족골 패드가 보행에 미치는 영향과 연관성을 분석하여 생체역학적인 기초자료를 제공하는데 있다. 이 연구에서는 여대생 15명을 대상으로 4가지 조건(BF, MP, SIMP, HIMP)의 중족골 패드가 부착된 인솔이 삽입된 신발을 각각 착용시킨 후 보행 시 족저압력의 분포와 근육의 활성도를 각 조건에 따라 측정하여 비교분석 한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

족저압력 측정 시스템을 이용하여 산출한 힘, 접촉 면적, 최대 압력, 평균 압력을 분석한 결과, BF와 비교하여 MP와 HIMP에서는 유의한 차이는 없었으나 접촉 면적이 증가함에 따라 중족골의 압력이 분산되었다. 특히, SIMP에서 다른 조건에 비해 가장 낮은 족저압력이 유의하게 나타났다( $p < .05$ ).

근전도에서는 배측골곡에 관여하는 전경골근, 대퇴직근과 저측골곡에 관여하는 외측 비복근과 대퇴이두근의 활성도를 분석한 결과를 살펴보면, 대퇴이두근에서는 각 조건과 연관된 경향을 발견할 수 없었으나 전경골근, 대퇴직근, 외측 비복근에서 MP, SIMP 그리고 HIMP을 BF와 비교하였을 때 모두 근 활성도가 낮아지는 결과를 보였다. 특히 SIMP와 HIMP의 조건일 때

근 활성도가 많이 감소하는 것을 알 수 있었다.

본 연구의 결론은 중족골 패드의 사용과 서로 다른 재질의 인솔에 부착된 중족골 패드가 보행 시 하지의 생체역학적 움직임에 유의한 영향을 미침을 증명하였다. 인간의 발에 미치는 영향을 분석하였다. 연구의 결과는 기능성 신발 제작, 하지 보조기, 교정기 제작과 당뇨 신발, 노인 신발 등의 제작 및 하지 재활 및 교정 분야에 활용할 수 있으며 특히, 중족골 패드와 인솔로 인한 하지의 근력의 변화를 분석함에 연구의 의의가 있다.

## 참고문헌

- Albert, S., & Rinoie, C.(1994). Effect of custom orthotics on plantar pressure distribution in the pronated diabetic foot. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 33(6), 598-604.
- Chang, A. H., Abu-Faraj, Z. U., Harris, F. G., Nery, J., & Shereff, M. J.(1994). Multistep measurement of plantar pressure alterations using metatarsal pads. *Foot Ankle International*, 15, 654-660.
- Choi, S. B., & Lee, W. J.(2001). Influence of Shoe Shape and Gait Characteristics on feet Discomforts according to Women's Foot Type. *The Costume Culture Association*, 10(3), 306-317.
- Deshaias, A., Roy, P., Symeonidis, P. D., LaRue, B., Murphy, N., & Anctil, É.(2011). Metatarsal bars more effective than metatarsal pads in reducing impulse on the second metatarsal head. *The Foot*.
- Donatelli, R. A.(1995). *The Biomechanics of the Foot and Ankle*. 2nd edition. Philadelphia: The F. A. Davis Company.
- Hodge, M. C., Bach, T. M., & Carter, G. M.(1999). Orthotic management of plantar pressure and pain in rheumatoid arthritis. *Clinical Biomechanics*, 14, 567-575.
- Jung, J. Y., Kim, J. H., Kim, K., Trieu, P. H., 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.
- Kang, J. H., Chen, M. D., Chen, S. C., & Hsi, W. L.(2006). Correlations between subjective treatment responses and plantar parameters of metatarsal pad treatment in metatarsalgia patients: a prospective study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 7, 95.
- Kim, E. H., Cho, H. K., Jung, T. W., Kim, S. S., & Jung, J. W.(2010). The Biomechanical Evaluation of Functional Insoles. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(3), 345-353.
- Lott, D. J., Hastings M. K., Commean, P. K., Smith, K. E., & Muller, M. J.(2007). Effect of footwear and orthotic devices on stress reduction and soft tissue strain of the neuropathic foot. *Clinical Biomechanics*, 22, 352-359.
- Mueller, M. J., Lott, D. J., Hastings, M. K., Commean, P. K., Smith, K. E., & Pilgram, T. K.(2006). Efficacy and Mechanism of Orthotic Devices to Unload Metatarsal heads in People with Diabetes and a History of Plantar Ulcers. *Physical Therapy*, 86(6), 833-842.
- 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.
- Park, S. B., Lee, K. D., Kim, D. W., Yoo, J. H., & Kim, K. H.(2011). 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.
- Perry, J.(1992). *Gait Analysis*. New Jersey: SLACK, INC.
- 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 and Ankle Surgery*, 16, 70-73.
- 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.