

발 뒤축 내 · 외측 경사진 안창이 족부압력에 미치는 영향

유태범^{1*} · 채병기² · 임완수³ · 최화순⁴ · 정민근⁵

¹한밭대학교 산업경영공학과 / ²LG전자 정보통신사업부
³삼성전자 정보통신 총괄 무선사업부 / ⁴포항공과대학교 산학협력단
⁵포항공과대학교 산업경영공학과

Effects of Rear-Foot Wedged Insoles on the Foot Pressure in Walking

Taebeum Ryu¹ · Byungkee Chae² · Wansoo Lim³ · Hwa Soon Choi⁴ · Min K. Chung⁵

¹Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

²Telecommunication Company, LG Electronics, Gyeonggi-do 451-713, Korea

³Telecommunication Network Business, Samsung Electronics, Gyeonggi-do 443-701, Korea

⁴University-Industry Cooperation Institute, POSTECH, Gyeongsangbuk-do 790-784, Korea

⁵Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH, Gyeongsangbuk-do 790-784, Korea

Wedged insoles are frequently used to reduce the pains caused by the knee arthritis or the foot overuse syndrome. The present study analyzed the effect of wedged rear-foot insoles on the foot pressure in walking. Three medially wedged insoles with three angles (5, 8 and 15°) and three laterally wedged insoles with the same angles were made, and a flat insole were prepared. Ten healthy males in twenties walked in a specified line with each insole. Center of pressure (COP), relative vertical force and maximum force on anatomical areas were analyzed from the measured foot pressure data. At heel contact, medially wedged insoles significantly increased the pressure of the medial foot side (COP moved medially by 2-5 mm and maximum pressure of 1st metatarsal head increased by 110-120% relative to the flat insole). In contrast, laterally wedged insoles significantly increased the lateral side pressure (COP moved laterally by 1-5 mm and the ratio of 2nd metatarsal head pressure to 1st metatarsal head increased by 0.5-2.0 relative to the flat insole). At toe off, both wedged insoles significantly increased the pressure of the medial foot side (COP moved medially by 0.5-10 mm and the ratio of 1st metatarsal head pressure to 5th metatarsal head increased by 2.0 relative to the flat insole). Especially, the laterally wedged insoles significantly increased the relative vertical force (6-12%) of the rear-foot more than the flat insole.

Keywords: Wedged Insoles, Foot Pressure, Center of Pressure, Relative Vertical Force, Pressure of Anatomical Area

1. 서론

경사진 안창은 안창의 경사로 발의 자세를 교정함으로써 하지 통증을 완화시키는데 사용되는 보조 치료기구이다. 경사진 안

창은 하지 장애의 보존적 치료기구 중에 하나로서 발의 비정상적인 구조를 교정하여 과사용증후군(overuse syndrome) 또는 무릎 관절염으로 인한 하지의 통증을 완화 시키려는 목적으로 고안되었다. 경사진 안창은 경사가 있는 위치에 따라 내

* 연락저자 : 유태범, 305-719 대전광역시 유성구 덕명동 산 16-1 한밭대학교 산업경영공학과, Tel : 042-821-1757, Fax : 042-821-1591
E-mail : tbryu@hanbat.ac.kr

2007년 11월 접수; 2008년 01월 수정본 접수; 2008년 01월 게재 확정.

측 경사진 안창(medially wedged insole)과 외측 경사진 안창(laterally wedged insole)의 두 종류로 나뉜다.

경사진 안창이 하지 관절에 미치는 영향은 기존 연구들에서 분석되어왔고 관절 각운동 및 모멘트 측면에서 그 효과가 정량적으로 밝혀지고 있다. 일반적으로 경사진 안창 사용시 안창의 경사면에 따라 발이 놓이게 되어 외측 경사진 안창은 발의 가쪽번짐을 유도한다고 생각할 수 있다. 그러나 Ahn *et al.*(2005)는 외측 경사진 안창은 자연스러운 보행을 위해 경사면의 외측 부분만을 낮고 걸음으로써 발의 안쪽번짐이 발생한다고 보고하였다. 또한, Baich *et al.*(1991)은 내측 경사진 안창이 발목관절의 관상면에서 발의 운동범위(range of motion)를 감소시킨다고 보고하였다. 관절 모멘트 측면에서 외측 경사진 안창은 발목관절의 안쪽 번짐 모멘트와 무릎 관절의 내반 모멘트를 감소시키는 반면, 내측 경사진 안창은 안쪽 번짐 모멘트와 무릎 관절의 내반 모멘트를 증가시키는 것으로 알려져 있다(McClay, 2000; Ahn *et al.*, 2005).

운동형상학 및 운동역학 측면에서 경사진 안창의 영향에 대한 연구가 많은 반면, 경사진 안창이 족부압력에 미치는 영향에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다. 족부압력에 관한 기존 연구들은 주로 굽 높이가 변화에 따른 족부압력 분포의 변화 또는 일반 안창을 착용한 보행 시 발가락 들림기(toe off)나 발뒤축 접지기(heel contact)와 같은 특정구간에서 발생하는 족부압력의 변화를 분석한 것들이 대부분이다(Eisenhardt *et al.*, 1996; Hayafune *et al.*, 1999). 보행 시 경사진 안창은 안창의 경사로 인하여 일반 안창과 다른 족부압력 특성을 보일 것이며, 경사진 안창 사용에 따른 족부압력 변화는 무릎 또는 발목 관절의 모멘트에 영향을 미칠 것이다. 따라서 경사진 안창이 족부압력에 미치는 영향의 분석은 중요하나 이에 대한 기존 연구로 Gheluwe and Danaberg(2004)의 연구가 있을 뿐 부족한 실정이다.

Gheluwe and Danaberg(2004)는 족근골 부위와 발 뒤축(rear foot) 부위에 대한 두 가지 종류의 안창이 족부압력에 미치는 영향을 분석하였다. 그러나 이 연구는 차이가 적은 경사 조건들을 사용하고 경사 조건의 수가 적은 한계를 갖는다. 족근골 부위 안창의 경우 3°와 6°의 내측 경사진 안창과 3°의 외측 경사진 안창을 사용하였고, 발 뒤축 경사진 안창의 경우 4°와 8°의 내측 경사진 안창과 4°의 외측 경사진 안창을 사용하였다. 경사진 안창의 기존 연구들(Eisenhardt *et al.*, 1996; Hayafune *et al.*, 1999; McClay, 2000)에서 주로 5, 8, 10, 15 그리고 25°의 경사를 사용한 것을 고려해 볼 때 Gheluwe and Danaberg(2004)에서 사용된 안창들은 서로 간에 차이가 적으며 일반 안창과도 적은 차이를 갖는다. 그리고 내측 경사진 안창의 경사 조건은 두 개, 외측 경사진 안창의 경사 조건이 한 개로 그 수가 적어 결과의 일반화에 한계를 갖는다. 또한 Gheluwe and Danaberg(2004)는 경사진 안창의 족부압력에 대한 영향을 안창이 사용된 해당 부위에서만 부분적으로 분석할 뿐 발 전체의 압력변화에 대한 분석에 미흡하였다.

본 연구는 뒤축 경사진 안창이 보행 시 족부압력에 미치는 영향을 발의 전반적 측면에서 분석하고자 하였다. 안창의 경사 조건으로는 경사진 안창과 관련한 기존연구에서 주로 사용된 경사 조건들을 사용하였으며, 발 뒤축 경사진 안창의 영향을 발 뒷부분뿐만 아니라 발 앞부분에서도 분석하였다. 실험에 사용된 경사진 안창은 내/외측 경사가 각각 5°, 8°, 15°인 경사진 안창이며, 경사가 없는 안창을 포함해 총 일곱 조건이 실험조건으로 사용되었다. 족부압력 분석을 위한 변수들로 압력 중심(COP : center of pressure)의 궤적, 발바닥의 세부부위에 상대적으로 작용하는 수직힘(RVF : relative vertical force) 그리고 해부학적 지점의 압력변화가 이용되었다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자 및 실험장비

하지 부위 관련 병력이 없고 보행에 불편이 없는 20대 성인 남성 10 명이 본 연구의 실험에 참여하였다. <Table 1>은 실험 참여자들의 연령 및 인체 측정 데이터를 나타낸다.

Table 1. Mean (SD) of participants' age and anthropometric dimensions

Age(yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Foot length (cm)	Foot width (cm)
24.8(1.1)	175.5(4.5)	73.3(5.3)	25.4(1.0)	9.7(2.1)

족부압력 측정 장비로는 가로 0.5cm, 세로 0.7cm의 압력센서를 포함하고 있는 RsScan International 사의 Footscan plate (0.35 × 2m) 한 개가 사용되었다. 데이터 수집을 위한 샘플링 비율은 175Hz로 설정되었다. Footscan plate를 통해 얻어진 데이터를 종합하고 분석하기 위한 소프트웨어로는 Footscan software 6.3.4 for multistep(RsScan International, 벨기에)이 사용되었다.

2.2 실험방법

경사진 안창의 족부압력 측정 실험은 크게 실험 준비 및 연습 그리고 측정의 두 단계로 진행되었다. 실험 준비 및 연습 단계에서는 피실험자들에게 실험의 목적과 과정을 설명한 후, 피실험자가 Footscan plate 내에 두 사이클의 보행주기를 갖도록 연습을 시켰다. 족부압력에 영향을 미치는 보행속도는 메트로놈(metronome)을 사용하여 한국 20대 남성의 평균 속도인 107 steps/min로 유지하도록 하였다. 측정 단계에서는 피실험자가 경사가 없는 안창과 5, 8, 15°의 내/외측 안창을 포함해 총 일곱 가지 안창들을 각각 착용하고 Footscan plate를 위를 걷는 동안 족부압력 측정 데이터를 수집하였다. 그리고 착용하는

안창의 종류가 바뀔 경우 피실험자가 새로운 안창에 익숙해지도록 일 분 이상 원하는 시간 동안 보행 연습을 하도록 하였다

2.3 경사진 안창의 종류

실험에 사용된 경사진 안창들은 안창의 뒷부분에 내측 경사를 갖는 세 개의 안창, 외측 경사를 갖는 세 개의 안창, 그리고 일반 안창을 포함하여 일곱 가지이다. 경사진 안창 관련 기존 연구에서 주로 사용된 안창의 경사각은 5, 8, 10, 15, 25°로 본 연구는 이 중 5, 8, 15°의 경사를 내/외측 경사진 안창에 사용하였다. 경사각에 따른 사용된 안창의 길이 너비, 높이는 <Figure 1> 과 같다.

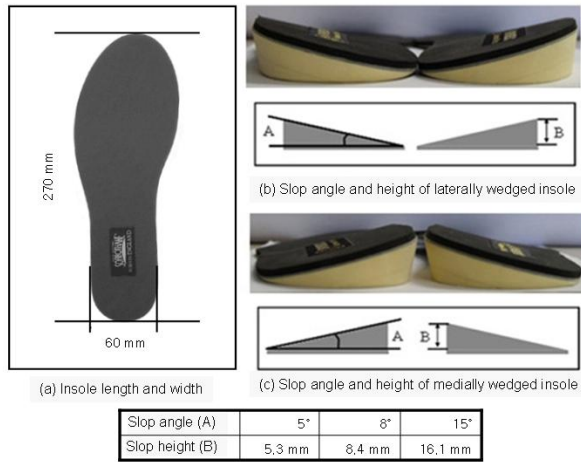


Figure 1. Length, width and slope height of wedged insoles in the experiment

2.4 족부압력 분석 방법

경사진 안창 사용에 따른 족부압력 특성은 발바닥 내 압력 중심(COP : center of pressure)의 궤적, 발 세부부위에 작용하는 상대적인 수직힘(RVF : relative vertical force) 그리고 해부학적 지점 압력의 세 측면에서 분석되었다. 먼저 COP 궤적특성은 실험참여자들에서 공통적으로 나타나는 궤적 변곡점들의 좌표를 이용하여 정의된 변수들로 분석되었다. 본 연구에서 발바닥 COP 궤적은 <Figure 2>와 같이 두 번째 족근골(metatarsal head)과 발 뒤꿈치의 중심점을 잇는 X축 그리고 발 뒤꿈치에 접하면서 X축에 수직인 Y축으로 정의된 좌표계에서 표현된다. 보행시 발바닥 내 COP 궤적은 시간이 경과함에 따라 X축 방향으로 이동하는 동시에 Y축 방향에서의 변화를 갖는다. 경사진 안창에 따른 COP 궤적 특성을 변수화하기 위해 보행시 COP 궤적을 파악한 결과, 공통적으로 실험참여자들의 COP는 발 뒤축 접지기에서 내측으로 이동한 후, 디딤기 중간부분에서 외측으로 이동하였고, 앞 발 누름기에서 다시 내측으로 이동함을 발견하였다<Figure 3>. 본 연구는 안창의 경사에 따른

COP 궤적의 변화 특성을 분석하기 위해 보행의 세 구간에서 공통적으로 나타나는 COP 최대 내/외측 점의 Y축 좌표로 세 가지 변수를 정의하였다(<Table 2> 참조).

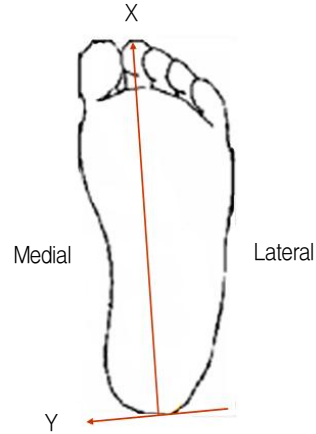


Figure 2. Coordinate frame for analyzing COP

Table 2. Variables for analyzing COP

Variable	Explanation
Max COP _y (heel contact)	Largest medial deviation of COP in heel contact
Min COP _y (stance phase)	Smallest medial deviation of COP in stance phase
Max COP _y (toe off)	Largest medial deviation of COP in toe off

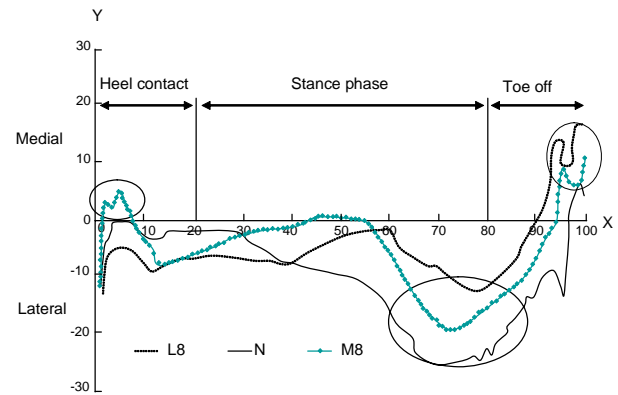


Figure 3. COP trajectory of a participant(L8 : laterally wedged insole with slope angle of 8°, N : normal insole, M8 : medially wedged insole with slop angle of 8°)

본 연구는 경사진 안창의 사용에 따라 발의 앞 중간 그리고 뒷부분에 작용하는 힘의 특징을 파악하기 위해 세 부위의 상대적 수직힘(RVF)을 분석하였다. 발 특정 부위의 RVF는 발 전체에 작용하는 수직 힘에 대한 해당부위의 수직 힘의 크기 비

을 나타내는 변수로 각 부위 압력 분포를 제공한다. 본 연구는 세 부위 RVF 분석을 위해 발바닥을 <Figure 4>와 같이 발가락을 제외한 발 길이를 삼등분 하였다. 세 부위의 RVF ($RVF_{forefoot}$, $RVF_{midfoot}$ 그리고 $RVF_{rearfoot}$)는 디딤구간 동안 각 부위에 작용하는 수직 힘의 합을 발 전체에 작용하는 수직 힘의 합으로 나누어 계산되었다(Equation 1 참조).

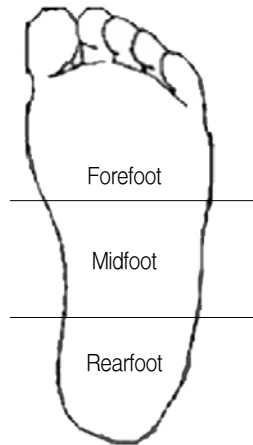


Figure 4. Three divisions of the foot

$$RVF_{part_i} = \frac{\int_{heel_contact}^{toe_off} F_{part_i} dt}{\int_{heel_contact}^{toe_off} F_{all_parts} dt} \quad (\text{equation 1})$$

단, F_{part_i} : 발의 세 부위(forefoot, midfoot, rearfoot) 중 해당 한 부위에 나타나는 수직힘

F_{all_parts} : 발의 어느 부위에든지 나타나는 수직힘

경사진 안창의 사용에 따른 발바닥에 나타나는 압력특성을 파악하기 위해 발바닥 해부학적 지점의 최고압력을 조사하였다. 발바닥의 해부학적 지점은 보행 시 큰 압력을 받는 부위들로, 이들 부위 압력을 분석함으로써 경사진 안창의 사용에 따른 발바닥 압력분포 특징을 파악할 수 있다. 해부학적 지점은 Willem *et al.*(2005)과 같이 발 뒷부분(H1, H2), 족근골(MH1, MH2, MH3, MH4 그리고 MH5) 그리고 엄지발가락(T1)의 여덟 개 지점이 선정되었다(Figure 5). 특히 발 뒤꿈치 해부학적 지점은 내/외측의 압력 비교를 위해 발뒤꿈치 중심을 기준으로 좌/우 대칭되도록 두 개가 선정되었다(H1, H2). 경사진 안창의 사용에 따른 발바닥 해부학적 지점의 압력분포 변화는 선정된 여덟 개 해부학적 지점의 최고압력(P_{H1} , P_{H2} , P_{MH1} , P_{MH2} , P_{MH3} , P_{MH4} , P_{MH5} , P_{T1})을 측정하여 분석하였다. 그리고 족근골과 발 뒷부분의 내/외측 압력 비교를 위해 MH1과 MH5의 최고압력 비율(P_{MH1}/P_{MH5})과 H2와 H1의 최고 압력 비율(P_{H2}/P_{H1})을 추가적으로 분석하였다.

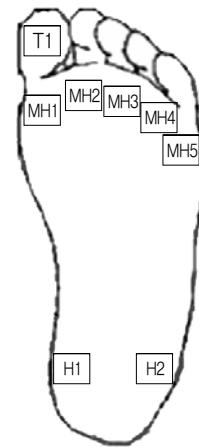


Figure 5. Selected anatomical areas

3. 연구 결과

3.1 안창의 경사조건에 따른 COP 궤적변화 특성

안창의 경사조건에 따른 COP 궤적특성을 나타내는 발 뒷부분 접지기의 COP 최대 내측값(Max $COPY_{(heel\ contact)}$), 디딤기 COP 최소 내측값(Min $COPY_{(stance\ phase)}$) 그리고 앞발 누름기의 COP 최대 내측값(Max $COPY_{(toe\ off)}$)은 실험참여자 한 명에 대해 <Figure 6>과 같이 파악되었다. 내측 경사진 안창은 발 뒷부분 접지기에서 일반 안창(0°)보다 COP 최대 내측값을 증가시켰으며, 경사가 증가할수록 그 값이 커졌다. 디딤기 부분에서 내측 경사진 안창의 COP 최소 내측값은 모두 일반 안창보다 컸으며, 안창의 경사가 증가할수록 그 값이 커졌다 또한 발 앞부분 누름기에서 내측 경사진 안창의 COP 최대 내측값은 일반 안창보다 컸으며, 안창의 경사가 증가할수록 그 값이 커졌다

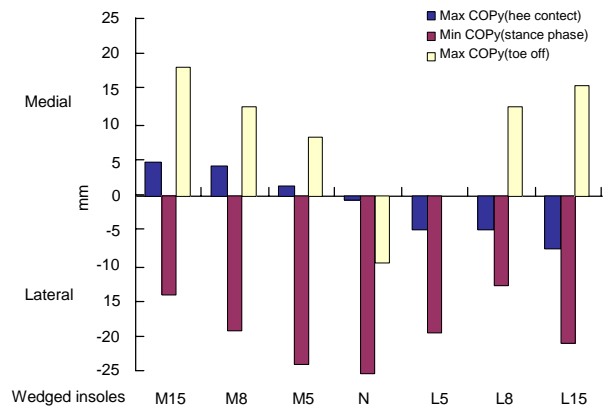


Figure 6. Measurement of COP variables for a participant(M5 ~ M15 : medially wedged insole with 5° ~ 15° slope angles, L5 ~ L15 : laterally wedged insole with 5° ~ 15° slope angles, N : normal insole)

외측 경사진 안창은 발 뒷부분 접지기에서 내측 경사진 안창과 달리 일반 안창보다 COP 최대 내측값을 감소시켰으며, 경사가 증가할수록 그 값이 감소했다. 디딤기에서 외측 경사진 안창의 COP 최소 내측값은 내측 경사진 안창과 같이 일반 안창보다 컸으며, 안창의 경사가 증가할수록 그 값이 커졌다. 발 앞부분 누름기에서 외측 경사진 안창의 COP 최대 내측값 역시 내측 경사진 안창과 같이 일반 안창보다 컸으며 안창의 경사가 증가할수록 그 값이 커졌다.

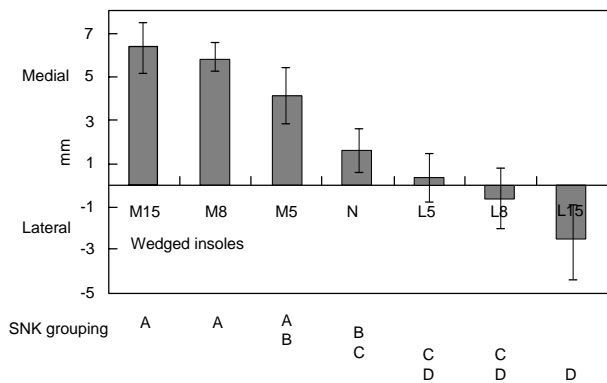
COP 궤적특성에 대한 ANOVA 결과 발 뒷부분 접지기에서 COP 최대 내측값(Max COP_{y(heel contact)})과 발 앞부분 누름기에서 COP 최대 내측값(Max COP_{y(toe off)})이 안창의 경사조건에 따라 유의한 차이를 나타내는 것으로 파악되었다(p < 0.05). 발 뒷부분 접지기에서 COP 최대 내측값에 대한 SNK(Student-Newman-Keuls) 분석결과, 내측 경사진 안창은 안창의 경사가 증가할수록 COP 최대 내측값을 증가시키는 경향을 보였으며, 특히 8°와 15°의 경사조건에서 일반 안창보다 그 값을 유의하게 증가시켰다(4.3, 4.7mm)<Figure 7(a)>. 반면, 외측 경사진 안

창은 안창의 경사가 증가할수록 COP 최대 내측값을 감소시키는 경향을 보였으며, 특히 15°의 경사조건에서 일반 안창보다 그 값을 유의하게 감소시켰다(4.3mm). 그리고 발 앞부분 누름기에서 COP 최대 내측값에 대한 SNK 분석결과 내측 경사진 안창은 안창의 경사가 증가할수록 COP를 내측으로 이동시켰으며, 특히 8°의 경사조건에서 일반 안창보다 그 값이 유의하게 컸다(8.2mm)<Figure 7(b)>. 외측 경사진 안창은 15°의 경사조건에서 COP 최대 내측값을 일반 안창보다 유의하게 증가(9.5mm)시켰을 뿐, 나머지 경사조건에서 그 값은 일반 안창과 큰 차이를 보이지 않았다.

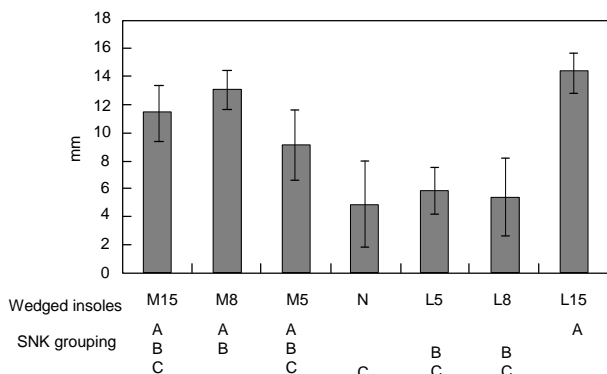
3.2 안창의 경사조건에 따른 RVF 특성

실험참여자 한 명의 안창 경사조건에 따른 디딤기 동안 발 앞부분 그리고 뒷부분에 상대적으로 작용한 수직힘(RVF_{forefoot}, RVF_{midfoot}, RVF_{rearfoot})은 <Figure 8>과 같다. 먼저 내측 경사진 안창은 발 앞부분의 수직힘을 일반 안창(0°)보다 감소시키는 반면, 중간부분의 수직힘을 일반 안창보다 증가시켰다. 그리고 안창의 경사가 증가할수록 발 앞부분의 수직힘을 감소시키고, 중간부분의 수직힘을 증가시키는 경향을 보였다. 그러나 내측 경사진 안창에 따른 발 뒷부분의 수직힘은 일반 안창과 차이를 보이지 않았다. 외측 경사진 안창은 내측 경사진 안창과 같이 발 앞부분의 수직힘을 일반 안창보다 감소시키고, 발 중간 부분의 수직힘을 일반 안창보다 증가시켰다. 그러나 외측 경사진 안창은 내측 경사진 안창과 달리 발 뒷부분의 수직힘을 일반 안창보다 증가시켰으며, 안창의 경사가 증가할수록 그 힘을 증가시키는 경향을 보였다.

발 앞부분, 중간 그리고 뒷부분에 상대적으로 작용한 수직힘에 대한 ANOVA 결과 발 앞부분과 뒷부분의 수직힘(RVF_{forefoot},



(a) Largest medial deviation of COP in heel contact(Max COP_{y(heel contact)})



(b) Largest medial deviation of COP in toe off(Max COP_{y(toe off)})

Figure 7. SNK test on significant COP variables(M5~M15 : medially wedged insole with 5°~15° slope angles, L5~L15 : laterally wedged insole with 5°~15° slope angles, N : normal insole)

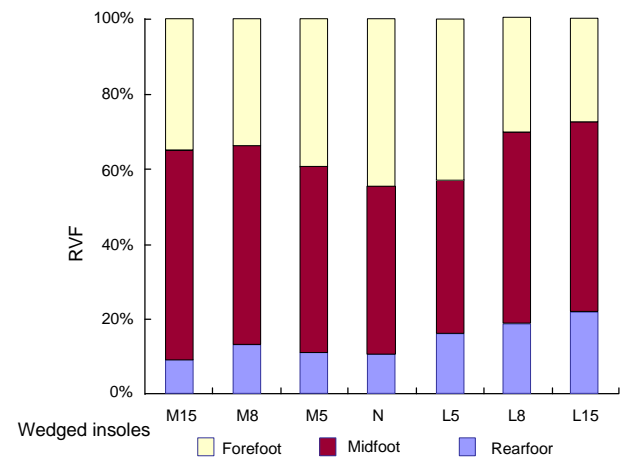


Figure 8. RVF of forefoot, mid-foot and rear-foot of a participant (M5~M15 : medially wedged insole with 5°~15° slope angles, L5~L15 : laterally wedged insole with 5°~15° slope angles, N : normal insole)

RVF_{rearfoot})들이 안창의 경사조건에 따라 유의한 차이를 나타낸 것으로 파악되었다($p < 0.05$). 발 앞부분의 수직힘에 대한 SNK 분석결과 외측 경사진 안창은 안창의 경사가 증가할수록 발 앞부분 수직힘을 감소시키는 경향을 보였으며, 특히 8°, 15°의 경사조건에서 그 힘을 일반 안창보다 유의하게 감소시켰다(10.8%)<Figure 9(a)>. 내측 경사진 안창은 일반 안창과 유의한 차이를 보이지 않았다. 그리고 발 뒷부분의 수직힘에 대한 SNK 분석결과 내/외측 경사진 안창은 모두 일반 안창과 유의한 차이를 보이지 않았으며, 다만 외측 경사진 안창은 안창의 경사가 증가할수록 발 뒷부분의 수직힘을 증가시키는 경향을 보였다<Figure 9(b)>.

3.3 안창의 경사조건에 따른 해부학적 지점의 압력 특성

실험참여자 한 명의 안창 경사조건에 따른 발바닥 해부학적 지점의 최고압력은<Table 7>과 같다. 내측 경사진 안창은 다섯 개 족근골 중 두 번째, 네 번째 그리고 다섯 번째 족근골의 최고압력(P_{MH2} , P_{MH4} , P_{MH5})을 일반 안창보다 증가시켰으며, 안창의 경사가 증가할수록 그 값을 증가시키는 경향을 보였다. 그리고 발 뒷부분 외측의 최고압력(P_{H2})을 일반 안창보다 감소시키고, 안창의 경사가 증가할수록 그 값을 감소시켰다. 외측

경사진 안창은 내측 경사진 안창과 달리 다섯 번째 족근골의 최고압력을 일반 안창보다 감소시켰으며, 안창의 경사가 증가할수록 그 값을 감소시켰다. 그리고 발 뒷부분 내측의 최고압력(P_{H1})을 일반 안창보다 감소시키고, 안창의 경사가 증가할수록 그 값을 감소시켰다. 또한 외측 경사진 안창은 내측 경사진 안창과 달리 발 뒤축 외측의 최고압력을 일반 안창보다 증가시키고, 안창의 경사가 증가할수록 그 값을 증가시켰다.

발바닥 해부학적 지점의 최고압력에 대한 ANOVA 결과 발 뒷부분(P_{H1} , P_{H2} , P_{H2}/P_{H1})과 족근골 부위(P_{MH5} , P_{MH1}/P_{MH5})의 해부학적 지점들이 안창의 경사조건에 따라 유의한 차이를 나타내는 것으로 파악되었다($p < 0.05$). 발 뒷부분의 내측 해부학적 지점 최고압력에 대한 SNK 분석결과 외측 경사진 안창은 안창의 경사가 증가할수록 그 값을 감소시키는 경향을 보였으며, 특히 15°의 경사조건에서 그 값을 일반 안창보다 유의하게 감소시켰다($133.6 N/m^2 \times \text{Body weight}$)<Figure 10(a)>. 내측 경사진 안창은 일반 안창과 유의한 차이를 보이지 않았으나 외측 경사진 안창과 달리 안창의 경사가 증가할수록 발 뒷부분의 내측 해부학적 지점 최고압력을 증가시키는 경향을 보였다. 발 뒷부분의 외측 해부학적 지점 최고압력에 대한 SNK 분석결과 8°의 외측 경사진 안창은 일반 안창보다 그 값을 유의하게 증가시켰다($80.6 N/m^2 \times \text{Body weight}$)<Figure 10(b)>. 내측 경사진 안창은 일반 안창과 유의한 차이를 보이지 않았으며, 다만 안창의 경사가 증가할수록 그 값을 감소시키는 경향을 보였다.

발 뒷부분의 내/외측 해부학적 지점 최고압력 비율에 대한 SNK 분석결과 외측 경사진 안창은 안창의 경사가 증가할수록 그 값을 증가시키는 경향을 보였으며, 특히 15°의 경사조건에서 그 값을 일반 안창보다 유의하게 증가시켰다(2.0배)<Figure 10(c)>. 내측 경사진 안창은 일반 안창과 유의한 차이를 나타내지 않았다.

다섯 번째 족근골의 최고압력에 대한 SNK 분석결과 외측 경사진 안창은 안창의 경사가 증가할수록 그 값을 감소시키는 경향을 보였으며, 특히 8°와 15°의 경사조건에서 그 값을 일반 안창보다 유의하게 감소시켰다($117.6, 142.6 N/m^2 \times \text{Body weight}$)<Figure 11(a)>. 내측 경사진 안창은 일반 안창과 유의한 차이

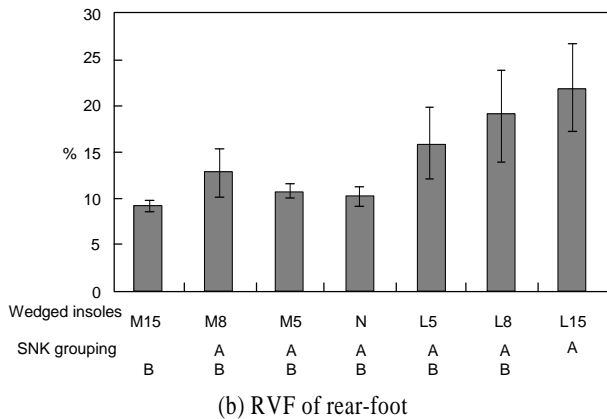
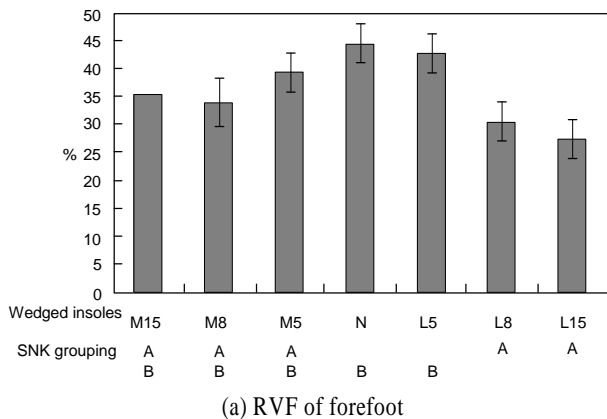
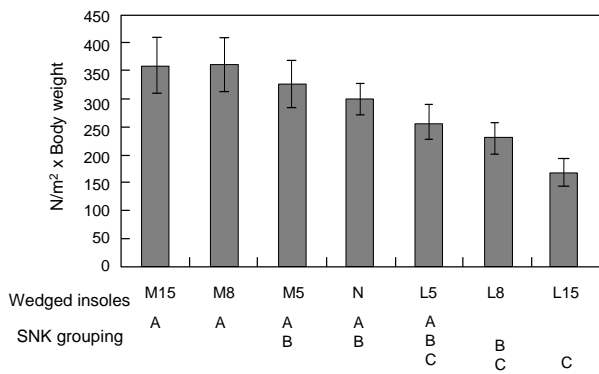


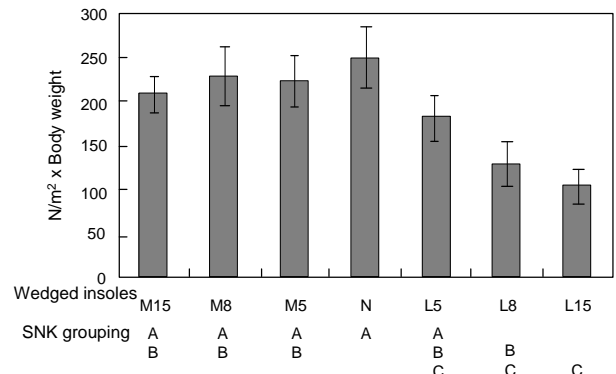
Figure 9. SNK test on significant RVF variables

Table 7. Maximum pressure on selected anatomical areas on foot for a participant(Unit : $N/m^2 \times \text{Body weight}$)

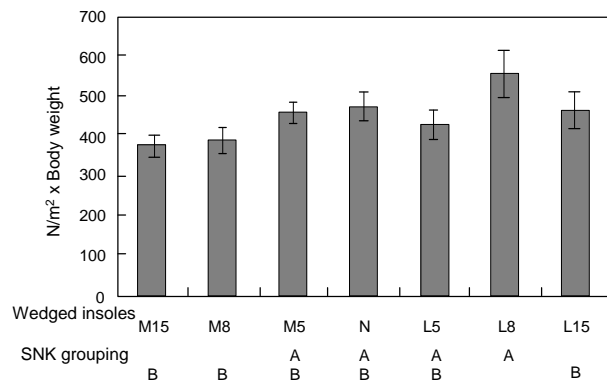
Insole	Maximum pressure on eight anatomical areas							
	P_{T1}	P_{MH1}	P_{MH2}	P_{MH3}	P_{MH4}	P_{MH5}	P_{H1}	P_{H2}
M15	107.5	149.7	76.2	149.7	181.0	244.9	374.1	344.2
M8	114.3	83.0	152.4	289.8	259.9	166.0	284.4	352.4
M5	144.2	80.3	187.8	187.8	129.3	227.2	288.4	410.9
N	87.1	5.4	77.6	170.1	121.1	191.8	314.3	436.7
L5	164.6	31.3	181.0	348.3	239.5	164.6	236.7	466.7
L8	155.1	102.0	132.0	269.4	242.2	145.6	161.9	583.7
L15	130.6	42.2	85.7	106.1	98.0	93.6	219.0	561.9



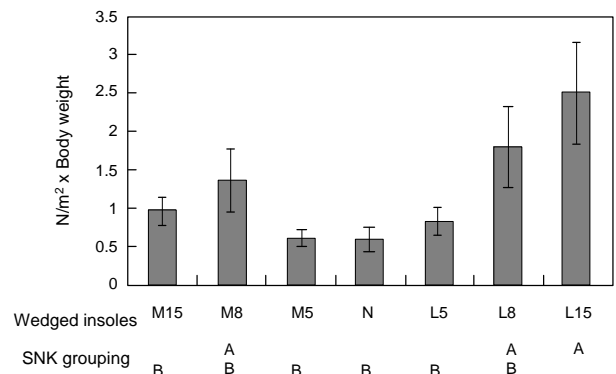
(a) Maximum pressure on H1(P_{H1})



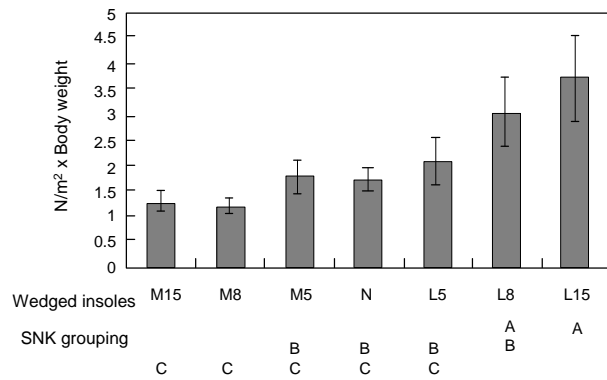
(a) Maximum pressure on M_{H5} (P_{MH5})



(b) Maximum pressure on H2(P_{H2})



(b) Ratio of P_{MH1} and P_{MH5} (P_{MH1}/P_{MH5})



(c) Ratio of P_{H2} and P_{H1} (P_{H2}/P_{H1})

Figure 10. SNK test on significant maximum pressure variables about rear-foot

를 나타내지 않았으며, 다만 안창의 경사가 증가할수록 다섯 번째 족근골의 최고압력을 감소시키는 경향을 보였다. 첫 번째 족근골과 다섯 번째 족근골의 최고압력 비율에 대한 SNK 분석결과 외측 경사진 안창은 안창의 경사가 증가할수록 그 값을 증가시키는 경향을 보였으며, 특히 15°의 경사조건에서 그 값을 일반 안창보다 유의하게 증가시켰다(1.9배)(Figure 11[b]). 내측 경사진 안창은 일반 안창과 유의한 차이를 나타내지 않았으며, 다만 안창의 경사가 증가할수록 첫 번째 족근골

Figure 11. SNK test on significant maximum pressure variables about forefoot

과 다섯 번째 족근골의 최고압력 비율을 증가시키는 경향을 보였다.

4. 토 의

외측 경사진 안창은 발목의 안쪽변짐을 유지하기 위한 힘으로 인해 발 뒷부분의 상대적 수직힘을 일반 안창보다 증가(5.5 - 11.5%)시킨다고 파악되었다. Ahn *et al.*(2005)는 내/외측 경사진 안창 사용 시 발목 관절의 안쪽 변짐이 발생한다고 보고하였다. 그리고 Bates *et al.*(1979)은 내측 경사진 안창 사용 시 발목 관절의 가쪽변짐이 감소한다고 보고하였다. 즉, 보행 시 외측 경사진 안창은 안창의 경사면과 반대 방향으로 발목의 변짐을 유도하고, 내측 경사진 안창은 안창의 경사면과 같은 방향으로 발목의 변짐을 유도한다. 발목관절이 안창의 경사면 방향과 반대 방향으로 변지는 외측 경사진 안창의 경우 발목의 자세가 안정되지 않아 안쪽 변짐을 유지하기 위한 추가적인 힘이 필요한 것으로 생각된다. 그러나 내측 경사진 안창은 안창의 경사면 방향과 동일한 방향으로 발목의 변짐을 유도하여 자세가 안정되므로 수직힘 측면에서 일반안창과 차이를 보

이지 않은 것으로 판단된다.

내/외측 경사진 안창 사용 시 압력중심이 경사가 높은 방향으로 이동하고, 최고 압력이 해당 부위에서 증가한 것은 안창 착용자가 자연스러운 보행을 위해 경사면의 높은 곳을 밟기 때문인 것으로 파악되었다. 내측 경사진 안창은 발 뒷부분에서 일반안창보다 COP를 내측 이동(2.5~4.7mm)시키고, 외측 경사진 안창은 외측으로 이동(1.3~4.5mm)시켰다. 이는 내측 경사진 안창은 발 뒷부분에서 일반안창보다 내측 부위(H1) 최고압력을 증가(109~120%)시키고, 외측 경사진 안창은 외측 부위(H2)와 내측 부위(H1)의 최고압력 비율(P_{H2}/P_{H1})을 증가(0.4~2.0)시킨 분석결과와 일치한다.

본 연구의 발 뒤축 내외측 경사진 안창은 모두 일반안창보다 발 앞부분의 내측 부위 압력을 증가시키는 반면, 외측 부위 압력을 감소시켰다. 내측 경사진 안창은 일반 안창보다 COP를 내측으로 이동시키고(4.3-8.2mm), 내측 족근골(MH1)과 외측 족근골(MH5)의 최고압력 비율(P_{MH1}/P_{MH5})을 일반 안창보다 증가시켰다(0.02-0.8). 또한 외측 족근골(MH5)의 최고압력을 감소시켰다(84-92%). 외측 경사진 안창은 내측 경사진 안창과 마찬가지로 일반 안창보다 COP를 내측으로 이동시켰다(0.5 - 9.5 mm). 그리고 내측 족근골(MH1)과 외측 족근골의 최고압력 비율(P_{MH1}/P_{MH5})을 일반 안창보다 증가시키고(0.2-1.9), 외측 족근골(MH5)의 최고압력을 감소시켰다(42-58%). 이는 경사진 안창은 안창의 두께가 두꺼워 굽이 있는 신발을 신은 효과를 나타내기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 이는 굽이 있는 신발은 외측 족근골 부위 압력을 감소시킨다는 연구결과(Eisenhardt *et al.*, 1996)와 일치한다.

보행 동안 발바닥에 나타난 압력과 힘 데이터는 측정센서가 부착된 경사진 안창으로부터 직접 수집된 것이 아니라 바닥의 측정매트를 사용하여 간접적으로 수집되었다. 본 연구에 사용된 측정시스템은 Footscan plate로 보행자가 이를 밟고 지나갈 때 신발의 바닥 면에 나타난 압력과 힘이 측정되었다. 이는 경사진 안창의 효과를 신발의 바닥 면을 통해 간접적으로 측정하는 방식으로 압력측정 센서가 부착된 안창을 사용할 경우 결과에 차이를 보일 수 있다. 따라서 경사진 안창이 족부압력에 미치는 영향을 보다 직접적으로 평가하기 위해 측정센서가 부착된 안창을 사용한 연구가 추가적으로 필요할 것이다

5. 결론

본 연구는 기존 연구에서 주로 사용된 다양한 경사조건의 발 뒤축 경사진 안창이 족부압력에 미치는 영향을 족부압력과 힘 분포 측면에서 분석하였다. 실험에 사용된 안창은 발 뒤축의 내/외측에 각각 5°, 8°, 15°의 경사를 준 것과 경사가 없는 일반 안창을 포함해 총 일곱 개가 사용되었다. 이러한 경사진 안창이 족부압력에 미치는 영향의 정량적인 분석을 위해 COP 궤적특성과 해부학적 지점의 최고압력이 압력분포 변수로 사용

되었고, 발 앞, 중간, 뒷부분에 상대적으로 작용하는 수직힘이 힘분포 변수로 사용되었다.

발 뒤축 경사진 안창이 족부압력과 힘분포에 미치는 영향은 발 앞부분과 뒷부분에서 다르게 나타났다. 발 뒷부분에서 내측 경사진 안창은 일반 안창보다 압력중심을 내측으로 이동시키고, 내측 부위 최고압력을 증가시켰다. 그리고 외측 경사진 안창은 압력중심을 일반 안창보다 외측으로 이동시키고 외측 부위 최고압력을 증가시켰다. 이는 발 뒤축 경사진 안창은 발 뒷부분에서 경사가 높은 곳으로 압력중심을 이동시켜 해당 부위의 압력을 증가시킨다는 것으로 판단된다. 발 앞부분에서 내측 경사진 안창과 외측 경사진 안창은 모두 압력중심을 일반 안창보다 내측으로 이동시키고, 족근골 내측 부위 최고압력을 증가시켜 발 뒷부분의 족부압력 특성과 다르게 나타났다. 이는 발 뒤축 경사진 안창은 일반 안창보다 두께가 두꺼워 굽이 있는 신발을 신을 효과를 나타내기 때문인 것으로 생각된다. 이외 특히 외측 경사진 안창은 발 뒷부분의 상대적 수직힘을 증가시켰는데, 이는 외측 경사진 안창 사용시 발목의 번짐 방향과 안창의 경사 방향이 불일치하여 안정된 자세를 유지하기 위한 발목 관절의 추가적인 힘이 발생한 것으로 판단된다.

참고문헌

- Ahn, E., Kwon, M., Na, S., Ryu, T., Chung, M. K. and Choi, H. S. (2005), The Effects of the Wedged Insoles on Ankle and Knee Joint during Gait, Proceeding of the 2005 Spring Conference of the Ergonomics Society of Korea, 45-48.
- Baitch, S. P., Blake, R. L., Finegan, P. L. and Senatore, J. (1991), Biomechanical analysis of running with 25° inverted orthotic devices, *J. Am. Podiatric Med. Assoc.*, **81**, 647-652.
- Eisenhardt, J. R., Cook, D., Pregler, I. and Foehl, H. C. (1996), Changes in temporal gait characteristics and pressure distribution for bare feet versus various heel heights, *Gait & Posture* **4**, 280-286.
- Gheluwe, B. V. and Dananberg, H. J. (2004), Changes in plantar foot pressure with in-shoe varus or valgus wedging, *J. Am. Podiatric Med. Assoc.* **94**(1), 1-11.
- Hallems, A., Clerc, D. D., Dongen, S. and Aerts, P. (2005), Changes in foot-function parameters during the first 5 months after the onset of independent walking : a longitudinal follow-up study, *Gait & Posture* **23**(2), 142-148.
- Hayafune, N., Hayafune, Y., and Jacob, H. A. C. (1999), Pressure and force distribution characteristic under the normal foot during the push-off phase in gait, *The foot* **9**, 88-92.
- McClay, I. (2000), The evolution of the study of the mechanics of running : Relationship to injury, *J. Am. Podiatric Med. Assoc.* **90**, 133-148.
- Willems, T., Witvrouw, E., Delbaere, K., Cock, A. D. and Clercq, D. D. (2005), Relationship between gait biomechanics and inversion sprains : a prospective study of risk factors, *Gait & Posture* **21**, 379-387.