Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 27, No. 3 pp.93-101, August 2008

보행에서 외측 경사진 굽은 밑창이 발목 운동에 미치는 영향 분석

권성혁[1] · 김충식[1] · 김희진[1] · 유태범[2] · 정민근[1]

[1]포항공과대학교 산업경영공학과 / [2]한밭대학교 산업경영공학과

The Effect of a Wedged Rocker Sole on Ankle Joints during Gait

Sunghyuk Kwon[1], Choongsik Kim[1], Heejin Kim[1], Taebeum Ryu[2], Min K. Chung[1]

[1]Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH, Gyeongsangbuk-do 790-784, Korea
[2]Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

ABSTRACT

Wedged soles and rocker soles are widespread shoe designs used to prevent the disorders and reduce the pain of the lower extremity caused by arthritis or diabetic feet. In this study, the effect of a shoe with a laterally wedged sole and a rocker sole simultaneously was analyzed on the kinematics and kinetics of the ankle joint during normal walking. Eight male participants without a history of lower extremity disorders were recruited. Each participant performed twenty walking cycles for each of three walking conditions: bare foot, wearing normal shoes and wearing shoes with laterally wedged rocker soles. The differences between the three walking conditions were statistically investigated including spatio-temporal variables, angular displacements, joint moments and ground reaction forces. The results showed that the laterally wedged rocker sole decreased the sagittal variation of angular displacements as well as the frontal/sagittal average moment on the ankle joints compared to the flat sole. In addition, the rate of angular displacements and loading decreased during the heel contact phase.

Keyword: Shoe design, Wedged sole, Rocker sole, Kinetics, Kinematics

1. 서 론

보행은 인간이 한 지점에서 다른 지점으로 이동하기 위한 가장 기본적인 수단이다. 보행이 이루어지는 동안 발과 지면은 일정한 리듬을 가지고 접촉하며, 신발은 지면과 발과의 직접적인 접촉을 차단함으로써 발을 보호하는 것에 일차적인 목적을 둔다. 발을 보호하는 일차적인 목적 이외에도 신발의 디자인을 변형시킴으로써 인체의 치수 및 무게, 보행속도 및 방향에 의해 발생하는 운동역학적 또는 운동형상학적 특성을 변화시킬 수 있다.

하지 통증을 완화시키거나 하지 손상을 예방하기 위한 목적으로 널리 사용되는 경사진 안창(wedged insole)은 안창의 내측 또는 외측의 높이를 상대적으로 높여 경사를 준 것이다(Blake & Denton, 1985; Smith et al., 1986). 경사진 안창은 경사를 이루는 방향에 따라 내측 경사진 안창과 외측 경사진 안창으로 나뉜다. 내측 경사진 안창은 Bates et al.(1979), Baitch et al.(1991), Smith et al.(1986) 등의 연구에서 나타난 바와 같이 발목의 지나친 엎침(excessive pronation)을 완화시키는 데 효과가 있는 것으로 알려져

*본 연구는 (주) 에르코스의 지원을 받아 수행된 연구임.
교신저자: 정민근
주 소: 790-784 경상북도 포항시 남구 효자동, 전화: 011-524-3192, E-mail: mkc@postech.ac.kr

있으나, McCuloch et al.(1993) 및 Tohyama et al.(1991) 등의 연구에서 주장하는 바와 같이 이러한 효과는 미미하다고 보는 연구도 있다. 외측 경사진 안창은 무릎 내측에 작용하는 힘의 주요 원인인 무릎 내반 모멘트를 감소시켜 무릎 내측 골관절염의 통증 완화에 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Yasuda & Sasaki, 1987; Tohyama et al., 1991; Keating et al., 1993).

일반적으로 신발의 밑창 디자인은 보행의 안정성 확보를 염두에 두고 이루어진다. 물론 이러한 안정성 확보는 중요하지만, 안정적인 신발은 자칫 정적, 동적 안정성 유지에 도움을 줄 수 있는 신체 근육의 발달을 저해하기도 한다(Jackman & Kandarian, 2004; Spector, 1985). 이들 근육의 발달을 유도하기 위한 한 방법으로 불안정성을 유도하는 기구를 사용해 발목 및 무릎 관절의 근력을 향상시키는 방법이 자주 사용되며(Waddington & Adams, 2004), 불안정성을 유도하는 방법의 하나로 wobble board(그림 1) 등을 이용한 standing balancing training은 재활 치료(Wester et al., 1996)나 근골격계 질환 예방에 도움을 준다는 연구결과도 있다(Bahr et al., 1997, Wedderkopp et al., 1999).

그림 1. Wobble board

신발 디자인을 통해서도 불안정성을 유도하여 보행 안정성 및 근력을 키울 수 있으며 대표적인 것으로 굽은 밑창(rocker sole)이 있다. 굽은 밑창이란 그림 2에서 보는 바와 같이 밑창의 앞부분과 뒷부분에 경사를 준 것으로써 특히 당뇨족(diabetic foot)의 치료에 효과적이라고 알려져 있다(Janisse, 1993). 다양한 형태의 굽은 밑창이 발바닥 압력에 미치는 영향에 대한 연구(Fuller et al., 2001; VanZant et al., 2001; Chesnin et al., 2000; Nawoczenski, et al., 1988) 및 운동형상학적(kinematics), 운동역학(kinetics) 연구(Myers et al., 2006; Nigg et al., 2006)가 수행되었다. Schaff & Cavanaugh(1990)에 의하면 굽은 밑창을 적용했을 경우 전족 내측에 미치는 최대 압력은 감소하였으며, 외측에 미치는 최대 압력은 증가함을 확인하였다. Nigg et al.(2006)에 의하면 힘 판으로부터 얻어지는 CoP(center of pressure) 궤적 변화를 통해 굽은 밑창이 불안정성을 유도하는 것을 확인하였다. Peterson et al.(1985)은 굽은 밑창을 사용할 경우 운동화를 사용할 경우에 비해 발 뒤축 접지(heel contact) 시에 전달되는 하중이 매우 높아 엉덩이와 무릎 신근(extensor)이 충분한 강도를 가지고 있어야 한다고 결론지었다.

그림 2. 굽은 밑창

현재까지 다양한 경사진 안창 또는 밑창을 적용한 신발이나 굽은 밑창을 적용한 신발이 존재하고, 이들 신발에 대한 여러 연구가 진행되어 왔으나, 경사진 밑창과 굽은 밑창이 함께 적용된 새로운 밑창이 보행 운동에 미치는 영향에 대한 연구는 없었다. 또한 특정 신발과 다른 신발을 비교한 연구는 비교적 많으나, 맨발 보행 시 관찰되는 특성과 비교한 연구는 찾아보기 힘들다.

새롭게 고안된 외측 경사진 굽은 밑창은 정면에서 바라보았을 때, 밑창의 외측 높이를 내측 높이보다 높게 하여 외측 경사진 안창을 적용했을 경우와 유사하며, 측면에서 바라보았을 때 밑창의 뒷부분이 지면에서 떨어져 전체적으로 둥글게 굽은 형태의 밑창을 지니고 있다. 본 연구의 목적은 새롭게 고안된 외측 경사진 굽은 밑창이 적용된 신발을 착용했을 경우 보행 시 발목관절의 운동형상학적 및 운동역학적 특성모수의 변화를 일반 밑창이 적용된 신발을 착용을 경우 및 맨발의 경우와 비교 분석하는 것이다.

2. 실험 방법

2.1 피실험자

8명의 건강한 남자 대학생 및 대학원생이 피실험자로 참여하였다. 피실험자들의 평균 신장은 173.16(±3.93)cm, 체중은 70.06(±3.07)kg, 발 길이는 25.31(±0.75)cm, 발폭은 9.75(±0.53)cm, 발목 너비는 7.26(±0.39)cm였다. 모든 피실험자는 하지 관절의 부상 이력이 없었으며, 굽은 밑창 또는 경사진 밑창이 적용된 신발을 착용해 본 경험이 없었다. 실험을 실시하기 전 피실험자들에게 본 실험에서 다룰 외측 경사진 굽은 밑창이 적용된 구두에 대한 약 4주

동안의 적응 기간을 주었다. 이 기간 동안 피실험자들에게 가능한 자주, 오랜 시간 동안 외측 경사진 굽은 밑창이 적용된 구두를 착용하고 활동하도록 요구하였으며 피실험자 모두 적응과정을 충실하게 이행하였음을 확인하였다.

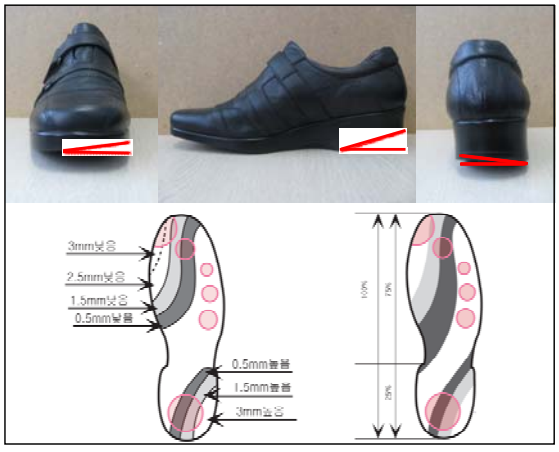
2.2 실험 장비

본 실험에서는 3차원 동작측정시스템인 Motion Analysis 사의 Falcon System을 사용하여 발목관절의 동작 데이터를 얻었다. 또한, Bertec 사의 4060-08형 힘 판(force plate)을 이용하여 지면 반발력(ground reaction force)를 측정하였다. 샘플링 빈도는 동작 데이터에 대해서는 240Hz, 지면 반발력에 대해서는 600Hz로 설정하였다. 측정된 데이터는 OrthoTrak 6.5.1 (Motion Analysis Corporation, USA)을 이용하여 분석하고자 하는 운동역학적 및 운동형상학적 특성모수와 관련된 데이터, 시간-거리 특성모수와 관련된 데이터로 변환하였다.

2.3 실험 변수

독립 변수로는 맨발, S 타입 구두, N 타입 구두 세 수준의 보행 조건을 고려하였다. 먼저, S 타입 구두(그림 3-a)의 경우 외측 경사진 밑창(경사각: 약 8°)과 굽은 밑창이 적용된 구두(wedged rocker sole type)이다. N 타입 구두(그림 3-b)는 경사진 밑창 및 굽은 밑창이 적용되지 않은, 일반 밑창이 적용된 구두(flat sole type)를 선정하였다. 맨발 조건의 경우 양말까지 완전히 탈의하도록 하였다. 각 구두를 착용하였을 때 반사 마커(reflective marker)의 위치를 맨발의 경우와 동일하게 만들기 위해 그림 4와 같이 발가락 부위와 발뒤꿈치 부위를 가공하였으며, 피실험자들은 가공된 구두 착용 시 보행에 어려움이 없다고 응답하였다.

종속 변수로는 시간-거리 특성모수, 운동형상학적 및 운동역학적 특성모수를 측정하였으며 표 1에 요약하였다.



(a) S 타입

(b) N 타입

그림 3. 실험에 사용된 구두: (a) 외측 경사진 밑창과 굽은 밑창이 적용된 구두(E 사) (b) 일반 밑창이 적용된 구두(I 사)

그림 4. 실험용으로 가공된 구두

표 1. 보행 특성모수에 따른 측정 변수

단위

시간-거리 특성모수 (spatio-temporal parameter)		보행속도(velocity)	cm/s
		보조(cadence)	step/min
		보행간격(stride length)	cm/step
		보폭(step length)	cm
		활보폭(stride width)	cm
		디딤시간(stance time)	%
		유각시간(swing time)	%
운동형상학적 특성모수 (kinematic parameter)		시상면(sagittal)에서의 움직임	°(각도)
		관상면(frontal)에서의 움직임	°(각도)
		횡단면(transverse)에서의 움직임	°(각도)
운동 역학적 특성모수 (kinetic parameter)	모멘트	시상면(sagittal)에서의 모멘트	Nm/BW
		관상면(frontal)에서의 모멘트	Nm/BW
		횡단면(transverse)에서의 모멘트	Nm/BW
	지면 반발력	시상면(sagittal)에서의 지면 반발력	Nm/BW
		관상면(frontal)에서의 지면 반발력	Nm/BW
		횡단면(transverse)에서의 지면 반발력	Nm/BW

*BW: 피실험자의 몸무게

2.4 실험 절차

본 실험은 준비 단계, 연습 단계, 그리고 실험 단계로 진

행되었다. 준비 단계에서는 피실험자에게 실험의 목적과 과정을 설명한 후, 피실험자의 기본적인 인적 사항과 신체 치수를 측정하였다. 또한 그림 5와 같이 Helen Hayes marker set(Kadaba, 1991)을 따라 피실험자의 하지(무릎 이하)에 총 14개의 반사 마커를 부착하여, 정지 상태(static condition)에서의 데이터를 수집하였다. 연습 단계에서는 피실험자가 자연스럽게 힘 판 위를 밟고 걸어갈 수 있도록 충분한 연습을 수행하도록 하였다. 보행속도 또는 보조는 피실험자가 가장 편하게 보행할 수 있는 정도로 스스로 조절하도록 하였다. 실험 단계에서는 총 세 가지 보행 조건에 대해서 각각 총 20회씩 반복 보행을 실시하였다.

그림 5. Helen Hayes marker set

3. 실험 결과

실험을 통해 얻어진 데이터에 대해 SAS 9.1 package를 이용하여 분산분석을 수행하였다(α=0.05). 유의한 차이를 보인 변수에 대해서는 SNK (Student-Newman-Keuls) 검정을 수행하였다(α=0.05).

3.1 시간-거리 특성모수

시간-거리 특성모수(보조, 보행간격, 보폭, 활보폭, 디딤시간, 유각시간)에 대해 분산분석을 실시하였다. 분산분석 결과 활보폭을 제외한 모든 특성모수에서 보행 조건에 따라 유의한 차이를 보였다. SNK 검정 결과 보조는 N 타입 구두, S 타입 구두, 맨발 순으로 증가하였으며 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 보행간격과 보폭은 S 타입 구두와 N 타입 구두가 맨발에 비해 컸으며, S 타입 구두와 N 타입 구두간에는 유의한 차이가 없었다. 디딤시간은 S 타입 구두가 맨발과 N 타입 구두에 비해 크게 나타났으며, 맨발과 N 타입 구두간에는 유의한 차이가 없었다.

3.2 운동형상학적 특성모수

보행 조건이 발목관절의 각운동에 미치는 영향을 분석한 결과 관상면(frontal plane)과 시상면(sagittal plane)에서 차이를 보였다. 관상면에서 발목관절의 각운동은 맨발에 비해 S 타입 구두와 N 타입 구두의 가쪽번짐(eversion)이 작고 안쪽번짐(inversion)도 작게 나타났다(그림 6). 특히 최대 가쪽번짐(그림 6의 I 부분) 각도와 최대 안쪽번짐(그림 6의 II 부분) 각도의 차이가 나타나 분산분석을 실시하였으며, 두 변수 모두 유의한 차이를 보였다. 최대 가쪽번짐은 S 타입 구두와 N 타입 구두가 맨발에 비해 작게 나타났으며 S 타입 구두와 N 타입 구두간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(그림 7). 최대 안쪽번짐은 S 타입 구두가 맨발보다 작게 나타났으며, S 타입 구두와 N 타입 구두간, N 타입 구두와 맨발간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(그림 8).

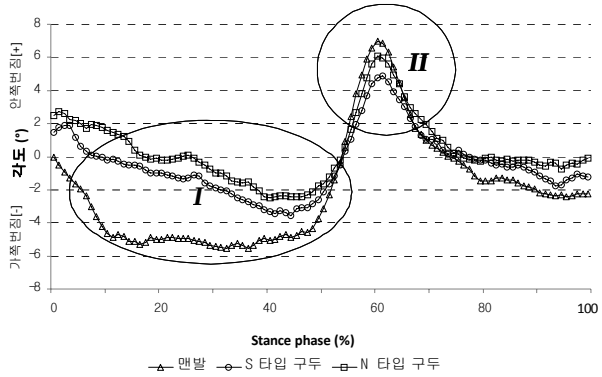


그림 6. 발목관절(관상면)의 각운동 변화 패턴(피실험자 평균)

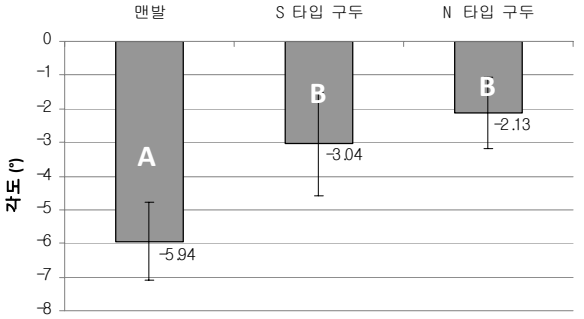


그림 7. 관상면에서 최대 가쪽번짐 각도(AB: SNK Test result)

시상면에서 발목관절의 각운동은 보행의 전구간에 걸쳐 전반적으로 S 타입 구두, N 타입 구두가 맨발에 비해 발등굽힘(dorsiflexion)이 감소하고 발바닥 굽힘(plantar flexion)이 증가하였다(그림 9). 특히 RHS(right heel strike: 오

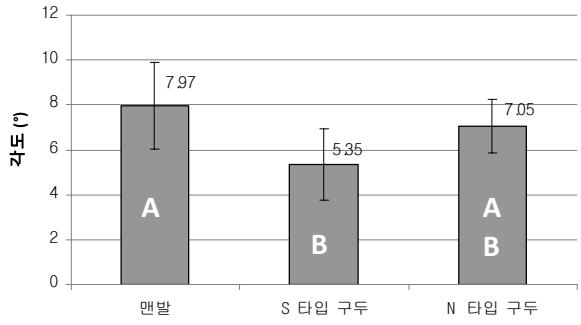


그림 8. 관상면에서 최대 안쪽번짐 각도(AB: SNK Test result)

른발 뒤축 접지기), LTO(left toe off: 왼 앞 발 누름기), LHS(left heel strike: 왼발 뒤축 접지기), RTO(right toe off: 오른발 앞 발 누름기)에서 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다. SNK 검정 결과 RHS, LTO, RTO에서의 발목관절의 각도는 S 타입 구두, N 타입 구두가 맨발에 비해 발바닥 굽힘이 많이 일어났으며, S 타입 구두와 N 타입 구두간에는 유의한 차이가 없었다. LHS에서는 맨발, N 타입 구두, S 타입 구두 순으로 발바닥 굽힘이 많이 일어났으며 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

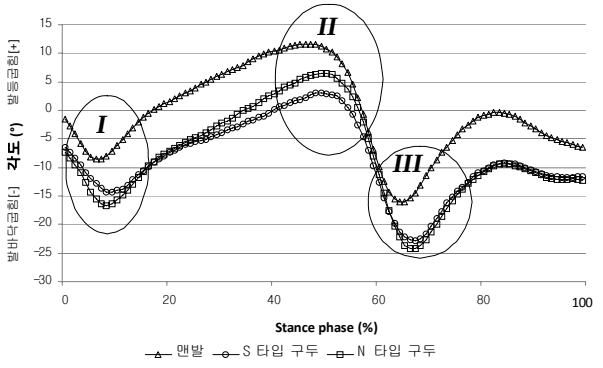


그림 9. 발목관절(시상면)에서의 각운동 변화 패턴(피실험자 평균)

시상면에서의 발목관절의 각운동의 첫 골값, 첫 마루값, 두 번째 골값에 대한 분산분석 결과 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다. SNK 검정 결과 첫 골값(그림 9의 I 부분)은 N 타입 구두, S 타입 구두, 맨발 순으로 증가하였으며 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 첫 마루값(그림 9의 II 부분)은 S 타입 구두, N 타입 구두, 맨발 순으로 증가하였으며 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 두 번째 골값(그림 9의 III 부분)은 맨발이 S 타입 구두와 N 타입 구두에 비해 크게 나타났으며, S 타입 구두와 N 타입 구두간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 첫 골값과 첫 마루값 사이의 편차와 첫 마루값과 두 번째 골값 사이의 편차는 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다. SNK 검정 결과 첫 골값과 첫 마루값의 편차는 S 타입 구두, 맨발, N 타입 구두 순으로 증가하였으며 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다(그림 10). 첫 마루값과 두 번째 골값의 편차 역시 같은 경향을 보였지만, S 타입 구두와 맨발, 맨발과 N 타입 구두간에는 유의한 차이가 없었다(그림 11).

RHS에서 첫 골까지의 발목관절 각도 변화가 각 조건에서 차이를 보였으며, S 타입 구두가 맨발, N 타입 구두에 비해 기울기가 완만하게 나타났고 맨발과 N 타입 구두간에는 유의한 차이가 없었다(그림 12).

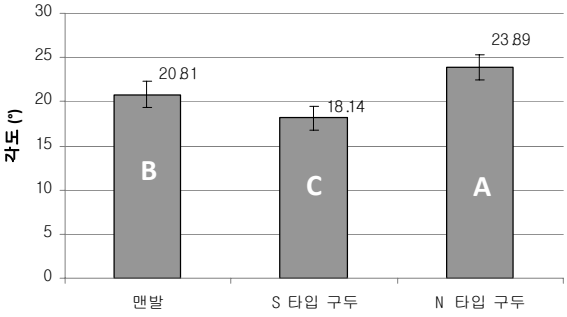


그림 10. 시상면에서 첫 마루값과 첫 골값의 편차
(ABC: SNK Test result)

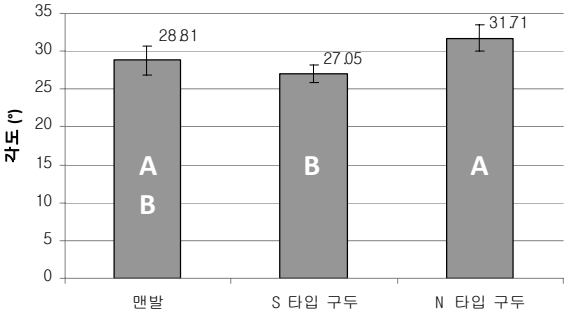


그림 11. 시상면에서 첫 마루값과 두 번째 골값의 편차
(AB: SNK Test result)

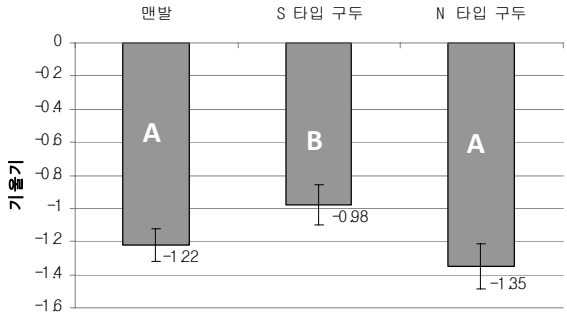


그림 12. RHS에서 첫 골까지의 발목관절 각도 변화율
(AB: SNK Test result)

3.3 운동역학적 특성모수

3.3.1 관절의 모멘트

보행 조건이 발목관절의 모멘트에 미치는 영향을 분석한 결과 관상면과 시상면에서 차이를 보였다. 관상면에서 발목관절의 모멘트는 전반적으로 N 타입 구두가 맨발과 S 타입 구두에 비해 크게 나타났다(그림 13). 특히 발목관절이 받는 모멘트의 첫 마루(그림 13의 I 부분)와 둘째 마루(그림 13의 III 부분), 첫 골(그림 13의 II 부분)에서의 모멘트와 보행 전구간의 평균 모멘트에서 분산분석 결과 유의한 차이가 나타났다. SNK 검정 결과 발목관절이 받는 모멘트의 첫 마루값과 두 번째 마루값은 N 타입 구두가 맨발과 S 타입 구두에 비해 크게 나타났고, 맨발과 S 타입 구두간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 모멘트의 첫 골값은 N 타입 구두와 맨발이 S 타입 구두에 비해 크게 나타났고, N 타입 구두와 맨발간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 보행 전구간의 평균 모멘트는 S 타입 구두, 맨발, N 타입 구두 순으로 증가하였으며 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다(그림 14).

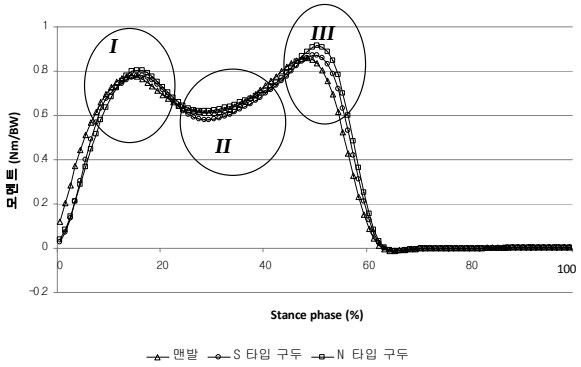


그림 13. 발목관절(관상면)의 모멘트 변화 패턴(피실험자 평균)

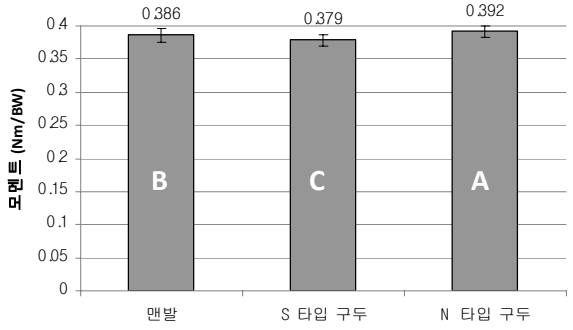


그림 14. 관상면에서 보행 전구간의 발목관절 평균 모멘트
(ABC: SNK Test result)

시상면에서 발목관절의 모멘트는 전반적으로 N 타입 구두가 맨발과 S 타입 구두에 비해 크게 나타났다(그림 15). 특히 모멘트의 마루값(그림 15의 II 부분), 마루값과 골값(그림 15의 I 부분)의 편차, 보행 전구간의 평균 모멘트에서 분산분석 결과 유의한 차이가 나타났다. SNK 검정 결과 모멘트의 마루값, 마루값과 골값의 편차는 N 타입 구두가 맨발과 S 타입 구두에 비해 크게 나타났으며, 맨발과 S 타입 구두간에 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 보행 전구간의 모멘트의 평균은 맨발과 N 타입 구두가 S 타입 구두에 비해 크게 나타났으며, 맨발과 N 타입 구두간에는 유의한 차이가 없었다(그림 16).

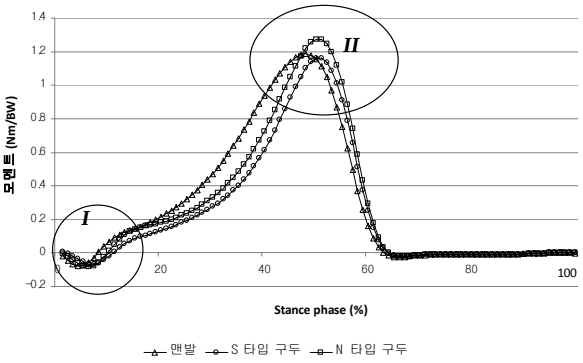


그림 15. 발목관절(시상면)의 모멘트 변화 패턴(피실험자 평균)

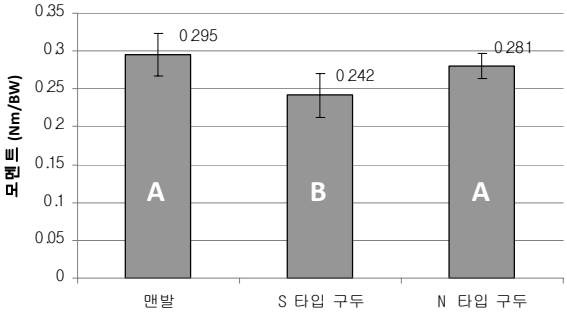


그림 16. 시상면에서 보행 전구간의 발목관절 평균 모멘트
(AB: SNK Test result)

3.3.2 지면 반발력

보행 조건이 지면 반발력에 미치는 영향을 분석한 결과 수직 지면 반발력(vertical ground reaction force)과 좌우 지면 반발력(medial/lateral ground force)에서 차이를 보였다(그림 17, 그림 18). 분산분석 결과 수직 지면 반발력의 두 번째 마루값(그림 17에서 I 부분)과 좌우 지면 반발력의 첫 마루값(그림 18에서 I 부분)이 유의한 차이를 보였다. SNK 검정 결과 수직 지면 반발력의 두 번째 마루값은 N 타입 구두가 맨발과 S 타입 구두에 비해 크게 나타났

으며, 맨발과 S 타입 구두간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 좌우 지면 반발력의 첫 마루값은 S 타입 구두가 맨발과 N 타입 구두에 비해 크게 나타났으며, 맨발과 N 타입 구두간에는 유의한 차이가 없었다.

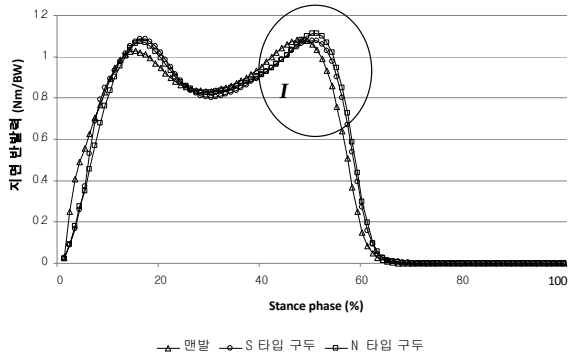


그림 17. 수직 지면 반발력 변화 패턴(피실험자 평균)

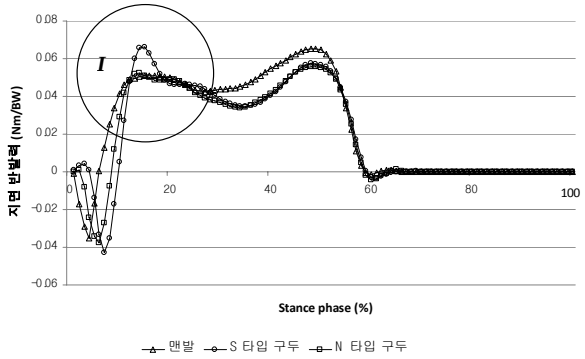


그림 18. 좌우 지면 반발력 변화 패턴(피실험자 평균)

4. 토 의

4.1 운동형상학적 특성모수

시상면에서 RHS부터 첫 골까지 발목관절의 각도 변화는 S 타입 구두가 맨발과 N 타입 구두에 비해 느리게 일어났다. 발 뒤축 접지기 이후 보행이 진행되면, 보행 방향의 우측에서 바라본 시상면을 기준으로 구두와 지면의 접점에서 좌상향 방향으로 지면 반발력이 발생하고(황규성 외, 1992) 복사뼈(talus)를 회전축으로 발이 회전한다(그림 19). 이때 지면 반발력 벡터(F)에서 복사뼈까지 수직 거리(d)가 가까울수록 복사뼈에 작용하는 모멘트(M)는 감소하며, 따라서 발목관절의 각도 변화율도 감소한다. 일반적으로 구두를 착용하면 구두의 뒷굽으로 인해 발 뒤축 접지 시 지면 반발력 벡터와 복사뼈 사이의 거리가 증가하며, 이는 복사뼈에서의 모멘트 증가를 유발하여 발목관절의 각도 변화율 증가로 이어진다. 그러나, S 타입 구두를 착용한 경우, 굽은 밑창의 특성으로 인해 보행이 진행됨에 따라 구두와 지면과의 접점이 굽은 밑창을 따라 전방으로 이동하며, 결과적으로 지면 반발력 벡터와 복사뼈 사이의 거리가 감소한다. 따라서, 보행이 진행됨에 따라 발목에 부과되는 모멘트가 N 타입 구두에 비해 감소하며, 발목관절의 회전 변화율이 감소하게 된다. 이는 보행의 안정성을 높이는데 도움이 된다고 판단된다.

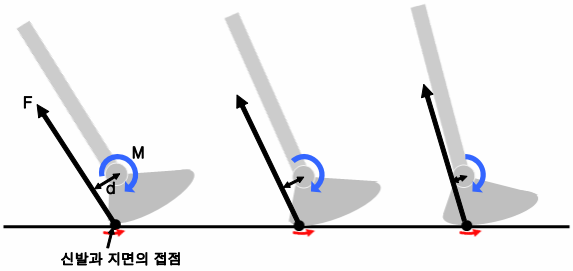


그림 19. 굽은 밑창에서 구두와 지면의 접점 이동

시상면에서는 보행의 전구간, 특히 RHS, LTO, LHS, RTO에 걸쳐 맨발이 S 타입 구두와 N 타입 구두에 비해 발등굽힘이 많이 일어났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 이는 구두의 굽이 발꿈치뼈(calcaneus)의 위치를 높게 하기 때문으로 판단된다. 맨발을 제외하고 S 타입 구두와 N 타입 구두를 비교하면 S 타입 구두가 N 타입 구두에 비해 골에서 발바닥 굽힘과 마루에서 발등 굽힘이 적게 일어나는 것을 볼 수 있다. 또한 첫 골값과 첫 마루값의 편차와 두 번째 골과 첫 마루값의 편차는 S 타입 구두, 맨발, N 타입 구두 순으로 증가한다. 따라서, S 타입 구두 착용 시 대부분의 보행 주기에서 보다 안정적인 보행이 가능하다고 판단된다.

관상면에서 맨발이 S 타입 구두와 N 타입 구두에 비해 최대 가쪽번짐은 작게 나타나고 최대 안쪽번짐은 크게 나타났다. 이는 구두 내측에 위치한 중족골의 내측면 아치를 받쳐주는 굴곡의 영향으로 보인다.

4.2 운동역학적 특성모수

4.2.1 모멘트

관상면에서 발목관절의 가쪽번짐 모멘트와 시상면에서 발목관절의 발바닥 굽힘 모멘트는 N 타입 구두가 맨발과 S 타입 구두에 비해 크게 나타났다. 보행 전구간에서의 관상면, 시상면에서의 발목관절 평균 모멘트는 S 타입 구두가 가장 작고, N 타입 구두가 가장 크게 나타났다. 관상면에서의 모멘트의 경우 S 타입 구두가 N 타입 구두에 비해 4% 작았

으며, 시상면에서의 모멘트는 14% 감소하였다. 따라서 S 타입 구두가 보다 안정적인 보행을 가능케 하며, N 타입 구두에 비해 맨발의 보행과 유사한 모습을 보인다. 특히, 시상면에서의 결과는 앞서 운동형상학적 특성모수의 분석에서 언급한 굽은 밑창의 영향과 일치하는 결과를 보였다.

Nigg, B. et al.(2006)에 따르면 정지 상태에서의 CoP 변화량 분석을 통해 굽은 밑창이 불안정성을 유도한다고 하였다. 하지만 본 연구의 운동형상학적, 운동역학적 특성에 대한 분석 결과에 의하면, 보행 시 굽은 밑창이 발목관절의 각도 변화를 보다 완만하게 하였으며, 발목관절의 모멘트를 줄여주는 효과를 나타냈다. 이를 통해 굽은 밑창이 기존 연구에서 알려진 것처럼 정지 상태에서는 불안정성을 유도하나, 보행 시에는 반대로 보행의 안정성을 높이는 효과가 있다고 판단된다.

4.2.2 지면 반발력

좌우 지면 반발력의 첫 마루 값은 S 타입 구두가 맨발과 N 타입 구두에 비해 크게 나타났다. 이는 앞서 설명하였듯이, S 타입 구두가 외측 경사진 밑창의 특징을 갖기 때문이라고 판단된다. 이는 외측 경사진 밑창이 발목관절의 각도 변화와 모멘트를 줄여, 보다 안정적인 보행이 가능하지만, 모멘트의 감소분에 해당하는 하중이 발목관절에 직접적으로 부과된다고 해석할 수 있다.

수직 지면 반발력의 첫 마루 값은 보행 조건간 유의한 차이를 보이지 않았다. Peterson et al.(1985)의 연구에서 밝힌 바 있는 굽은 밑창을 사용했을 경우 각 하지 관절에 부과되는 하중이 크게 증가한다는 연구 결과와는 차이가 있다. 실제로 좌우 지면 반발력의 경우와 마찬가지로 시상면에서의 모멘트 감소분에 대응하는 하중이 직접 발목관절에 부과되어 수직 지면 반발력이 증가해야 하지만 본 실험에서 피실험자들의 보행속도가 비교적 느린 편이었기 때문에 굽은 밑창으로 인한 영향이 제대로 관찰되지 않은 것으로 보인다. 수직 지면 반발력의 둘째 마루 값은 맨발과 S 타입 구두가 N 타입 구두에 비해 작게 나타났다. 이는 앞 발 누름기에서 지면을 후방으로 밀 때 S 타입 구두의 경우 굽은 밑창의 특성으로 인해 보다 적은 힘으로도 발목관절의 회전이 이루어질 수 있기 때문으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 외측 경사진 굽은 밑창이 적용된 S 타입 구두가 보행 시 발목관절의 운동형상학적 및 운동역학적 특성모수에 미치는 영향을 분석하였다.

S 타입 구두를 착용했을 경우, N 타입 구두를 착용했을 경우에 비해 발목관절의 각도 변화율이 감소하였으며, 안쪽 번짐과 발등 굽힘 및 발바닥 굽힘이 작았다. 또한, 전반적으로 발목에 부과되는 모멘트가 낮게 나타났다. 특히, 보행 전 주기에 걸쳐 모멘트의 변화가 상대적으로 작았으며, 보행 전 주기의 평균 모멘트 또한 N 타입 구두에 비해 관상면에서 4%, 시상면에서 14% 감소함을 확인하였다. 수직 지면 반발력의 두 번째 마루 값은 N 타입 구두에 비해 작았지만, S 타입 구두의 특성상 좌우 지면 반발력의 첫 마루 값은 N 타입 구두에 비해 크게 나타났다.

이상의 연구 결과를 종합해 볼 때, 외측 경사진 굽은 밑창을 적용한 구두는 운동형상학적 측면에서 일반 구두에 비해 보다 안정적인 착지를 유도하며, 운동역학적 측면에서는 발목관절에 미치는 부하를 경감시키는 효과가 있다고 판단된다. 특히, 시상면과 관상면에서 보행 일부 구간의 모멘트 값, 최대-최소 모멘트 편차 및 전 구간 평균 모멘트가 맨발 보행과 유사하거나 더 작게 나타나, 보다 안전하고 편안한 보행이 가능하리라 기대된다.

본 연구에서는 하지 관절 중 발목관절에 대한 분석만을 실시하였다. 그러나 외측 경사진 밑창과 굽은 밑창은 발목관절뿐만이 아니라, 무릎 관절 및 엉덩관절 관절에도 유의한 영향을 미칠 것으로 보이며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 본 연구에서 고려한 각운동, 모멘트, 지면 반발력 이외에도 CoP 궤적, EMG 데이터, 족부 압력분포의 변화 등에 대해 추가적인 분석이 더 필요하다.

참고 문헌

Bahr, R., Lian, O. and Bahr, I. A., A twofold reduction in the incidence of acute ankle sprains in volleyball after the introduction of an injury prevention program: a prospective cohort study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 7, 172-177, 1997.

Baitch, S. P., Blake, R. L., Fineagan, P. L. and Senatore, J., Biomechanical analysis of running with 25° inverted orthotic devices. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 81, 647-652, 1991.

Bates, B. T., Osternig, L. R., Mason, B. and James, L. S., Foot orthotic devices to modify selected aspects of lower extremity mechanics. *American Journal of Sports Medicine*, 7, 338-342, 1979.

Blake, R. L. and Denton, J. A., Functional foot orthoses for athletic injuries: a retrospective study. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 75(7), 359-362, 1985.

Chesnin, K. J., Selby-Silverstein, L. and Besser, M. P., Comparison of an inshoe pressure measurement device to a force plate: concurrent validity of center of pressure measurements. *Gait Posture*, 12(2), 128-133, 2000.

Fuller, E., Schroeder, S. and Edwards, J., Reduction of peak pressure on the forefoot with a rigid rocker-bottom postoperative shoe. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 91(10), 501-507, 2001.

Jackman, R. W. and Kandarian, S. C., The molecular basis of skeletal muscle atrophy. *American Journal of Physiology - Cell Physiology*, 287 (4), C834-C843, 2004.

Janisse, D. J., *The diabetic foot*, 1st ed., St. Louis, MO: CV Mosby, 1993.

Keating, E., Faris, P., Ritter, M. and Kane, J., Use of lateral heel and sole wedges in the treatment of medial osteoarthritis of the knee. *Orthopaedic Review*, 22, 921-924, 1993.

Kadaba, M. P., Ramakrishnan, H. K. and Wootten, M. E., Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *Journal of Sports Medicine*, 19, 409-412, 1991.

McCuloch, M., Brunt, D. and van der Linden, D., The effect of foot orthotics and gait velocity on lower limb kinematics and temporal events of stance. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Theraphy*, 17, 2-10, 1993.

Myers, K. A., Long, J. T., Klein, J. P., Wertsch, J. J., Janisse, D. and Harris, G. F., Biomechanical implications of the negative heel rocker sole shoe: Gait kinematics and kinetics. *Gait Posture*, 24(3), 323-330, 2006.

Nawoczenski, D. A., Birke, J. A. and Coleman, W. C., Effect of rocker sole design on plantar forefoot pressures. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 78(9), 455-460, 1988.

Nigg, B., Hintzen, S. and Ferber, R., Effect of an unstable shoe construction on lower extremity gait characteristics. *Clinical Biomechanics*, 21(1), 82-88, 2006.

Peterson, M. J., Perry, J. and Montgomery, L., Walking patterns of healthy young subjects wearing rocker shoes. *Physical Therapy*, 65, 1483 -1489, 1985.

Schaff, P. S. and Cavanaugh, P. R., Shoes for the insensitive foot: the effect of a 'rocker bottom' shoe modification on plantar pressure distribution. *Foot Ankle*, 11(3), 129-140, 1990.

Smith, L. S., Clarke, T. E., Hamill, C. J. and Santopietro, F., The effects of soft and semi-rigid orthoses upon foot eversion in running. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 76, 227-233, 1986.

Spector, S. A., Trophic effects on the contractile and histochemical properties of rat soleus muscle. *Journal of Neuroscience*, 5, 2189-2196, 1985.

Tohyama, H., Yasuda, K. and Kaneda, K., Treatment of osteoarthritis of the knee with heel wedges. *International Orthopaedics*, 15, 31-33, 1991.

VanZant, R. S., McPoil, T. G. and Cornwall, M. W., Symmetry of plantar pressures and vertical forces in healthy subjects during walking. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 91(7), 337 -342, 2001.

Waddington, G. and Adams, R. D., The effect of a 5-week wobbleboard exercise intervention on ability to discriminate different degrees of ankle inversion, barefoot and wearing shoes: a study in healthy elderly. *Journal of the American Geriatrics Society*, 52, 573-576, 2004.

Wedderkopp, N., Kaltoft, M., Lundgaard, B., Rosendahl, M. and Froberg, K., Prevention of injuries in young female players in European team handball. A prospective intervention study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 9, 41-47, 1999.

Wester, J. U., Jespersen, S. M., Nielsen, K. D. and Neumann, L., Wobble board training after partial sprains of the lateral ligaments of the ankle: a prospective randomized study. *Journal of Orthopaedic Sports and Physical Therapy*, 23, 332-336, 1996.

Yasuda, K. and Sasaki, T., The mechanics of treatment of the osteoarthritic knee with a wedged insole. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 215, 162-172, 1987.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 권 성 혁 ❖ samdolee@postech.ac.kr
한국정보통신대학교 경영학부 석사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 박사과정
관심분야: 제품디자인, 인체역학, UI 디자인

❖ 김 충 식 ❖ hahapius@postech.ac.kr
포항공과대학교 산업경영공학과 학사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 석사과정
관심분야: 유니버설 디자인, 인체역학

❖ 김 희 진 ❖ gimigimi@postech.ac.kr
포항공과대학교 산업경영공학과 학사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 석사과정
관심분야: 유니버설 디자인, 실험 계획

❖ 유 태 범 ❖ tbryu@hanbat.ac.kr
포항공과대학교 산업경영공학과 박사
현 재: 한밭대학교 산업경영공학과 전임강사
관심분야: 인체역학, 동작분석, 제품설계

❖ 정 민 근 ❖ mkc@postech.ac.kr
Univ. of Michigan 산업공학과 박사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 산업안전, 인체역학, 유니버설 디자인, PUI 디자인

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2008년 08월 05일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2008년 08월 18일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2008년 08월 28일