

키높이 인솔 사용이 무지외반에 미치는 생체역학적 효과 : 유한요소 분석

Biomechanical Effects of Hidden Height Insole for Hallux Valgus : Finite Element Analysis

*박태현¹, #이성재¹, 정태곤²

*T. H. Park¹, #S. J. Lee(sjl@bme.inje.ac.kr)¹, T. G. Jung²

¹인제대학교 의용공학과, ²부산대학교 나노융합기술학과

Key words : Finite Element analysis, Biomechanics, Hallux Valgus, Hidden Height Insole

1. 서론

인솔(Insole)은 신발의 내면 바닥 부위에서 직접 발을 지지하여 충격과 압력을 분산시켜 주는 역할을 하며 현재 많은 기능성 인솔의 개발 및 연구가 이루어지고 있다. 특히 젊은 층을 대상으로 인솔 두께에 변화를 주어 키를 높이는 효과가 있는 키높이 인솔이 최근에 많이 사용되어지고 있다. 그러나 키높이 인솔의 두께가 두꺼워짐에 따라 균형능력과 감각능력에 영향을 끼치며 전족부 부위의 압력 상승 및 전족부 부위의 이상 가능성이 높아진다고 보고되어지고 있다[1]. 또한 키높이 인솔은 다른 인솔들과 달리 족부형상을 고려하지 않은 평평한 형태를 취하고 있어 엄지발가락이 바깥쪽으로 굴곡 되는 무지외반증(Hallux Valgus: HV)의 가능성이 높아진다[2]. 이러한 키높이 인솔의 문제점을 파악하고자 기존의 연구들은 족저압력 측정 및 적외선 동작분석(Motion Analysis)을 이용하여 원인분석을 실시하였으나 문제의 원인으로 작용하는 족부 내부의 응력 변화에 대한 규명이 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 족부 유한요소 모델을 이용하여 키높이 인솔 두께 변화에 따른 제1 중족족지관절(1st Metatarsophalangeal Joint: 1st MTP Joint)의 내부응력(Stress)을 통해 무지외반의 원인으로 작용하는 외전모멘트(Moment)를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 유한요소 모델 구축

유한요소 분석을 위해 사용된 족부모델은 족부 질병이나 형태학적 이상이 없는 남성(170cm, 65kg, 27세)의 우측 발을 검증된 모델을 기초로 선형 특징을 갖는 30개의 골조직, 5개의 족저근막, 134개의

인대와 비선형 특징을 갖는 연부조직의 유한요소 모델을 총 245,782개의 4절점 사면체 요소(4-noded Tetrahedral Elements)와 2절점 다발 요소(2-noded Tension-only Truss Elements)를 사용하여 구현하였다[3]. 키높이 인솔(Hidden Height Insole)은 10mm 기준으로 50mm까지 10mm 단위로 두께를 변화하여 모델을 구현하였으며 아웃솔은 30mm 높이로 일정하게 적용하였다(Fig1). 이때 모든 모델에 사용된 물성치는 문헌을 참고하였으며 비선형적 특성을 갖는 인솔과 아웃솔의 경우 식(1)에 적용하였다($\alpha\beta$: Coefficients of insole&outsole, σ : Stress, ϵ : Strain)(Table. 1)[4].

$$\sigma = \alpha e^{\beta\epsilon} \quad (0 \leq \epsilon < 1) \quad (1)$$

2.2 하중 및 구속조건

직립상태일 때 해당하는 325N의 지면반발력을 분포하중으로 인가하였으며, 162N의 아킬레스건에 작용하는 반발력도 수직방향으로 적용하였다[3]. 경골(Tibia), 비골(Fibula), 연부조직의 최상위면의 모든 절점(Node)을 완전 고정하였으며 술은 수직방향으로만 움직임이 가능하도록 구속하였다. 족저면과 키높이 인솔 사이의 마찰계수는 문헌을 참고하여 0.5로 적용 하였다[2].

2.3 결과 분석 방법

외전모멘트 가능성 분석에 있어 축은 횡단면(Transverse Plane)의 제1 중족골(1st Metatarsal)의 장축(Longitudinal Axis)를 기준으로 이와 평행하는 직선을 Y축으로, 제1 중족족지관절의 중점을 원점으로 하는 X축을 선정하여 해부학적 축(Anatomical Axis)을 결정하였다. 외전모멘트 및 주응력의 중심은 각 요소를 구성하는 모든 절점들의 중점으로 설정한 후 각 요소(Element)의 주응력(Principal

Stress)과 모멘트암(Moment Arm)을 계산하여 외전 모멘트를 분석하였다.

3. 결과

Fig. 3은 제1 중족족지관절의 평균응력으로 키높이 인솔의 두께가 올라감에 따라 0mm에서 50mm까지 최대 69% 증가하는 경향을 확인 할 수 있었으며, 특히 20mm에서 30mm 변화 시 가장 뚜렷한 16% 증가를 보였다. Fig. 4의 외전모멘트는 제1 중족족지관절에서 외측으로 작용하는 힘을 분석한 값으로 키높이 인솔의 두께 증가에 따라 0mm에서 50mm까지 최대 125%의 증가를 나타내며 특히 20mm 이후 단계별 21% 이상의 뚜렷한 증가를 보였다.

4. 결론

키높이 인솔의 두께 증가는 지면 제 1중족족지관절의 평균응력 및 엄지발가락을 외측으로 작용하게 하는 외전모멘트의 상승을 확인 하였다. 특히 20mm 이후 평균응력 및 모멘트의 급격한 증가가 예측 되어짐에 따라 키높이 인솔의 두께가 30mm 이상일 경우 제1 중족족지관절의 통증 및 무지외반으로 발전될 가능성이 높아질 것으로 사료된다.

Table 1. Coefficients for each sole properties

	α	β
Hidden height insole	0.0498	3.6555
Outsole	0.0644	3.9759

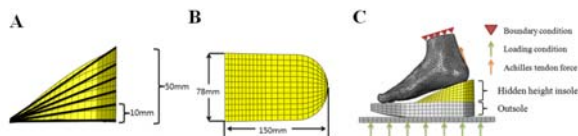


Fig. 1 FE model for Hidden height insole of wedge-shape and foot&ankle; (A) Height variations of thickness for hidden height insole(lateral view), (B) Dimension of hidden height insole(top view), (C) Foot model with 50mm hidden height insole

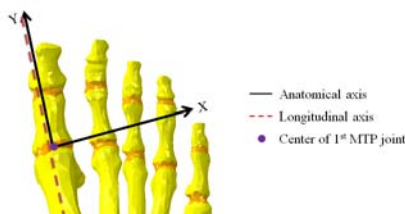


Fig. 2 Anatomical axis of foot FE model. The

longitudinal axis is parallel to Y axis. The center of 1st MTP joint is origin of coordination

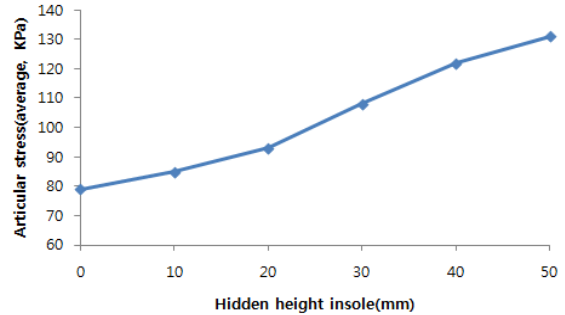


Fig. 3 Average of stress at the 1st metatarsophalangeal joint by hidden height insole

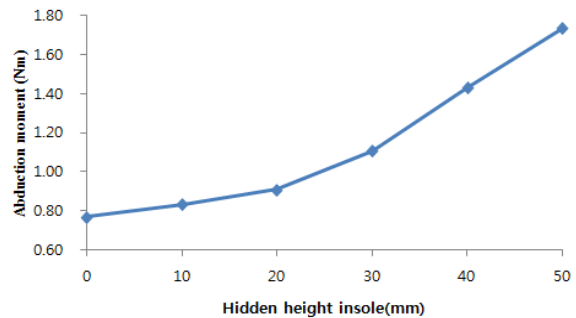


Fig. 4 Abduction moment at the 1st metatarsophalangeal joint by hidden height insole

참고문헌

1. 구봉오, "키높이 깔창이 성인남성의 보행 및 발의 압력분포에 미치는 영향", 대한물리의학회지, 제 6권 제2호, 199-205, 2011.
2. Jia Yu, Jason Tak-Man Cheung, Yubo Fan, Yan Zhang, Aaro Kam-Lun Leung, Ming Zhang, "Development of a finite element model of female foot for high-heeled shoe design", Clinical Biomechanics 23, S31-S38, 2008.
3. Wen-Ming Chen, Taeyong Lee, Peter Vee-Sin Lee, Jin Woo Lee, Sung-Jae Lee, "Effects of internal stress concentrations in plantar soft-tissue—A preliminary three-dimensional finite element analysis", Medical Engineering&Physics 32, 324-331, 2010.
4. 문종필, 전성철, 하기호, 서연호, 정덕영, 이성재, "신발 중창의 아치 위치에 따른 족부 관절의 유한요소 분석", 한국정밀공학회 춘계학술대회, 2009.