

# 안전화 형태와 Insole 착용 유무에 따른 보행동작시 하지부위에 대한 지면반발력과 압력분포 부하

김중진<sup>1†</sup> · 최상복<sup>2</sup> · 차상은<sup>3</sup>

<sup>1</sup>삼성전자(주) 구미사업장 · <sup>2</sup>대구한의대학교 보건학부 · <sup>3</sup>OHSREC

## A study on the ground reaction forces and plantar pressure variables in different safety shoes and applying insole during walking

Jung-Jin Kim<sup>1†</sup> · Sang-Bock Choi<sup>2</sup> · Sang-Eun Cha<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gumi complex, Samsung Electronics Co., Ltd.  
<sup>2</sup>Division of Public Health, Daegu Hanny University  
<sup>3</sup>Occupational Health and Safety Resource Center

The purpose of this study was to compare the ground reaction forces and plantar pressure variables among three different safety shoes (Type 1: ergonomically designed and high quality shoes, 2: curved and cushioned safety shoes, and 3: regular safety shoes) and to find the effect of insole during walking. Ten healthy subjects were recruited for this study. The ground reaction force was measured using a 3 dimensional motion analysis system. Plantar pressures were measured Pedar Mobile foot pressure scan system.

The ground reaction force variables were not significantly different among three different shoe types and insole conditions. After insertion insole, plantar pressure distributions were

improved. These results suggest that the type 1 safety shoes was superior than other safety shoes in the statistics, and applying insole could be a possible method to prevent fatigue of lower extremity and musculoskeletal disorders. Further studies are needed to find the effect of ergonomically designed safety shoes design and insole on practical value prevention of musculoskeletal disorder, fatigue and satisfaction of workers.

**Key Words** : ground reaction forces, plantar pressure variables, safety shoes, insole, walking, musculoskeletal disorder

## I. 서론

산업현장에서 이동 또는 물건을 운반할 때 가장 기본이 되는 동작이 바로 보행동작이다. 이러한 보행동작을 수행할 때

필수적으로 착용하는 보호구인 안전화는 작업수행 관련 작업자에게 커다란 영향을 미치고 있다.

보호구 검정규정에서와 같이 안전화는 기본 특성을 중시하므로 산업현장에서의 작업시 발의 보호 및 작업능률 향상

접수일 : 2007년 4월 3일, 채택일 : 2007년 6월 14일

† 교신저자 : 김중진 (경북 구미시 임수동 94-1 삼성전자(주) 구미사업장,

Tel: 054-479-5080, Fax: 054-479-5086, E-mail: kimjin714@naver.com)

을 위한 신발들의 연구는 많이 이루어지고 있지만 안전화의 인체에 미치는 영향에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다. 또한 최근 작업수행 관련 근골격계질환의 발생이 급증하고 있으며, 2004년도 작업관련성 근골격계질환의 인체 발생부위 분포조사(노동부, 2005)에서 요부 35.7%, 목과 어깨 37.4%, 상지 19.1%에 비해 다소 낮지만 하지의 경우도 7.3%를 차지하여 작업수행 관련 힘 부하 등의 직접적인 원인과 더불어 간접적인 영향인자로 안전화의 구조적 특징과 기능성 등에 의한 영향 변수 등이 작용할 것으로 추측이 된다.

Manter(1941)는 발의 관절들을 통해 힘들의 분배를 결정하기 위해서 사체해부의 발들에서 정적인 부하 아래의 압축력의 부하들을 측정하였는데 종궁(longitudinal arch)의 가장 높은 부분이 거주상 관절(talonavicular joint)과 종입방관절(calcanecuboid joint)들은 거골관절(talus joint)들을 통한 대부분의 부하를 견딘다. 거골(talus), 주상골(navicular), 설상골(cuneiforms) 그리고 첫번째에서 세번째까지의 중족골(metatarsals)들로 구성된 발의 내측 부분들은 대부분의 부하를 지탱하게 되며, 외측부는 종입방관절과 외측의 두 개의 중족골들로 이뤄지며 더 작은 부하들을 전달한다.

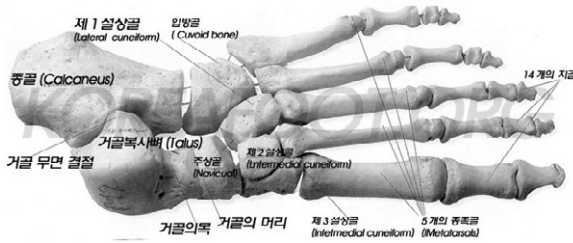


Fig. 1. Bones of foot

Cavanagh 등(1987)은 맨발로 서있는 조사대상자들의 족저압 연구에서 뒤꿈치 60%, 중족 8%, 전족 28% 그리고 발가락들 4% 정도로 압력이 분배하고 있으며, 발뒤꿈치에 있는 최대 압력은 전족의 압력보다 2.6배가 더 크다고 보고하였다.

보행의 운동역학적 연구의 기술적 토대로 마련한 것은 Elftman(1934)로 영상분석과 지면반발력을 동시에 기록하여 보행의 운동학적 분석은 물론, 근 모멘트를 산출하여 오늘날 실행하고 있는 보행동작에 대한 기본방법을 확립하였고, 지면반발력 측정기를 이용하여 충격력을 분석하고 이를 토대로 신발 중저(mid-sole)의 정도 및 외부구조를 개선하는 분야, 영상분석법을 이용하여 후족 제어(rearfoot control) 기능을 연구하고 신발의 안정성을 증진시키는 분야, 압력분포측정기를 이용하여 신발 밑바닥의 압력분포를 측정하는 분야 등이며, 각 분야별 독립적 연구보다는 복합적으로 수행하는

경향을 나타내고 있다(권미지 등, 2003; 최규정, 2003; 이창민과 오연주, 2005).

보행주기 동안 비록 발과 발목의 움직임이 관절과 인대들의 수동적인 제한 요소들과 근육의 활동이 나타난다. 발뒤꿈치 닿기 시기에 전경근육(tendon of tibialis anterior)은 전족의 하강을 조절하여 발이 털썩 떨어지는 것을 예방하기 위해 원심적으로 작용한다.

전족의 최고 압력들은 두번째의 중족골두(heads of metatarsal bones) 하에서 발생한다. 정적인 발의 방사선적 측정들은 다양한 대상자들에서 측정되어지는 역동적 압력들 중에서 발견되는 변이의 65%를 예견하지 못한다. 따라서 보행의 동력학(dynamics)은 보행하는 동안 족저압에 있어 주요한 영향력을 발휘한다(Cavanagh, 1987).

인체는 이동하는 동안 지면에 힘을 가하게 되는 반면, 지면을 통하여 동일한 크기의 지면반발력을 받게 되는데, 이 힘이 인체에는 일종의 충격으로 작용한다.

Nigg(1986)에 의하면 지면반발력 그래프에는 두 개의 정점(peak)이 있으며, 제 1정점은 충격력과 관련이 되고, 제 2정점은 추진력과 관련한다고 하였다. 충격력 가운데 가장 큰 힘은 발과 지면이 접촉하고 있는 지지 구간(contact phase)에서 나타나기 때문에 지지 구간에서의 충격력과 발현 시점에 대하여 연구하는 경향이 있다.

Hutton 등(1973)은 보행 시 발의 바닥을 가로지르는 압력 중심의 진행 연구에서 맨발로 걷는 동안 중력중심은 초기에는 발뒤꿈치 중심에 위치하며 전족에 도달하기 위해서 중족을 가로지르며, 빠르게 가속하지만 속도는 감소하며, 최고의 전족부 압력들은 80%의 입각기에 도달하게 되며, 두번째 중족골 하에 중심이 있게 된다. 발끝 떼기(toe-off)에서 압력중심은 무지 하에 놓여지며, 중족골두들은 적어도 50%의 입각기(stance phase)에서 바닥과 접촉하게 된다.

Soames(1985)는 맨발로 걷기 동안에 가장 높은 압력과 가장 큰 발바닥 충격은 두번째 중족골두 대신에 세 번째의 중족골두 하에 있다고 보고하였다. 족저압들의 분배는 신발에 따라 변화하며, 신발은 발뒤꿈치 하에 있는 압력을 조금 더 균등하게 하여 발뒤꿈치의 최고의 압력을 감소시킨다. 신발들과 함께 전족의 부하분배는 첫 번째와 두 번째의 중족골두 하에 있는 최고의 압력과 함께 내측으로 이동하게 된다. 발가락들 하에 있는 압력들은 또한 신발과 함께 증가한다(Soames, 1985).

산업현장 근로자들의 근골격계질환 예방과 안전화의 안전성과 쾌적성을 고려하여, 본 연구에서는 3차원 영상분석과 지면반발력 측정기 및 압력분포 측정기를 이용하여 생산현장에서 사용 또는 연구 개발된 안전화 3종과 특허품인 Insole의 착용 유무에 따른 안전화의 보행동작 시 착지 후, 지지구

간에서 안전화 바닥에 가해지는 지면반발력과 압력분포의 특성의 차이점을 비교·분석 하고자 하였다.

## II. 연구 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

본 연구는 사업장에서 근로자들이 주로 착용하는 안전화의 종류별 및 인솔의 착용유무에서 안전화의 구조적 디자인 특성에 따른 보행의 인체공학적 기능 분석에 주안점을 두었기 때문에 평소 안전화 착용 경험이 전혀 없는 일반 성인 남자 10명을 대상으로 하였다. 그리고 안전화의 기능이 같더라도 발의 종류에 따라 실험결과가 달라질 수 있기 때문에 이 점을 배제하기 위하여 연구 대상은 편평족궁이나 고족궁이 아닌 정상 족궁을 지닌 사람으로 한정하여 연구 결과의 통계적 해석을 통한 일반화의 제한점이 있다. 연구 대상의 체격 및 일반적 특성은 Table 1과 같았다. 본 연구에 사용된 안전화는 생산현장에서 사용 또는 연구 개발된 안전화로 인체공학적으로 디자인된 고급형(1번)과 outsole의 전면부의 곡선형 및 후면부 쿠션기능성을 보강한 디자인 제품(2번)과 기업체 보급형 일반 안전화(3번)를 선택 하였으며, 인솔은 국내 특허를 획득한 특수금속 아치형 디자인 제품으로 착용유무 에 따른 비교·분석 대상으로 활용하였다.

### 2. 연구 내용

#### 1) 지면반발력 변인

보행 시, 발이 지면과 접촉하는 과정에서 인체는 지면에 힘을 가하게 되고, 반대로 인체는 지면으로부터 가한 힘의 크기와 동일한 힘(일종의 충격력)을 받게 되는데, 이를 지면반발력(ground reaction force)이라고 한다. 본 연구에서는 보행 시 착지발에 대한 지면반발력 요인을 분석하고자 한다. 이 요인에는 수직 지면반발력과 이 힘의 체중에 대한 비율 및 부하율(loading rate)이 포함되었다.

#### 2) 압력분포 변인

착지와 더불어 발바닥에 압력을 가하게 되는데, 발바닥 부위별로 가해진 압력의 크기를 분석하고, 발바닥 전체의 압력 중심도를 구하여 지지 구간에서 어떤 경로로 변하는 지 분석하였다.

### 3. 측정 및 분석 장비

#### 1) 지면반발력 측정 및 분석 장비

지면반발력 측정기는 인체 활동 시 인체가 지면에 가한 힘의 크기를 전후, 좌우 및 수직 성분으로 나누어 측정할 수 있는 장비로서, 미국 AMTI사 제품을 사용하였다. 실험 시한 개의 보드(board)를 사용하였고, 자료 수집율은 100 Hz, 자료 수집 시간은 2초로 설정하였다. 분석 프로그램은 시스템에 내장된 KWONGRF 프로그램을 이용하였다. 지면반발력을 시간 경과에 따라 전후, 좌우, 수직 성분의 힘으로

Table 1. General characteristics of subjects

Volunteer	Height(m)	Body Weight(kg)	Age(yrs)	Foot size(mm)
1	1.70	68.6	38	265
2	1.65	71.2	44	265
3	1.68	67.4	34	265
4	1.62	61.9	53	260
5	1.68	57.3	38	260
6	1.76	72.9	38	260
7	1.73	67.5	37	265
8	1.71	66.9	35	265
9	1.75	68.2	40	265
10	1.68	63.4	53	260
M ±SD	1.70 ±0.044	66.53 ±4.56	41.00 ±6.880	263.00 ±2.582

구분하여 그래프를 그리는데 사용하는 장비로서, 미국 HP 사 7550 모델을 사용하였다.

2) 압력분포 측정 장비

이 장비는 신발 내부의 바닥에 가해지는 압력을 측정하기 위한 것으로서, 독일 Novel사의 Pedar Mobile 제품을 사용하였다. 인솔처럼 생긴 측정판을 신발 크기에 따라 선택하여 신발 속에 넣어서 측정할 수 있으며, 측정 범위는 신발의 크기처럼 24-47(유럽식 신발 호수)의 다양한 종류가 있다. 측정판은 100개의 구획으로 나누어졌으며, 각 구획에는 압력 센서가 설치되어 주행/보행 동작 시 발바닥을 통하여 신발에 가해지는 압력을 측정하고 기록할 수 있다. 이 장비는 초당 10,000 센서를 검색(scan)할 수 있으며 전체적으로 100 Hz의 자료 수집율을 갖고 있으며, 정적/동적 압력을 모두 측정할 수 있다. 각 센서에서 측정된 압력은 임의로 구획을 재구성하여 분석할 수 있으며, 또한 지지구간 동안 발이 지면에 가한 압력중심의 변화 경로도 추적할 수 있다.

3) 실험 절차

신발 속에 압력분포측정기의 측정판을 깔고, 측정판과 유선으로 연결된 무선송신기를 허리에 채운 다음, 신발을 신게 하였다. 안전화(인솔 착용 유무 구분)를 신고 가장 편안하고 자연스러운 보폭으로 걸어서 오른발이 지면반발력 측정기 센서 발판(board) 위에 정확히 착지할 수 있도록 연습하였다. 그리고 이 동작에 익숙해지도록 처음 출발 지점을 표시해 두었다. 다시 정해진 속도에 맞추어 자연스러운 보폭으로 걸어 보드의 중앙을 밟을 수 있도록 연습하고, 출발 지점을 다시 표시해 두었다. 그리고 실험실 안에서 동일한

보행습관을 위해 반복적으로 주어진 속도에 맞추어 걷는 연습을 하였다.

충분한 연습 후, 연구 대상이 준비가 되었다고 하면, 실험자의 출발 신호와 함께 연습 시 표시해 둔 지점으로부터 보행을 시작하여 자연스런 보폭으로 오른발이 정확히 지면반발력 측정기 보드 위를 밟고 지나가도록 하였다. 이 때 연구 대상의 착지 발이 보드를 벗어나거나 정해진 보행속도 범위(보통속도, 3m를 2.0 ± 0.05초 사이에 이동하는 속도)를 벗어나거나 자연스런 보폭으로 보행을 하지 않았다고 판단되면 다시 실험을 실시하였다. 그리고 실험을 통하여 얻은 자료의 유효성을 판단하기 위하여 지면반발력 자료 가운데 수직 성분을 매 시기마다 컴퓨터 모니터를 통해 관찰하고, 착지 형태의 이상여부를 파악한 후, 분석 자료로 사용할 것을 결정하였다. 전체 실험은 안전화의 종류(2) x 보행 속도(3) x 연구 대상(4)을 무작위 표집(random sampling)하여 순서를 정하고 실시하였다. 그리고 각 조건에 대하여 성공적인 시기를 3 회씩 반복 측정하였다. 모든 변인에 대하여 무작위 표집 방식으로 실험을 설계하였지만, 동일한 보행 속도에 대해서는 3 회 연속적으로 측정하였다. 압력분포측정기의 측정판과 무선 송신기의 교환에 많은 시간이 소요되고, 보행 속도에 적응하는데 소요되는 시간이 길었기 때문에 전체 실험을 무작위화 하지 못하였다.

출발 신호에 맞추어 연구 대상이 표시한 지점에서 걸어 오면, 실험자가 연구 대상이 보드를 밟기 전에 지면반발력 측정기 시작기를 누른다. 이와 동시에 동조된 비디오카메라와 압력분포측정기에 신호가 입력되고 측정치도 기록되었다.

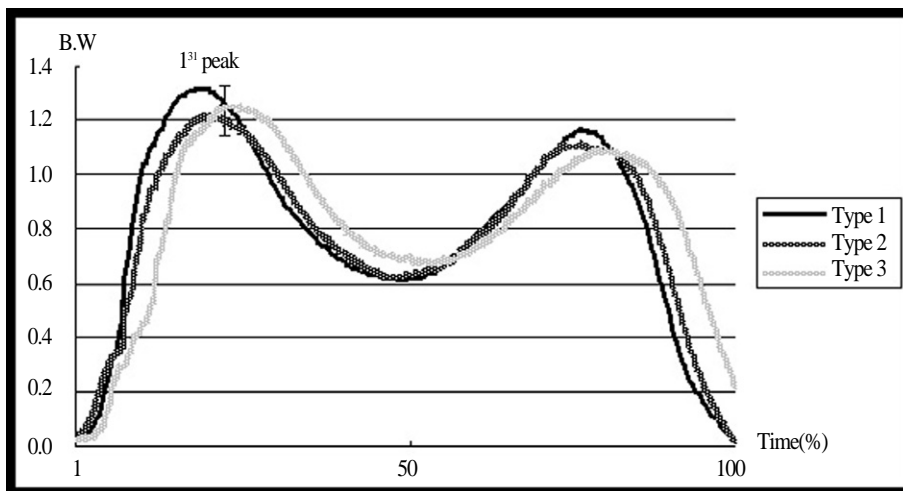


Fig. 2에서 안전화의 종류와 인솔의 착용유무에 관계없이 매우 유사한 변화 형태를 보였다.

#### 4. 자료 처리 방법

지면반발력 측정기를 통하여 얻은 자료는 측정 시스템에서 자료를 출력하고 동조된 영상 자료와 비교하여 분석에 활용하였다. 압력분포측정기에서 얻은 자료도 역시 시스템에 내장된 분석에 활용하였다. 압력분포측정기에서 얻은 자료도 역시 시스템에 내장된 분석 프로그램을 이용하여 발바닥을 7개로 구획하여 자료를 얻고 분석하였다.

실험을 통하여 얻은 자료는 네 가지 주요 이벤트(event) · 착지 시, 제 1정점 발현 시, 제 2정점 발현 시, 이지 시 · 별로 정리하고 분석하였다. 분석된 변인들의 자료를 연구 목적에 적합하도록 구성하기 위하여 MS Excel 2000을 이용하였다. 통계 분석은 SPSS (version 12.0) 프로그램을 사용하여 반복이 있는 2원 분산분석법(two way analysis of variance for repeated measure)을 사용하였으며, 유의수준( $\alpha$ )은 0.5로 하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 지면반발력 변인

보행이나 주행동작과 관련된 운동역학적(kinetic) 분석을 위하여 사용되는 방법은 지면반발력을 분석하는 것이며, 지면반발력은 인체 이동 시 인간이 지면에 가한 힘과 그 크기가 같으며, 힘의 방향은 정반대이다. 일반적인 지면반발력 측정기는 수직, 좌우, 전후 3방향의 지면반발력 성분은 측정할 수 있으며, 이 가운데 수직 방향의 지면반발력(수직 지면반발력) 성분이 가장 큰 비중을 차지하기 때문에 보행 및 주행동작에 많이 활용하고 있으며, 수직 지면반발력은 연구대상자의 체중에 따라 달라지기 때문에 각 연구대상자의 체중으로 나누어 표준화 한 것이 Fig. 1이다. 전형적인

수직 지면반발력 곡선은 낙타 등을 연상시키는 것처럼 두 개의 정점이 있으며, 처음 정점은 제 1정점, 다음을 제 2정점으로 최규정(2003)의 연구와 유사한 형태를 나타내었고 제 1정점은 착지 시 발뒤꿈치가 지면과 접촉하여 착지하면서 생기므로 일종의 제동력 역할을 한다. 제 2정점은 앞으로 나가기 위해 지면을 밀어내면서 발생하는 힘에 상응하는 힘이므로 능동적 추진력을 의미한다(최규정, 2003).

지면반발력 변인 측정결과 부하율은 3번 안전화가 가장 낮게 나타났고, 단위 체중 당 수직 지면반발력은 1.3정도로 유사하였으며 운동화에 대한 지면반발력과 비교(최규정, 2003)하면 약간 높게 나타났다. 제 1정점, 제 2정점, 부하율, 단위 체중당 수직 지면반발력 등에서 안전화 종류 및 인솔의 착용유무에 따라 유의한 차이는 볼 수 없었다.

Nigg(1986)에 의하면 지면반발력은 연구대상의 체중과 이동속도가 증가함에 따라 증가하며, 신발의 종류, 신발 중저의 경도 등에 따라 달라진다고 보고하였고, Cavanagh(1987)는 주행지면에 따라, Clarke 등(1983)은 발의 접지 형태에 따라 지면반발력의 영향을 받는다고 하였다. 곽창수(1993)는 지면반발력은 신발의 특성에 의한 영향이 거의 없다고 하여 본 연구 조사와 비슷한 결과를 나타내었고, Clarke 등(1983), Cavanagh와 Lafortune(1980) 등은 보행과 주행 시 측정된 지면반발력을 체중에 대한 비율로 표준화하여 보행 시에는 체중의 약 1.2~1.5배 정도의 최대 수직 지면반발력을 보고하였고, 최규정(2003)은 일반운동화가 약 1.2배의 지면반발력을 보고하였으며, 안전화에 대한 본 연구에서는 약 1.3배의 지면반발력을 나타내었다.

착지 시 지면으로부터 인체가 수동적으로 받는 힘의 비율은 의미하는 부하율(loading rate)은 착지 시 신발의 수동적 충격력 흡수 기능과 밀접한 관계가 있고, 신발의 쿠션 기능 개선을 위한 연구에 많은 영향을 주고 있다. 본 연구에 사용된 안전화의 경우 2번 안전화가 가장 낮게 나타났으며, 표준편차 값이 큰 경우는 안전화의 뒤쪽 outsole 바닥구조의

Table 2. Ground reaction forces to safety shoe types during gait

Types of safety shoes	Insole	1 <sup>st</sup> peak(Fz1)		2 <sup>nd</sup> peak(Fz2)		Loading rate(N/s)	Fz1/B.W
		Force(N)	Revealed time(second)	Force(N)	Revealed time(second)		
1	In	861.9±56.44	0.15±0.014	768.5±35.64	0.50±0.025	5800.0±567.28	1.3±0.06
	Out	867.8±54.29	0.15±0.011	757.1±33.33	0.50±0.022	5932.5±396.07	1.3±0.07
2	In	869.6±59.70	0.15±0.013	762.9±42.34	0.51±0.026	5789.0±689.35	1.3±0.06
	Out	868.5±54.35	0.15±0.016	752.5±47.78	0.50±0.035	5570.8±1905.19	1.3±0.06
3	In	881.5±79.23	0.15±0.015	776.6±45.31	0.51±0.030	6006.8±991.17	1.3±0.09
	Out	880.5±68.17	0.15±0.017	773.6±44.97	0.51±0.028	5993.0±948.11	1.3±0.06

**Table 3. Analysis of variance of ground reaction forces during gait**

Stance phase	Factors	N	SS	df	MS	F	p
Fz1	Insole(A)	10	1612.0	1	1612.02	2.884	0.124
	Error(AE)		5030.2	9		-	
	Safety shoes(B)	10	1241.3	2	620.67	1.297	0.298
	Error(BE)		8616.0	18		-	
	A x B	10	126.7	2	63.37	0.114	0.893
	AE x BE		10030.6	18	557.26	-	
t1	Insole(A)	10	0.000	1	0.0001	0.658	0.438
	Error(AE)		0.001	9	0.0002	-	
	Safety shoes(B)	10	0.00	2	0.0001	1.682	0.214
	Error(BE)		0.001	18	0.0001	-	
	A x B	10	0.0000	2	0.0000	0.23	0.796
	AE x BE		0.002	18	0.0001	-	
Fz2	Insole(A)	10	338.4	1	338.4	0.624	0.450
	Error(AE)		4881.1	9	542.3	-	
	Safety shoes(B)	10	684.3	2	342.2	1.248	0.311
	Error(BE)		4935.1	18	274.2	-	
	A x B	10	3405.5	2	1702.7	2.086	0.175
	AE x BE		14694.5	18	8816.4	-	
Loading rate	Insole(A)	10	4036.0	1	4036.0	0.004	0.950
	Error(AE)		8806996.1	9	978555.1	-	
	Safety shoes(B)	10	861744.0	1	430872.0	1.229	0.304
	Error(BE)		6311046.8	18	350613.7	-	
	A x B	10	494282.9	2	247141.5	0.506	0.524
	AE x BE		8786835.4	18	488157.5	-	
Fz1/ B.W	Insole(A)	10	0.004	1	0.0037	2.472	0.150
	Error(AE)		0.013	9	0.0015	-	
	Safety shoes(B)	10	0.002	1	0.0008	0.716	0.502
	Error(BE)		0.019	18	0.0011	-	
	A x B	10	0.000	2	0.0001	0.096	0.909
	AE x BE		0.021	18	0.0012	-	

-- SS: sum of squares, df: degree of freedom, MS: mean squares

중간층이 비어 있어 착지시 보행동작의 뒷꿈치 좌우 경사도에 영향이 있는 것으로 보여지며, 안전화의 부하율 측면에서는 1번과 3번 안전화에 비해 착지 시 인체에 수동적으로 가해지는 힘을 적게 받는다고 할 수 있다.

## 2. 압력분포 변인

### 1) 압력분포상

압력분포상 (pressure distribution)은 신발 바닥 면을 100개로 구획하고, 각 구획에서 측정된 압력의 크기를 해당 구획 위에 총 천연색으로 표시하거나 3차원 입체 모양으로 압력

의 크기만큼 높이를 다르게 하여 그린 것을 말한다. 본 연구에서는 3차원 입체모양으로 나타내면서 동시에 천연색상으로 표시 할 수 있는 방법으로 제시하였다(Fig. 3, 4, 5, 6, 7).

Cavanagh 등(1987)은 족저압 연구를 통해서 맨발로 서있는 대상자들의 발에서 부하의 분배가 후족부 60%, 중족 8%, 전족부 28% 그리고 발가락들 약 4%정도로 분포하며 발뒤꿈치 하에 있는 최고의 압력들은 전족의 압력보다 2.0배가 더 크고, 전족의 최고 압력들은 두번째의 중족골두 하에서 발생한다고 보고하였다.

Soames(1985)는 맨발로 걷기 동안에 가장 높은 압력과 가장 큰 발-바닥 충격은 두번째 중족골두 대신에 세 번째의 중족골두 하에 있다고 보고하였다. 족저압들의 분배는 신



Fig. 3. Range of pressure distribution to color(unit: kPa)

발에 따라 변화한다. 신발은 발뒤꿈치 하에 있는 압력의 조금 더 균등한 분배를 생성함으로써 발뒤꿈치의 최고의 압력을 감소시킨다. 신발들과 함께 전족의 부하 분배는 첫번째와 두번째의 중족골두들 하에 있는 최고의 압력과 함께 내측으로 이동하게 되며, 발가락들 하에 있는 압력들은 또

한 신발과 함께 증가한다고 지적 하였다.

이창민과 오연주(2005) 등은 장시간 작업을 요구하는 집배원들을 대상으로 작업화로 착용되는 단화로 발 전반에 받게 되는 충격량 및 분포형태 조사에서 중족골과 발뒤꿈치 부분에서 높은 압력을 보였으며 개인적인 특징에 따라

Shoes Types	Insole	
	Out	In
1		
2		
3		

Fig. 4. Pressure distribution images to safety shoe types on early heel contact

Shoes Types	Insole	
	Out	In
1		
2		
3		

Fig. 5. Pressure distribution images to safety shoe types on 1<sup>st</sup> peak

조금씩 차이를 나타내며 발 형태에 따라 발생하는 압력분포 영역도 다르다고 보고하였다. 착지 초기에는 1번 안전화의 경우 전족부의 압력분포가 인솔의 착용유무에 관계없이 비슷하였고, 2번 안전화의 경우 인솔이 없을 시에는 전족부 외측과 중족 및 후족부에도 분포하고 있으나 인솔 착용 시에는 전족부에 부하를 나타내고 있고, 3번 안전화의 경우에는 인솔이 없을 시 전족부 외측과 중족 및 후족부에 불균일하게 분포하고 있고, 인솔 착용 시에는 전족부 내·외측에 분포하고 있다(Fig. 4).

제 1정점에서의 압력분포 형태에서는 1번과 2번 안전화

의 분포형태는 유사하며 인솔의 착용 시에는 다소 균일하게 분포하고 있고, 3번 안전화의 경우 1, 2번과 반대 양상을 나타내고 있고, 인솔의 착용 시에는 전족부에 다소 균일한 분포를 보이고 있다(Fig. 5).

제2정점의 압력 분포 형태 Fig. 6에서는 1번 안전화의 경우 인솔이 없을 시 족저압 분포에서 발바닥 접지부위는 40~60kPa 분포를 나타내고 있으며, 전족부 외측 부위에 약간 높게 나타내었다. 인솔 착용 시에는 전체적으로 60kPa 이상의 분포는 골고루 나타내며, 후족부의 경우 150kPa 범위로 균일하게 분포하고 있고 전족부의 내측과 외측에서도



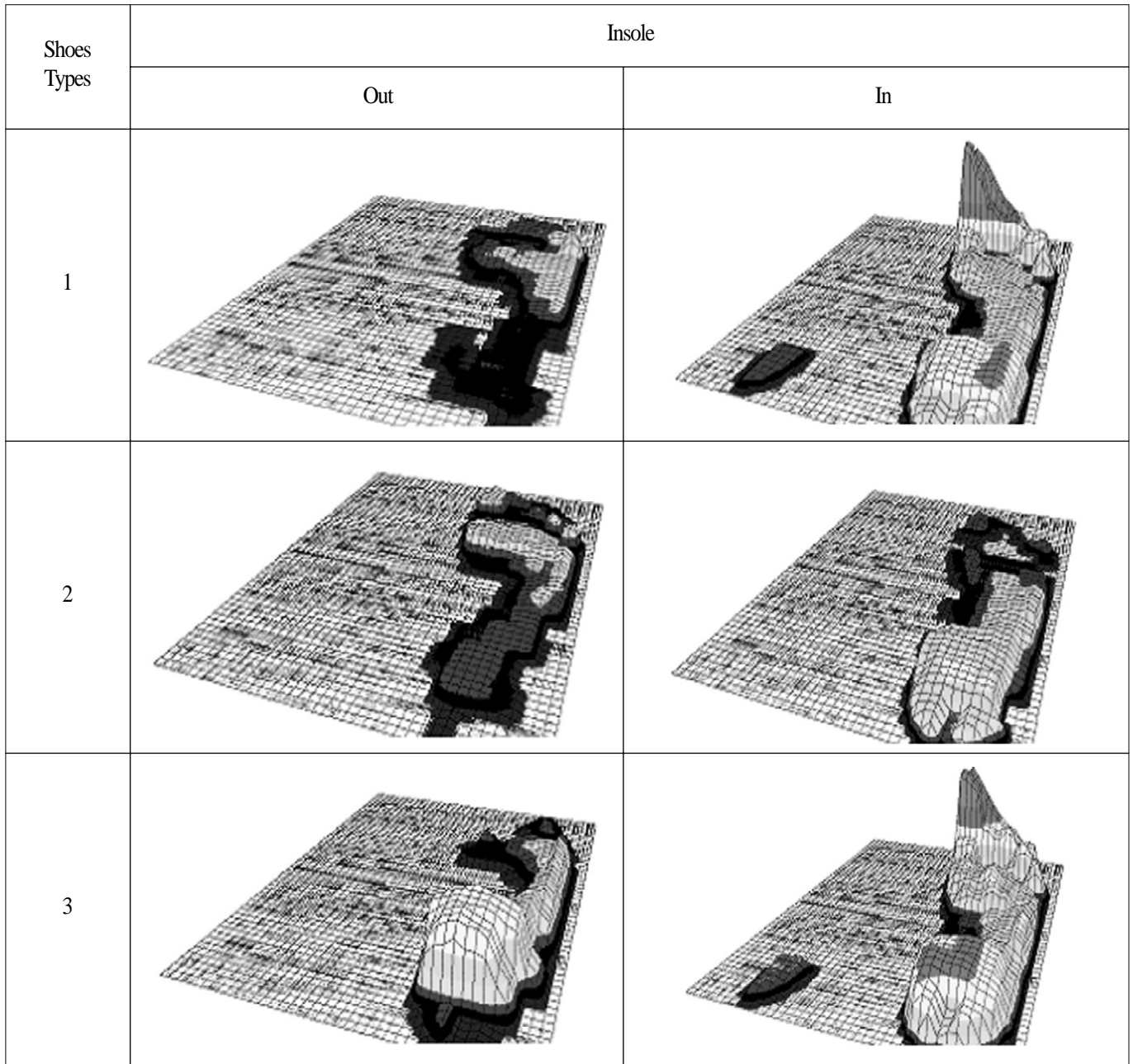


Fig. 6. Pressure distribution images to safety shoe types on 2<sup>nd</sup> peak

100kPa 범위의 분포를 나타내었다.

2번 안전화의 경우 인솔이 없을 시 발바닥 접지부위는 40~60kPa 분포를 나타내며 전족부 내측과 외측에 60kPa 분포를 나타내고 있다. 인솔의 착용 시에는 후족부와 중족 외측부위에서 100kPa의 분포를 나타내었으나 전족부에는 오히려 족저압의 균형이 변형되는 양상을 나타내고 있다.

3번 안전화의 경우 인솔이 없을 시 후족부에서 150kPa의 족저압 분포를 보이고, 전족부의 압력분포가 불균일하며, 인솔의 착용 시 후족부는 200kPa의 분포를 나타내고 있고 중족외측과 저족에서 100kPa 범위가 분포하며 이지 시 조

건을 고려한 1번과 3번 안전화의 엄지부위 족저압은 300kPa 범위를 나타내었다.

착지 조건 (foot flat)에서 인솔 착용유무에 따른 안전화 종류별 족저압 비교(Fig. 7)에서 1번 안전화의 경우 인솔이 없을 시 후족부가 150kPa 내외의 분포를 보이며, 후족부 외측에서 220kPa 이상의 압력분포와 중족 우측은 60kPa 이상의 분포를 나타내었고, 전족부의 내측과 외측에서 100kPa의 분포를 나타내고 있다. 인솔 착용 시에는 후족부의 내·외측에 균일하게 220kPa 압력 분포를 나타내고 있으며, 중족부 외측과 전족부에 균일하게 100kPa 압력분포를 나타내고 있

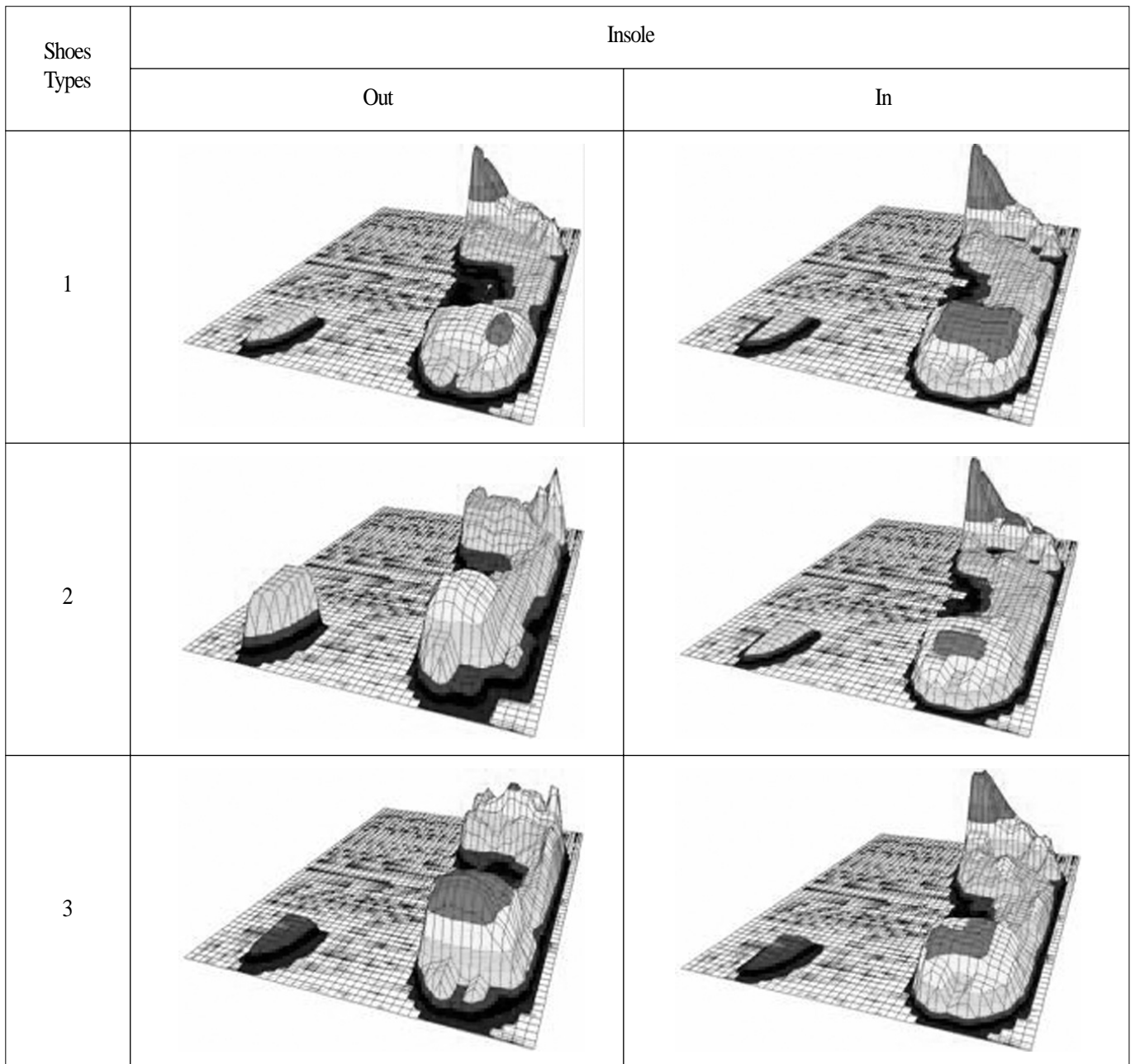


Fig. 7. Pressure distribution images to safety shoe types on foot flat

다.

2번 안전화의 경우 인솔이 없을 시 후족부 내측을 중심으로 150kPa 범위를 분포하고 있고, 중족부 외측에는 100kPa 범위를 보이며, 전족부에는 내측을 중심으로 100kPa 범위의 불균일 분포와 엄지 발가락 부위의 특이한 압력분포를 나타내었다. 인솔착용 시 후족부 중심부가 220kPa 범위를 나타내고, 전반적으로 150kPa 범위를 균일하게 나타내고 있으며 중족부 외측과 전족부에서 100kPa 범위에서 균일한 분포를 나타내고 있다.

3번 안전화의 경우 인솔이 없을 시에는 후족부가 220kPa의 압력분포를 보이고 있으며 전족부에서는 전족 중심부에서 높은 압력 분포를 불균일하게 보이고 있다. 인솔 착용 시에는 후족부 중심과 내측을 중심으로 220kPa 범위와 150kPa 범위에서 분포하며, 전족부의 경우 100kPa 내외의 균일한 분포를 나타내고 있다. 따라서 안전화 종류별 인솔 착용유무에 따른 족저압의 분포조사에서 인솔이 없을 시 족저압의 분포에서는 Cavanagh 등(1987)의 연구와 비교하여 1번 안전화가 유사하며 2번과 3번 안전화의 경우 압력분포가 불균일하며, 인솔의 착용 시에는 족저압의 전족, 중족, 후족 부위 분포가 60%:8%:28%의 분포와 비교하여 체중분



Fig. 8. Centered pathway slope of foot pressure during gait

Table 4. Centered pathway slope of foot pressure to safety shoe types during gait during gait (unit: degree)

Types of safety shoes	Insole	Time of contact phase	
		Mean	Standard deviation
1	In	-5.53	1.618
	Out	-3.85	1.582
2	In	-4.30	1.858
	Out	-4.02	1.860
3	In	-4.04	1.222
	Out	-5.09	1.487

Table 5. Analysis of variance of centered pathway slope of foot pressure

Factors	N	SS	df	MS	F	p
Insole(A)	10	0.46	1	0.46	0.253	0.627
Error(AE)		16.46	9	1.83	-	
Safety shoes(B)	10	8.41	2	4.21	2.202	0.139 7.18
Error(BE)		34.38	18	1.91	-	
A x B	10	14.37	2	7.18	1.652	0.220
AE x BE		78.29	18	4.35	-	

- SS: sum of squares, df: degree of freedom, MS: mean squares

배 등과 고려하여 균일하게 분배되는 양상을 보이고 있어 인솔에 의한 족저압의 압력분포에 교정효과가 있는 것으로 사료되며, 추후 신발의 종류에 따른 압력분포를 조사하여 인솔의 효과에 대한 과학적인 연구결과의 성과를 추적해 보는 것이 필요 할 것 같다.

2) 압력중심 진행

보행 시 발의 바닥을 가로지르는 압력중심의 진행에 대한 연구에서 Hutton 등(1973)은 맨발로 걷는 동안 중력중심은 초기에 발뒤꿈치 중심에 위치되고, 전족에 도달하기 위해서 중족을 가로지르며, 빠르게 가속하지만 속도는 감소한다. 최고의 전족부 압력들은 80%의 입각기에 도달하게

되며, 두번째 중족골 하에서 중심이 있게 되고, 이지 시에서 압력중심은 무지 하에 놓여지며, 중족 골두들은 적어도 50%의 입각기에서 바닥과 접촉하게 된다고 보고 하였다. 압력중심이 신발 바닥면을 경유하는 과정을 Fig. 8에서 제시하였다.

압력중심점 좌표에 대한 회귀분석을 실시하여 얻어진 기울기는 압력중심점이 전방을 향하고 직진성인 것을 평가할 수 있고, 오차의 제곱합은 이동 방향에서 벗어난 수준을 상대적으로 비교·평가하는데 사용 할 수 있다. 안전화의 종류와 인솔의 착용유무에 따른 압력중심 이동 경로의 기울기는 Table 4와 같다.

1번 안전화의 인솔 착용 시  $-5.53 \pm 1.618$ , 인솔 미착용 시  $-3.85 \pm 1.582$ 을 나타내었고, 2번 안전화의 경우 인솔 착용 시  $-4.30 \pm 1.858$ , 인솔 미착용 시  $-4.02 \pm 1.860$ 이었으며, 3번 안전화의 경우 인솔 착용 시  $-4.04 \pm 1.222$ , 미착용 시  $-5.09 \pm 1.487$ 로 나타났다. 이것은 최규정(2003)의 운동화 연구에서의 기울기 값보다는 약간 낮게 나타났으며, 분산분석결과에서 유의한 차이는 보이지 않았다. 1번 안전화가 2번과 3번 안전화에 비해 상대적으로 약간 크게 나타났다 (Table 5).

#### IV. 결론

본 연구는 보행동작의 지지구간에서 안전화의 종류 및 인솔의 착용유무에 따른 발의 지면반발력 및 압력분포에 미치는 영향을 비교·분석하고, 이를 기초로 하여 안전화의 구조적 특징과 인솔의 사용과 안전화의 착용에 따른 하지 부위의 피로와 근골격계질환의 예방을 위한 안전화의 개선방향에 목적을 두고 수행되었다. 연구대상은 정상 족궁을 가지고 후족 착지 형인 성인 남자 10명을 대상으로 하였다. 보행 동작은 3대의 비디오 카메라로 촬영하고 동시에 지면반발력과 압력분포를 측정하였다. 측정치를 비교·분석한 결과는 다음과 같다.

1. 지면반발력 변인측정에서는 인솔의 착용유무에 따라 제 1정점, 제 2정점 부하율과 체중에 대한 표준화 값(Fz1/B.W) 등에서 모두 유의한 차이를 나타내지 않았다.
2. 압력분포 조사에서는 착지초기, 제 1정점 및 제 2정점에서 3번 안전화의 경우 가장 불균일하였고, 1번과 2번 안전화가 양호하였으며, 인솔 착용 후 후족과 전족의 부위별 압력분포가 많이 개선된 것을 확인 할 수 있었다.
3. 지면반발력과 압력분포 조사 등에서 1번 안전화가 족저압의 전족, 중족 및 후족 부위 분포가 균일하게 분포되는 양

상을 보이고 있어 우수하다고 볼 수 있고, 2번 안전화의 경우 후족 제어 변인에서 아웃솔의 형태와 관련되어 부하가 있는 것으로 사료되며, 인솔의 착용에 따른 하지의 피로와 근골격계질환의 예방효과에서는 차이가 조금 있는 것으로 사료된다.

본 조사에서 안전화의 종류 및 인솔의 착용유무에 따른 운동역학적 특성을 비교·분석한 결과 1번 안전화가 균일한 압력분포 양상으로 우수하다고 볼 수 있고, 족저압의 분포조사에서 인솔의 착용유무에 따른 효과성도 충분히 볼 수 있었다. 그러나 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었지만, 이 결과는 안전화에 한하여 10명의 연구대상에 대한 결과이고, 3종류의 안전화와 1종류의 인솔을 이용한 분석결과이므로 일반화를 시키기는 어렵다고 보여진다. 또한 안전화의 구조적 특징에 대한 법적 설계디자인 한계성과 제작 단가를 고려한 생산이므로 운동역학적 기능의 차이에 대한 좀 더 근원적인 원인 규명과 안전화의 종류 및 특징 등을 충분히 고려한 평가와 인솔의 구조, 디자인, 재질, 근로자의 만족도 조사 등과 병행하여 근골격계질환의 예방과 근로자들의 피로와 착용에 따른 만족감을 고려한 실용적 가치를 평가하는 것이 절실하기 때문에 이에 대한 추가적인 관심과 연구노력이 필요할 것으로 고려된다.

#### REFERENCES

곽창수. 운동화 중저의 경도가 주행 시 발바닥의 압력 분포와 충격 흡수에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 박사학위논문 1993.

권미지, 김경, 김영민, 김주상, 소재무 등. 근골격계 생체역학 (개정 3판), 영문출판사;2003. (243~281쪽.)

노동부. 산업재해 통계. 2005.

이창민, 오연주. 생체역학적 분석을 통한 보행 부하 감소용 인솔 개발. 대한인간공학회지 2005;24(4):23-30.

최규정. 일반 운동화와 mBT 보행 신발 착용에 따른 보행 동작의 운동역학적 비교 분석. 성균관대학교 박사학위논문 2003.

Cavanagh PR & Lafortune, MA. Ground reaction forces in distance running. J. of Biomechanics 1980;13:397-406.

Cavanagh PR, Rodgers MM, & Iiboshi A. Pressure distribution under symptom-free feet during barefoot standing. Foot Ankle 1987;7:262-276.

Clarke TE, Fredrick EC and Hamil CL. The effects of shoe design parameters on rear-foot control in running. Medical

Science of Sports Exercise 1983;15(5):376-381.

Elftman H. A cinematic study of the distribution of pressure in the human foot. Anat Rec 1934;59:481-492.

Hutton WC, Stott JRR and Stokes IAF. The mechanics of the foot. In: L. Klenerman(Ed.) The Foot and Its Disorder, Oxford: Blackwell Scientific Publications;1973. p. 41-43.

Manter JT. Movement of the subtalar and transverse tarsal joints. Anat Res 1941;80(4):397-410.

Nigg BM. Some comments for runners, In Biomechanics of Running Shoes. Human Kinematics Publishers, Inc.;1986. p. 205-219.

Soames RW. Foot pressures during gait. J Biomech Eng 1985;7:120-126.