JESK J Ergon Soc Korea 2018; 37(2): 101-110
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2018.37.2.101
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

The Pre-Study of Development of Smart Shoe with Musculoskeletal Injury Prevention and Monitoring System: Selection of Plantar Pressure Sensor Location and Development of Prototype

Sung Pyo Jun[1], Yen Woo You[2], Seung Bum Park[3]

[1]Hansung University, Department of Smart Convergence Consulting, Seoul, 02376
[2]Hansung University, Department of Knowledge Service Consulting, Seoul, 02376
[3]Footwear Biomechanics Team, Footwear Industrial Promotion Center, Busan Economic Promotion Agency, Busan, 46757

근골격계 부상 예방 및 활동 모니터링 케어시스템을 탑재한 스마트 신발 개발을 위한 사전 연구: 족저압력센서 위치 선정과 시제품 개발

전성표[1], 유연우[2], 박승범[3]

[1]한성대학교 스마트융합컨설팅학과
[2]한성대학교 지식서비스컨설팅학과
[3]부산경제진흥원 신발산업진흥센터

Corresponding Author
Seung Bum Park
Footwear Biomechanics Team, Footwear Industrial Promotion Center, Busan Economic Promotion Agency, Busan, 46757
Mobile : +82-10-5214-1627
Email : sbpark@shoenet.org

Received : October 31, 2017
Revised : April 03, 2018
Accepted : April 26, 2018

Copyright@2018 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Objective: The purpose is to develop smart shoes with sensors that help prevent musculoskeletal disorder of individual workers using ICT convergent technology.

Background: This study intended to develop an intelligent shoe platform for analysis of musculoskeletal disorder prevention by analyzing working conditions and postures of musculoskeletal disorder, securing biomechanical database on characteristics of consumers demanding prevention of musculoskeletal disorder, and developing hardware module and platform.

Method: The positions of the pressure sensors in the smart shoe were cells 3, 5, 28, 29, and 30 on the fore-foot, cells 70 and 71 on the mid-foot, and cells 83, 84, 90, and 92 on the rear-foot; the module was inserted in the rear-foot area. For the sake of weight reduction and impact absorption, injection phylon was used. Rubber materials were used for the outside of the outsole to prevent slippage. For easy insertion of the module, the vera and the eyelids on the upper were designed to be long and deep. After the shoemaking process was finished, a translucent mesh material was used for easy removal of the midsole.

Results: By doing so, inserting the module became easier; the module's accuracy and pressure dispersion improved as well.

Conclusion: Working postures that induce musculoskeletal disorder can be analyzed easily by adding smart function to work shoes through existing smart devices.

Application: The system can be utilized as a solution to prevent and manage musculoskeletal disorder more efficiently.

Keywords: WMSDs, Shoes, Smart shoes, Smart shoes design, Shock absorption

1. Introduction

산업현장 내 기계화·자동화와 같은 생산기술의 발달로 인하여 생산현장은 물론 일상 생활사회에서도 작업의 효율과 작업 방법의 편리성 등 많은 부분들이 향상되고 있다. 그러나 자동화와 생산기술의 발달은 단순 반복적 작업 구조, 특정 신체 부위 및 근육의 부적절한 과사용으로 이어졌으며, 이는 요통과 같은 작업관련성 근골격계질환(Work-related Musculoskeletal Disorders, WMSDs)으로 연결되어지고 있다(Kim et al., 2013; Kim et al., 2005). 안전보건공단에서 발표한 산업재해원인조사에 따르면 2014년 업무상 질병 환자 7,678명 중 근골격계질환 환자는 5,174명으로 전체 업무상 질병 환자의 약 67% 이상을 차지하고 있으며, 매년 높은 발병률이 나타나고 있다(KOSHA, 2014). 이러한 작업관련성 근골격계질환 중 약 60% 정도는 중량물 취급(MMH: Manual material handling) 작업의 과정에서 발생하는 요통재해로 조사되고 있으며, 근골격계질환(요부 질환)의 유발행위 중 약 51.9%가 들기/놓기 작업에 의해 유발되고 있다(KOSHA, 2015). 미국의 경우에도 중량물 취급작업으로 인한 요추 부위와 관련된 근골격계질환 재해가 전체 산업재해의 약 52%에 달하고 있으며, 매년 6백만명의 작업자가 노동력을 상실하고 있는 것으로 보고되고 있다(Kim, 2015; Driessen et al., 2010; Long et al., 2013; Bernal et al., 2015). 중량물 취급작업에 의해 야기되는 골격계질환의 주요 원인으로는 중량물 무게에 의한 것에도 기인하지만, 생체역학적으로 안정적으로 취할 수 있는 최적의 자세를 벗어나는 부자연스러운 자세 또는 어려운 자세에 의한 신체부담의 증가와 반복적인 신체적 스트레스 누적에 의한 것이 크게 작용하는 것으로 보고되고 있다(Koo et al., 2012; Cheng et al., 2013).

최근 들어서 정보통신기술을 중심으로 다양한 산업간의 융합이 중요시되고 있으며, 사회전반적으로 신동력산업으로써 빠르게 발전하고 있다. 특히 스마트폰을 필두로 그 활용면에서 타의 추종을 불허하는 컨버전스된 스마트폰은 업무, 교육, 결제, 자동차, 의료 등 광범위한 분야에서 활용되고 있다. 신발 분야의 예를 들면 신발을 신고 운동을 하면서 자신의 심박동수, 칼로리 소모량을 실시간 확인해 볼 수 있으며, 골프장에서는 골프를 치면서 스마트폰 애플리케이션을 이용하여 자신의 스윙 속도와 비거리, 공의 궤적 및 이동지점 등을 실시간으로 모니터링 할 수 있다. 이는 부가장치로써 압력센서를 활용하거나 자이로센서(Gyro Sensor)를 이용하여 운동량을 모니터링 하거나, 불안정 자세 모니터링, 이동 시 활동 등의 정보를 제공받는 방식이다.

그러나 아직까지 센서내장형 스마트 신발 개발을 위한 관련 핵심기술은 해외 글로벌 브랜드들의 전유물일 뿐만 아니라 스마트 기기를 이용하여 공간에 구애 받지 않고 언제 어디서나 손쉽게 근골격계질환 예방 및 관리 모니터링을 할 수 있도록 스마트 기기 신발 개발에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 근골격계질환 작업환경 및 작업자세를 분석하여 개인 작업자의 근골격계질환 예방을 위한 모니터링 케어시스템을 탑재한 센서내장형 스마트 신발 개발을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. Analysis of Plantar of Dynamic Posture

작업자의 근골격계질환 예방을 위한 모니터링 케어시스템을 탑재한 센서내장형 스마트 신발 개발을 위한 압력센서 위치 선정을 위하여 신발산업 생산 작업자의 몰드 작업공정 중 작업자가 몰드를 들어 올려 이동시키는 작업을 동적자세로 선정하였다. 중량물(몰드) 하중변화와 각각의 작업 동작에 따른 족저압력 변화 및 족저압력 이동 경로를 분석함으로써 근골격계질환 평가 인솔센서 시제품 개발 시 압력센서 삽입 위치 및 개수 선정을 위한 기초 자료로 사용하였다.

2.1 Set up of dynamic posture

안전한 실험을 위해 안전보건공단(kosha)에서 제조업 분야의 '현장 작업자를 위한 운반작업 안전' 매뉴얼(2013-교육미디어-1289)을 참조하여 안전한 중량물 들기 작업자세(들기작업, 이동작업, 내리기 작업)를 선정하였으며, 중량물의 무게 선정은 산업안전보건법에서의 중량물 취급작업의 정의에 따라 5kg 이상이며, 몰드 작업자가 몰드 운반작업 시 가장 빈번하게 취할 수 있는 무게인 15 (16.39)kg, 30 (30.17)kg과 대조군 0 (0.12)kg를 채택하였다. 실험에 참가한 피험자는 평소 요통과 하지와 발에 질환경력이 없는 신체 건강한 20대 남성 10명을 대상으로 평가를 실시하였으며, 평소 265mm를 착용하는 자로 제한하였다.

들기 동작은 바닥에 놓여진 중량물을 피험자의 전상장굴극(anteriorsuperior-iliac spine, ASIS)까지 들어 올리는 것을 수행하는 동작이었으며, 이동 동작은 이전 동작인 들기 동작 후 중량물을 전상장굴극까지 들어 올린 채로 목표지점까지 100cm를 이동하는 동작이었다. 내리기 동작은 이전 동작인 피험자가 목표지점까지 이동 후 목표지점인 73cm 높이에 중량물을 내려놓는 동작을 수행하는 동작이었

으며 모든 동작은 피험자가 자연스러운 동작으로 이어지도록 하였다. 실험에 사용된 신발은 피험자들이 평소 근로환경에서 착용하는 신발로써 모두 265mm인 것을 확인 후 실험을 실시하였다. 대상자들은 각각의 몰드 중량물을 들고 총 3회 반복 수행하도록 하여 그 평균값을 채택하였으며, 반복 측정 간 피험자에게 충분한 휴식시간을 제공하였다(Figure 1).

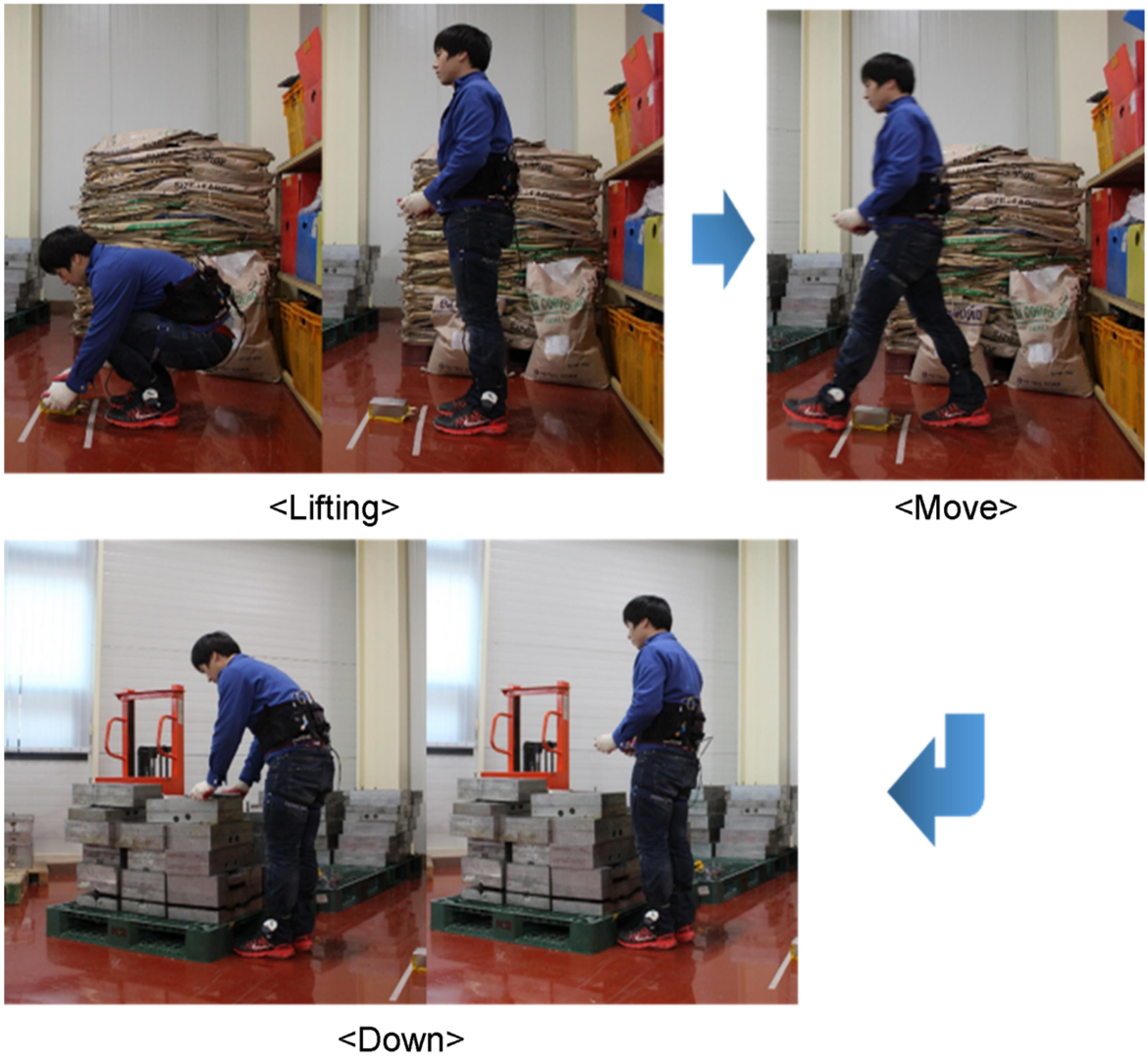

Figure 1. Process of experiment

2.2 Plantar pressure measurement equipment and region of plantar pressure

작업 동작에 따른 족저압력 변화 및 족저압력 이동 경로를 분석하기 위하여 Novel사 제품 Pedar-X 족저압력 분석 장비를 사용하였다. Pedar-X는 인솔형 타입으로 총 99개의 압력센서(cell)가 내장되어 있는 장비이며, 발과 측정 인솔 사이에 발생한 국부 하중에 대한 데이터를 Bluetooth 방식으로 PC의 pedar-X system으로 전송하여 압력값(kPa)으로 변환된다. 본 연구에서는 사용한 Pedar-X 압력센서 인솔은 W사이즈(265mm)를 사용하였으며 압력센서 인솔의 99개 압력센서(셀, cell)를 앞족(anterior) 내측(medial)에서부터 순차적으로 넘버를 부여하였다. 또한 발의 족저압력 측정 영역 설정을 위하여 전족 영역은 내측 1번째, 2번째 발가락뼈(phalange)를 중심으로 내측 영

역, 3번째 ~ 5번째 발가락뼈를 중심으로 외측 영역으로 정의하였으며, 후족 영역은 종골(calcaneus)을 정중면(medial plan)을 중심으로 내측과 외측으로 구분하여 정의하였으며, 중족부는 전족부와 후족부를 제외한 영역으로 구분하여 데이터를 수집 분석하였다(Table 1) (Figure 2).

Table 1. Definition of plantar pressure regions of 99 cells

Foot region		Cell number
Fore foot	Medial	1, 2, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 18, 19, 20, 25, 26, 27, 32, 33, 34
	Lateral	3, 4, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 21, 22, 23, 24, 28, 29, 30, 31, 35, 36, 37, 38
Mid foot		39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 9,60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73
Rear foot	Medial	74, 75, 76, 81, 82, 83, 88, 89, 90, 95, 96, 97
	Lateral	77, 78, 79, 80, 84, 85, 86, 87, 91, 92, 93, 94, 98, 99

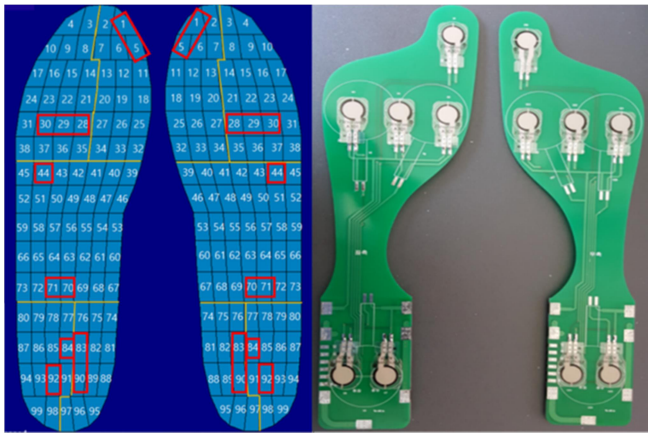

Figure 2. Results of plantar pressure of each regions and prototype which apply to results

2.3 Results of plantar pressure

2.3.1 Result of location for pressure sense on forefoot

왼쪽 전족부 내측은 각각의 무게별로 준비자세, 들기, 이동, 내리기, 전체 동작을 시행했을 시 5번 셀에서 약 73%의 빈도로 첫 번째 최상위 압력점으로 작용하였다. 1번 셀의 경우도 약 40%의 빈도로 두 번째 최상위 압력점으로 작용하였으며, 오른쪽 전족부 내측도 유사한 결과를 보였다. 왼쪽 전족부 외측은 각각의 무게별로 준비자세, 들기, 이동, 내리기, 전체 동작을 시행했을 시 서로 인접해 있는 28, 29, 30번 셀에서 합계 약 67%의 빈도로 첫 번째 및 두 번째 최상위 압력점으로 작용하였으며 오른쪽 전족부 외측의 경우도 28, 29번 셀에서 합계 약 42% 빈도로 첫 번째 및 두 번째 최상위 압력점으로 작용하였다. 전족부 내측의 경우 정적자세 유지 및 보행 시 추진력을 얻는 동작에서 가장 큰 힘을 발휘하는 영역임으로 첫째 발가락에서의 역할이 큰 것으로 여겨지며 이에 따라 적절한 압력 감지를 위한 센서 부착 부위로써 3, 5번 셀이 타당해 보인다. 또한 전족부 외측의 경우도 보행 시 중족부에서 전족부 내측으로 이동하는 영역으로써 28, 29, 30번 셀이 타당할 것으로 판단된다(Table 2) (Figure 2).

2.3.2 Result of location for pressure sense on midfoot

왼쪽 중족부는 각각의 무게별로 준비자세, 들기, 이동, 내리기, 전체 동작을 시행했을 시 71번 셀에서 약 60%의 빈도로 첫 번째 최상위 압력점으로 작용하였으며 70번 셀에서 약 26%의 빈도로 두 번째 최상위 압력점으로 작용하였다. 오른쪽 중족부는 각각의 무게별로 준비자세, 들기, 이동, 내리기, 전체 동작을 시행했을 시 40번 셀에서 약 33%의 빈도로 첫 번째 최상위 압력점으로 작용하였으며, 70번 셀에서 약 26%의 빈도로 두 번째 최상위 압력점으로 작용하였다. 중족부는 COP (center of pressure)의 이동 경로에 있어서 후족부와 전족부를 이어주는 가교 역할을 한다. 특히 중량물을 들어 올리는 상황에서는 중족부 전방으로 무게중심을 둠으로써 중족부 전방에 큰 압력이 발생할 수 있으며, 중량물을 들고 있는 상황에서는 중족부 중앙부터 후방에 큰 압력이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 중량물 들기, 이동, 내리기의 상황을 복합적으로 분석하였다. 왼쪽의 경우 중족부 후방에 해당하는 70, 71번 셀에서 큰 압력이 발생하였으나, 오른쪽의 경우 중족부 전방에 해당하는 오른쪽 40번 셀에서도 큰 압력이 발생하였다. 이러한 결과는 실험에 주어진 동작 중 보행과 중량물을 들고 내리는 동작이 포함되었다는 것이 상호 복합적으로 작용하여 나타난 결과로 여겨지며 이상의 결과를 정리하면 중족부에 왼쪽 오른쪽 모두 큰 압력점으로 작용한 70, 71번 셀이 압력 감지를 위한 적절한 센서 부착 부위로 여겨진다(Table 2) (Figure 2).

2.3.3 Result of location for pressure sense on rearfoot

왼쪽 후족부 내측은 각각의 무게별로 준비자세, 들기, 이동, 내리기, 전체 동작을 시행했을 시 90번 셀에서 약 80%의 빈도로 첫 번째 최상위 압력점으로 작용하였으며 83번 셀에서 약 75%의 빈도로 두 번째 최상위 압력점으로 작용하였다. 오른쪽의 경우도 왼쪽과 유사한 결과를 보였다. 왼쪽 후족부 외측은 각각의 무게별로 준비자세, 들기, 이동, 내리기, 전체 동작을 시행했을 시 92번 셀에서 약 53%의 빈도로 첫 번째 최상위 압력점으로 작용하였으며 84번 셀에서 약 33%의 빈도로 두 번째 최상위 압력점으로 작용하였다. 오른쪽의 경우도 유사한 결과를 보였다. 이상의 결과를 정리하면 후족부를 전체적으로 보았을 때 후족부 중앙에 해당하는 83, 84, 90, 92번 셀이 압력 감지를 위한 적절한 센서 부착 부위로 여겨지며 이러한 결과는 보행 외에 중량물을 들고 내리는 다양한 동작이 포함됨에 따른 결과로 여겨진다(Table 2) (Figure 2).

Table 2. Results of site of sensor for monitoring plantar pressure (unit: %)

Foot region		Cell number	%
Fore foot	Medial	5	73
		1	40
	Lateral	28, 29, 30	67
Mid foot		70	60
		71	26
Rear foot	Medial	90	80
		83	75
	Lateral	92	53
		84	33

3. Analysis of Location for Sensor Module

압력센서 모듈 수납 위치 선정을 위하여 전주기 기술을 활용한 모듈의 갑피와 솔 수납에 따른 신발 유형 분석을 실시하였으며, 솔의 수납 위치(중족부와 후족부)에 따른 선행 개발 자료를 비교 분석하였다.

3.1 Analysis of footwear according to module upper and sole

솔 삽입형의 경우 모듈을 각종 충격에서 보호하고 신발과 모듈 간 연계 효과(신발과 모듈 간 연결 용이성에 따른 효과)를 극대화 할 수 있는 것으로 분석되었으나, 구조적 설계가 요구되며 모듈 탈착에 불편함이 야기되는 것으로 나타났다(Figure 3). 갑피 수납형의 경우 구조적 설계 불필요하며 신발이 가진 각각의 기능을 구현 가능한 것으로 나타났으나, 신발과 모듈의 연계 효과가 미흡한 것으로 나타났다(Figure 4). 이에 따라 신발과 모듈 간 연계 효과가 뛰어난 솔 삽입형을 채택하기로 하였다.

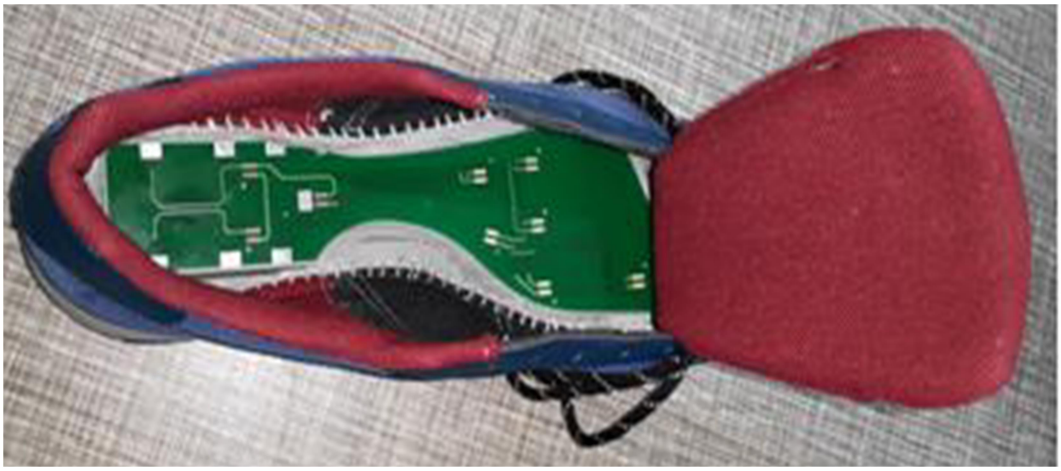

Figure 3. Module insertion position of the midsole

Figure 4. Module insertion position of the upper

3.2 Comparison and analysis of previous data according to the lacation of the sole (middle part and hind part)

중족부 삽입형의 경우 보행 간 충격에서 모듈 보호하고 신발과 모듈 간 연계 효과(신발과 모듈 간 연결 용이성에 따른 효과)의 극대

화가 가능한 것으로 분석되었으나, 구조적 설계가 필요하며, 모듈의 탈착에 불편함이 야기됨은 물론 모듈 수납에 구조적 한계를 가지는 것으로 분석되었다(Figure 5). 후족부 삽입형의 경우 수납 공간 확보 용이하며 신발과 모듈 간 연계 효과의 극대화가 가능한 것으로 분석되었으나, 보행 시 충격에 노출됨은 물론 중족부 삽입형과 동일하게 구조적 설계가 필요하며, 모듈의 탈착에 불편함이 야기되는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 수납 공간이 용이한 후족부 삽입형을 채택하기로 하였으며, 보행 시의 충격을 완화하기 위한 추가 연구를 수행하기로 하였다.

Figure 5. Shape of Smart-walking shoes porototype

4. Development of Prototype

신발 카테고리별 특성을 반영한 아웃솔용 컴파운드를 분석한 결과 뇌기능활성화 수요군용/클라이밍화용/ 택티컬 슈즈용 등 각각의 아웃솔 컴파운드는 완제품 상태에서 바닥 전면에 사용되기보다 보행 또는 활동 시 마찰이 가장 많이 발생되는 부위에 사용되도록 패턴과 함께 병행 설계가 요구되는 것으로 나타났다. 이에 따라 본 연구의 시제품에서도 안전화의 용도에 맞게끔 마찰이 빈번한 압력단에 내마모성 아웃솔 컴파운드를 적용하도록 하였다(Table 3). 솔의 설계 시 고려 사항으로는 모듈 삽입 및 보호를 위한 면적과 두께를 확보해야만 하며, 또한 미끄럼방지를 위한 패턴 적용 및 접지력 확보를 위한 접촉면적 증가가 요구되었다. 이에 본 연구에서는 압력센서 및 모듈 삽입에 따른 솔 구조 및 충격 흡수형 솔을 Figure 5와 같이 3D 랜더링 완료 후 솔의 목형을 설계하였으며, 이후 보완작업을 실시하였다. 또한 시제품 개발 시 경량화 및 충격흡수를 위하여 인젝션 파일론 소재를 사용하였다. 아웃솔 외측에는 미끄럼에 대응 가

Table 3. Securing compound for smart shoes development

[Outsole compound for brain activation]

Table 3. Securing compound for smart shoes development (Continued)

[Specimen for climbing outsole compound]

[Specimen compound for tactical shoes]

능한 러버 소재를 사용하였다. 갑피 설계 시에는 모듈 삽입에 용이하도록 베라 및 아일렛을 길고 깊게 설계하였으며, 제화한 후 모듈 삽입을 위해 중창제거를 용이하게 하기 위한 투명 메쉬를 적용하여 모듈 정확도 및 압력분산 등이 용이하도록 하였다.

5. Discussion

작업환경 및 자세의 문제점 분석을 위한 평가도구로는 작업긴장도지수(Job Strain Index) (Moore and Garg, 1995), NIOSH 들기작업지침(Revised NIOSH Lifting Equation) (Thomas et al., 1993), 밀기/당기기 위험표(Snook Push/Pull Hazard Tables) (Snook and Ciriello, 1991), RULA (Rapid Upper Limb Assessment) (McAtamney and Corlett, 1992), REBA (Rapid Entire Body Assessment) (Hignett and McAtamney, 2000) 등이 있으며, 산업현장에서 일반적으로 사용하는 근골격계질환 유해요인 평가도구에는 OWAS, RULA, REBA 등이 있다. 하지만 이러한 평가 방법으로는 실시간으로 취할 수 있는 최적의 안정적인 자세를 벗어나는 부자연스러운 자세 또는 어려운 자세 의한 신체부담의 증가를 실시간으로 모니터링하며 경각심을 주기에는 한계가 있다.

발의 특정 부위의 과도한 압력형성은 근골격계 상해를 유발할 수 있는 자세불안정성, 부하의 강도 및 크기와 관련이 있으며, 족저압력을 실시간으로 모니터링이 가능한 스마트 신발 개발은 근골격계질환의 예측인자로 활용이 가능하며 바른 자세를 유지하기 위한 근골격계 훈련의 모티브 또는 가이드라인을 제시할 수 있다(Valenza et al., 2014).

본 연구에서는 이러한 근골격계 부상예방 및 활동 모니터링 케어시스템을 탑재할 수 있는 스마트 신발을 개발하는데 있어서의 압력센서 위치 선정, 모듈을 탑재할 수 있는 구조 분석 및 디자인에 초점을 맞추어 이루어졌다. 차후 연구에서는 무게중심 미세변화의 허용량에 대한 생체역학적 빅데이터 구축에 대한 세밀한 연구와 더불어 개발중인 모니팅링 족저압력 모듈센서에 대한 데이터 신뢰성 검증이 필요하다. 또한 이를 PC와 연동하여 기존의 스마트 기기(스마트폰 또는 시계)를 통해 근골격계질환 분석 및 관리와 관련된 상호보완적인 기능을 제공 실시간으로 사용자에게 정보를 제공할 수 있는 어플리케이션과 등에 대한 알고리즘 시스템 개발에 대한 세밀한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

6. Conclusion

근골격계질환 환자는 전체 업무상 질병 환자의 절반 이상을 차지하고 있으며, 매년 높은 발병률을 나타내고 있다. 근골격계질환을 예방하기 위해서는 해당 작업의 유해성에 대한 객관적이고 편리한 평가 방법과 유해요인에 대한 공학적 개선을 포함하는 다양한 예방 대책이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 근골격계질환 작업환경 및 작업자세를 분석하여 개인 작업자의 근골격계질환 예방 관리를 지원하는 센서내장형 스마트 신발을 개발하였다. 스마트 신발을 개발하는데 있어서의 압력센서 위치로는 전족부 3, 5, 28, 29, 30번 셀, 중족부 70, 71번 셀, 후족부 83, 84, 90, 92번 셀을 채택하였으며 모듈의 수납 구조는 후족부 삽입형으로 진행하였다. 시제품 개발 시 경량화와 충격흡수를 고려하여 인젝션 파일론 소재를 사용하였으며, 아웃솔 외측에는 슬립에 대응할 수 있도록 고무 소재를 사용하였다. 갑피는 모듈 삽입에 용이하도록 베라 및 아일렛을 길고 깊게 설계 제작하였으며, 제화한 후에는 중창제거를 용이하게 하기 위한 투명 메쉬를 적용함으로써 모듈의 삽입, 모듈의 정확도 향상 및 압력분산 등이 용이하도록 하였다.

본 연구 결과는 통하여 작업자 스스로가 보다 쉽게 근골격계질환 유발 작업자세에 대한 정보를 얻을 수 있으므로 보다 효율적인 근골격계질환 예방 및 관리가 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 2015년도 중소기업청 융복합 기술개발사업 지원에 의하여 수행되었음(과제번호: S2285158).

References

Bernal, D., Campos-Serna, J., Tobias, A., Vargas-Prada, S., Benavides, F.G. and Serra, C., Work-related psychosocial risk factors and musculoskeletal disorders in hospital nurses and nursing aides: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Nursing Studies*, 52(2), 635-648, 2015.

Cheng, H.Y.K., Cheng, C.Y. and Ju, Y.Y., Work-related musculoskeletal disorders and ergonomic risk factors in early intervention educators. *Applied Ergonomics*, 44(1), 134-141, 2013.

Driessen, M.T., Proper, K.I., Anema, J.R., Knol, D.L., Bongers, P.M. and van der Beek, A.J., Participatory ergonomics to reduce exposure to psychosocial and physical risk factors for low back pain and neck pain: results of a cluster randomised controlled trial. *Occupational and Environmental Medicine*, oem-2010, 2010.

Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment. *Applied Ergonomics*, 31(2), 201-205, 2000.

Kim, S.Y., Kim, H.J. and Jeon, H.J., Influencing factors on work-related musculoskeletal disorders of women workers. *Korean Journal of Occupational Health Nursing*, 14(1), 5-15, 2005.

Kim, K.H., Hwang, R.I. and Suk, M.H., The trends and status of work-related musculoskeletal diseases under Korean worker's compensation system. *Korean Journal of Occupational Health Nursing*, 22(2), 102-111, 2013.

Kim, H.K., Comparsion of Lifting and Lower Activity based on Biomechanical Psychophysical Criteria. *Journal of Ergonomics Society of Korea*, 29(1), 145-153, 2015.

Koo, R.H., Kim, H.C., Shin, Y.S. and Lee, K.S., Assessment of Working Posture Using RULA and REBA in Small Plants with Agricultural Products", *Journal of Agricultural Extension & Community Development*, 19(4), 1021-1039, 2012.

Korea Occupational Safety and Health Agency. 2014 Survey of Occupational Accidents and Diseases, 2014.

Korea Occupational Safety and Health Agency. 2015 Survey of Occupational Accidents and Diseases, 2015.

Long, M.H., Bogossian, F.E. and Johnston, V., The prevalence of work-related neck, shoulder, and upper back musculoskeletal disorders among midwives, nurses, and physicians: a systematic review. *Workplace Health & Safety*, 61(5), 223-229, 2013.

McAtamney, L. and Corlett, N., Reducing the risks of Work Related Upper Limb Disorders. A Guide and Metheds. Institute for Occupational Ergonomics, University of Nottingham, 1992.

Moore, J.S. and Garg, A., The Strain Index: A Proposed Method to Analyze Jobs For Risk of Distal Upper Extremity Disorders. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56(5), 443-458, 1995.

Thomas, R.W., Vern, P.A., Arun, G. and Lawrence, J.F., Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7), 749-776, 1993.

Snook, S.H. and Ciriello, V.M., The design of manual handling tasks: revised tavles of maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics*, 34(9), 1197-1213, 1991.

Valenza, G., Nardelli, M., Lanata, A., Gentili, C., Bertschy, G., Paradiso, R. and Scilingo, E.P., Wearable monitoring for mood recognition in bipolar disorder based on history-dependent long-term heart rate variability analysis. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 18(5), 1625-1635, 2014.

Author listings

Sung Pyo Jun: sp.jun@samduk.net
Highest degree: MD, Department of Business Administration, Pusan National University
Position title: Ph.D Candidate, Department of Smart Convergence Consulting, Hansung University
Areas of interest: Shoe design, Smart Shoe

Yen Woo You: threey0818@hansung.ac.kr
Highest degree: Ph.D, Department of Public Administration, Hansung University
Position title: Professor, Department of Knowledge Service Consulting, Hansung University
Areas of interest: Smart Convergence, Consulting, Smart Factory, Enterprise Value

Seung Bum Park: sbpark@shoenet.org
Highest degree: Ph.D, Department of Physical Education, Pusan National University
Position title: Head of Team, Footwear Biomechanics Team, Footwear Industrial Promotion Center, Busan Economic Promotion Agency
Areas of interest: Biomechanics, Sports, Footwear, Smart Shoe, Wearable Device