

# 다탄성 Insole의 Workload 감소 효과에 관한 연구

이창민<sup>1</sup> · 이경득<sup>2</sup> · 오연주<sup>1</sup> · 김진훈<sup>1</sup>

<sup>1</sup>동의대학교 산업경영공학과 / <sup>2</sup>부산신발산업진흥센터

## The Study on Workload Reducing Effects of Multi-Elastic Insoles

Chang-Min Lee<sup>1</sup>, Kyun-Deuk Lee<sup>2</sup>, Yeon-Ju Oh<sup>1</sup>, Jin-Hoon Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial and Management Engineering, Dongeui University, Busan, 614-714

<sup>2</sup>Busan Footwear Industrial Promotion Center, Busan, 618-820

### ABSTRACT

The Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs) can be occurred by various factors such as repetition, forceful exertions and awkward postures. Especially, occurrences of the WMSDs on the waist and lower limb are reported in workplaces, demanded standing postures for a long time, in service and manufacturing industry. The static and standing postures without movement for a long time increase work loads to the lower limb and the waist. Accordingly, anti-fatigue mat or anti-fatigue insole is used as a preventing device of the WMSDs. However anti-fatigue mats are limited in space and movement. In this study, multi-elastic insoles are designed and shown the effects of the workload reduction for a long time under the standing work. The foot pressures and EMG (Electromyography) are measured at 0 hour and after 2 hours by 6 health students in their twenties. The 6 prototype insoles are designed with three elastic (Low, Medium and High). These insoles are compared with no insole (insole type 7) as control group. The EMG measurement was conducted to waist (erector spinae muscle), thigh (vastus lateralis muscle) and calf (gastrocnemius muscle). The foot pressure is analyzed by mean pressure value and the EMG analysis is investigated through MF (Median Frequency), MPF (Mean Power Frequency) and ZCR (Zero Crossing Rate). The results of the foot pressure show that the multi-elastic insoles had smaller foot pressure value than that of no-insole. Moreover, Insole 2 and Insole 3 have the smallest increasing rate in foot pressure. The EMG results show that the multi-elastic insoles had smaller EMG shift value than that of no-insole in 2 hour, and then shift value shows the smallest value in Insole 2. Therefore, this study presents that the multi-elastic insoles have reducing effects of the work load for a long time standing work in both side of foot pressure and EMG.

Keyword: Workload, EMG, Foot pressure, Insole

## 1. 서 론

산업현장 자동화에 따른 여유시간 감소와 빠른 작업속도, 불편한 작업자세, 단순반복작업의 증가로 인하여 근골격계 질환의 심각성이 증대되고 있다. 또한 설비의 비인간공학적 인 설계로 인해 작업자의 작업부담은 더욱 가중되고 있다. 그러나 작업장의 개선이나 작업자를 위한 개선의 노력은 매우 천천히 진행되고 있다. 2005년 노동부에서 발표한 산업 재해 현황 통계를 살펴보면 직업관련성 질환자는 4,968명으로 2004년 대비 25.8% 감소하였고, 이 중 근골격계 질환자는 2,901명으로 29.5% 감소하는 경향을 나타냈다. 하지만 여전히 근골격계 질환이자 수는 전체 업무상질병자수의 약 39%를 차지하고 있다. 서비스업에서의 작업들은 제한된 구역에서 장시간 동안 서서 일을 하고 있어 여러 가지 건강상의 문제를 제기해 왔는데 특히 하체 피로와 불편함, 하체 붓는 현상, 정맥혈 막힘 등과 같은 하부 통증과 전체 몸의 피로 등을 수반한다. 장시간 서 있음으로 인해 발생하는 불편함은 일반적으로 발 부분에서 가장 심하며 점차적으로 다리 윗부분으로 발전하게 된다(Konz et al., 1990; Phyllis, 2002; Zhang et al., 1991). 또한 장시간 서서 일을 하는 작업자세를 요구하는 작업장은 허리 및 하지에 관련된 근골격계 질환 발생이 보고되고 있다. 이는 딱딱한 바닥에서 장시간 서서 일을 하거나 신발의 충격흡수 정도가 부족 시 작업자는 하지와 발에 피로를 느끼며 작업부하의 증가를 유발하게 된다. 장시간 기립자세를 유지함으로써 발생하는 문제점에 관련된 선행연구를 살펴보면, Ryan의 1989년 연구에서 한정된 공간 내에서 서서 일하는 슈퍼마켓 직원들은 하체 고통과 통증의 발생률이 높다는 것을 밝혀냈고, Cook의 1993년 연구는 특수한 전문직에 종사하는 사람들은(간호사, 치과 의사와 같은 의료산업과 관련된 일을 하는 사람들, 제조업의 여성) 하체 통증 증상의 높은 발생률과 연관이 있다고 증명했다. Krijnen의 1996년 연구에서는 서서 일할 필요가 있는 직업을 가진 사람들에게서 심각하거나, 심각하지는 않지만 만성 정맥기능부전(CVI)과 다리 종기를 진단하였다는 것을 밝혀냈다. Magora는 하루에 4시간 이상 서서 일하는 사람들이 심각한 허리 통증 증세를 가지고 있다는 것을 보고하였으며, 병원 연구에서 병원 직원들 중 장시간 서서 일하는 것은 허리 통증을 직접적인 원인들 중 한 가지가 된다는 것을 밝혀냈다. 이러한 결과들은 장기간 서서 일하는 경우에 허리 통증을 악화시킨다는 연구 결과를 뒷받침 한다. 그 외 기립자세와 관련된 연구에서 레이저 스캐너를 사용하는 계산대 작업에 대한 연구에서는 승모근(trapezius), 극하근(infraspinatus), 흉부척추근(thoracic spine muscles)에서 매우 높은 작업부하가 측정되었다고 보고하고 있다

(Hansen et al., 1998). 또한, 장시간 선 자세에서는 다리와 발의 온도가 상승하고 낮은 심박수를 나타내며(Rys et al., 1990), 대사산물의 축적으로 근육과민증을 유발하며(Djupsjobacka et al., 1995; Rys et al., 1990), Hansen의 1998년 연구에서는 맨 바닥, 매트 1개, 딱딱한 밀창 신발에 대하여 기립과 보행 시에 발의 충격 압력(보행 시), 등의 근전도(EMG), 발의 부피, 피부 온도, 산소 흡수, 심장 비율, 혈압에 대하여 8명의 피험자를 대상으로 2시간 동안 실험을 실시하였다. 또한 기립자세에 대한 인솔연구에서, 서있는 자세의 피로에 미치는 바닥 매트 및 신발 인솔 효과의 비교 연구는 일반적으로 바닥 매트에 서있는 동안 신발 인솔을 착용하였을 때 딱딱한 바닥에 서있는 것보다 편안하다고 보고하였다(Phyllis, 2002). 기립자세에 관련된 국내의 선행연구를 살펴보면, 강동목 외 1999년 연구에서 미용업계 종사자들은 팔을 어깨높이의 상태에서 장시간 기립된 자세로 고정된 시선을 유지하는 불균형적인 자세에서 근골격계 자각 증상의 호소율이 높게 나타났고, 이창민 외 2006년 연구는 대형 할인마트의 계산원의 업무에서 장시간(4시간 이상) 기립자세를 유지하고 작업을 할 때 비복근(gastrocnemius), 외측광근(vastus lateralis), 척추기립근(erector spine)에서 근피로도도가 나타났다고 보고하고 있다. 이와 같이 장시간 정적인 기립자세의 유지는 허리 및 하지, 발 등에 작업부하가 발생함을 알 수 있으며 이를 해결하기 위한 방안이 절실하게 필요하다는 것을 알 수 있었다. 한국산업안전공단에서는 장시간 기립자세에 대한 대처방안으로 작업자의 피로를 감소시켜 줄 수 있는 피로방지 매트 사용의 권장하고 있으나 서비스업 및 제조업의 작업장에서의 기립자세는 정적인 기립자세와 약간의 경 보행을 비롯한 다양한 형태의 작업자세를 요구하고 있다. 따라서 공간 및 이동의 제약성을 가지고 있는 피로방지 매트는 사용하기에 부적절한 면이 있다. 이에 본 연구에서는 작업화 내부에 삽입하여 착용할 수 있는 인솔을 사용함으로써 장시간 기립자세로 인한 작업부하를 줄이고자 한다. 따라서 본 연구에서는 기존의 피로방지 인솔과 다른 형태를 가지는 인솔인 다탄성 인솔을 설계하여 장시간 기립자세를 유지하였을 때 작업부하를 감소시키는 효과에 대해 조사하기 위하여 족저압과 근전도를 측정하였으며 여러 형태의 다탄성 인솔 중 작업부하를 가장 많이 감소시키는 탄성 조합을 제시하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구대상

본 연구의 피험자는 과거병력상 요추 및 하지의 근골격계

질환을 경험하지 않았으며 발의 형태학적 변형이 없는 20대 남학생 6명으로 선정하였다(표 1). 또한 피험자는 5초간 정상보행을 유지하기 위하여 각 피실험자의 보폭을 측정하여 보행연습을 실시한 후 실험을 실시하였다.

표 1. 피험자의 통계적 변인

항목	나이(yr.)	신장(cm)	체중(kg)	발 사이즈(cm)
평균	25.33	177.67	69.83	270.83
	±0.52	±5.01	±4.17	±5.85

### 2.2 실험방법

실험에 사용된 인솔의 소재는 미국 Rogers사의 Poron을 사용하였으며, 인솔의 탄성은 3가지로 구분된다. 탄성은 탄성을 측정하는 방법 중의 하나인 Ball Rebound 방법에 의해 백분율로 표시되며 일정 높이에서 쇠구슬을 낙하시켰을 때 반발되어 튀어 오르는 높이를 가지고 측정하였다. Low의 Ball Rebound는 4%, Medium은 15%, High는 25%이다(그림 1). 세 가지 탄성을 조합하여 총 6가지의 인솔을 제작 후 얇은 덧신에 삽입하여 실험을 실시하였다. 인솔의 조합순서는 앞에서부터 발바닥과 접촉되는 부분-중간-바닥과 접촉되는 부분이다(표 2, 그림 3). 실험은 6가지 인솔과 인솔이 없는 경우에 대하여 족저압 측정을 통해 발이 받는 압력을 조사하고, 생체역학적 분석방법인 EMG 분석을 통하여 허리와 하지 근육의 사용빈도와 정도를 측정하여 근육 피로를 조사하였다. 근전도(EMG) 측정부위는 보행 시 가장 많이 사용하는 허리의 척추기립근(erector spinae)과 허벅지의 외측광근(vastus laterales), 종아리의 비복근(gastrocnemius)에 electrode를 부착하여 근육 사용량을 조사하였으며 EMG 신호 중 MF(Median Frequency), MPF(Mean Power Frequency), ZCR(Zero Crossing Rate)을 이용, 분석하였다. 또한 족저압은 각각의 인솔을 양발에 착용한 후 0시간과 2시간에서 6가지 인솔과 인솔이 없는 경우에 대하여 5초 동안 5회 반복 측정하였다(그림 2). 근전도 측정장비는 ME6000-T8(Mega Win Ver 2.3.1)과 족저압 측정장비는 Tekscan사의 F-Scan(Research foot 5.23)을 사용하였다.

## 3. 연구 결과

### 3.1 족저압 분석 결과

#### 3.1.1 시간에 따른 족저압 비교

족저압 분석을 위해 양발의 압력을 측정하였으며, 분석을

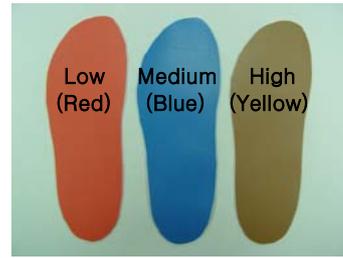


그림 1. 탄성에 따른 Insole 소재의 종류



그림 2. 족저압 및 근전도 측정

표 2. 실험에 사용된 Insole의 종류

Insole	Color	탄성
Insole 1	R-B-Y	L-M-H
Insole 2	R-Y-B	L-H-M
Insole 3	B-R-Y	M-L-H
Insole 4	B-Y-R	M-H-L
Insole 5	Y-R-B	H-L-M
Insole 6	Y-B-R	H-M-L
Insole 7	No Insole	No Insole



Insole 1	Low
	Medium
	High
Socks	
Sensor	
Socks	

그림 3. 인솔의 적층 순서 예

위하여 양발의 평균압력(Mean Pressure)을 조사하였으며 시간에 따른 각 인솔의 족저압을 비교하였다. 그 결과 모든 인솔(Insole 1 ~ Insole 7)은 0시간보다 2시간에서 족저압

값이 높게 나타났다. 이는 시간이 지남에 따라 족저압은 증가한다는 것을 의미하며 족저압의 증가량이 가장 적은 인솔이 작업부하 경감 효과가 가장 크다고 할 수 있다. 다탄성 인솔과 인솔을 삽입하지 않은 경우의 족저압 비교에서 0시간과 2시간 모두 인솔이 없는 경우보다 6가지 다탄성 인솔이 모두 유의하게 낮은 값을 보였다(그림 4, 5). 0시간에서 다탄성 인솔간의 압력을 비교한 결과 인솔 간에 유의한 차이를 보였으며( $p < 0.05$ ) Insole 3의 족저압 값이 93.72kPa로 가장 작게 나타났으며 Insole 2가 96.55kPa로 두 번째로 작게 나타났다(표 3). 또한, 2시간에서도 다탄성 인솔들 간에 유의한 차이를 보였으며( $p < 0.05$ ) Insole 3의 족저압 값이 94.58kPa, Insole 2의 족저압 값이 98.72kPa로 작게 나타났다. 이는 Insole 2와 Insole 3이 족저압을 가장 많이 감소시켜 주는 인솔임을 의미하며, 0시간과 2시간에서 족저압 값이 작은 것부터 나열하면 그 순위는 Insole 3 > Insole 2 > Insole 1 > Insole 4 > Insole 5 > Insole 6과 같다.

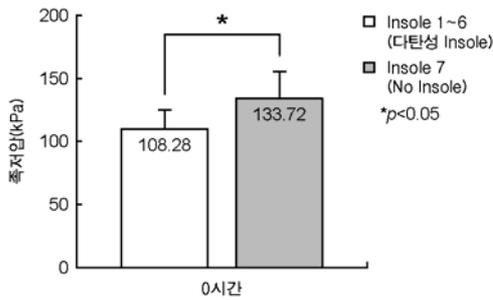


그림 4. 0시간에서 다탄성 인솔과 No 인솔의 족저압 비교

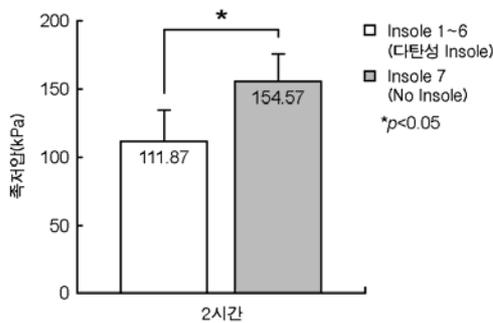


그림 5. 2시간에서 다탄성 인솔과 No 인솔의 족저압 비교

### 3.1.2 족저압 증가율 비교

각각의 다탄성 인솔들에 대하여 0시간의 족저압 값과 2시간에서의 족저압 값을 비교하여 족저압의 증가율을 분석하였다. 족저압의 증가율 분석을 통하여 족저압의 감소 효과가 가장 좋은 인솔조합을 찾고자 한다. 분산분석 결과 모든 인솔에서 시간변화에 따른 족저압 값은 유의한 차이가 없었

표 3. 0시간, 2시간에서 다탄성 Insole간의 족저압 비교

시간	Insole	평균(kPa)	p-value
0시간	Insole 1	98.76	0.000*
	Insole 2	96.55	
	Insole 3	93.72	
	Insole 4	108.07	
	Insole 5	125.98	
	Insole 6	126.61	
2시간	Insole 1	102.76	0.000*
	Insole 2	98.72	
	Insole 3	94.58	
	Insole 4	112.88	
	Insole 5	128.72	
	Insole 6	133.56	

\* $p < 0.05$

으며( $p < 0.05$ ), 시간이 변함에 따라 족저압 값이 증가하는 경향을 보였다. 증가율을 분석한 결과 Insole 3의 증가율이 0.85%로 가장 적고 Insole 2의 증가율이 2.18%로 다소 적은 족저압 증가를 보였으나 다탄성 인솔들의 증가율간의 유의한 차이는 없었다( $p < 0.05$ ). 또한 Insole 2와 Insole 3은 0시간과 2시간에서 족저압 값이 가장 작게 나타나며 족저압의 증가율이 다른 다탄성 인솔에 비해 적음을 알 수 있다. 따라서 각 시간에서의 족저압 값 비교와 족저압 증가율 분석을 통해 탄성 조합이 Low-High-Medium인 Insole 2와 Medium-Low-High인 Insole 3은 발의 피로를 감소시키는 경향을 보이고 있다고 할 수 있다.

표 4. 다탄성 인솔의 족저압 증가율에 대한 분산분석 결과

인솔	시간	증가율(%)	p-value
Insole 1	0시간	4.00	0.696
	2시간		
Insole 2	0시간	2.18	
	2시간		
Insole 3	0시간	0.85	
	2시간		
Insole 4	0시간	4.81	
	2시간		
Insole 5	0시간	2.75	
	2시간		
Insole 6	0시간	6.95	
	2시간		

\* $p < 0.05$

### 3.2 근전도 분석 결과

근전도를 통한 근육의 피로도 분석은 근전도(EMG) 신호의 주파수 천이현상(Frequency Shift) 분석을 통해 가능하다. 본 연구에서는 근전도 신호인 MF(Median Frequency), MPF(Mean Power Frequency), ZCR(Zero Crossing Rate)을 사용하여 각 신호의 주파수 천이를 조사하였다. 주파수 천이는 작업부하가 클수록 주파수의 천이 값이 크게 나타나는 것을 이용하여 각 인솔의 피로도를 조사하였다(Peter, 2005).

#### 3.2.1 MF(Median Frequency) 분석 결과

##### 측정근육별 MF 천이 비교

2시간 기립자세를 유지한 후 MF의 천이를 알아보기 위하여 다탄성 인솔과 인솔이 없는 경우에 대하여 측정근육별 MF의 천이 값을 조사하였다. 허리의 MF 천이를 분석한 결과 다탄성 인솔의 MF 천이 값은 4.35Hz로 인솔을 삽입하지 않은 경우의 MF 천이 값인 9.56Hz보다 작게 나타났으며, 분산분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의한 차이가 있었다( $p$ -value=0.003). 허벅지의 MF 천이를 분석한 결과 다탄성 인솔의 MF 천이 값은 5.43Hz로 인솔을 삽입하지 않은 경우의 MF 천이 값인 17.20Hz보다 작게 나타났으며, 분산분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의한 차이가 있었다( $p$ -value=0.005). 종아리의 MF 천이를 분석한 결과 다탄성 인솔의 MF 천이 값은 8.63Hz로 인솔을 삽입하지 않은 경우의 MF 천이 값인 10.60Hz보다 작게 나타났으나, 분산분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의한 차이가 없었다(표 5). 측정근육별 MF 천이를 분석한 결과 모든 근육에서 다탄성 인솔은 인솔이 없는 경우보다 MF 천이 값이 작게 나타났으며 허리와 허벅지 근육에서 유의한 차이를 볼 수 있었다. 따라서 다탄성 인솔은 근육 피로도 감소 효과와 작업부하 감소 효과가 있다고 할 수 있다.

표 5. 측정근육별 다탄성 인솔과 No 인솔의 MF 천이 분산분석 결과

근육	인솔	평균 ± 표준편차(Hz)	F	p-value
허리	Insole 1~6	4.35 ± 3.44	9.50	0.003*
	Insole 7	9.56 ± 7.71		
허벅지	Insole 1~6	5.43 ± 4.00	8.73	0.005*
	Insole 7	17.20 ± 19.51		
종아리	Insole 1~6	8.63 ± 10.23	0.37	0.545
	Insole 7	10.60 ± 12.52		

\* $p < 0.05$

##### 다탄성 인솔간의 MF 천이 비교

다탄성 인솔간의 MF 천이 값을 비교한 결과 Insole 2의

MF 천이 값이 11.11Hz로 가장 작게 나타났다. 이는 Insole 2의 MF 주파수가 높은 주파수에서 낮은 주파수로 주파수 천이가 가장 적게 일어났으며 근육의 피로가 가장 적음을 의미한다. 그러나 다탄성 인솔간의 분산분석 결과  $p$ -value 값이 0.718로 다탄성 인솔간의 유의한 차이는 없었지만(표 6), Insole 2의 MF 주파수 천이 값이 가장 작게 나타났다.

표 6. 다탄성 인솔간의 MF 천이 값에 대한 유의성

인솔	평균 ± 표준편차(Hz)	F	p-value
Insole 1	12.28 ± 12.16	0.58	0.718
Insole 2	11.11 ± 10.32		
Insole 3	14.07 ± 14.12		
Insole 4	13.45 ± 10.30		
Insole 5	13.01 ± 14.68		
Insole 6	14.24 ± 17.70		

\* $p < 0.05$

#### 3.2.2 MPF(Mean Power Frequency) 분석 결과

##### 측정근육별 MPF 천이 비교

2시간 기립자세를 유지한 후 MPF의 천이를 알아보기 위하여 다탄성 인솔과 인솔이 없는 경우에 대하여 측정근육별 MPF의 천이 값을 조사하였다. 허리의 MPF 천이를 분석한 결과 다탄성 인솔의 MPF 천이 값은 3.85Hz로 인솔을 삽입하지 않은 경우의 MPF 천이 값인 8.88Hz보다 작게 나타났으며, 분산분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의한 차이가 있었다( $p$ -value=0.001). 허벅지의 MPF 천이를 분석한 결과 다탄성 인솔의 MPF 천이 값은 4.75Hz로 인솔을 삽입하지 않은 경우의 MPF 천이 값인 14.20Hz보다 작게 나타났으며, 분산분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의한 차이가 있었다( $p$ -value=0.008). 종아리의 MPF 천이를 분석한 결과 다탄성 인솔의 MPF 천이 값은 7.99Hz로 인솔을 삽입하지 않은 경우의 MPF 천이 값인 8.56Hz보다 작게 나타났으나, 분산분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의한 차이가 없었다(표 7). 측정근육별 MPF 천이를 분석한 결과 모든 근육에서 다탄성 인솔은 인솔이 없는 경우보다 MPF 천이 값이 작게 나타났으며 허리와 허벅지 근육에서 유의한 차이를 볼 수 있었다. 따라서 다탄성 인솔은 근육 피로도 감소 효과와 작업부하 감소 효과가 있다고 할 수 있다.

##### 다탄성 인솔간의 MPF 천이 비교

다탄성 인솔간의 MPF 천이 값을 비교한 결과 Insole 2와 Insole 5의 MPF 천이 값이 각각 10.89Hz, 10.69Hz로 가장 작게 나타났다. 이는 MPR 주파수가 높은 주파수에서 낮은 주파수로 주파수 천이가 가장 적게 일어났으며 근육의 피로가 가장 적음을 의미한다. 그러나 다탄성 인솔간의 분석

결과  $p$ -value값이 0.823으로 다탄성 인솔간의 유의한 차이는 없었다(표 8). 또한 Insole 5의 MPF 주파수 천이 값은 가장 작게 나타났지만 Insole 2의 MPF 주파수 천이 값과 근소한 차이를 보여 Insole 5의 작업부하 감소 효과가 가장 좋다고 할 수 없으나, Insole 2와 Insole 5는 다른 다탄성 인솔에 비해 MPF 주파수 천이 값이 작게 나타났다.

표 7. 측정근육별 다탄성 인솔과 No 인솔의 MPF 천이 분산분석 결과

근육	인솔	평균 ± 표준편차(Hz)	F	$p$ -value
허리	Insole 1~6	3.85±3.03	11.87	0.001*
	Insole 7	8.88±6.65		
허벅지	Insole 1~6	4.75±3.60	7.62	0.008*
	Insole 7	14.20±16.74		
종아리	Insole 1~6	7.99±8.41	0.04	0.843
	Insole 7	8.56±11.72		

\* $p$ <0.05

표 8. 다탄성 인솔간의 MPF 천이 값에 대한 유의성

인솔	평균 ± 표준편차(Hz)	F	$p$ -value
Insole 1	11.57±10.85	0.44	0.823
Insole 2	10.89±9.57		
Insole 3	13.11±13.74		
Insole 4	12.13±10.38		
Insole 5	10.69±11.06		
Insole 6	12.31±15.24		

\* $p$ <0.05

### 3.2.3 ZCR(Zero Crossing Rate) 분석 결과

#### 측정근육별 ZCR 천이 비교

2시간 기립자세를 유지한 후 ZCR의 천이를 알아보기 위하여 다탄성 인솔과 인솔이 없는 경우에 대하여 측정근육별 ZCR의 천이 값을 조사하였다. 허리의 ZCR 천이를 분석한 결과 다탄성 인솔의 ZCR 천이 값은 5.95Hz로 인솔을 삽입하지 않은 경우의 ZCR 천이 값인 23.00Hz보다 작게 나타났으며, 분산분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의한 차이가 있었다( $p$ -value=0.000). 허벅지의 ZCR 천이를 분석한 결과 다탄성 인솔의 ZCR 천이 값은 3.27Hz로 인솔을 삽입하지 않은 경우의 ZCR 천이 값인 16.08Hz보다 작게 나타났으며, 분산분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의한 차이가 있었다( $p$ -value=0.000). 종아리의 ZCR 천이를 분석한 결과 다탄성 인솔의 ZCR 천이 값은 7.15Hz로 인솔을 삽입하지 않은 경우의 ZCR 천이 값인 13.68Hz보다 작게 나타났으며, 분산분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의한 차이가 있

었다( $p$ -value=0.009)(표 9). 측정근육별 ZCR 천이를 분석한 결과 모든 근육에서 다탄성 인솔은 인솔이 없는 경우보다 ZCR 천이 값이 작게 나타났으며 모든 근육에서 유의한 차이를 볼 수 있었다. 따라서 다탄성 인솔은 근육 피로도 감소 효과와 작업부하 감소 효과가 있다고 할 수 있다.

표 9. 측정근육별 다탄성 인솔과 No 인솔의 ZCR 천이 분산분석 결과

근육	인솔	평균 ± 표준편차(Hz)	F	$p$ -value
허리	Insole 1~6	5.95±4.49	23.54	0.000*
	Insole 7	23.00±16.99		
허벅지	Insole 1~6	3.27±2.30	41.14	0.000*
	Insole 7	16.08±9.72		
종아리	Insole 1~6	7.15±5.82	7.31	0.009*
	Insole 7	13.68±10.59		

\* $p$ <0.05

#### 다탄성 인솔간의 ZCR 천이 비교

다탄성 인솔간의 ZCR 천이 값을 측정부위별로 분석한 결과 허리에서  $p$ -value 값이 0.000으로 95% 신뢰수준에서 다탄성 인솔간의 유의한 차이가 나타났다. 또한 종아리에서는 90% 신뢰수준에서 유의한 차이를 보였다(표 10).

표 10. 측정근육별 다탄성 인솔간의 ZCR 천이 분산분석 결과

근육	인솔	F	$p$ -value
허리	Insole 1~6	4.82	0.000*
허벅지	Insole 1~6	1.23	0.298
종아리	Insole 1~6	2.02	0.079

\* $p$ <0.05

다탄성 인솔간의 ZCR 천이 값을 비교한 결과 Insole 2의 ZCR 천이 값이 9.19Hz로 다른 다탄성 인솔에 비하여 가장 작게 나타났다. 이는 ZCR 주파수가 높은 주파수에서 낮은 주파수로 주파수 천이가 가장 적게 일어났으며 근육의 피로가 가장 적음을 의미한다. 또한 다탄성 인솔간의 분산분석 결과  $p$ -value 값이 0.000으로 95% 신뢰수준에서 다탄성 인솔간의 유의한 차이가 나타났다(표 11). 따라서 ZCR 주파수 천이 값이 가장 작은 Insole 2는 다른 다탄성 인솔보다 작업부하 감소 효과에서 좋게 나타나고 있다.

### 3.3 다탄성 인솔의 탄성 조합 제시

족저압 분석 결과 다탄성 인솔은 인솔이 없는 경우보다 족저압 값이 작게 나타났다. 또한 Insole 3은 2시간 동안 기립자세 유지 후 족저압의 증가율이 0.85%로 가장 적은

표 11. 다탄성 인솔간의 ZCR 천이 값에 대한 유의성

인솔	평균 ± 표준편차(Hz)	F	p-value
Insole 1	16.67 ± 15.39	4.61	0.000*
Insole 2	9.19 ± 7.23		
Insole 3	14.48 ± 10.16		
Insole 4	12.52 ± 10.11		
Insole 5	15.36 ± 12.91		
Insole 6	11.00 ± 10.66		

\*p<0.05

증가율을 보였고, Insole 2의 족저압 증가율은 2.18%로 다소 적은 증가를 보였다. 또한 0시간과 2시간에서 Insole 2와 Insole 3은 족저압 값이 가장 작게 나타났다.

2시간 동안 기립자세를 유지한 후 MF, MPF, ZCR의 천이를 분석한 결과 모든 근육에서 다탄성 인솔은 인솔이 없는 경우보다 작은 값을 보였다. 이는 다탄성 인솔이 모든 측정 근육에서 작업부하 감소 효과가 있음을 의미한다. 또한 다탄성 인솔간의 비교에서 Insole 2는 MF, MPF, ZCR 천이 값이 다른 다탄성 인솔보다 작게 나타났으며, ZCR 천이 비교에서 다탄성 인솔간의 유의한 차이를 보였다(p<0.05). 근전도 분석 결과 Insole 2의 근육 피로도 감소 효과와 작업부하 감소 효과가 좋게 나타나고 있다고 할 수 있다.

따라서 족저압과 근전도 분석 결과를 볼 때 작업부하를 감소시키는 경향을 보이는 다탄성 인솔은 Insole 2임을 알 수 있었으며, 인솔의 탄성 조합은 Low-High-Medium으로써 발바닥과 접촉되는 부분의 탄성이 Low이고 신발과 접촉되는 부분의 탄성이 Medium인 다탄성 인솔이 작업부하를 감소시키는 경향을 보인다고 할 수 있다.

### 3.4 족저압과 근전도간의 상관관계 분석

족저압과 근전도 신호(MF, MPF, ZCR) 값에 대한 상관분석을 실시하여 두 요소간의 관련성을 알아보았다.

#### 3.4.1 족저압과 MF간의 상관관계 분석 결과

상관분석 결과 표본상관계수가 0.311로 족저압과 MF간의 선형관계 정도가 약 0.311이라는 것을 알 수 있었으며, 이는 족저압 값이 크면 MF 값도 크다는 것을 의미한다. 또한 검정통계량의 확률 값이 0.000으로 95% 유의수준에서 유의한 결과를 보였다. 따라서 족저압과 MF 값이 작을수록 작업부하가 적다는 것을 알 수 있으며 두 값이 가장 작은 인솔이 작업부하 감소 효과가 가장 크다고 할 수 있다.

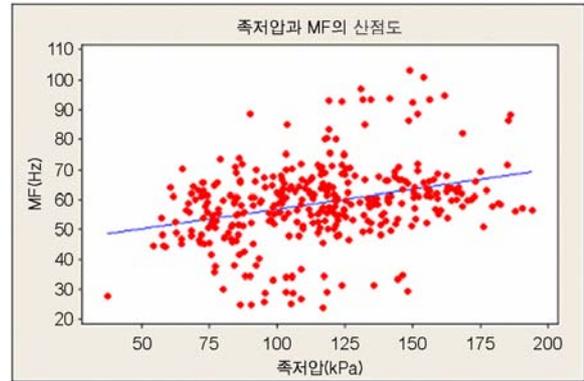


그림 6. 족저압과 MF의 산점도

#### 3.4.2 족저압과 MPF간의 상관관계 분석 결과

상관분석 결과 표본상관계수가 0.345로 족저압과 MPF간의 선형관계 정도가 약 0.345라는 것을 알 수 있었으며, 이는 족저압 값이 크면 MPF 값도 크다는 것을 의미한다. 또한 검정통계량의 확률 값이 0.000으로 95% 유의수준에서 유의한 결과를 보였다. 따라서 족저압과 MPF 값이 작을수록 작업부하가 적다는 것을 알 수 있으며 두 값이 가장 작은 인솔이 작업부하 감소 효과가 가장 크다고 할 수 있다.

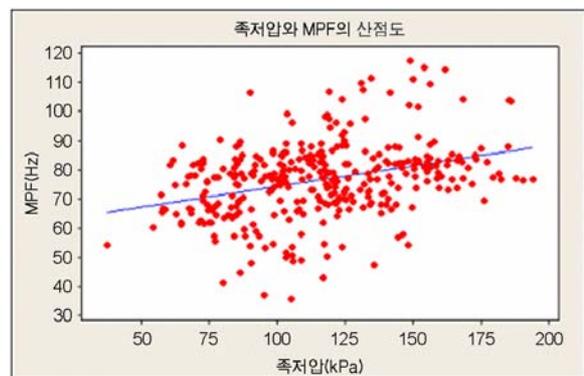


그림 7. 족저압과 MPF의 산점도

#### 3.4.3 족저압과 ZCR간의 상관관계 분석 결과

상관분석 결과 표본상관계수가 0.112로 족저압과 ZCR간의 선형관계 정도가 약 0.112라는 것을 알 수 있었으며, 이는 족저압 값이 크면 ZCR 값도 크다는 것을 의미한다. 또한 검정통계량의 확률 값이 0.036으로 95% 유의수준에서 유의한 결과를 보였다. 따라서 족저압과 ZCR 값이 작을수록 작업부하가 적다는 것을 알 수 있으며 두 값이 가장 작은 인솔이 작업부하 감소 효과가 가장 크다고 할 수 있다.

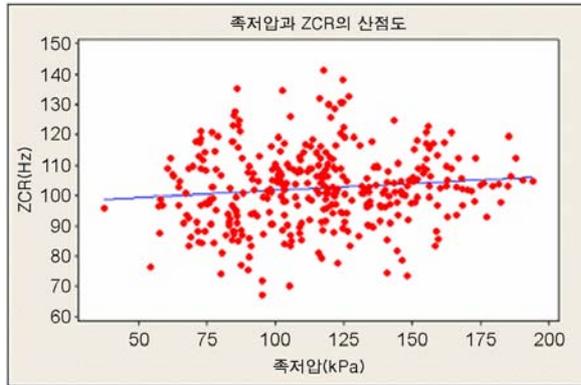


그림 8. 족저압과 ZCR의 산점도

#### 4. 결론 및 검토

본 연구는 제조업 및 서비스업 등에서 나타나는 장시간 기립자세 유지로 인해 발생되고 있는 신체적 피로와 같은 작업부하를 감소시켜주기 위하여 족저압과 근전도를 측정하고 생체역학적인 분석과 평가를 실시하여 작업부하의 감소 효과가 가장 큰 다탄성 인솔을 제시하였다. 3가지 종류의 인솔 소재를 조합하여 6가지의 다탄성 인솔과 인솔이 없는 경우에 대하여 실험을 실시하였으며 연구대상으로 20대 남학생 6명을 선정하였다. 실험에 사용된 다탄성 인솔의 탄성은 3가지 형태로써 Low (Ball Rebound 4%), Medium (Ball Rebound 15%), High (Ball Rebound 25%)이며 3가지 탄성을 조합하여 6가지의 다탄성 인솔을 제작하여 족저압의 변화, 근전도(EMG) 변화를 측정하였다. 또한 근전도 측정 근육은 허리의 척추기립근, 허벅지의 외측광근, 종아리의 비복근으로 선정하였다. 측정은 시작시간인 0시간과 시작 후 2시간 후에서 족저압과 근전도를 각각 실시하였고 각각의 측정방법에 대해 5회 반복하여 측정하였다. 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 족저압 측정 결과 0시간과 2시간에서 다탄성 인솔을 삽입한 경우는 인솔을 삽입하지 않은 경우보다 족저압 값이 적게 나타났으며, 0시간과 2시간에서 다탄성 인솔과 인솔을 삽입하지 않은 경우는 유의한 차이가 나타났다( $p < 0.05$ ). 또한 모든 경우(Insole 1 ~ Insole 7)에서 0시간보다 2시간의 족저압 값이 크게 나타났으며 이는 시간이 지남에 따라 족저압 값이 증가한다는 것을 의미한다.

둘째, 각각의 다탄성 인솔에 대하여 시간 변화에 따른 족저압의 증가율을 분석한 결과 Insole 3이 0.85%로 가장 적은 증가율을 보였으며, Insole 2의 증가율이 2.18%로 다소 적은 증가를 보였다. 또한 0시간과 2시간에서 인솔의 압력

값 순서는 Insole 3 > Insole 2 > Insole 1 > Insole 4 > Insole 5 > Insole 6으로 나타났으며, 0시간과 2시간에서 다탄성 인솔간의 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).

셋째, MF의 천이 비교 결과 모든 측정근육에서 다탄성 인솔은 인솔이 없는 경우보다 작은 천이 값을 보였으며, 허리와 허벅지 근육에서 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 또한 다탄성 인솔간의 MF 천이 비교 결과 Insole 2의 천이 값이 가장 작게 나타났으며, 다탄성 인솔간의 유의한 차이는 없었다( $p < 0.05$ ).

넷째, MPF의 천이 비교 결과 모든 측정근육에서 다탄성 인솔은 인솔이 없는 경우보다 작은 천이 값을 보였으며, 허리와 허벅지 근육에서 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 또한 다탄성 인솔간의 MPF 천이 비교 결과 Insole 2와 Insole 5의 천이 값이 가장 작게 나타났으며, 다탄성 인솔간의 유의한 차이는 없었다( $p < 0.05$ ).

다섯째, ZCR의 천이 비교 결과 모든 측정근육에서 다탄성 인솔은 인솔이 없는 경우보다 작은 천이 값을 보였으며, 모든 측정근육에서 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 또한 다탄성 인솔간의 ZCR 천이 비교 결과 Insole 2의 천이 값이 가장 작게 나타났으며, 95% 신뢰수준에서 유의한 차이를 보였다( $p$ -value=0.000). 따라서 ZCR 천이 비교 결과에서 Insole 2(Low-High-Medium)는 피로를 감소시키는 경향을 보임을 알 수 있다.

여섯째, 족저압과 근전도 신호(MF, MPF, ZCR) 간의 상관 분석 결과 족저압은 각각의 근전도 신호와 양의 선형관계를 보였으며, 95% 유의수준에서 유의한 결과를 나타냈다. 이는 족저압이 증가할수록 근전도 신호의 값이 증가한다는 것을 의미하며, 족저압과 근전도 신호간의 상관관계가 있음을 알 수 있다.

일곱째, 족저압과 근전도 분석 결과로 볼 때 작업부하 감소 효과가 좋은 경향을 보이는 인솔은 Insole 2로써 탄성 조합은 Low-High-Medium이다. 근전도 분석 결과에 의해 Insole 2는 근전도 신호(MF, MPF, ZCR)의 천이가 가장 작은 인솔로써 근육 피로도도 작업부하가 가장 작음을 알 수 있었으며, 족저압 분석 결과 Insole 2와 Insole 3의 족저압 값이 작고 족저압 경감 효과가 가장 좋음을 알 수 있었다. 하지만 Insole 3은 다탄성 인솔 중 MF와 MPF의 천이 값이 가장 크게 나타났으며 ZCR 천이 값 역시 높게 나타나 근육 피로도가 높게 측정되었다. 따라서 장시간 기립자세 유지 시 Insole 2(Low-High-Medium)의 사용을 권장한다.

본 연구에서는 족저압과 근전도 실험을 통해 다탄성 인솔 중 작업부하를 가장 많이 감소시키는 탄성 조합을 제시하였다. 이러한 연구 결과를 통하여 장시간 기립자세를 유지하는 작업에서 다탄성 인솔을 사용함으로써 발 및 허리, 하지의 작업부하를 감소시켜 장시간 기립작업에 의한 근골격계 질

환 및 하지의 피로를 예방하여 작업자의 작업부하를 감소시키고 작업능률을 높이는데 기여하고자 한다. 추후연구로는 다탄성 인솔을 장기간(2시간 이상) 착용한 후 인솔의 효과에 대한 연구가 필요할 것이며, 탄성의 범위를 다양하게 적용하여 더욱더 다양한 탄성 조합에 대한 연구와 작업자의 생리학적인 요소와 생체역학적인 요소를 고려한 인간공학적인 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것이다.

### 참고 문헌

강동복, 이종태, 강민숙, 박성희, 엄상화, 김성준, 정귀원, 손해숙, 박봉진, 미용업 종사자들의 피부, 호흡기 및 근골격계 자각 증상에 관한 유병률, *대한산업의학회지*, 11(3), 385-392, 1999.

노동부, 2005년도 산업재해 현황, 노동부, 2006.

이창민, 오연주, 생체역학적 분석을 통한 보행부하 감소용 인솔 개발, *대한인간공학회지*, 24(4), 23-30, 2005.

이창민, 오연주, 이준수, 이경득, Outsole 경도에 따른 피로도 분석에 관한 연구, *산업기술연구지*, 20, 59-65, 2006.

한국산업안전공단, *하지 부위의 근골격계 질환*, 2004.

Cook, J., Branch, T. P., Baranowski, T. J. and Hutton, W. C., The effect of surgical floor mats in prolonged standing: An EMG study of the lumbar Para spinal and anterior tibialis muscles, *Journal of Bio-medical Engineering*, 15(3), 247-250, 1993.

Djupsjobacka, M., Johansson, H., Bergenheim, M. and Wenngren, B. I., Influences on the gamma-muscle-spindle system from muscle afferents stimulated by increased intramuscular concentration of bradykinin and 5HT, *Meurosci. Rec.*, 22, 325-333, 1995.

Hansen, L., Winkel, J. and Jorgensen, K., Significance of mat and shoe softness during prolonged work in upright position: Based on measurements of low back muscle EMG, foot volume changes, discomfort and ground reactions, *Applied Ergonomics. Health*, 62, 217-224, 1998.

Konz, S., Bandla, V., Ray, M. and Sambasivan, J., Standing on concrete vs. floor mats, *In Advances in Industrial Ergonomics and Safety II*, Taylor & Francis, 991-998, 1990.

Krijnen, R. M. A., De Boer, E. M., Ader, H. J. and Bruynzeel, D. P., Venous insufficiency in male workers with a standing profession. Part 2: Diurnal volume changes of the lower legs, *Dermatology*, 194, 121-126, 1996.

Magora, A., Investigations of the relation between low back pain and occupation, *Ind. Med.*, 12, 164-169, 1972.

Peter Konrad, *The ABC of EMG, Version 1.0*. Noraxon INC, 2005.

Phyllis M. King, A comparison of the effects of floor mats and shoe in-soles on standing fatigue, *Applied Ergonomics*, 33(5), 477-484, 2002.

Ryan, G. A., The prevalence of musculoskeletal symptoms in super market workers, *Ergonomics*, 32, 359-370, 1989.

Rys, M., Konz, S., Bandla, V. and Sambasivan, J., Standing on concrete vs floor mats, *Advances in Industrial Ergonomics and Safety II*, 991-998, 1990.

Xu, Y., Bach, E. and Orthed, E., Work environment and low back pain: The influence of occupational activities, *Occup. Environ. Med.*, 34, 741-745, 1997.

Zhang, L., Drury, C. and Wooley, S., Constrained standing: Evaluating the foot/floor interface, *Ergonomics*, 34, 175-192, 1991.

### 저자 소개

- ❖ 이 창 민 ❖ cmlee@deu.ac.kr  
고려대학교 산업공학과 박사  
현 재: 동의대학교 산업경영공학과 교수  
관심분야: 생체역학, 작업생리학, 인간공학
- ❖ 오 연 주 ❖ yeonjuoh@gmail.com  
동의대학교 산업공학과 석사  
현 재: 동의대학교 산업경영공학과 박사수료  
관심분야: 생체역학, 작업생리학, 인간공학, WMSDs
- ❖ 이 경 득 ❖ deuk79min@hotmail.com  
동의대학교 산업공학과 석사  
현 재: 부산신발산업진흥센터 성능평가지원팀  
관심분야: 생체역학, 인간공학, WMSDs
- ❖ 김 진 훈 ❖ netanova@naver.com  
동의대학교 산업공학과 학사  
현 재: 동의대학교 산업경영공학과 석사과정  
관심분야: 생체역학, 인간공학, WMSDs

논문 접수 일 (Date Received) : 2007년 01월 19일  
 논문 수정 일 (Date Revised) : 2007년 03월 20일  
 논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 05월 08일