Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 27, No. 3 pp.71-79, August 2008

운동효과 증진을 위한 Arch Support 효과에 관한 연구

이창민 · 김진훈 · 오연주 · 김대웅

동의대학교 산업경영공학과

A Study on the Effect of Arch Support for Improvement of Muscle Activity

Chang-Min Lee, Jin-Hoon Kim, Yeon-Ju Oh, Dae-Woong Kim

Department of Industrial and Management Engineering, Dongeui University, Busan, 614-714

ABSTRACT

Walking shoes for walking and jogging have been used to enjoy lots of leisure time. Functional shoes such as walking shoes have special functions to improve body motility by changing of shoe shapes. The walking shoes could improve the motility by structural transformation of outsole as increase degrees of heel and toe. The study on insoles has not been conducted enough on the contrary of the study of outsole. The purpose of this study is to perform ergonomics analysis whether the Arch Supported insoles have an improving effect of muscle activities or not. Experiments were performed with 6 subjects who are health and haven't experienced any diseases past. EMG(Electromyography) and Foot Pressures were measured repeatedly for 5 seconds at 0 hour, after 1 hour and after 2 hours of walking. Insoles used for experiment are normal insole, insole inserted Arch Support and pad. The electrodes for EMG measurement were set on waist (erector spinae), and thigh (vastus lateralis), calf (gastrocnemius). Evaluations of EMG were analyzed by shift of MF (Median Frequency) and MPF (Mean Power Frequency). Foot Pressure was analyzed by mean pressure of feet and change of walking time. As results, Arch Support insole had larger frequency shift value than that of normal insole. Frequency shift between Arch Support insoles and normal insole showed significant difference on 95% confidence interval. And insole 1 has the highest value of frequency shift. For results of foot pressure, Arch Support insoles show continuous decreasing tendency when comparing with normal insoles by changing of times. Also, insole 1 has the highest decreasing value of foot pressure. Therefore, this study presented that the Arch Support insole can promote muscle activities and improves comfort for a prolonged walking.

Keyword: EMG, Foot Pressure, Arch Support, Functional Insole

*본 연구는 2007년도 산학연 공동기술개발컨소시엄사업 지원으로 수행되었음(2007XB024).
교신저자: 이창민
주 소: 614-714 부산광역시 부산진구 가야3동 엄광로 995, 전화: 051-890-1652, E-mail: cmlee@deu.ac.kr

1. 서 론

산업화에 따른 소득수준의 향상과 삶의 질에 대한 사고의 변화로 인해 사회적으로 건강에 대한 관심이 증가함으로써 여가시간이나 휴식시간을 활용하여 건강을 유지할 수 있는 속보, 조깅, 러닝, 육상 등과 같은 활동을 즐기는 인구가 증가하고 있다(문화관광부 2005). 이러한 추세에 발맞추어 보행 활동 시 다양한 기능성 및 높은 효율을 제공하는 보행전문용 신발의 개발 및 활용도가 증가하고 있다. 이와 같은 보행전문용 신발은 장시간의 운동으로 인한 부하감소와 보행 형태의 교정을 위해 아웃솔 형태를 둥근 형태로 제작하여 보행 시 자연스러운 보행을 유발하도록 돕고 있다. 이와 같은 보행 형태는 보행 시 발에 부여되는 체중을 자연스럽게 이동시켜줌으로써 아치 및 뒤꿈치 부분의 압력을 분산시키는 기능을 가지고 있으며 이로 인해 운동 시 안정된 자세를 유발하며 발의 편안함을 제공할 수 있다(L. Stewart et al., 2007). 또한 보행전문용 신발을 착용하여 보행하였을 때의 근육 활동을 EMG를 통해서 확인한 결과 일반적인 기립 형태의 작업 또는 보행 시 주로 사용되는 근육은 물론 평소 사용하지 않는 근육을 자연스럽게 사용하도록 하여 하지의 근육 강화에 도움을 주고 있다(Nigg, B. et al., 2006). 반면 이와 같은 보행전문용 신발은 아웃솔 디자인의 변형을 통한 개발로 인해 신체 안정성 또는 불편도를 고려하지 못하고 있으며 특이한 형태로 인해 활용범위가 아웃솔에만 국한되어 사용되고 있다. 인솔은 활용범위가 넓으며 피로 방지와 같은 기능을 제공하고 있으나 인솔을 활용한 다양한 기능적 측면에 대한 연구는 이루어지지 못하고 있다.

이에 본 연구에서는 신발의 종류에 구애 받지 않고 활용범위가 다양한 인솔을 바탕으로 보행전문용 신발의 장 · 단점을 보완할 수 있는 기능성 인솔의 형태를 제공하고자 한다. 또한 인간공학적 측면을 고려한 생체역학적 실험을 통해 족궁의 형태를 지지할 수 있는 아치 지지대를 이용하여 하지의 근육 강화에 도움을 줄 수 있는 인솔 형태를 제시하고자 한다. 이와 더불어 전족부와 중족골에 패드부착 유무 및 후족부의 탄성조합 패드 삽입을 통한 발의 압력감소효과에 대해 살펴보고자 한다.

이러한 인솔의 기능을 위한 연구는 인솔의 형태 또는 소재의 특성을 이용한 연구들이 발표되고 있다. 신체의 안정성은 소재의 특성에 따라 나타날 수 있으며 자연스러운 보행 시 느끼는 안정성은 소재의 압축력에 따른 딱딱함에 반비례한다고 보고하고 있다(Rys, M. et. al., 1990). 뿐만 아니라 보행 시 나타날 수 있는 각종 상해의 예방을 위해 부드러운 소재를 이용하여 외부의 지나친 충격이 발과 신체에 직접 전달되지 않도록 하고 있다(임기용 et. al., 2002). Arch Support의 삽입으로 발생하는 인솔의 형태적인 변형에 관련한 연구를 살펴보면 보행 또는 장시간 기립작업 시 발 표면의 압력을 분산시키거나 특정 부위의 압력을 감소시키는 연구가 실시되었다. Arch Support가 삽입된 신발을 착용한 피실험자를 상대로 지속적인 압력을 가할 때 족저근막을 지지하는 아치의 영향으로 인해 발의 형태적인 변형은 아치를 지지하지 않은 경우에 비해서 비교적 오랫동안 원형을 유지함을 확인하였다(G. F. Kogler et. al., 1995). 또한 장시간 기립작업을 수행하는 작업자가 착용하는 일반적인 신발에 아치를 지지하는 인솔을 삽입하였을 때 발을 지지하는 면적이 증가하여 압력분산효과가 있음을 확인하였다(Min-Chi Chiu et. al., 2007). 또한, 인솔의 중족골 부위에 패드를 삽입하였을 때 발의 스트레스 감소 및 압력분산효과가 관찰되었다(Donovan J et. al., 2007). 작업자가 장시간 작업 시에 겪을 수 있는 발의 압력과 하지 및 요추의 부하를 감소시키기 위하여 다양한 탄성조합을 가진 인솔을 사용한 경우를 살펴보면 단일 탄성의 인솔과 비교하였을 때 작업 전과 작업 후의 족저압의 차이가 크지 않음을 보였으며 이는 다탄성 인솔을 착용함으로 장시간의 작업 시 보다 편안함을 제공할 수 있었다(이창민 et. al., 2007). 뿐만 아니라 장시간의 기립작업 및 불안정한 자세로 인한 신체의 불편함을 감소시키기 위하여 이용되는 피로 감소용 인솔 착용 시 장시간의 기립작업 또는 보행을 수행하는 작업자의 하체 부종이 감소함을 확인할 수 있었다(JoAnn E. et. al., 2004).

이러한 발의 편안함에 관한 연구들은 주관적 불편도 조사와 족저압을 이용하여 편안함을 증명할 수 있으며 이에 대한 연구로 Jordan의 1995년의 연구를 살펴보면 발바닥 표면의 압력이 감소한 인솔을 착용한 피실험자의 주관적 불편도가 낮게 나타남을 확인하였다. 또한 다양한 구두 형태의 족저압 비교 실험에서 족저압이 감소한 구두를 착용한 피실험자들이 주관적 불편도가 낮게 나타남을 확인할 수 있음을 보고하였다(최순복 2001). 족저압은 작업자세에 따라 차이를 보이는데 장시간의 기립작업자 그룹과 좌식작업자 그룹으로 나누어 족저압을 살펴보았다. 그 결과 기립작업자의 족저압이 높게 나타났으며 기립작업으로 작업을 하는 작업자 가운데 벽에 기대어 발의 움직임이 부족하거나 신체의 중심이 한쪽으로 편향된 작업자에 비해 기립작업으로 작업을 하되 지속적으로 발을 움직여주는 작업자 그룹에서 족저압이 감소함을 확인하였고 기립작업으로 인한 통증도 완화됨을 알 수 있었다(Karen E. et. al., 2001).

보행과 같은 동적 활동이나 들기 작업과 같은 정적 활동을 수행할 때 신체에 나타나는 근육의 활성도를 살펴보기 위한 연구들은 실험 전, 후의 근육의 활동 정도를 EMG의 주파수를 비교하여 수행되고 있다. 또한 근전도로 규명할 수 있는 사실은 근육의 활동을 나타내는 근력의 관계는 물론

근육의 피로를 나타낼 수 있다(Peter K. 2005). 등척성 활동 시 허리의 척추 기립근에서 EMG 신호 중 MF(Median Frequency)의 천이가 클수록 근육의 피로 및 활동이 높음을 알 수 있다(P. Dolan 1995; P. Dolan 1998). 또한 일반적으로 뒷굽이 존재하는 신발을 착용하였을 때 보다 뒷굽을 제거하여 아치를 지지하는 것과 같은 보행 형태를 유발하는 신발을 착용하였을 때 근육의 활성도가 매우 높게 나타났다(이창민 2006).

이에 본 연구에서는 Arch Support를 삽입한 인솔의 착용 후 보행 시 하지의 신체 부위에 따른 근전도의 주파수를 측정하여 근육의 활성 증진 여부를 파악하고자 한다. 이와 더불어 장시간의 보행으로 인해 나타나는 발의 부하를 감소시키기 위한 패드의 효과를 검증하고자 한다. 또한 뒤꿈치 패드가 부착된 Arch Support 인솔이 신체에 미치는 영향에 대한 정량적인 연구를 실시함으로써 생체역학적인 평가자료에 대한 데이터를 획득하여 데이터베이스화하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 연구대상

본 연구의 피험자는 과거병력상 요추 및 하지의 근골격계 질환의 경험과 발의 형태학적 변형이 없는 20대 남학생 6명으로 선정하였으며 측정 시 5초간 정상보행을 유지하기 위하여 각 피실험자의 보폭을 측정하여 충분한 보행연습을 실시 한 후 실험을 실시하였다(표 1).

표 1. 피실험자의 인구통계학적 변인(n=6)

항목	신장(cm)	체중(kg)	연령(yr)
평균값	177.83±4.96	72±13.91	25±1.0

2.2 실험방법

실험에 사용된 인솔은 미국 Rogers사의 Poron 우레탄을 사용하였으며 소재의 탄성은 Ball Rebound 방법을 통해 측정하였다. 인솔의 소재의 선정은 Jason의 2007년의 연구에서 나타난 피로 감소효과가 높은 5%의 탄성소재를 이용하였다. 또한 Arch를 지지하였을 때 근육의 활성도를 살펴보기 위하여 TPU 플라스틱을 이용하여 제작된 Arch Support를 인솔 바닥부분에 삽입하였다(표 2).

본 실험에 사용된 인솔은 네 가지로 프로토타입 세 가지와 대조군으로는 시중에 판매되고 있는 운동화용 일반인솔을 사용하였다. 또한 발의 편안함을 주기 위해 탄성조합 인솔을 이용한 Lee(2006)의 연구에서 피로도 감소효과가 가장 좋은 5%~25%~15%의 탄성조합을 가질 수 있도록 프로토타입의 뒤꿈치 패드를 25%와 15% 순서의 탄성조합 삽입물을 삽입하여 높은 압력에 노출되는 뒤꿈치의 피로를 예방하고자 설계되었다(그림 1). 또한 추가로 제작된 Insole 2와 3은 15%와 25%의 우레탄 재질을 프로토타입 인솔의 전족부와 중족골에 부착하여 발의 편안함을 측정하기 위해 설계되었다. Prototype 인솔에 대한 대조군 인솔은 아치의 지지 형태가 없는 35%의 탄성을 가진 인솔을 선정하였다.

표 2. 실험에 사용된 인솔의 제원

Insole	Arch Support	전족부와 중족골 Pad탄성	프로토타입 인솔탄성	뒤꿈치 탄성조합
Insole 1	TPU 플라스틱	–	5%	25~15%
Insole 2	TPU 플라스틱	15%	5%	25~15%
Insole 3	TPU 플라스틱	25%	5%	25~15%
Insole 4	–	–	35%	–

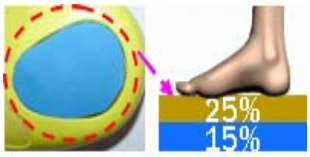

그림 1. 뒤꿈치 탄성조합

보행의 속도는 Ryu(2006)에서 나타난 한국인의 평균일반보행 보폭 0.66m/step를 참조하여 평균 일반 보행속도 1.17m/s로 사전실험을 실시하였다. 그러나 본 실험에 사용된 데이터는 빨리 걷기로 피실험자 보폭을 측정한 결과 평균보행 보폭은 0.8m/step로 평균 일반보행 보폭보다 크게 측정되었으며 또한 빨리 걷기 평균속도는 1.44m/s로 관찰되었다. 근전도(EMG) 측정 부위는 보행 시 가장 많이 사용하는 근육인 허리의 척주기립근(erector spinae)과 허벅지의 외측광근(vastus laterals), 종아리의 비복근(gastrocnemius)에 electrode를 부착하여 근육활성도를 조사하였으며 EMG 신호 중 MF(Median Frequency), MPF(Mean Power Frequency)를 이용하였다. 족저압의 측정은 인솔형 센서를 이용하여 인솔 착용 시 양발의 평균 압력(Mean Pressure)을 조사하였다. 측정시간은 보행 전(0시간)과 보행 후(1시간, 2시간)를 선정하여 각 시간에서 4가지 인솔에 대해 5초 동안 근전도(EMG)와 족저압을 측정하였으며 이를 5회 반복하여 실시하였다. 근전도(EMG) 장비는 ME

6000-T8(Mega Win Ver 2.3.1)을 사용하였고 족저압 장비는 Tekscan사의 F-scan (Research foot 5.23)을 사용하였다. 족저압과 근전도 데이터 통계분석은 Minitab 14 프로그램을 이용하여 One-way ANOVA를 실시하였다.

3. 연구결과

3.1 근전도 분석 결과

본 연구에서는 근전도 신호 중 MF(Median Frequency), MPF(Mean Power Frequency)를 이용하여 각 신호의 주파수 천이를 조사하였다. 주파수 천이는 활동 중 나타나는 근육의 활성도를 이용하며 신체의 근육의 활성도가 높을수록 주파수 천이가 크게 나타난다(P. Dolan 1995; P. Dolan 1998). 주파수 천이값은 시간요인에 따른 차이로 나타내었고 이를 이용하여 각 인솔의 운동효과를 조사하였다.

3.1.1 전체 측정인솔간의 MF 비교

보행시작 후 1시간까지의 MF 천이를 분석한 결과 모든 측정 부위에서 Insole 1의 주파수 천이가 크게 나타났으며 분산분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의성을 평가한 결과 모든 측정 부위에서 유의한 차이를 보였다(표 3).

보행 후 2시간의 MF의 천이를 분석한 결과 아치지지형 인솔인 Insole 1의 주파수 천이가 대조군으로 사용된 Insole 4를 비롯한 다른 아치지지형 인솔에 비해 크게 나타났으며, 95% 신뢰수준에서 분산분석의 유의성을 평가한 결과 모든 측정 부위에서 유의한 차이를 보였다(종아리 p-value = 0.000, 허벅지 p-value = 0.038, 허리 p-value = 0.000). 또한 아치지지형 인솔인 Insole 2의 주파수 천이 역시 일반인솔에 비해 크게 나타났으며 Insole 3은 허벅지에서만 크게 나타남을 확인할 수 있다(그림 2). 전체 인솔간 시간변화에 따른 신체 부위별 MF의 천이를 비교한 결과 보행 전 1시간 경과 및 2시간 경과 후 모든 측정 부위에서 Insole 1의 값이 가장 크게 나타났다. 일반인솔과 아치지지형 인솔간의 차이를 살펴보면 아치지지형 인솔에서 일반인솔보다 높은 MF 천이가 관찰되었다. 그러므로 전체 인솔간 MF 주파수 천이를 비교한 결과 아치지지형 인솔이 일반인솔보다 근육활성도 증가량이 크다고 할 수 있다.

3.1.2 아치지지형 인솔간의 MF 비교

아치지지형 인솔과 일반인솔의 분석 결과 아치를 지지하는 형태를 가진 인솔에서 근육활성도가 매우 높게 나타났으며 이들 간의 유의한 차이를 보였다(p<0.05). 이에 아치지지형 인솔들 간의 MF의 주파수 천이 분석을 통해 근육의 활성도를 증진시키는 인솔을 살펴보고자 한다. 1시간 보행 후 MF 주파수 천이를 분석한 결과 모든 신체 부위에서 Insole 1이 가장 높게 나타났으며 허리와 종아리, 허벅지 순으로 천이 값이 높게 나타났다. 분산분석 결과 90%의 신뢰수준에서 종아리와 허벅지 부위에 유의한 차이를 보였다(표 4). 보행 후 2시간의 MF 천이를 분석한 결과 모든 신체 부위에서 Insole 1이 가장 높게 나타났으며 종아리, 허벅지, 허리에서 신뢰수준 90%에서 유의한 차이를 보였다(그림 3). 측정근육별 MF의 천이를 분석한 결과 모든 측정근육에서 Insole 1의 착용 시 주파수 천이가 가장 높게 나타났으며 1시간 보행 후 종아리와 허벅지에서 유의한 차이를 보였으며 2시간 보행 후에서는 모든 측정 부위에서 유의한 차이를 보였다. 이는 아치지지형 인솔 중 Insole 1의 착용 시 높은 근육활성도를 유발함을 알 수 있다.

표 3. 전체 측정인솔의 1시간 보행 후 MF 주파수 천이 비교

측정 부위	인솔구분	$\mu \pm$ SD	p-value
종아리	**Insole 1**	**16.37±8.26**	**0.000*****
	Insole 2	13.00±8.41	
	Insole 3	6.99±5.69	
	Insole 4	6.90±3.24	
허벅지	**Insole 1**	**14.17±13.91**	**0.001*****
	Insole 2	10.77±11.35	
	Insole 3	9.23±8.35	
	Insole 4	6.50±7.40	
허리	**Insole 1**	**18.57±15.62**	**0.026****
	Insole 2	13.13±15.99	
	Insole 3	14.18±14.48	
	Insole 4	10.70±10.76	

p<0.05**, p<0.01***

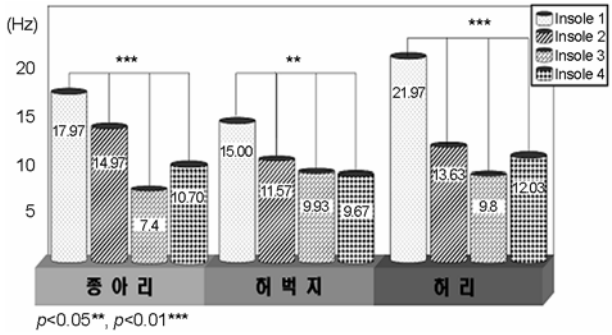

그림 2. 전체 측정인솔의 2시간 후 MF 주파수 천이 비교

3.1.3 전체 측정인솔간의 MPF 비교

보행 후 1시간 뒤 MPF의 천이를 분석한 결과 아치지지

표 4. 아치지지형 인솔의 1시간 후 MF 주파수 천이의 비교

측정 부위	인솔구분	$\mu \pm SD$	p-value
종아리	**Insole 1**	**16.37±8.26**	**0.000*****
	Insole 2	13.00±8.41	
	Insole 3	6.99±5.69	
허벅지	**Insole 1**	**14.17±13.91**	**0.056***
	Insole 2	10.77±11.35	
	Insole 3	9.23±8.35	
허리	**Insole 1**	**18.57±15.62**	**0.124**
	Insole 2	13.13±15.99	
	Insole 3	14.18±14.48	

p<0.1*, p<0.01***

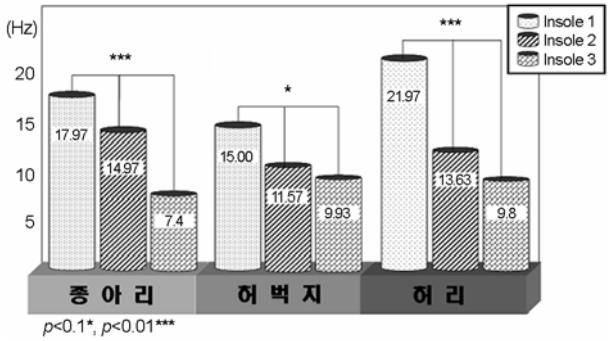

그림 3. 아치지지형 인솔의 2시간 후 MF 주파수 천이 비교

형 인솔인 Insole 1 ~ Insole 3 모두 일반인솔로 사용된 Insole 4에 비해 주파수 천이가 크게 나타났으며, 분산분석 결과 99% 신뢰수준에서 유의성을 평가한 결과 종아리와 허벅지 부위에서 유의한 차이를 보였다(표 5). 보행 후 2시간 뒤 MPF의 천이를 분석한 결과 아치지지형 인솔인 Insole 1의 주파수 천이가 대조군으로 사용된 Insole 4보다 크게 나타났으며, 99% 신뢰수준에서 유의성을 평가한 분산분석 결과 모든 부위에서 유의한 차이를 보였다(종아리 p-value = 0.000, 허벅지 p-value = 0.002, 허리 p-value = 0.000)(그림 4). 전체 인솔간 시간변화에 따른 신체 부위별 MPF의 천이 비교 결과 전체 인솔간 MF 결과와 동일하게 Insole 1의 값이 가장 크게 나타났다. 일반인솔과 아치지지형 인솔간의 차이를 살펴보면 모든 아치지지형 인솔에서 일반인솔보다 높은 MPF 천이가 관찰되었다. 전체 인솔간 MPF 주파수 천이를 비교해본 결과 아치지지형 인솔이 일반인솔보다 근육활성도 증가량이 높음을 알 수 있다.

3.1.4 아치지지형 인솔간의 MPF 비교

아치지지형 인솔들 간의 MPF의 주파수 천이에 대한 분석을 통해 근육의 활성도를 증진시키는 효과에 대한 비교를

표 5. 전체 측정인솔의 1시간 후 MPF 주파수 천이의 비교

측정부위	인솔구분	$\mu \pm SD$	p-value
종아리	**Insole 1**	**15.00±9.16**	**0.000*****
	Insole 2	12.47±8.43	
	Insole 3	9.53±14.13	
	Insole 4	6.07±2.97	
허벅지	**Insole 1**	**13.37±13.01**	**0.008*****
	Insole 2	8.87±11.64	
	Insole 3	10.77±13.36	
	Insole 4	6.30±6.64	
허리	**Insole 1**	**16.30±17.09**	0.272
	Insole 2	12.40±12.65	
	Insole 3	14.40±14.10	
	Insole 4	12.00±8.45	

p<0.01***

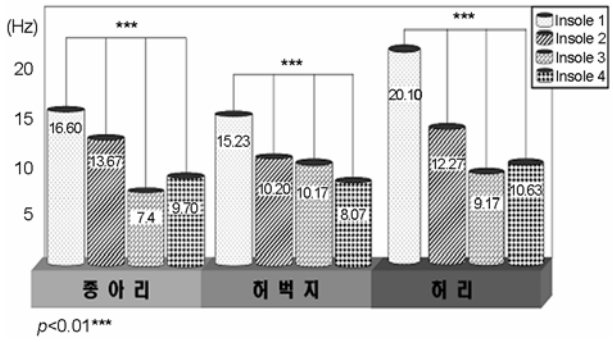

그림 4. 전체 측정인솔의 2시간 후 MPF 주파수 천이 비교

실시하였다. 보행 후 1시간의 MPF의 천이를 분석한 결과 Insole 1의 MPF 천이값이 모든 부위에서 높게 나타났으며 종아리에서는 15.00Hz로 분산분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의한 차이를 보였다. 허벅지와 허리의 MPF의 천이를 살펴보면 Insole 1의 천이값이 13.37Hz과 16.30Hz로 나타났으나 분산분석 결과 유의한 차이가 없었다(표 6). 보행 후 2시간의 MPF 천이를 살펴보면 Insole 1의 MPF 천이값이 종아리 16.60Hz, 허리 20.10Hz로 나타났으며 분산분석 결과 99% 신뢰수준에서 유의한 차이를 보였다(p-value = 0.000). 허벅지의 MPF의 천이를 살펴보면 Insole 1의 MPF 천이값이 15.23Hz로 나타났으며 분산분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의한 차이를 보였다(p-value = 0.013)(그림 5). 아치지지형 Insole 간 시간변화에 따른 MPF 주파수 천이변화를 살펴보면 모든 부위에서 Insole 1의 값이 가장 높게 나타났으며 종아리 부위에서 시간변화에 상관없이 아치지지형 인솔간 유의한 차이가 관찰되었다. 그러므로 아치지지형 인솔 중 Insole 1을 착용하였을 때 가장 높은 근

육활성도 증가효과를 얻을 수 있다.

표 6. 아치지지형 인솔의 1시간 후 MPF 주파수 천이 비교

측정 부위	인솔구분	$\mu \pm SD$	p-value
종아리	**Insole 1**	**15.00±9.16**	**0.024****
	Insole 2	12.47±8.43	
	Insole 3	9.53±14.13	
허벅지	**Insole 1**	**13.37±13.01**	0.153
	Insole 2	8.87±11.64	
	Insole 3	10.77±13.36	
허리	**Insole 1**	**16.30±17.09**	0.351
	Insole 2	12.40±12.65	
	Insole 3	14.40±14.10	

$p<0.05$**

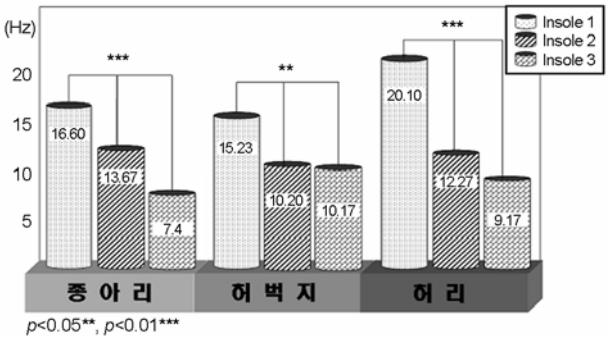

그림 5. 아치지지형 인솔의 2시간 후 MPF 주파수 천이 비교

3.2 족저압 분석 결과

측정시간에 따라 족저압을 살펴본 결과 족저압은 시간에 따라 지속적으로 변화하는 값을 보였으며 이는 보행 시 신체에 주어지는 압력이 시간에 따라 차이가 있음을 의미한다. 이에 족저압의 변화는 전족부와 중족골에 패드부착유무에 따른 뒤꿈치 패드가 삽입된 아치지지형 인솔을 착용한 상태에서의 압력의 증감을 살펴보고 편안함을 주기 위한 최적의 인솔을 도출하고자 한다.

3.2.1 시간에 따른 족저압 비교

뒤꿈치 패드가 삽입된 아치지지형 인솔과 일반인솔간의 비교 결과 아치지지형 인솔은 2시간을 보행하는 동안 압력값이 지속적으로 감소하였고 일반인솔은 1시간 이후부터 2시간까지 압력값이 증가하였다. 이에 뒤꿈치 패드가 삽입된 아치지지형 인솔(Insole 1 ~ Insole 3)간의 비교를 통해 전족부와 중족골 패드의 여부가 신체에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 뒤꿈치 패드가 삽입된 아치지지형 인솔을 착용하였을 때 Insole 1, Insole 2, Insole 3에서 모두 지속적인 압력값의 감소 경향이 발견된다. 또한 측정시간대에서 각 인솔에 따른 분산분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의한 차이를 보였다. 이는 뒤꿈치 패드가 삽입된 아치지지형 인솔 모두 인솔을 착용하였을 때 압력의 감소효과를 가져 발의 편안함을 도모할 수 있음을 나타낸다(표 7).

표 7. 시간변화에 따른 아치지지형 인솔의 압력

측정 부위	인솔구분	$\mu \pm SD$	p-value
0시간	**Insole 1**	**135.25±40.61**	**0.018****
	Insole 2	121.35±44.44	
	Insole 3	107.31±23.44	
1시간	**Insole 1**	**122.58±47.17**	**0.01*****
	Insole 2	101.87±19.28	
	Insole 3	100.09±18.10	
2시간	**Insole 1**	**113.35±22.65**	**0.000*****
	Insole 2	100.84±15.54	
	Insole 3	91.28±6.74	

$p<0.05$**, $p<0.01$***

3.2.2 아치지지형 인솔의 족저압 증감 비교

인솔 착용 후 시간변화에 따른 압력값의 비교 결과 모든 뒤꿈치 패드가 삽입된 아치지지형 인솔의 압력이 감소하는 경향이 나타났다. 이와 같은 결과를 바탕으로 인솔을 착용하여 2시간의 보행 시 나타나는 압력변화를 살펴보기 위해 최초 측정 0시간에서 2시간 보행 후의 압력변화를 비교하였다. 2시간 경과 후 압력값을 살펴보면 Insole 1의 압력값은 135.25kPa에서 113.35kPa로 압력값이 가장 크게 감소(21.9kPa)하였으며 95% 신뢰수준에서 유의한 차이를 보였다(p-value = 0.012). Insole 2의 압력값은 121.35kPa에서 100.84kPa로 감소(20.51kPa)함을 보였고 95% 신뢰수준에서 유의한 차이를 보였다(p-value = 0.020). 또한 Insole 3의 경우도 107.31kPa에서 91.28kPa로 감소(16.3kPa)하였으며 99% 신뢰수준에서 유의한 차이를 보였다(p-value = 0.001)(그림 6). 그러므로 Insole 1은 보행 후 2시간 경과시까지 발의 불편도가 감소하고 압력감소폭이 가장 크게 나타나므로 시간변화에 따른 압력감소효과가 가장 높다고 할 수 있다.

3.3 근전도(EMG)와 족저압의 상관관계 분석

뒤꿈치 패드가 삽입된 아치지지형 인솔의 착용 후의 근전

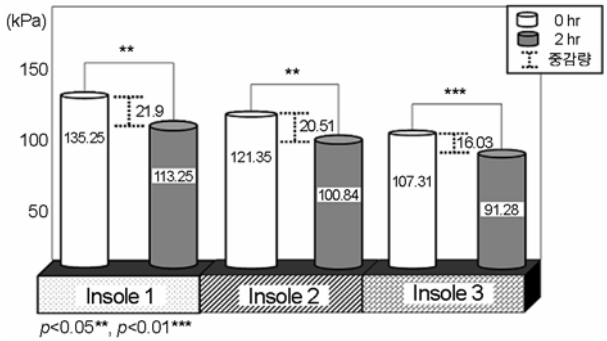

그림 6. 2시간 보행 후 발 압력변화에 대한 유의성 분석

도(EMG) 신호와 족저압에 대한 상관관계 분석을 실시하여 근육의 활성도 증진 및 발의 편안함에 대한 상관관계를 알아보고자 하였다. MF와 족저압의 상관분석 결과 Insole 1의 상관계수는 0.560의 양의 상관관계를 보였으며 Insole 2와 Insole 3 역시 각각 0.259와 0.326의 상관관계를 보임을 알 수 있었다. 이는 MF의 주파수 천이가 클수록 족저압의 감소치도 크다는 것을 알 수 있다. 또한 Insole 1의 MF와 족저압의 p-value는 0.001로 99% 신뢰수준에서 유의한 결과를 확인할 수 있다. 이는 Insole 1을 착용하였을 때 MF와 족저압의 관계를 통해 아치지지형 인솔의 근활성도 증진과 함께 편안함을 제공할 수 있음을 알 수 있다. MPF와 족저압의 상관분석 결과를 살펴보면 Insole 1의 상관계수는 0.508의 양의 상관관계를 보였으며 Insole 2와 Insole 3 역시 각각 0.310와 0.418의 상관관계를 가진다. 이는 MPF의 주파수 천이가 클수록 족저압의 감소치도 크다는 것을 나타낸다. 또한 Insole 1의 MPF와 족저압의 p-value는 0.004로 99% 신뢰수준에서 유의한 결과를 확인할 수 있었다. 이는 Insole 1을 착용하였을 때 MPF와 족저압의 관계를 통해 아치지지형 인솔의 근활성도 증진과 함께 편안함을 제공할 수 있음을 알 수 있으며 MF 결과와 동일하였다(그림 7).

4. 결론 및 검토

본 연구는 신발내부에 삽입하여 사용되는 인솔의 기능적 다양화를 위한 연구로 인솔을 착용하여 보행 시 신체의 근육활성도를 증진시키며 발 압력의 감소를 통해 편안함을 제공할 수 있는 인솔의 제원을 제시하고자 하였다. 실험은 3가지의 아치지지형 인솔과 일반인솔에 대하여 수행하였으며 연구대상으로는 20대 남성 6명으로 선정하였다. 실험에 사용된 아치지지형 인솔은 TPU 플라스틱을 아치 부위에

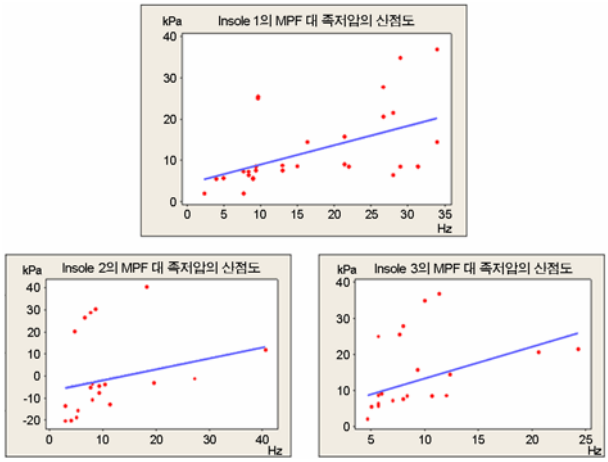

그림 7. 아치지지형 인솔의 MPF 대 족저압의 산점도

삽입하였고, 뒤꿈치와 전족부와 중족골에 탄성패드를 삽입하여 근전도(EMG)의 주파수 천이와 족저압의 변화를 측정하였다. 또한 근전도(EMG)의 측정 부위는 허리의 척주기립근, 허벅지의 외측광근, 종아리의 비복근으로 선정하였다. 측정은 시작시간인 0시간과 1시간의 보행 후와 2시간의 보행 후 실시되었고 각 측정마다 5초간 5회 반복하여 측정하였다. 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 근전도(EMG) 시간요인(0시간, 1시간, 2시간)에 따른 MF, MPF의 천이는 모든 측정 부위(종아리, 허벅지, 허리)에서 일반인솔보다 아치지지형 인솔들이 전반적으로 높게 나타났으며 95% 신뢰수준에서 유의한 차이를 확인하였다. 또한 아치지지형 인솔간의 MF, MPF 천이를 비교한 결과 Insole 1의 천이가 가장 크게 나타났으며 종아리 부위에서 특히 유의한 차이를 보였다(p<0.05). 따라서 Arch Support와 뒤꿈치 패드가 삽입된 Insole 1의 착용 시 근육활성화를 촉진시키는 경향이 있다고 할 수 있다.

둘째, 족저압 변화는 시간요인별로 살펴본 결과 1시간 이후의 족저압의 변화는 뒤꿈치 패드가 삽입된 아치지지형 인솔인 Insole 1 ~ 3의 경우 지속적인 압력의 감소가 나타났으나 일반인솔은 1시간 이후 증가하는 경향을 보였다. 또한 2시간 경과 후 아치지지형 인솔들과 일반인솔의 유의성 분석 결과 95% 신뢰수준에서 유의한 차이를 보였다. 이러한 결과는 지속적인 보행 시 뒤꿈치 패드가 삽입된 아치지지형 인솔을 사용함으로써 보행 시 발의 불편도를 감소시켜 보다 편안한 보행을 유지할 수 있음을 알 수 있다.

셋째, 뒤꿈치 패드가 삽입된 아치지지형 인솔의 시간변화에 따라 족저압의 변화를 분석한 결과 Insole 1을 착용하여 1시간의 경과 후 압력치는 12.67kPa이 감소하였고 2시간의 경과 후 9.23kPa이 감소하였다. 반면 Insole 2와 Insole 3의 압력감소 역시 Insole 1과 마찬가지로 지속적으로 압력

이 감소하였으나 압력의 감소치가 Insole 1에 비해 낮게 나타났다. 2시간 경과 후 인솔의 압력감소치의 순서는 Insole 1 > Insole 2 > Insole 3으로 나타났으며 0시간과 2시간에서 아치지지형 인솔간의 유의한 차이를 보였다($p<0.05$). 이러한 결과는 Arch Support와 뒤꿈치 패드가 삽입된 Insole 1을 착용하여 보행할 때 압력치가 가장 크게 감소하여 발의 편안함을 줄 수 있음을 알 수 있다.

넷째, 근전도와 족저압의 분석을 통해 나타난 결과를 살펴보면 뒤꿈치 패드가 삽입된 아치지지형 인솔이 근전도의 주파수 천이가 높게 나타났으며 족저압의 감소를 확인할 수가 있었다. 이러한 결과의 상관관계를 분석한 결과 Insole 1을 착용하였을 때 MF와 족저압의 상관계수와 MPF와 족저압의 상관계수는 모두 양의 상관관계를 보였고 다른 인솔을 착용하였을 때에 비해 큰 값을 가졌으며 유의한 차이를 확인할 수 있었다($p<0.001$). 반면 Insole 2와 3은 양의 상관관계를 가졌으나 Insole 1을 착용하였을 때 비해 상대적으로 작은 값을 보였다. 따라서 Arch Support와 뒤꿈치 패드가 삽입된 Insole 1을 착용하였을 때 근육의 활성도를 촉진하여 운동효과를 향상시킬 수 있으며 지속적인 보행 시 발 압력의 감소를 가져와 편안함을 제공하였다.

따라서 본 연구의 결과로 Arch Support와 뒤꿈치 패드가 삽입된 Insole 1을 착용하였을 때 근육의 활성도를 촉진하여 운동효과를 향상시킬 수 있으며 지속적인 보행 시 발 압력의 감소를 가져와 보행시간이 경과함에 따라 발의 편안함은 증가함을 도출하였다. 이와 같은 연구 결과는 장시간의 보행 시 운동을 위한 기능성 인솔을 사용함으로써 적절한 운동성을 제공할 수가 있으며 운동으로 인한 발의 불편도를 감소시켜 운동시의 피로감을 경감시키고 운동의 효율을 높일 수 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 다양한 아치 높이에도 불구하고 인솔의 아치 높이를 한가지고 제한하여 실시되었다. 이에 신체의 체중이 일부 아치에 과도하게 부여될 수 있는 위험요소가 있어 이를 최소화 할 필요가 있다. 또한 아치 지지대의 높이는 착용자의 아치를 적당히 받쳐주는 형태를 착용하였을 때 발의 최대 압력이 가장 작게 나타남을 확인할 수 있었다(Jason Tak-Man Cheung et. Al., 2007). 이는 Arch Support의 사용으로 압력이 분산될 수 있지만 적절하지 못한 아치 지지대의 높이는 발의 불편도를 오히려 높이는 결과를 초래할 수 있음을 확인할 수 있다(Min-Chi Chiu et. al., 2007). 뿐만 아니라 탄성 및 경도의 다양한 범위를 이용하여 발의 편안함을 확인할 수 있을 것이다. 또한 20대만이 아닌 고령자의 보행을 지지할 수 있고 다양한 신체 특성을 고려한 폭넓은 연구가 수행된다면 기능성 인솔의 개발을 위한 체계적인 데이터베이스의 구축이 가능할 것이다.

참고 문헌

문화관광부, *체육백서*, 2005.

이창민, 오연주, 이경득, 박승범, 이훈식, "The Study on effect of the Muscle Activities for Dietshoes(Backless)", *한국운동역학회지*, 제 16권 3호, pp. 117-124, 2006.

이창민, 이경득, 오연주, 김진훈, "다탄성 Insole의 Workload 감소 효과에 관한 연구", *대한인간공학회지*, 제 26권, 2호, pp. 157-165, 2007.

임기용, 이상도, "런닝 및 점핑시 충격으로 인한 족저압 특성 평가", *한국물리학회*, 제 7권, 1호, pp. 79-87, 2002.

최순복, "발의 불편감에 영향을 미치는 구두형태 및 보행특성", *건국대학교 석사학위 논문*, 2001.

Jordan, C. and Bartlett, R., "Pressure distribution and perceived comfort in causual footwear", *Gait & Posture*, Vol. 3, pp. 215-220, 1995.

Donovan J. Lott, Mary K. Hastings, Paul K. Commean, Kirk E. Smith, Michael J. Mueller, "Effect of footwear and orthotic devices on stress reduction and soft tissue strain of the neuropathic foot", *Clinical Biomechanics*, Vol. 22, pp. 352-359, 2007.

Kogler, G. F., Solomonidis, S. E. and Paul, J. P., "Invitro method for quantifying the effectiveness of the longitudinal Arch Support mechanism of a foot orthosis", *Clinical Biomechanics*, Vol. 10, No. 5, pp. 245-252, 1995.

Jason Tak-Man Cheung. and Ming Zhang., "Parametric design of pressure-relieving foot orthosis using statistics-based finite element method", *Medical Engineering & Physics*, 2007.

JoAnn E. Zander, Phyllis M. King, Bertram N. Ezenwa, "Influence of flooring conditions on lower leg volume following prolonged standing", *Industrial Ergonomics*, Vol. 34, pp. 279-288, 2004.

Karen Messing. and Asa Kilbom, "Standing and very slow walking: foot pain-pressure threshold, subjective pain experience and work activity", *Applied Ergonomics*, Vol. 32, pp. 81-90, 2001.

Stewart, L., Gibson, J. N. A. and Thomson, C. E. "In-shoe pressure distribution in "unstable" (MBT) shoes and flat-bottomed training shoes: A comparative study", *Gait & Posture*, pp. 68-651, 2007.

Min-Chi Chiu. and Mao-Jiun J., Wang. "Professional footwear evaluation for clinical nurses", *Applied Ergonomics*, Vol. 38, pp. 133-141, 2007.

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

Dolan, P., Mannion, A. F. and Adams, M. A., "Fatigue of the Erector Spinae Muscles - A Quantitative Assessment Using "Frequency Banding" of the Surface Electromyography Signal", *Spine*, Vol. 20, pp. 149-159, 1995.

Dolan, P. and Adams, M. A., "Repetitive lifting tasks fatigue the back muscles and increase the bending moment acting on the lumbar spine", *Journal of Biomechanics*, Vol. 31, pp. 713-721, 1998.

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

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

Taebeum Ryu., Hwa Soon Choi., Hoonwoo Choi. and Min K. Chung., "A comparison of gait characteristics between Korean and Western people for establishing Korean gait reference data", *Industrial Ergonomics*, Vol. 36, pp. 1023-1030, 2006.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 이 창 민 ❖ cmlee@deu.ac.kr
고려대학교 산업공학과 박사
현 재: 동의대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 생체역학, 작업생리학, 인간공학, WMSDs

❖ 김 진 훈 ❖ neatnova@naver.com
동의대학교 산업공학과 학사
현 재: 트렉스타(주) PDC
관심분야: 생체역학, 인간공학, WMSDs

❖ 오 연 주 ❖ yeonjuoh@gmail.com
동의대학교 산업공학과 박사
현 재: 동의대학교 인간공학 연구실 연구원
관심분야: 생체역학, 작업생리학, 인간공학, WMSDs

❖ 김 대 웅 ❖ kodaelong@nate.com
동의대학교 산업공학과 학사
현 재: 동의대학교 산업경영공학과 석사과정
관심분야: 생체역학, 인간공학, WMSDs

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2008년 05월 19일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2008년 07월 18일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2008년 08월 25일