

Wearing Comfort Evaluation of Safety Shoes with a Ventilation System

Eunjin Jeon¹, Jihyun Ha¹, Heeun Kim¹, Seikwon Park², Daehan Jung²,
Jangwoon Park³, Seunghoon Lee³, Seungbum Park⁴ and Heecheon You³

¹Dept. of Clothing & Textiles, Kyungpook National University, Daegu, Korea

²Dept. of Systems Engineering, Korea Air Force Academy, Choongbuk, Korea

³Dept. of Industrial & Management Engineering, POSTECH, Pohang, Korea

⁴Dept. of Footwear Industrial Promotion Center, Busan, Korea

ABSTRACT

Objective: The present study is intended to evaluate a safety-shoe with a ventilation hole in terms of inside-shoe microclimate and wearing comfort. **Background:** Safety shoes have functions to protect a worker's feet and provide proper fitness and thermal comfort. However, the workers are wearing safety shoes for more than 6 hours a day, so that the safety shoes are exposed to the problems of skin disease such as athlete's foot. **Method:** Ergonomic tests were conducted with safety-shoe wearers in industry to compare with ventilation hole shoes with the patented ventilation system to without ventilation shoes without a ventilation system in terms of skin temperature, microclimate(temperature, humidity), local sweat rate, thermography and subjective comfort. **Results:** The skin temperature measured at the navicular bone was found less increased in with ventilation hole shoes than in without ventilation shoes on average by 0.1°C during the rest period and 0.5°C during the exercise and recovery periods. The inside-shoe temperature measured at the toe region was found less increased in with ventilation hole shoes than in without ventilation shoes on average by 0.6°C during the rest period and 0.3°C during the exercise period. The inside-shoe humidity measured at the toe region was found less increased in with ventilation hole shoes than in without ventilation shoes on average by 15.1% during the rest period, 11.1% during the exercise period, and 15.2% during the recovery period. The amount of sweat measured on the foot at the end of the experiment was found significantly less in with ventilation hole shoes than in without ventilation shoes on average by 34%. **Conclusion:** The present study found that the safety shoes with ventilation system were superior than general safety shoes by decreasing skin temperature, inside shoe temperature, and relative humidity and by increasing thermal comfort. **Application:** The air ventilation system of the safety shoes can be applicable to military boots or golf shoes to increase their thermal comfort.

Keywords: ventilation, safety shoes, skin temperature, humidity, thermal comfort

1. Introduction

산업용 안전화는 현장 작업 환경 및 일상 근무 환경에서 근로자들이 착용하는 신발로서 착용쾌적성을 고려한 설계가 필요하다. 안전화는 충격으로 인한 위험으로부터 발과 발등을 보호하는 기능을 갖춘 신발로 근로자의 발을 보호하여야 한다(산업안전보건법 시행규칙 제 60조). 현재 산업용 안전화의 규격은 주로 신발 부위별 소재에 대한 충격흡수, 인장강도, 최대하중 등의 안전성능을 주요 항목으로 지정하고 있다. 그러나 산업현장에서의 안전화는 위험 요소로부터의 발 보호 성능과 더불어 장시간 착용시의 인체생리적 착용쾌적성(통기성)이 고려되어야 한다. 안전화의 착용쾌적성 개선을 위해서는 발 동작 및 보행에 따라 공기를 밖으

로 방출하고 체표면의 땀 증발을 촉진시킬 수 있는 통기구(ventilation system)의 적용이 중요하다.

현재 시판되고 있는 산업용 안전화는 통기가 되지 않아 장시간 착용할 경우 생리적 불쾌감 및 발질환 발생과 같은 문제가 제기되었다. 땀의 증발은 열의 발산과 체온 조절에 중요한 방법(Amorim et al. 2006)으로 습도가 높으면 열 발산능력은 감소하고 발한량은 증가하면서 피부 젖음(Skin Wittedness)이 높아져 불쾌감을 느끼게 된다(Atmaca & Yigit, 2006). 또한, 신발과 같은 밀폐된 공간에서 장시간 높은 습도에 노출될 경우 무좀과 같은 발질환이 발생된다. 기능성 제품의 경우 착용시 주관적 평가 및 인체생리적 측정을 통해 기능성을 객관적으로 평가하고 이를 검증하는 과정이 반드시 필요하다(최정화, 2001) 따라서, 안전화에 대한 인체생리학적 쾌적성(피부온, 신발내 온·습도, 발한량) 평가에

대한 연구가 시급하다.

안전화 착용자의 작업능력 및 쾌적감 향상을 위해서는 통기성이 향상된 안전화 개발 및 개발 신발의 착용 쾌적성 평가 방법에 수립이 필요하다. 기존 연구는 생체역학적 분석을 기반으로 한 신발의 운동수행 능력 향상에 관한 연구(이중훈, 2009; 박인식 외, 2012; Nigg et al. 2003)가 대부분으로 신발 내 착용쾌적성 평가에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 신발의 성능 평가에서는 생체역학적 평가(예: 족저압력, 동작분석)뿐만 아니라 신발의 생리학적(예: 피부온, 신발내 온습도, 발한량) 평가가 중요하다(<http://cafe.naver.com/footwearsience>). 또한, 기존 신발의 착용쾌적성 관련 연구는 갑피, 안감, 인솔 등의 소재 차이에 대한 열적 쾌적성 변화를 비교(Kuklane, K. et al. 2000; Kawabata & Tokura, 1993; Bogerd et al., 2012) 한 것이 대부분이다. 소재의 특성만으로는 온, 습도 조절이 제한적이므로 제품 설계 및 디자인 변경을 통한 열, 수분 배출이 향상된 제품의 개발 및 평가가 필요하다(임지혜 외, 2009).

따라서, 본 연구에서는 중창에 통기구를 삽입한 개발 통기성 안전화에 대한 착용쾌적성을 객관적(피부온, 의복내 기후, 국소발한량, 체열분석), 주관적(온열감, 습윤감, 쾌적감) 평가하여 착용쾌적성을 체계적으로 검증하고자 한다.

2. Method




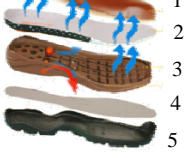
2.1 평가대상

착용쾌적성 평가는 건설 현장 근로자 15 명(연령: Mean = 44.6 세, SD = 5.9, 32 ~ 51 세; 신장: Mean = 173.8cm, SD = 3.4, 169 ~ 180cm; 몸무게: Mean = 78.7kg, SD = 10.0, 60 ~ 93kg)을 대상으로 수행되었다.

2.2 평가용 안전화

평가용 안전화는 중창에 통기구가 있는 것(통기성 안전화)과 통기구가 없는 것(일반 안전화)으로 각각 준비되었으며, 갑피와 부자재(가죽, 끈, 부속물)는 동일하게 설계되었다. 통기성 안전화는 중창에 E-vent system 의 통기구가 삽입되었으며, 일반 안전화에는 피험자들의 주관적인 판단을 배제하기 위해 통기구 형태의 구조물을 삽입하였다. 평가용 안전화의 구조는 갑피(Upper), 안창(Insole), 중창(Midsole), 내답판, 밑창(Outsole)으로 구성되어 있으며, 통기구가 삽입된 중창은 독립된 셀 구조의 공기 이동 경로가 삽입된 격자 형태이다(Table 1).

Table 1. Structure of safety shoes with ventilation hole

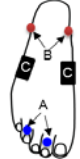
Vatilation hole	Structure	
 Lateral ventilation hole		1. Upper
		2. Insole
 Medial ventilation hole		3. Midsole
		4. penetration resistant
		5. Outsole

2.3 평가항목 및 방법

2.3.1 평가 항목

평가 항목은 객관적 평가 5 개 항목과 주관적 평가 3 개 항목으로 구성되었다(Table 2). 평가 항목별 센서는 피부온, 의복내 기후, 국소발한량 각각 2 개 부위에 부착하였으며(Figure 1), 국소발한량은 여과지의 무게 차이를 이용하여 파악되었다. 피부온은 LT-8A (Gram Corporation, Japan)을 이용하여 측정되었으며, Hardy & Dubois 의 7점법과 pilot test 결과를 참고로 하여 선정된 부위에 센서를 부착시킨 후 1 분 간격으로 연속 측정되었다. 의복내 기후는 Thermal Recorder (TR-72S, T&D Co., Japan)를 사용하여 최내층의 온·습도를 1 분 간격으로 연속 측정하였다. 국소발한량은 평가전 후 여과지의 무게를 SKD-2000 Perspiration Meter(Skinos Co. Ltd Japan)로 2 회 측정하였다.

Table 2. Wearing comfort evaluation

Method	Item	Measuring point
Objective evaluation	Skin Temperature	
	Microclimate - Temperature	
	Microclimate - Humidity	
	Local Sweat Rate	
	Thermography	
Subjective evaluation	Thermal sensation(0~4)	A: Microclimate
	Wet sensation(1~7)	B: Skin Temperature
	Comfort(1~4)	C:Local sweat rate

2.3.2 평가 방법

평가안전화 2 종은 실험 참여자들이 근무하는 실제 건설 현장 환경에서 각각 5 일간 사전 착용되었으며, 착용일별로 2 종 신발에 대한 착용 조건이 control 되었다. 착용쾌적성 평가시 안전화 착용 조건은 왼발, 오른발 구분(예: 왼쪽 - 통기구 있는 안전화, 오른쪽 -

통기성 안전화)하여 한쪽씩 random 하게 선정하여 착용되었다.

착용쾌적성 평가는 실험실 환경을 control(온도: 26±1℃, 습도: 60±5%)한 후 실시되었으며, 실험 참여자는 실험시작 30분전 입실하여 실험복을 착의 한 후 센서를 부착하고 휴식기(20 분), 운동기(Treadmill: 경사각 5°, 5km/h, 20 분) 회복기(20 분) 총 60 분간 실험을 실시하였다(Figure 2 참조). 체열 촬영은 휴식기 전반과 회복기 후반에 맨발, 양말 착용, 신발 착용의 순으로 2 회 촬영하였으며, 주관적 감각은 휴식기 전, 후반, 운동기 후, 회복기 후 실험 참여자에게 평가 스케일을 제시한 후 주관적으로 느끼는 감각의 정도를 응답하도록 하였다.

	Wearing shoes for 5 days before the evaluation		Rest		Exercise (walking speed = 5km/h)		Recovery			
	(min)		0	10	20	30	40	50	60	
1	Skin Temperature		Every one min							
2	Microclimate		Every one min							
3	Thermography		•				•			
4	Local Sweat Rate		•						•	
5	Subjective Comfort		•	•			•		•	

Figure 2. Experiment protocol

3. Result

3.1 피부온

피부온은 통기성 안전화가 일반 안전화에 비해 평균 0.3℃ 낮고 회복기에는 평균 0.5℃ 낮은 것으로 나타났으며, 회복기(42~60분)에 유의한 차이($p < .05$)가 파악되었다(Figure 3). 통기구가 있는 안전화의 air ventilation system은 신발 내부의 공기 순환을 발생 시켜 피부온을 낮추는 것으로 파악되었다.

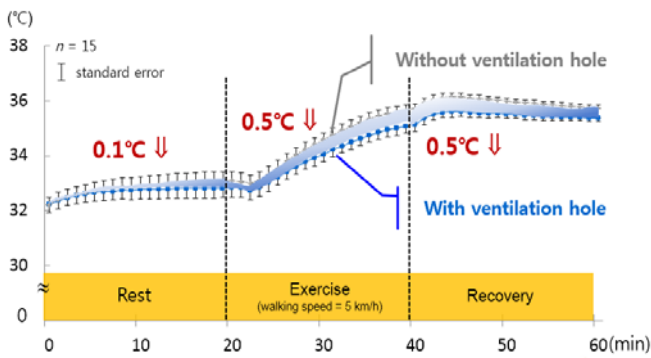


Figure 3. Skin temperature

3.2 신발내 기후

신발 내 온도는 휴식기에서 통기성 안전화가 일반 안전화에 비해 휴식기 0.6℃(통기성 안전화: 29.8℃, 일반 안전화: 30.4℃), 운동기 0.2℃(통기성 안전화: 32.8℃, 일반 안전화: 33.0℃) 낮은 것으로 나타났으며, 운동기(20~23분)에 유의한 차이($p < .05$)가 파악되었다

신발 내 습도는 통기성 안전화와 일반 안전화에 비해 휴식기 15.1%(통기성 안전화: 60.2%, 일반안전화: 75.3%), 운동기 11.1%(통기성 안전화: 75.9%, 일반안전화: 87.0%), 회복기 15.2%(통기성 안전화: 71.0%, 일반안전화: 86.2%) 낮은 것으로 나타났으며, 전구간 유의한 차이($p < .001$)가 파악되었다(Figure 4).

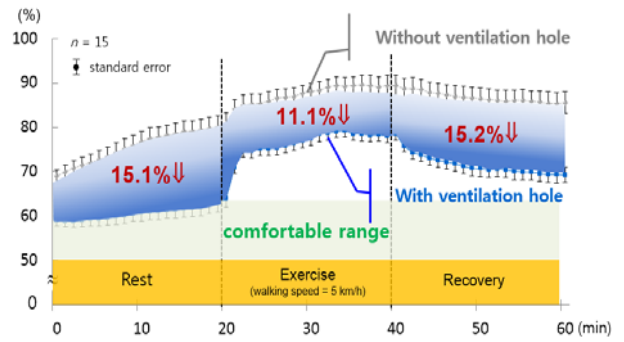


Figure 4. Humidity in microclimate

3.3 국소발한량

국소발한량은 통기성 안전화가 일반 안전화에 비해 평균 34%(일반안전화 44mg, 통기성 안전화 29mg) 발한량이 감소한 것으로 나타났다.

3.4 체열분석

통기성 안전화는 일반 안전화에 비해 신발 표면 온도가 휴식기에서 평균 0.2℃, 최대 2℃ 낮은 것으로 나타났으며, 회복기(맨발, 신발) 표면 온도에서 유의한 차이($p < .01$)가 파악되었다(Figure 5)

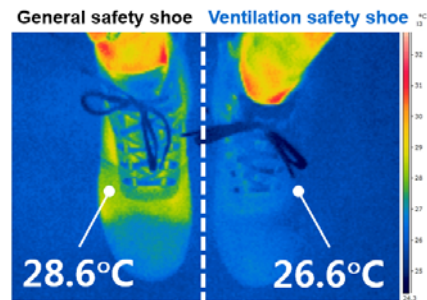


Figure 5. Thermography of safety shoes in rest period

3.5 주관적 감각

주관적 감각 평가 결과 통기성 안전화가 일반안전화에 비해 운동기에 온열감 35%, 습윤감 13%, 쾌적감 18% 개선이 파악되었다.

4. Discussion

본 연구는 산업 건설 현장 근로자들을 대상으로 통기성 안전화의 착용쾌적성을 객관적, 주관적 측면에서 체계적으로 파악하였다. 본 연구에서는 인간공학적 평가 방법 및 안전화의 구조적 mechanism 분석을 기반으로 통기성 안전화의 착용쾌적성 평가 방법 및 protocol 을 체계적으로 수립하였다. 본 연구는 객관적 분석 방법을 통해 통기성 안전화의 통기성능을 검증하였으며, 주관적 분석 방법을 통해 인체생리학적 개선 효과의 유효성이 재검증되었다.

안전화의 중창(Midsole)내에 통기구가 삽입된 통기성 안전화는 통기구가 없는 일반 안전화에 비해 신발내 습도가 휴식기 15.1%, 발한량은 34% 감소하는 것으로 파악되었다. 통기성 안전화의 신발 내 온도는 일반 안전화에 비해 휴식기 0.6℃, 운동기 0.2℃ 낮은 것으로 나타났다. 의복 착용시의 불쾌감을 최소화하기 위해서는 발생된 열과 수분을 효율적으로 배출 시킬 수 있어야 하며(임지혜 외 2009), 땀의 증발은 열의 발산과 체온 조절에 중요한 요소이다(Amorim et al. 2006). 통기성 안전화는 통풍구를 통한 air ventilation system 으로 신발내 습도와 온도를 감소시켜 착용 시 인체생리학적 쾌적감을 개선 시키는 것으로 파악되었다.

본 연구에서는 안전화를 평상시 착용하는 실제 건설 현장 근로자들을 대상으로, 5일간 사전 착용하게 한 후 온·습도가 control 된 환경기후실에서 평가를 실시하였다. 실제 근무 환경에서의 field test 는 수행되지 않았지만 평가 대상자들의 인터뷰를 통한 briefing 에서는 통기성 안전화에 대한 긍정적 답변이 파악되었다.

본 연구에서 수립된 신발의 착용쾌적성 평가 방법은 안전화뿐만 아니라 생체역학적 자료를 적용해 설계된 다양한 기능성 신발의 쾌적성 평가에도 적용이 가능하다. 추후 연구로 착용쾌적성이 중요한 요소인 기능성 신발(예: 골프화, 군화)의 설계 개선 및 평가(인체생리학적 측면의 객관적 평가)가 필요하다. 특히, 군화의 경우 특수한 환경에서 착용하게 되므로 실제 훈련 상황에서의 현장 평가를 통한 효과 검증이 필요하다. 또한, 현재 수동 개, 폐 형태의 통기구

구조를 개선하여 외부의 수분은 차단하면서 공기는 유입되는 방식의 시스템 개발이 필요하다.

Acknowledgements

This research was supported by the KYOUNGO Co., Ltd..

References

- Amorim, F. T., Vimieiro-Gomes, A. C., Machado-Moreira, C. A., Magalhaes, F. C., Rosa, M. S., Prado, L. S. & Rodrigues, L. O. C. Is sweat rate during steady state exercise related to maximum oxygen uptaken. *J of Thermal Biology*, 31(6), 521-525. 2006.
 - Atmaca, I., & Yigit A. Predicting the effect of relative humidity on skin temperature and skin wittedness, *J of Thermal Biology*, 31(5), 442-452. 2006.
 - Bogerd, C. P., Brüuhwiler, P. A. & Rossi, R. M. Heat loss and moisture retention variations of boot membranes and sock fabrics: A foot manikin study, *Internation J of Industrial Ergonomics*, 42(2), 212-218. 2012.
 - Choi, J. Sportwear & Equipment, *J of Korean Society Living Environment System*, 8(2), 146-151. 2001
 - Kuklane, K., Holmer, I., Havenith, G. Validation of a model for prediction of skin temperatures in footwear, *J Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 19(1), 29-34. 2000.
 - Kawabata, A. & Tokura, H. Effects of two kinds of sports shoes with different structure on thermoregulatory responses, *Ann. Physiol. Anthropol*, 12(3), 165-171. 1993.
 - Lee, C. Kinetic difference between normal-design running shoes and spring-load running shoes, *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 19(3), 581-592. 2009.
 - Lim, J., Roh, E., Yoo, H., Kim, E. Ventilation and comfort sensation by slit positions of running wear jackets, *Journal of Korean Society of clothing and textiles*, 33(11), 1794-1805. 2009.
 - Nigg, B. M., Stefanyshyn, D., Cole, G., Stergiou, P., Miller, J. The effect of material characteristics of shoe soles on muscle activation and energy aspects during running, *Journal of Biomechanics*, 36,569-575. 2003.
 - Park, S. A biomechanical footwear research & analysis in korea and past, present and future in international research trend, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 5, 77-82. 2006.
 - Park, I., Jung, J., Jeon, K., Won, Y., Kim, J. Effects of forfoot rocker shoes with metatarsal bar on lower extremity muscle activity and plantar pressure distribution, *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 22(10), 113-121. 2012.
- <http://cafe.naver.com/footwearscience>

Author listings

Eunjin Jeon: slowjeon@hanmail.net

Highest degree: PhD, Clothing & Textile, Kyungpook National University

Position title: Post Doc, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic pattern design, Pattern grading, User interface design & evaluation

Jihyun Ha: hjy0120@hanmail.net

Highest degree: M.S, Clothing & Textile, Kyungpook National University

Position title: Ph.D. candidate, Clothing & Textile, Kyungpook National University

Areas of interest: Draping pattern, Flat pattern, Clothing production

Hee-Eun Kim: hekim@knu.ac.kr

Highest degree: PhD, Clothing physiology, Nara Women's University, JAPAN

Position title: Professor, Department of Clothing & Science, Kyungpook National University

Areas of interest: Clothing environment, Clothing pattern & construction, Clothing comfort

Seikwon Park: parksk@afa.ac.kr

Highest degree: PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University

Position title: Professor, Department of Systems Engineering, Korea Air Force Academy

Areas of interest: Human factors in aviation and aerospace, Fatigue/Stress modeling & assessment, Human performance & workload assessment, Bio-signal measurement and analysis techniques, Biofeedback training

Daehan Jung: daehanj@afa.ac.kr

Highest degree: PhD, Mechanical Engineering, State University of New York

Position title: Associate Professor, Department of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Air Force Academy

Areas of interest: Fluid dynamics, Turbulence, Computer fluid dynamics

Jangwoon Park: parkjw@postech.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Position title: Post-doctoral research associate, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: User-centered product design & development, anthropometric and biomechanical methods for product design, digital human modeling & simulation, usability testing, automobile ergonomics, affective engineering

Seunghoon Lee: shoonlee@postech.ac.kr

Highest degree: M.S, Mechanical Engineering, Sogang University

Position title: Ph.D. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Digital human modeling & simulation, User-centered product design & development, Anthropometric and biomechanical methods for product development

Seung-Bum Park: sbpark@shoenet.org

Position title: Footwear Biomechanics Team, Footwear Industrial Promotion Center, Busan Economic Promotion Agency, Busan, Korea, 618-270

Heecheon You: hcyou@postech.ac.kr

Highest degree: PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University

Position title: Associate Professor, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Digital human modeling & simulation, Human performance & workload assessment, Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) prevention, Usability testing