JESK J Ergon Soc Korea 2020; 39(1): 43-58
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2020.39.1.43
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Development and Evaluation of a Cooling Vest Applied with Vortex Tubes to Reduce the Thermal Stress of Greenhouse Workers

Insoo Kim, Kyungran Kim, Min-Tae Seo, Soo-In Park, Joung-Jin Cha, Hyo-Cher Kim, Kyungsu Kim

National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Jeonju-si, 54875

비닐하우스 작업자의 서열 스트레스 경감을 위한 보텍스 튜브 적용 냉각조끼 개발 및 평가

김인수, 김경란, 서민태, 박수인, 차종진, 김효철, 김경수

농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부

Corresponding Author
Kyungran Kim
National Institute of Agricultural Sciences,
Rural Development Administration,
Jeonju-si, 54875
Mobile : +82-10-7196-0470
Email : kimgr@korea.kr

Received : November 22, 2019
Revised : December 01, 2019
Accepted : December 17, 2019

Copyright@2020 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: This study developed working clothes using a vortex tube device to reduce the thermal stress of greenhouse workers, and evaluated the physiological effects and user satisfaction of the developed cooling vest.

Background: During the summer, the inside of greenhouses causes increased physiological burden of workers due to a high temperature and humidity, causing accidents and lowering the work efficiency. As a measure to solve this problem, various working clothes to lower thermal stress have been researched and developed, but there were limitations in the development of working clothes appropriate for high temperature and humidity in greenhouses. Therefore, the development of a new agricultural working clothes is required to prevent thermal stress of workers in a warm environment.

Method: To verify the thermal stress reduction effect of the farming vest applying a vortex tube device, a physiological evaluation test was performed for subjects in a climate chamber and greenhouse environment. In addition, the wearing satisfaction and field applicability of the developed working clothes was evaluated by farmers.

Results: The results of analyzing the mean physiological reactions by body part in the climate chamber test, the skin temperature, mean temperature in the working clothes, mean humidity, and heartrate of the developed working clothes decreased by 2.9%, 8.1%, 35.5%, and 4.9%, respectively, compared to the existing working clothes. Furthermore, in the greenhouse environment test, the temperature in the working clothes and humidity of the developed working clothes decreased by 8.8% and 12.3%, respectively, compared to the existing working clothes. Furthermore, in wearing sense and user satisfaction survey for farmers in the field evaluation, the respondents showed positive responses.

Conclusion: This study verified the effects of the agricultural working clothes applying the vortex tube technology had an effect of thermal stress reduction compared to the existing working clothes and its applicability to the agricultural work environment. Further practical research should be conducted considering the cultivation environment and the size of greenhouse facilities to develop working clothes for various work environments.

Application: The results of this study are expected to be utilizable in the field of design of thermal stress reducing working clothes for greenhouse facility farm workers.

Keywords: Thermal stress, Working clothes, Vortex tube, Agricultural working environment, Greenhouse

1. Introduction

농작업 환경은 일반 산업 현장과 달리 재배 또는 사육하는 작목에 따라 높은 온도와 습도, 산소결핍, 유해가스 및 분진 등 다양한 유해·위험 요인이 존재하고 있다(Kwon et al., 2012). 농작업 시에 유해요인에 대한 적절한 안전관리가 되지 않을 경우 열스트레스, 직업성 질환 및 사망사고 등의 중대재해로 이어질 수 있다. 특히 농작업 환경에 적합한 보호장비 착용 및 안전시설 설치는 신체적 상해와 즉결되는 부분이므로 이에 대한 안전재해예방 대책은 중요하다(Kim et al., 2016; Kim et al., 2018). 대표적으로 하우스시설을 이용한 작물 재배는 실내에서 지속적인 작업이 이루어지고, 여름철의 경우에는 높은 온도와 습도로 인해 농작업 재해의 위험성이 높고, 작업 생산성 감소 등의 문제를 유발하게 된다. 기존의 연구에 따르면 온실과 같이 고온다습한 환경에서 장시간 작업을 수행할 경우 탈수증세, 열 중독 등 서열 스트레스 질환 및 안전사고가 자주 발생하는 것으로 조사되었다(Hwang et al., 2010; You, 2012; Kim et al., 2016; Kim et al., 2017). 우리나라의 농업 관련 비닐하우스 시설 관련 재배면적은 2010년 2월 현재 5만여 ha로서 매년 증가하는 추세에 있으며(Song and Kim, 2011), 4계절 내내 다양한 작목들이 재배되고 있다. 특히 비닐하우스 농작업은 다른 작목에 비해 노동시간과 연평균 노동일수가 많아 열적 스트레스로 인한 질환 경감과 작업자의 생리적 쾌적성을 향상을 위한 보호구 장비 개발은 건강문제 해결책으로 긍정적 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

비닐하우스와 같은 고온다습한 밀폐된 공간에서의 열스트레스 관련 질환뿐만 아니라 의복내 온도와 습도의 변화를 가져와 쾌적감에도 결정적인 영향을 미치게 된다(Ha et al., 1995). 이러한 결과는 생산율의 감소, 작업자의 생리적 부담 증가, 안전사고 발생 등으로 이어질 수 있으므로 작업자를 위한 환경설계는 중요하다(Adams et al., 1994; Kim and Kim, 2011; Kim and Bae, 2013). 여름철의 경우 더위를 피하기 위해 한낮에는 작업을 하지 않더라도 비닐하우스 내의 작업동작으로 발생하는 신체의 열 부담과 고온다습 환경에서의 열부담이 동시에 작용하고 있어 인체 내의 열전이가 잘 되지 못하여 열적 평형을 잃게 되어 하우스증과 같은 질환을 초래하게 된다. 따라서 고온다습한 작업환경에서 작업자의 쾌적성을 유지할 수 있는 작업복 설계가 요구되고 있다. 기존의 농작업복 연구를 살펴보면, 비닐하우스 농업인의 건강 및 작업능률 상향을 위하여 방수 투습포를 적용한 개량형 작업복 개발 및 실험연구가 수행되었다. 이 연구에서는 유해성분 인체에 침투하는 것을 막는 데에는 효과가 있었으나 기존의 작업복에 비하여 쾌적성 및 생리적반응에는 유의한 차이를 보이지 않았다(Myung et al., 1993). 그리고 비닐하우스 작업자의 서열 스트레스 저감 및 쾌적성을 향상하기 위한 목적으로 자외선 차단 소재 개발 연구 있었다. 이 연구에는 작업자의 온열적 쾌적감은 효과가 있었으나 작업성 측면에서 효율이 떨어져 실생활에 응용하지는 못한 한계가 있었다(Choi and Baik, 1995; Choi et al., 1996). 또한 비닐하우스 환경에서 작업자의 작업복 선호도 조사와 더불어 흡한속건성과 신축성, 자외선 차단성능, 통기성 등의 기능성 소재를 활용한 연구가 진행되었고(Hwang et al., 2010), 축산작업자의 쾌적성 향상과 작업 안정성을 위한 기능성 소재 적용 연구 등이 수행되었다(Kim et al., 2016). 이러한 농작업복 개발은 일부 작업환경에서는 열부담을 줄일 수는 있었으나 장시간 온열 환경 작업자에게 적용하기에는 한계가 있다. 농작업복 이외에 군인을 안전성과 보호성 확보를 위하여 고기능 소재를 사용한 전투복 설계 및 평가 연구(Kim and Cho, 2014; Jeon et al., 2014), 조선업 작업자의 안전을 위하여 용접 보호복의 소재 개선 및 디자인 및 패턴 개발 연구(Kim and Bae, 2013) 등이 진행되었다. 일반산업의 경우에도 높은 온도에 장시간 노출되는 작업자를 위한 작업복 개발에서 있어 쾌적역 이하로 신체 온도를 유지하는 데에는 물리적 한계가 있었다. 이러한 환경적 요인에 대한 문제점을 해결하고자 작업복 내에 냉매를 적용한 냉각조끼 개발 연구가 수행되고(Choi and Hwang, 2001; Choi et al., 2005), 인체 착용효과 검증 실험결과에서 온열에 대한 생리적 부담경감 및 주관적 불쾌감 감소에는 효과를 보였으나 지속적인 냉각시간 연장, 2~10kg 중량의 작업복 무게 경감 등의 기술적 문제점을 가지고 있어 이에 대한 해결이 요구되었다. 또한 냉각조끼의 경우 인체 착용 시간이 지남에 따라 인체의 온도 차이로 인하여 얼음이 녹을 때 물방울이 발생하여 습도가 증가되어 불쾌감을 유발되는 문제점이 나타났다. 이러한 냉각조끼의 단점을 보완하기 위하여 열전소자(Thermoelectric module)를 작업복에 적용한 연구가 있었다(Jung et al., 2012). 이 연구에서는 온열감과 쾌적감에 긍정적 반응과 작업복 무게가 1.2kg로 착용시 무게감에 대한 단점을 보완할 수 있었으나 전력소비가 높고, 지속적인 사용을 위한 전원공급의 제한점이 발견되었다.

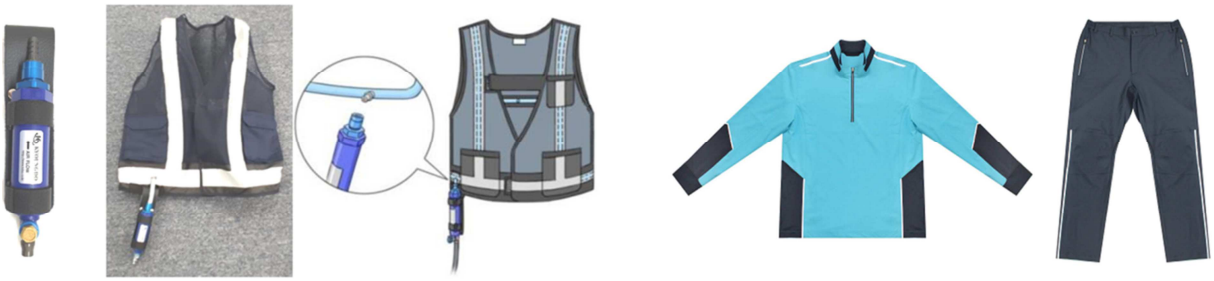
그 동안의 하우스 시설 농작업복 개발 연구는 유해물질로부터 작업자 보호, 새로운 의복 디자인 패턴 개발을 통한 작업 편의성 향상, 기능성 소재를 적용한 쾌적성 향상, 그 밖에 냉매 및 열전소자를 활용하는 등 다양한 연구 개발이 진행되었다. 그러나 선행 연구 결과로 볼 때 비닐하우스와 같은 고온의 농작업 환경에서 서열 스트레스 문제를 해결하는 데에는 물리적 및 기술적 한계가 있는 것으로 보인다. 이에 본 연구에서는 기존의 서열 작업복의 문제점을 해결하고자 보텍스 튜브 기술을 적용하였다. 보텍스 튜브 기술는 압축공기를 노즐을 통하여 접선방향으로 튜브 내부로 유입시키면 저온(Low temperature)과 고온(High temperature)의 공기로 분리되는 특징을 활용한 장치이다(Choi et al., 2018). 일반적으로 자동차 공조시스템 등의 장치에 적용되고 있으나 고열의 작업조건을 갖고 있는 조선소 등 중공업 근로자의 열스트레스 예방을 위한 작업복에도 활용되고 있다. 본 연구에서는 일반 농가에서 활용될 수 있도록 저압 압축공기에서 적용이 가능한 보텍스 튜브를 개발하였고, 농작업 특성상 높은 활동성을 고려한 보텍스 튜브 일체형 냉각조끼를 개발하였다. 이에 본 연구에서 기존의 서열 농작업복과 개발된 작업복과의 비교 평가해 봄으로써 온열 스트레스 저감의 효과를 검증하고, 농업인들의 안전한 농작업과 쾌적한 농업 활동을 확보할 수 있는 보텍스 튜브 기술을 활용한 농작업복 개발에 대한 도움을 주고자 한다.

2. Method

2.1 Subjects and experimental clothes

본 연구에서는 인체생리반응 측정을 위하여 인공기후실 및 온실 환경(테스트 베드)에서 실험을 수행하였고, 사용자의 착의 및 만족도 평가는 현장 농업인을 대상으로 실시하였다.

인공기후실 실험은 신체 건강한 성인 20~30대 8명(남자 6명, 여자 3명)의 피실험자를 선정하였으며, 이들의 평균 신체조건은 나이 30.6±2.9세, 신장 168.0±6.2cm, 체중 64.4±8.4kg, BMI (Body mass index)는 22.7±1.5이다. 실험복은 기존 국내에서 시판되고 있는 서열 농작업복과 보텍스 튜브를 적용한 냉각조끼를 대상으로 실시하였다. 본 연구에서 개발한 보텍스 튜브 장치는 무게가 150g이고, 냉각성능은 압축공기 40,000kPa, 공급유량은 250L에서 현재온도를 기준으로 -15.7℃를 낮출 수 있다. 본 실험에서는 냉각조끼에서 분사되는 공기온도가 외부온도로부터 손실을 최소화하기 위하여 냉각조끼를 착용한 후 방진복을 착용하도록 하였다((Figure 1 (a)). 이때 냉각조끼는 피실험자가 착용한 후 움직임 활동에 지장이 없는 편안한 사이즈로 제공되었다. 본 실험에서 개발된 보텍스 튜브 적용 냉각조끼는 상체에 국한되므로 하의의 경우는 기존의 농작업복 하의를 동일하게 착용하였다. 그리고 비교 평가를 위해 사용된 기존의 서열 농작업복의 주요 소재는 냉감 효과를 가진 쿨링 소재(아스킨 원단)로 흡한속건성과 신축성을 갖고, 그 밖에 자외선 차단 등의 특징 있는 기능성 작업복으로 피실험자의 신체 활동에 적합한 것으로 선정하였다((Figure 1 (b)). 기초 의복으로는 피실험자 신체에 적합한 러닝셔츠, 팬티, 양말, 운동화를 착용하도록 하였다.



(a) New working clothes: vortex-tube and cooling vest (b) Old working clothes: top and bottoms

Figure 1. Experimental clothes

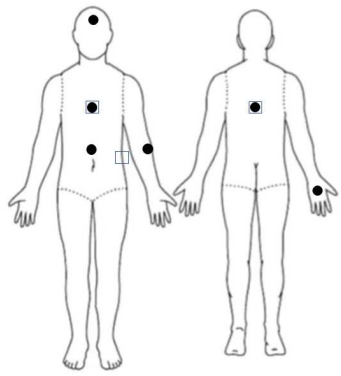
온실 환경(테스트 베드) 실험에서는 인공기후실 실험에 참여하였던 피실험자 가운데 4명(남자 2명, 여자 2명)을 참여자를 대상으로 실시하였다. 피실험자의 나이는 평균 31.3±3.8세, 평균 신장 166.8±4.9cm, 평균 체중 62.3±6.8kg, 평균 BMI는 22.3±1.5이며이다. 실험복

은 인공기후실 평가와 동일한 기존의 농작업복과 개발된 보텍스 튜브를 적용한 냉각조끼로 동일한 조건으로 하였다. 그리고 농가방문 평가에서는 시설하우스 재배 농업인을 대상으로 평가를 수행하였다. 본 조사는 9개 농가를 방문하여 10명을 대상으로 하였다. 참여자들의 평균 나이 50±6.0세, 평균 키 168.6±6.3cm, 평균 몸무게 67.4±9.9kg이며, 이들의 오이, 토마토, 애호박, 수박, 멜론 재배 등을 재배하였고, 종사 기간은 평균 10.3±5.4년이다.

2.2 Measurements

인공기후실에서의 인체생리반응 측정은 피부온도, 의복 내 온습도, 심박수(Heart Rate, HR)를 객관적으로 측정하였고, 주관적 감각으로 쾌적감, 온열감, 습윤감, 피로도를 평가하였다. 피부온도는 휴대용 피부온도 측정기(LT8A, Gram Corp., Japan)를 이용하여 가슴, 배, 등, 아래팔, 손등, 이마 등 6부위에서 2초 간격으로 연속 측정하였다. 의복 내 온습도는 의복 기후 온습도 측정기(TR-72U, T&D, Japan)을 이용하여 3부위(가슴, 등, 허리)에서 30초 간격으로 연속 측정하였다. 심박수는 가슴 부위 착장 벨트형 심박수 측정기(RS400, Polar Electro, Finland)로 1초 단위로 측정하였다. Table 1은 피부온도와 의복 내 온습도 측정 부위를 보여준다.

Table 1. Evaluation item and sensor location



Sensor location	Skin temperature	Temperature and humidity inside clothing
Forehead	●	
Upper chest	●	□
Abdomen	●	
Left waistline		□
Upper back	●	□
Left forearm	●	
Left hand	●	

주관적 감각 측정은 피실험자로 하여금 각 과업(Task) 직후마다 질문에 응답하였다. 주관적 감각 평가에서 쾌적감은 1~4점 척도, 온열감은 1~5점 척도(Kim et al., 2006), 습윤감은 정신심리적 1~7점 척도를 사용하였고(ASHRAE, 2001), 피로감은 1~4점 척도(Jeon et al., 2014)로 평가하였다(Table 2). 온실 환경에서의 평가는 의복 내 온습도를 측정하였고, 온습도 측정기와 센서 부착 위치는 인공기후실 실험과 동일하도록 하였다.

Table 2. Scale of subjective sensation

Scale	Comfort sensation	Thermal sensation	Humidity sensation	Fatigue sensation
1	Comfortable	Indifferent	Very dry	Neutral
2	Slightly uncomfortable	Slightly warm	Dry	Slightly fatigue
3	Uncomfortable	Warm	Slightly dry	Fatigue
4	Very uncomfortable	Hot	Neutral	Very fatigue
5		Very hot	Slightly humid	
6			Humid	
7			Very humid	

그리고 농가방문 평가에서는 작업복을 착용한 후 주요 평가동작에 대한 착의 관능검사와 착의 만족도, 농작업 현장 적합성 등을 5점 척도로 조사하였다. 착의 관능검사는 기존의 Kim et al. (2016)의 연구를 참고하여 각 자세를 측정하였고, 각 자세에 대한 불편한 정도를 1점(매우 불편하다) ~ 5점(매우 편안하다)까지 5점 척도로 평가하였다(Table 3).

Table 3. The posture of sensory test

Movement	Posture				Movement	Posture			
Arm's vertical movement	AV-1	AV-2	AV-3	AV-4	Arm's horizontal movement	AH-1	AH-2	AH-3	AH-4
Waist movement	W-1	W-2	W-3	W-4	Leg movement	L-1	L-2	L-3	L-4

2.3 Experimental environment and procedure

인공기후실 실험 환경은 Choi et al. (2002) 연구에서 제시한 일반적인 비닐하우스 작업장의 환경을 재현하여 온도 30±0.5℃, 습도 70±5.0%RH이며, 그리고 기류 0.5m/sec 이하로 설정하였다. 개발된 작업복의 경우에는 실험이 진행되는 동안 보텍스 튜브 장치에 주입되는 공기압력은 60,000kPa 상태를 유지하였다. 실험은 총 80분 동안 실시하였다. 실험 시작 이전에 체온이 안정될 수 있도록 온도 24±0.5℃, 습도는 50±5.0%RH의 실험 대기실에서 20분 동안 의자에 앉아 충분한 안정(Stability)을 취하도록 하였다. 본 실험은 휴식기(Rest) 15분, 운동기 1(Ex. 1) 10분, 회복기 1(Rec 1), 운동기 2(Ex. 2) 10분, 회복기 2(Rec. 2), 운동기 3(Ex. 3) 10분, 회복기 3(Rec. 3) 15분으로 구성하였다. 실험 동안 과업(Task)은 Choi et al. (2002) 연구에서 제안된 일반 농작업자의 작업 심박수의 평균인 100 beats/min (bpm)의 강도로 30cm 높이로 적절한 걸음 테스트(Step test)를 실시하였다. Table 4는 실험 진행의 전체적 프로토콜을 보여준다.

Table 4. Experimental procedure and protocol

Step	Stability	Rest	Ex. 1	Rec. 1	Ex. 2	Rec. 2	Ex. 3	Rec. 3
Total: 80min / Item	20	15	10	10	10	10	10	15
Skin temperature	-	○	○	○	○	○	○	○
Microclimates inside clothing	-	○	○	○	○	○	○	○
Heart rate (HR)	-	○	○	○	○	○	○	○
Subjective sensations	-	○	○	○	○	○	○	○

*Ex.: Exercise; Rec.: Recovery

실험은 피실험자의 일주기 리듬(Circadian rhythms)의 변화를 최소화하기 위하여 동일 피실험자가 같은 시간대에 맞추어 실시하였다. 실험에 앞서 실험의 방법과 실험의 목적, 주의사항을 인지하도록 하였고, 자발적 동의 하에 실험에 참여하도록 하였다. 피실험자는 실험 의복을 입고, 인체 제원(신장, 체중)을 측정 및 인체생리반응 측정 센서를 부착하였다. 실험 진행은 프로토콜에 의하여 실시되었으며, 휴식기에는 편안하게 앉은 자세를 취하도록 하였다. 실험이 진행되는 동안 피부온, 의복 내 온습도, 심박수(HR)는 연속적으로 측정되며, 주관적 착용감각 측정은 과업을 수행하는 단계 마다 7회 제시하였다. Figure 2는 인공기후실 실험장면을 보여준다.

(a) Old working clothes (b) New working clothes

Figure 2. Experiment of working tasks

온실 작업 환경은 실험이 진행되는 동안 온실 내 온습도 평균은 28.6±0.3℃, 습도는 57.1±1.1%RH로서 인공기후실에서의 환경보다 작업 시 조건은 나은 편이었다. 보텍스 튜브 장치에 주입되는 압축공기 압력인 인공기후실과 동일하였다. 실험시간은 외부 기후 환경에 대한 영향을 최소화하기 위하여 오전 10-12시 사이에 실시하였다. 실험은 휴식(10분), 작업(30분), 회복(10분)으로 50분 동안 진행하였다. 휴식기는 기본 복장만 착용한 상태이고, 작업 시와 회복기는 실험복을 착용하도록 하였다. 작업 과업은 온실 내 왕복 160m 거리를 약 4km/h 속도로 운반대차를 밀고 가는 작업을 수행하도록 하였다. 실험이 진행되는 동안 가슴, 배, 허리 부위의 의복 내 온습도를 수집하였다. Figure 3은 테스트 베드 온실 작업장에서의 실험 장면을 보여준다.

Figure 3. Testbed wearablility test

농가방문 평가에서는 실제 작업 환경에서 개발된 작업복을 착용해 보고 이에 대한 만족도를 평가하였다. 먼저 착의 관능검사를 위하여 개발된 작업복을 착용한 후, 신체 부위별 움직임에 대한 평가를 수행하였고, 인터뷰 및 설문조사를 통하여 작업복에 대한 만족도

를 평가하였다. 착의 관능검사는 Table 2를 참조하였고, 착용 편의성 4개 항목(착의성, 동작 용이성, 편안감, 착·탈의 용이성), 주관적 만족도 4개 항목(성능성, 기능성, 안전성, 심미성), 현장 적합성 평가로 3개 항목(보호기능, 농작업, 농업 환경)을 평가하였다. Figure 4는 현장방문 조사 장면을 보여준다.

Figure 4. Field wearablility test

2.4 Data analysis

본 연구에서 수집된 인체생리반응 및 주관적 측정치는 각의 평균값(M)과 표준편차(SD)를 산출하였으며, 또한 SPSS WIN 20의 통계패키지를 이용하여 각 조건 간의 T-test 분석을 수행하였다.

3. Result and Discussion

3.1 Climate chamber

3.1.1 Skin temperature

피부온은 인체와 외부 환경의 경계면의 온도로 인체와 환경과의 열교환량을 규정하는 인자로서 인간의 체온조절 반응의 정도를 나타내는 지표이다(Kim and Choi, 1999). 인간의 체온조절 반응은 열 생성과 열 손실의 균형을 이루면서 체온을 일정하게 유지하려고 하는데, 심부온도의 경우 변화의 영역이 좁지만, 피부온은 심부의 이러한 항상성 유지를 위해 비교적 넓게 변화한다(Kim and Lee, 2012). Figure 5은 기존의 서열 작업복과 개발된 보텍스 튜브 적용 조끼에 대한 시간경과에 따른 국소별 피부 평균 피부온도 변화를 보여준다. 초기 시기(Rest)의 경우 기존 작업복에서 측정된 피부온은 모든 신체 부위에서 점차적으로 상승하는 경향을 보였고, 개발 작업복의 경우에는 등(Upper back), 손등(Left hand), 이마(Forehead) 부위에서는 증가하는 경향을 보였으나 배(Abdomen)와 아래팔(Left forearm) 부위는 거의 일정 온도를 유지하였다. 실험복 모두 운동기와 회복기에 접어들면서 온도의 상승과 하강을 반복적으로 나타났다. 신체 부위에서 가슴과 등 부위의 경우 시간이 지날수록 온도가 조금 하강하는 현상은 다른 부위보다 초기에 높은 피부온을 보여 땀이 많이 나고 이에 따른 열발산이 높은 것으로 판단된다. 이러한 결과는 일반적으로 운동으로 인한 열발산과 땀이 증발되는 과정에서 열을 필요로 하므로 피부표면으로부터 증발에 필요한 열이 흡수되어 피부온이 내려가는 현상에 기인한 연구 결과와 일치하는 것으로 판단된다(Kim and Choi, 2004; Kim and Bae, 2013). 실험기간 동안에 측정된 온도의 변화량은 개발된 작업복이 기존 작업복에 비해 낮은 온도를 유지하는 것으로 나타났고, 특히 배, 등, 상환 부위의 경우 개발 작업복은 피부온이 낮아지는 경향을 보여 기존의 작업복과 뚜렷한 차이가 있었다. 한편, 운동 직후 두 의복 모두 평균 피부온의 저하가 일어났으나, 기존 작업복 착의 시에 비하여 개발 작업복 착의 시에 피부온의 저하가 더 많이 나타났다. 이는 개발된 작업복 착의 시에 발한량이 더 적으며, 의복 내부의 냉각된 공기가 발함 및 피부온 상승을 억제한 것으로 판단된다. 국소별 평균 피부온도를 분석한 결과, 가슴 부위의 경우 기존 작업복은 34.8±0.2℃, 개발 작업복은 34.6±0.4℃로 운동기 2(Ex. 2)까지는 유의미한 차이가 없었으나 회복기 2(Rec. 2)와 운동기 3(Ex. 3)에서 유의미한 차이를 보였고

(p < .05), 회복기 3(Rec. 3)에서도 유의미한 차이를 보였다(p < .001). 배 부위에서는 기존 작업복은 35.1±0.2℃, 개발 작업복은 33.7±0.6℃로 모든 구간에서 유의미한 차이를 보였다. 등 부위의 경우 기존 작업복 35.1±0.2℃, 개발 작업복 33.7±0.6℃로 모든 구간에 유의미한 차이를 보였고(p < .05), 운동기(Ex. 3)와 회복기 3(Rec. 3)에서 매우 유의미한 차이를 보였다(p < .0001). 전완 부위의 경우 회복기 1(Rec. 1)까지는 기존 작업복은 34.0±0.3℃, 개발 작업복은 32.5±0.6℃로 유의미한 차이가 없었으나 그 이후로 과업에서 유의미한 차이를 보였다(p < .05). 손등의 경우에는 회복기 1(Rec. 1)까지는 기존 작업복(34.4±0.5℃), 개발 작업복(33.9±0.4℃)로 유의미한 차이가 없었으나 그 이후로 유의미한 차이를 보였다(p < .05). 그리고 이마 부위의 평균 피부온도에서는 운동기 1(Ex. 1)까지는 기존 작업복이 34.2±0.4℃, 개발 작업복이 33.9±0.3℃으로 유의미한 차이가 없었으나 그 이후 시간에서 유의미한 차이를 보였다.

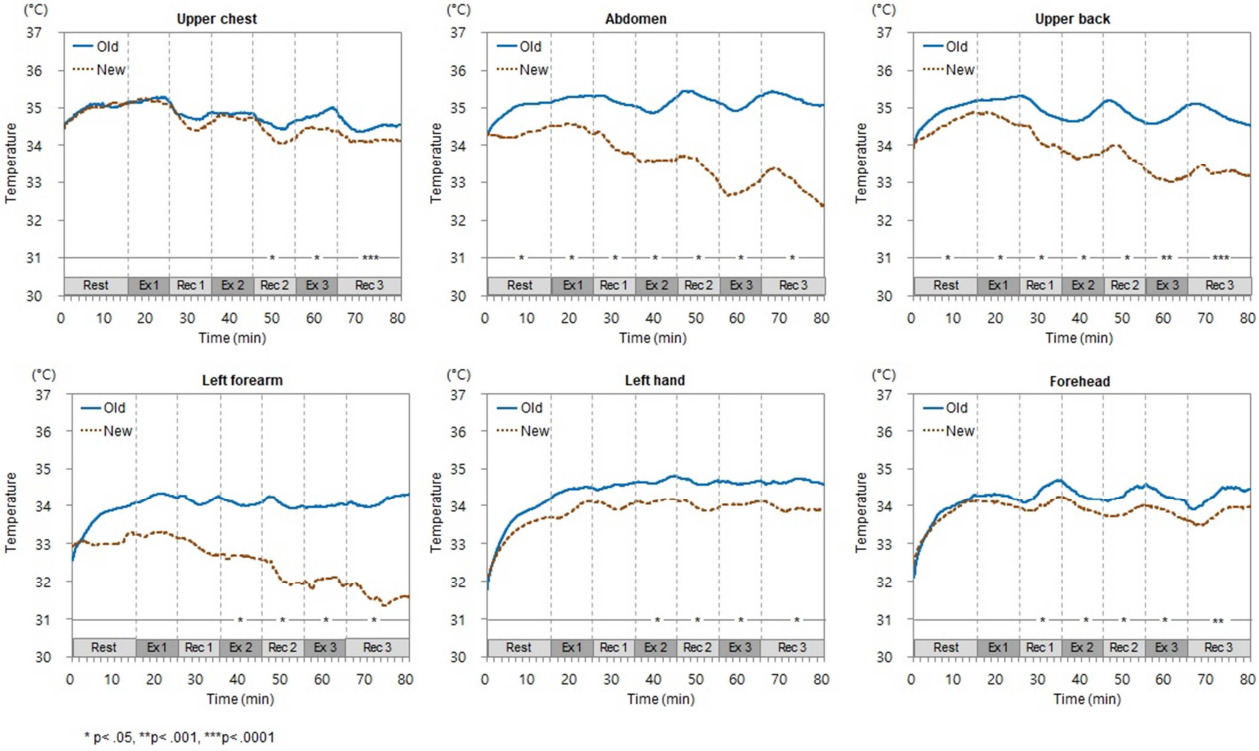


Figure 5. Mean skin temperature during 80min

3.1.2 Microclimate in clothing

의복 내 기후는 의복을 착용함으로써 인체와 의복 사이에 형성되는 미세 기후로서 인체와 가장 인접한 온열 환경이며 인체생리반응 및 건강과 밀접한 관련을 가진다(Choi and Baik, 1995). 본 실험에서 측정된 신체 부위별 평균 온습도 측정 결과, 가슴(Upper chest) 부위는 기존 작업복의 경우 온도 33.0±0.3℃, 습도 78.2±3.7%RH, 개발 작업복은 온도 27.7±2.5℃, 습도 46.0±13.7%RH, 등(Upper back) 부위에서 기존 작업복은 온도 33.2±0.4℃, 습도 74.0±6.7%RH, 개발 작업복은 온도 32.3±1.0℃, 습도 54.2±12.0%RH, 그리고 허리(Left waistline) 부위에서는 기존 작업복이 온도 32.6±0.3℃, 습도 77.8±3.8%RH, 개발 작업복이 온도 30.8±1.8℃, 습도 48.2±13.6%RH로 나타났다(Figure 6). 전반적으로 의복 내 온습도 모두 개발 작업복이 기존 작업복 보다 낮은 결과를 보였다(p < .05). 기존 작업복의 경우 실험기간 동안 가슴, 등, 허리 부위의 의복 내 평균 온도는 32.9±0.4℃, 습도는 76.7±5.1%RH로 나타나 다소 덥고 습한 분포를 보였고, 개발된 작업복은 30.3±2.6℃, 습도 49.5±13.1%RH을 보여 운동이 진행되는 동안 신체 부위의 의복 내 온습도 모두 기존 작업복에 비해 보다 쾌적한 상태임을 알 수 있었다. 이러한 현상은 과업을 수행하는 동안 개발 작업복의 경우 냉각공기가 주입됨으로써 의복 내 공기가 환기됨으로써 해당 신체 부위 온도와 습도가 낮아지는 것으로 판단된다. 또한 의복 내의 기후와 피부온과의 상관관계에서 높은

상관관계(r = .94)를 보여 개발 작업복의 경우 피부온도 감소 효과를 가져온 결과와 관련 있음을 확인할 수 있었다. 이는 의복 내의 기후가 평균 피부온과 매우 높은 상관관계를 가진다는 기존의 연구 결과와도 일치하였다(Hatsuko and Yoshiko, 1975; Kim and Bae, 2013). 추가적으로 실험 작업복 간 신체 부위별 평균 온습도 차이를 휴식기, 운동기, 회복기로 나누어 비교해 보면, 가슴 부위의 경우 휴식기에 기존 작업복은 온습도 모두 상승하는 경향을 보이는 반면, 개발 작업복은 온습도 모두 낮아지는 성향을 보였다(p < .001). 운동기와 회복기에서는 기존 작업복의 온도 변화는 휴식기 이후 상승된 온도를 지속적으로 유지하였고, 습도의 경우 상승과 하강 반복하면서 상승하였다. 개발 작업복은 휴식기 이후 감소된 온도를 유지하고, 습도는 휴식기 이후 운동기 1(Ex. 1) 이후 상승과 하강을 반복하였으나 일정한 수준의 온도를 유지하고 있었다. 등 부위의 온도에서는 두 실험복 모두 휴식기에 상승하고, 그 이후 과업에서 일정한 온도를 유지하고 있으나 회복기 2(Rec. 2), 운동기 3(Ex. 3), 회복기 3(Rec. 3)에서 유의미한 차이를 보였다(p < .05). 휴식기 습도의 경우는 기존 작업복에서는 상승하였으나, 개발 작업복에서는 낮아지는 경향을 보였다(p < .001). 그리고 운동기와 회복기 동안에 기존 작업복의 경우 휴식기 이후 습도를 유지하고, 개발 작업복의 경우에는 상승과 하강을 반복하면서 증가하는 추세를 보였다. 허리 부위의 온도의 경우 등 부위와 유사한 패턴을 보였다. 신체 부위별 의복 내 기후 분석 결과 온도의 경우 개발 작업복은 전반적으로 낮았고, 습도의 경우 기존 작업복에서는 운동기와 회복기에서 70%RH 이상으로 나타났다. 이와 같은 이유는 개발 작업복이 냉각공기 공급함으로써 땀이 빠르게 증발시키고, 의복 내 열을 밖으로 배출하여 의복 내 습도를 낮춘 것으로 추정되며, 이 것은 서열 스트레스를 경감시키는데 더욱 효과적인 것으로 판단된다. 각 신체 부위마다 측정된 의복 내 온습도 변화 추세에 차이를 보이는 것은 냉각조끼 내에서 분사되는 냉각공기의 공급라인의 배열 위치에 영향을 받은 것으로 보인다.

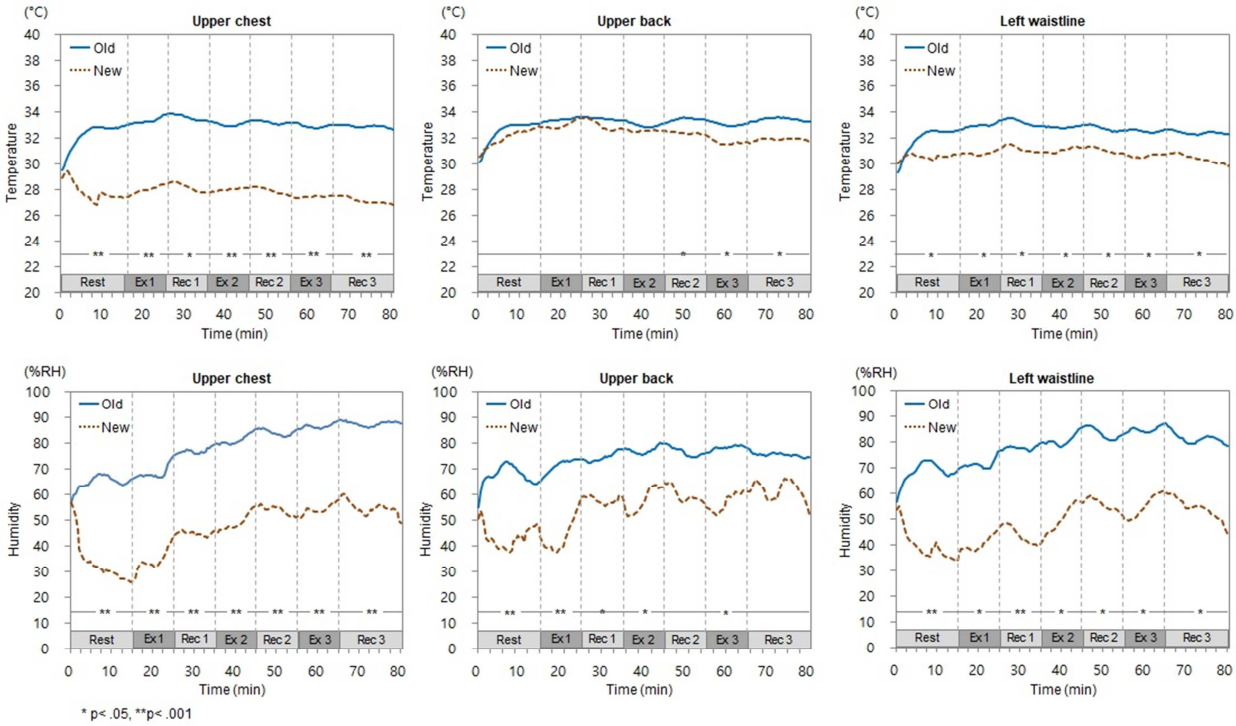


Figure 6. Mean temperature and humidity inside clothing during 80min

3.1.3 Heart rate

Figure 7는 실험이 진행되는 동안의 심박수의 변화량을 보여주고 있다. 심박수는 1분당 심장 수축의 횟수로 보통 안정 시의 심박수는 60~80 beats/min로 운동의 강도 및 환경 온도에 따라 비례하여 증감하며, 연령 및 운동의 단련 정도에 따라 차이가 있을 수 있다(Kim and Cho, 2014). 착의 실험 80분 간의 평균 심박수를 측정한 결과 기존 작업복은 106.5±14.9bpm, 개발 작업복은 101.3±10.4bpm를 보

였고, 실험복 간 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p < .05). 또한 과업 구간별 작업복 간의 차이를 분석한 결과, 전반적으로 개발 작업복이 모든 구간에서 낮은 심박수를 보였고, 운동기와 회복기에서 개발 작업복은 증가 추세를 보이지 않은 반면에 기존 작업복의 경우에는 심박수가 점차 증가하는 경향을 보였다. 또한 운동기 및 회복기 모든 구간에서 개발 작업복이 기존 작업복 대비 상대적으로 낮게 나타났다. 실험복 간 초기 휴식기와 운동기 1(Ex. 1)에서는 유의미한 차이가 없었으나 회복기 1(Rec. 1)부터 기존 작업복 착의 시에 개발 작업복 보다 휴식기와 운동기 모두 심박수가 유의미하게 상승하였다(p < .05). 또한 심박수는 에너지 소비량과 정적인 상관관계를 보이고 있어 에너지 소비를 추정하는데 활용될 수 있다(Park et al., 2004). Park et al. (2004) 연구에 따르면 에너지 소비량 계산식은 다음과 같다: 에너지 소비량(남자) = -8477.604 + (체중 × 6.418) + (심박수 × 51.426) + [(체중 × 심박수) × 1.018], 에너지 소비량(여자) = -100.127 + [체중 × (-106.729)] + (심박수 × 12.580) + [(체중 × 심박수) × 1.251]이다. 본 결과를 심박수를 이용하여 에너지 소비량으로 계산하면 기존의 작업복의 경우 4.25 kcal/min, 개발된 작업복은 3.65 kcal/min으로 개발된 작업복이 에너지 소비량이 낮음을 확인하였다. 이와 같은 결과는 개발 작업복 착용 시에 온열 작업부담을 줄이는데 효과적임을 판단할 수 있다.

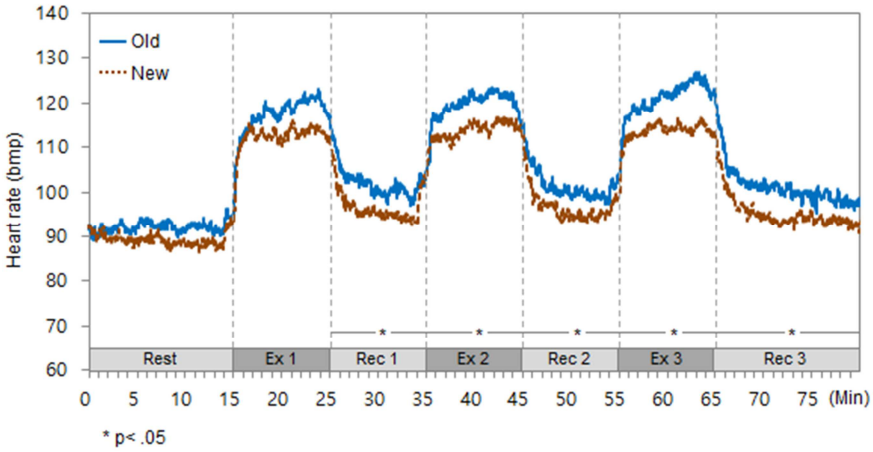


Figure 7. Heart rate during wearability test

3.1.4 Subjective sensations

본 연구에서는 실험이 진행되는 동안 작업복 착용에 따른 쾌적감, 온열감, 습윤감, 피로도를 함께 평가하였다. Figure 8은 실험 진행 시간의 경과에 따른 피실험자의 주관적 반응을 보여준다. 쾌적감, 온열감, 습윤감은 의복 착의 시 의복 내 기후에 따라 '상쾌하다', '덥다', '축축하다'. 등에 대한 반응과 관련이 있고 주관적 착의감 판단의 중요한 기준이다(Harada, 1995). 또한 일반적으로 주관적 착의 반응은 피부온의 변화와 관련이 있으며 생리적 반응에 영향을 받는다(Bulcao et al., 2000). 실험 결과 4가지 주관적 착용감각에 대하여 유의미한 차이를 보였다(p < .05). 구체적으로 살펴보면, 쾌적감은 실험복 모두 시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 보였고, 평균 점수 비교 결과 기존 작업복(3.54±0.49) 보다 개발 작업복(3.14±0.33)이 보다 쾌적한 것으로 나타났다. 실험 초기인 휴식기부터 실험복 모두 어느 정도 불편함을 느끼는 상태였으나, 운동기와 휴식기에서 기존 작업복의 경우 개발 작업복 대비 높은 상승률을 보이고 있었다. 온열감에 대한 평균 점수는 기존 작업복이 3.13±0.58로 개발된 작업복 2.79±0.44 보다 다소 높은 것으로 나타났다. 실험복 모두 운동기 2(Ex. 2)부터 점차적으로 높아졌으나 개발 작업복의 경우 운동기 2(Ex. 2)와 회복기 3(Rec. 3)에서 다시 낮아지는 상태를 유지하였다. 습윤감은 기존 작업복은 평균 2.18±0.71, 개발 작업복은 평균 2.82±0.52로 두 작업복 모두 초기 휴식기에 약간 습한 상태였으나 기존 작업복은 시간이 지날수록 습한 수준을 보였고, 개발 작업복은 약간 정도의 습한 수준을 보였다. 특히 기존 작업복의 경우 운동 후반기(Ex. 2)와 회복기 3(Rec. 3)에서 습한 수준 이상을 보여 매우 부정적인 착용감 보인 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Figure 5의 기존 작업복의 신체 부위별 높은 습도 측정치의 결과를 반영하고 있는 것으로 보인다. 실험과업을 수행하는 동안 피로도에 대한 반응은 두 작업복 모두 실험시간이 경과함에 따라 지속적으로 상승하는 추세를 보였다. 피로도 평균은 기존 작업복 2.55±0.60, 개발 작업복 2.43±0.60을 보였다. 기존 작업복의 경우 회복기 구간에도 지속적으로 피로감이 누적되는 경향을 보인 반면에 개발 작업복의 경우에는

운동기 2(Ex. 2) 이후 피로가 증가하지 않는 특징을 보였다. 주관적 감각 평가 결과로 볼 때 기존 작업복 대비 개발 작업복이 쾌적감, 온열감, 습윤감, 피로도에 있어 긍정적 영향을 미친 것은 냉각공기가 피부온 및 의복 내 기후 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

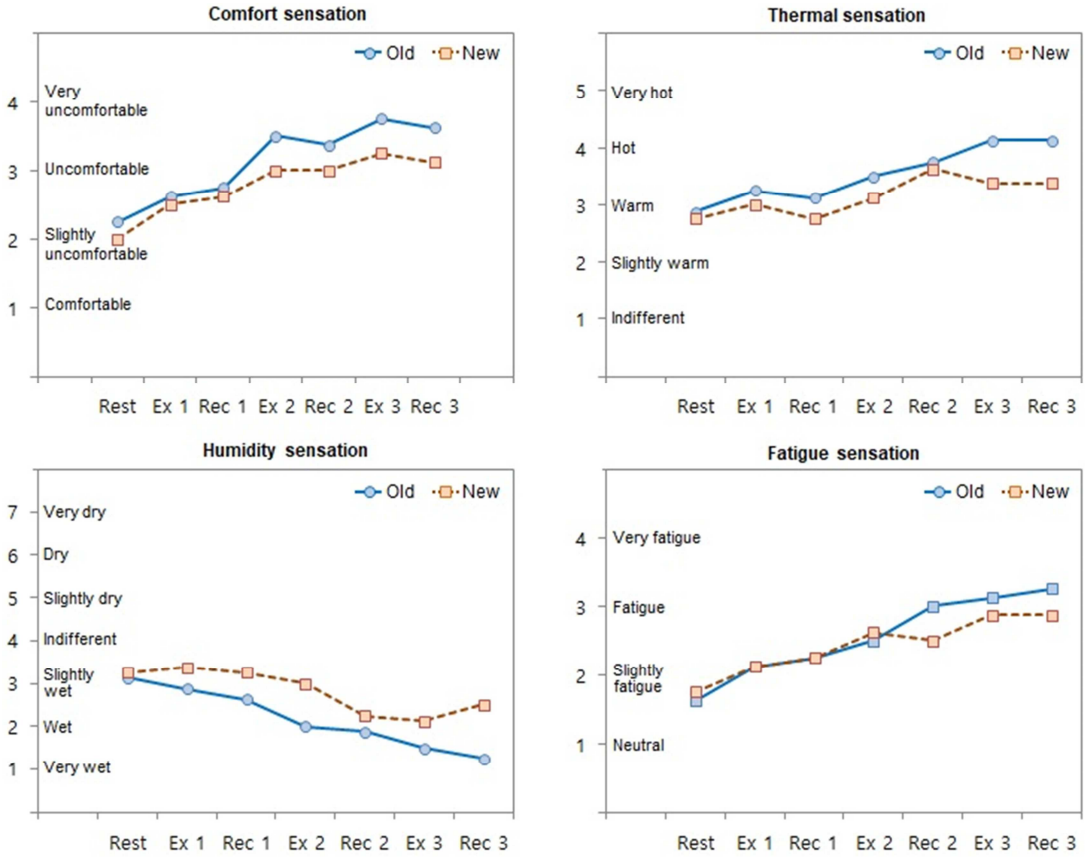


Figure 8. Subjective sensation during the experiment with old and new working clothes

3.2 Greenhouse and field test

3.2.1 Greenhouse environment

Figure 9는 온실 실험에서 측정된 의복 내 온습도 변화량을 보여준다. 신체 부위별 평균 온습도 측정 결과, 가슴 부위의 경우에는 기존 작업복은 30.4±0.4℃, 66.4±4.8%RH, 개발 작업복은 27.5±2.2℃, 58.5±4.1%RH를 보였고, 등 부위는 기존 작업복이 31.7±0.2℃, 62.2±5.6%RH, 개발 작업복이 28.4±2.2℃, 54.6±5.7%RH였다. 그리고 허리 부위는 기존 작업복이 32.0±0.4℃, 59.9±5.6%RH, 개발 작업복은 29.9±1.3℃, 52.3±4.5%RH로 측정되었다. 휴식기 동안에는 실험복 모두 의복 내 습도에 차이가 없었으나 작업 시와 회복기에서는 유의미한 차이를 보였다($p < .05$). 기존 작업복 경우에 온도가 조금 상승하였고, 습도는 작업 초기부터 상승하였다. 개발 작업복의 의복 내 온도는 작업 초기에 서서히 낮아 지는 추세를 보였고, 습도는 작업 초기에는 감소하다가 작업을 하는 동안 조금씩 상승하였다. 특히 휴식기에서 기존의 작업복의 경우 습도의 감소폭이 낮은 반면 개발된 작업복의 경우 습도의 감소폭이 보다 현저하게 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 기존 작업복 보다 의복 내 온습도를 낮게 유지하여 서열 스트레스 저감에 효과를 주고 있음을 판단된다.

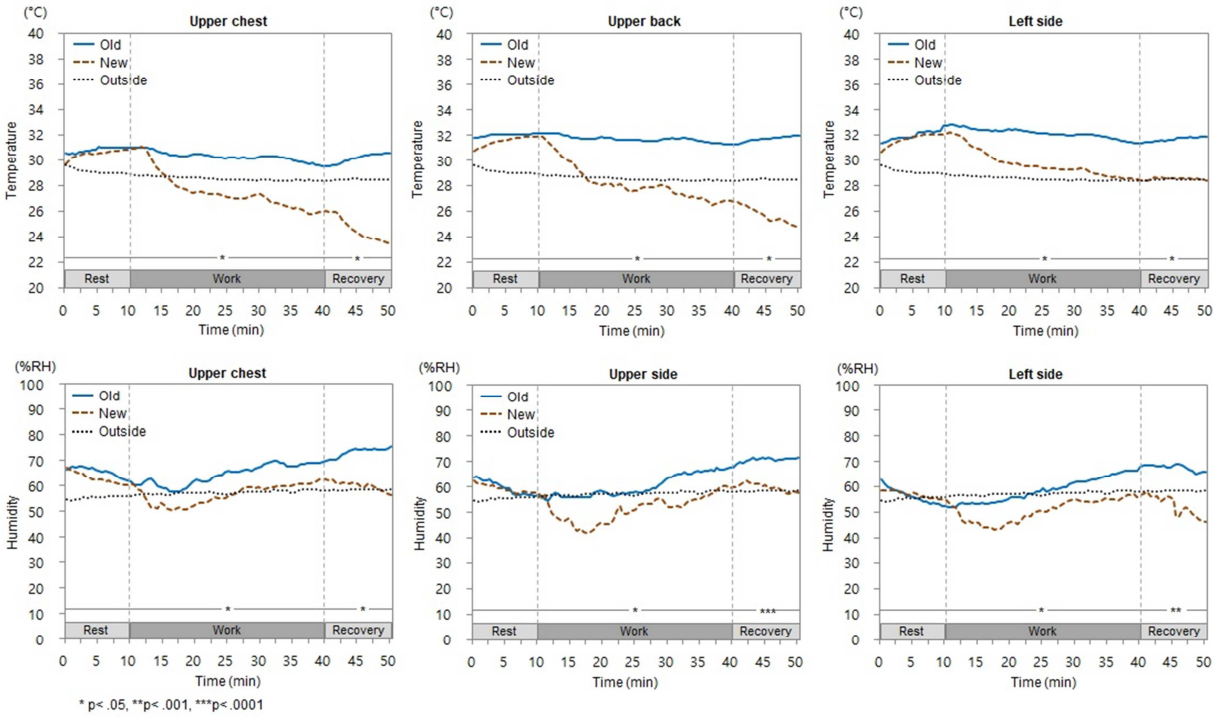


Figure 9. Clothing microclimate temperature and humidity during 50min

3.2.2 Field test

Figure 10는 작업복을 착용한 후, 주요 동작에 대한 착의 관능 평가결과를 보여준다. 작업복에 대한 전반적 만족도는 3.9±0.9를 보여 만족하는 수준으로 나타났다. 신체 부위별로 보면 팔의 수직동작에서 4.2±0.7, 팔의 수평동작에서 4.0±0.8, 허리동작에서 3.7±1.0, 다리동작에서는 3.6±0.9를 보였다. 상체인 팔의 움직임의 경우 4.0 이상으로 만족하는 수준을 보였으나 허리의 경우 허리 숙이기 동작(W-4), 다리의 경우 쪼그려 앉기 동작(L4)에서는 3.0 이하로 어느 정도 불편함이 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 이유는 조끼 아래 부위에 결합된 보텍스 튜브 장치가 허리와 하체동작에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 이에 향후 허리 및 다리동작에 있어 신체 활동 범위를 충분히 고려한 설계 보정이 필요할 것으로 보인다.

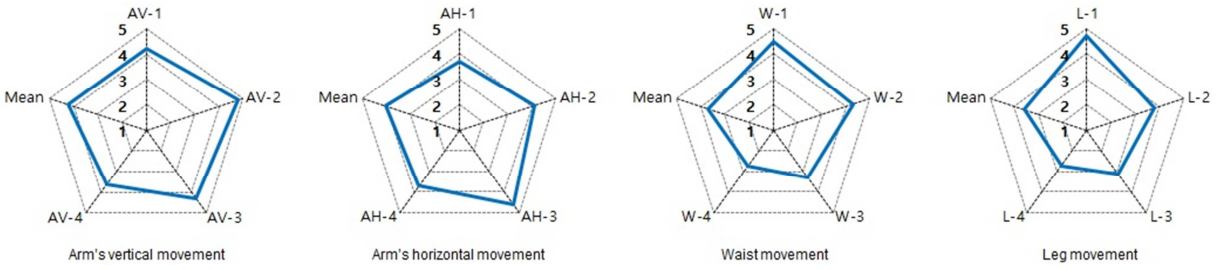
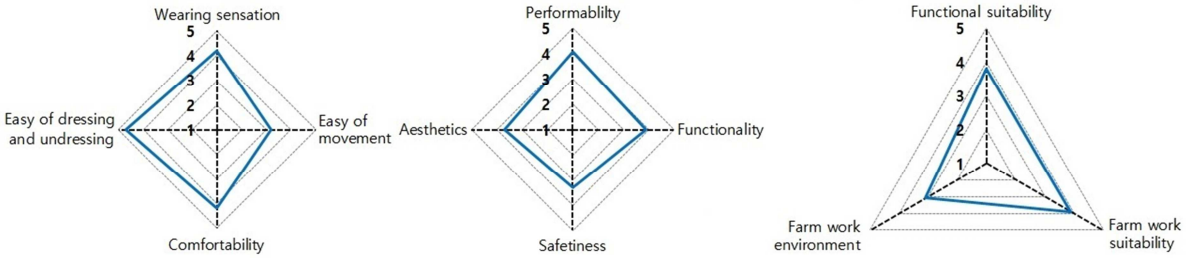


Figure 10. Sensory test about movement of body

Figure 11은 주관적 착용감각 평가 결과를 보여준다. 착용 편의성에 대하여 평균 4.1±0.7로 나타났고, 착의성, 편안감, 착·탈의 용이성

은 4.0 이상으로 만족하였으나 동작 용이성은 3.2으로 어느 정도 만족하고 있는 수준으로 조사되었다((Figure 11 (a)). 이와 같은 이유는 착의 관능에서와 같이 허리 숙이기, 쪼그려 앉기 등의 동작에서 불편함이 있는 것과 동일한 결과로 인한 것으로 판단된다. 주관적 만족도 평가는 평균 3.7±0.7으로 나타나 어느 정도 만족하는 수준으로 평가되었다((Figure 11 (b)). 특히, 주관적 만족도에서 냉각의 성능 측면에서 4.1로 가장 높은 결과를 보였다. 그리고 현장 접목성 평가 결과, 평균 3.6±0.6으로 열스트레스 저감 기능 및 농작업 적합성은 어느 정도 만족하였고, 환경 적합성은 상대적으로 낮게 평가되었다((Figure 11 (c)). 이와 같은 이유는 새로운 방식의 작업복에 익숙하지 않았고, 재배하는 작목(예. 오이, 토마토, 수박)의 작업 특성에 따라 적합한 에어라인 설계의 필요성이 원인인 것으로 조사되었다. 향후 재배되는 작목 마다 작업 특성에 적합한 에어라인 설치가 제공되어야 될 것으로 보인다.



(a) Wearablility (b) Subjective satisfaction (c) Field suitability

Figure 11. Wearablilty, subjective satisfaction, and field suitability

4. Conclusion

본 연구에서는 하우스 시설 작업자의 서열 스트레스 경감을 위하여 보텍스 튜브를 적용한 농작업용 조끼를 개발하였고, 작업복에 대한 인체생리반응 및 현장 평가를 수행하였다. 인체생리반응 실험 결과, 인공기후실 실험에서 신체 부위별 평균 인체생리학적 반응 분석 결과 기존 작업복 대비 개발 작업복이 피부온도 2.9%, 의복 내 평균온도 8.1%, 평균습도 35.5%가 감소하였고, 심박수는 4.9% 감소 효과를 보였고, 온실 환경 실험에서는 의복 내 평균온도는 기존 작업복 대비 8.8% 감소, 습도는 12.3% 감소하였다. 그리고 실제 농업인을 대상으로 한 현장 평가에서 보텍스 튜브를 적용한 냉각조끼에 대하여 긍정적인 반응을 확인할 수 있었다. 이와 같은 연구 결과는 보텍스 튜브 장치를 적용한 작업복이 서열 스트레스를 경감에 효과적인 대안으로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구는 개발 작업복에 대한 인공기후실 및 일부 온실 환경 내에서 평가를 수행하여 보다 다양한 작업 환경을 반영하지 못하였고, 재배 작목에 따른 농작업 특성을 충분히 고려되지 못한 한계가 있다. 또한 농업인을 대상으로 한 만족도 조사에서 상대적으로 낮게 평가된 허리 및 다리동작 용이성 및 재배 작목에 따른 에어라인 설치 등에 대한 개선은 필요할 것으로 보인다. 향후 다양한 농작업 작업 환경에 대한 조사 연구와 더불어 하우스 시설의 규모 및 재배 작목 등에 따라 적용이 가능하도록 실제적 연구가 진행되어야 될 것이다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ014580101)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Adams, P.S., Slocum, A.C. and Keyserling, W.M., A Model for Protective Clothing Effects on Performance, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 6(4), 6-14, 1994.

ASHRAE, ASHRAE Standard 55-1992-Thermal environment conditions for human occupancy, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditiong Engineers, INC*. 2001.

Bulcao, C.F., Frank, S.M., Raja, S.N., Tran, K.M. and Gold-Stein, D.S., Relative Contribution of Core and Skin Temperatures to Thermal Comfort in Humans, *Journal of Thermal Biology*, 25(1-2), 157-150, 2000.

Choi, H.K., Yoo, G.J. and Lim, Y.S., Numerical Study on Energy Separation and Thermodynamic Characteristics of Vortex Tube Flow, *Journal of Computational Fluids Engineering*, 23(2), 23-31, 2018.

Choi, J.M., Cho, J.S. and Cho, G.S., Wear Performance of Pesticide Protective Clothing in Vinyl Plastic Hothouse made with Water-Oil Repellent and Dual Functional Finished Nonwoven Fabrics, *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 20(2), 350-361, 1996.

Choi, J.W. and Baik, Y.J., UV ray protective function and wear sensation of garment for plastichouse worker, *The Korean Journal of Community Living Science*, 6(1), 25-30, 1995.

Choi, J.W. and Hwang, K.S., Effectiveness of Clothing Vest in Hot Environment, *Journal of the Korea Society of Clothing and Textiles*, 25(1), 83-90, 2001.

Choi, J.W., Kim, M.J. and Lee, J.Y., Efficacy of Cooling Vests for Alleviating Heat Strain of Farm Workers in Summer, *Journal of the Korea Society of Clothing and Textiles*, 29(8), 1176-1187, 2005.

Choi, J.W., Kim, M.J. and Lee, J.Y., Evaluation of the Farmers' Workload and Thermal Environments during Cucumber Harvest in the Greenhouse, *The Korean Journal of Community Living Science*, 9(3), 245-253, 2002.

Ha, M., Tokura, H. and Yamashita, Y., Effects of Two Kinds of Clothing Made from Hydrophobic Fabrics on Local Sweating Rates at an Ambient Temperature of 37℃, *Ergonomics*, 38(7), 1445-1455, 1995.

Harada, T., Clothing Comfort and Sense Measurement, *Journal of the Japan Research Association for Textile End-Uses*, 36(1), 24-30, 1995.

Hatsuko, K. and Yoshiko, I., An Ergonomic Study of Microclimate: The Relation Between Skin Temperature and Air Temperature, and Ambient Temperature and Work Load, *Journal of Home Economics of Japan*, 26(3), 191-196, 1975.

Hwang, K.S., Kim, D.H. and Chae, H.S., Development of Functional Fatigue Clothes for Plastic Greenhouse Workers, *The Korean Journal of Community Living Science*, 21(4), 551-558, 2010.

Jeon, E.J., Park, S.K., You, H.C. and Kim, H.E., Wearing Comfort Evaluation of Summer Flight Suit to Improve the Ventilation, *Fashion & Textile Research Journal*, 16(3), 1-7, 2014.

Jung, Y., Chae, Y. and Kim, E., Development of Cooling Garment for Extremely Hot Environment Using a Peltier Device and its Comfort Properties, *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 36(1), 1-11, 2012.

Kim, H.E. and Lee, A.R., Analysis of Thermography on Skin Temperature During Exercise, *Journal of the Korean Society for Clothing Industry*, 14(1), 130-135, 2012.

Kim, H.E., Yeon, S.M., Jeong, J.R. and Lee, M.J., Ergonomic Evaluation of Functional Working-Clothes-focused on Flame-Proof Clothing, *Fashion & Textile Research Journal*, 8(5), 597-603, 2006.

Kim, I., Kim, K., Chae, H.S., Kim, H.C. and Kim, K.R., Analysis of Patent Trends in Industrial Information and Communication Technology Convergence: Personal Protection and Convenience Equipment Applicable to Agriculture, *The Korean Journal of Community Living Science*, 28(3), 377-390, 2017.

Kim, I., Kim, K., Kim, H.C., Seo, M.T., Kim, K. and Ko, M., A Study on an ICT-based System for Safe Management of Agricultural Facilities for Farmers' Safety Activities, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 37(4), 489-502, 2018.

Kim, I., Lee, K.S., Chae, H.S. and Seo, M.T., Design of ICT-based Agricultural Safety Monitoring System Models, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 35(4), 193-204, 2016.

Kim, I., Lee, K.S., Seo, M.T., Chae, H.S., Kim, K.S., Choi, D.P. and Kim, H.C., Development and Ergonomic Evaluation of Spring and Autumn Working Clothes for Livestock Farming Workers, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 35(5), 343-359, 2016.

Kim, M.J. and Choi, J.W., A Study of Factors Influencing on Skin Temperature, *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 23(5), 726-736, 1999.

Kim, M.J. and Choi, J.W., Physiological Responses and Subjective Sensation of the Human Wearing Three Different Materials of Taekwondo Wears, *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 28(5), 582-590, 2004.

Kim, M.Y. and Bae, H.S., Physiological Responses of Wearing Protective Welding Clothing Considering the Work Environment of the Shipbuilding Industry, *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 37(2), 235-245, 2013.

Kim, S.S. and Kim, H.E., The Physiological Responses of Material-improved Working Clothes for Construction Site Worker, *Fashion & Textile Research Journal*, 13(5), 752-758, 2011.

Kim, T.G. and Cho, H.H., The Influence of Wearing Army Combat Uniform on the Thermal Responses in Heat Environment, *Fashion & Textile Research Journal*, 16(1), 167-174, 2014.

Kwon, S.K., Lee, S.J. and Jeong, M., Work-related hazards among farmers, *Journal of the Korean Medical Association*, 55(11), 1046-1053, 2012.

Myung, J.Y., Shim, H.S. and Choi, J.W., A Study on Development of Work Wear for the Plastic House Workers, *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 17(1), 19-35, 1993.

Park, J.Y., Park, S.T., Jun, T.W., Eom, W.S., Lee, D.G., Park, H.J. and Kang, H.J., Prediction of energy expenditure during exercise through heart rate in young adult, *Exercise Science*, 13(3), 311-322, 2004.

Song, J.H. and Kim, T.O., The Vinylhouse Automatic Control System Using Aging Society of the Farm Village, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 12(7), 3164-3168, 2011.

You, K.P., Evaluation of Snow Load Using a Snow Simulation Wind Tunnel for Single Span and Multiple Span Green House Roofs, *Journal of Architectural Institute of Korea*, 28(7), 73-80, 2012.

Author listings

Insoo Kim: ergonomist@korea.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Systems and Information Engineering, Korea University
Position title: Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Ergonomics, HCI

Kyungran Kim: kimgr@korea.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University
Position title: Senior researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Occupational Safety and Health Management, Ergonomic Tools Design

Min-Tae Seo: mtseo85@korea.kr
Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Physical Ergonomics, Occupational Safety and Health Management, Occupational Disease

Soo-In Park: sooinpark@korea.kr
Highest degree: B.S., Department of Electronic Engineering, Konkuk University
Position title: Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Electronic Engineering, Ergonomic Tools Design

Joung-Jin Cha: chiwooking@korea.kr
Highest degree: B.S., Department of Agriculture, Dongguk University
Position title: Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Agricultural Safety and Health, Ergonomic Tools Design

Hyo-Cher Kim: hyocher@me.com
Highest degree: M.S., Public Health, Seoul National University
Position title: Junior researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Industrial Hygiene

Kyungsu Kim: kks1@korea.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Public Health Sciences, University of Alberta
Position title: Junior researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Injury Epidemiology, Agricultural Safety and Health