

발열 스마트웨어 설계를 위한 상체 부분가온 효과 연구

Heating Effect on the Upper Body for Developing Exothermic Smartwear

김소영 · 이예진 · 이희란*

충남대학교 생활과학연구소 전임연구원 · 충남대학교 의류학과 교수 · 금오공과대학교 소재디자인공학과 교수*

Kim, Soyoung · Lee, Yejin · Lee, Heeran*

Research Institute of Human Ecology, Chungnam National University
Department of Clothing and Textiles, Chungnam National University
Materials Design Engineering, Kumoh National Institute of Technology

Abstract

This study examines the skin temperature and blood flow rate changes upon heating or cooling the body trunk and extremities in a low temperature environment, and investigated their relevance to thermal comfort. To accomplish this, the heating areas were set to trunk (back), extremities (arms), and total (back and arms). The blood flow rate, skin temperature, microclimate temperature of the heating area, and subjective thermal comfort data were measured in the rest state, 15 minutes after attaching a heating pad, and 15 minutes after removing a heating pad. In this result, heating back and arms increased blood flow rate by 13.7% and eventually increased to 21.1% after removing the heating pad. Also, removing the heating pad after attaching it, increased the chest skin temperature to 32°C from 31.9°C. The subjective thermal sensation stayed constant at the 0.4 score when heating the back and arms or when heating only the back, which was the same as at rest. Thus, heating the trunk (back) and extremities (arms) in a low temperature environment is effective in raising the blood flow rate, skin temperature, and subjective thermal sensation. Also, the high blood flow rate of the tip of the hand can be maintained after removing the heating pad, so inserting heating pads in the trunk and extremities is preferable, which should be considered in further smartwear studies.

Keywords: Heating, Smartwear, Blood flow, Skin temperature, Thermal sensation

I. 서론

스마트 의류제품은 전체 웨어러블 기기 시장에서 가장 큰 성장 잠재력을 나타내어 2016년도 1.0%에 불과했던 판매량은 2022년에는 15.8%까지 증가하고 시장점유율은 약 40억 달러 이상일 것으로 전망된다(권희영, 2017). 평균수명이 늘어나고 건강에 대한 관심의 증대

와 더불어 다양한 레저 스포츠를 위한 겨울철 야외활동이 많아지면서 착용자의 온열 쾌적감 향상을 위한 발열 스마트 의류제품에 대한 관심은 지속되고 있다. 아웃도어 브랜드인 블랙야크, K2, 네파, 라푸마 등은 해마다 발열 스마트 의류제품들을 출시하고 있으며, 언더웨어 브랜드인 좋은 사람들도 자동발열 제품을 판매하고 있으며, 이외에도 다양한 중소기업들의 제품들도 소개되

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음(2019104039).

* Corresponding author: Lee, Heeran

Tel: +82-54-478-7717, Fax: +82-54-478-7710

E-mail: heeran@kumoh.ac.kr

© 2020, Korean Association of Human Ecology. All rights reserved.

고 있다.

발열 스마트 의류제품은 주로 조끼나 재킷의 형태이며 대부분 등 부위에 발열판이 부착되어 있다. 발열체를 이용하여 인체를 부분적으로 가온하는 것은 착용자의 온열감과 쾌적감에 영향을 미치지만(Arens et al., 2006a; Arens et al., 2006b), 여러 가지 변인이 있으므로 용도에 따른 효과적인 가온 방법을 찾는 것이 중요하다. 인체 가온에 관한 연구는 전신 가온에서 부분 가온에까지 다양하게 이루어져 왔으며 피부온의 변화, 온열 쾌적성, 쾌적한 온도 범위, 혈류 등을 측정하였다. 체간부 가온에 관한 연구를 살펴보면 Cabanac et al.(1972)은 체간부를 일정한 온도로 가온 또는 냉각하면서 피험자가 쾌적한 손의 온도를 선택하였을 때 심부온과의 관련성을 측정하여 쾌적한 온도 범위를 제안하였다. Shim(1997)은 28°C, 50%RH의 환경에서 인체를 부위별로 가온하고 피부온을 측정하였는데, 가슴과 배를 가온하였을 때 전신 피부온이 상승하였다. Arens et al.(2006b)은 인체를 가온 또는 냉각하고 각각의 부위별 온열감과 쾌적성을 측정하였는데 등과 가슴, 골반을 가온하는 것이 전체적인 온열감에 영향을 미치며 가온보다 냉각하였을 때 온열감에 대한 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 김소영, 홍경희(2014)는 발열팩을 이용하여 배, 허리, 어깨 등을 가온 또는 냉각하였을 때의 피부온의 변화를 써모그램을 이용하여 측정하였는데 배 가온은 상완과 대퇴에 영향을 미치며, 어깨 가온은 사지부에 영향을 미치는 것으로 나타났는데 이는 이영숙(1988)의 결과와도 일치하였다. 조하경, 조상우(2015)는 온열패드 부착 위치에 따른 피부온과 온열감을 측정하였는데, 등 부위에 온열패드 부착하면 가슴, 등, 허리의 피부온이 상승하고 인체 전 부위에서 고르게 온열감이 좋은 것으로 나타났다. 이희란 외(2017)는 배와 허리를 가온하고 착용자의 추위 민감도 정도에 따른 쾌적 피부온의 범위를 제안하였다. 체지부 가온에 관한 연구를 살펴보면 정운선(2007)은 발을 가온 또는 냉각하고 전신 온열감에 따른 온도조절을 의복선택 행동방법을 이용하여 분석하였다. 최정화, 박준희(2009)는 족욕을 하였을 때 발의 가온과 냉각이 손가락의 혈류에 영향을 미칠 수 있다고 하였으며, Huizenga et al.(2004)은 환경은 20°C~32°C에서 인체를 가온 또는 냉각하여 피부온을 측정하였는데, 가온의 효과는 냉각 시보다 미미하였으며 손과 발의 경우 일단 냉각이 되면 가온을 해도 회복이 더딘 것으로 나타났다. Wang et al.(2007)은 상체의 말단부위와 전신 온열감과 관련계를 고찰하였는데 손의 가온 또는 냉각에 따라 전신

온열감의 변화가 있었으며, 손가락의 온도를 이용하여 전신 온열감을 예측하였다. 정운선(1994)은 손발이 냉각되면 손을 보온하는 것이 온열감에 효과적이라고 하였으며, Wilson et al.(2002)에 의하면 전완 부위를 37°C 이상 가온하면 피부의 혈관 수축이 약화 된다. 인체의 가온은 혈류에도 영향을 미치며(Detry et al., 1972; Edholm et al., 1956), 인체의 부분 가온은 국소적으로 혈류를 증가시키고(Bharthi et al., 2012; Rabini et al., 2012; Lee et al., 2011), 골격근의 혈류량에도 영향을 미치는 것으로 나타났다(Heinonen et al., 2011). 더운 환경에서 체지부를 냉각하는 것은 착용자의 온열 쾌적성에 영향을 미치며(장충외, 2015) 인체의 부위별 냉각효율에 대한 연구도(황경숙 외, 2007) 이루어져 왔다.

그러나 지금까지의 선행 연구들은 주로 22~26°C의 범위의 상온 환경에서 실험이 이루어졌으며(김소영, 홍경희, 2014; Edholm et al., 1956; Hadama et al., 2006; Jonshon et al., 1975; Tori et al., 1996), 28~32°C의 고온 환경(정운선, 1994; 정운선 2007; 최정화, 박준희, 2009; 황경숙 외, 2007; Shim, 1997) 또는 -5~2°C의 극저온 환경(이희란 외, 2017; 조하경, 조상우, 2015) 등에서 이루어져, 이에 대한 기초 데이터가 어느 정도 확립되어 있으나, 추운 환경인 10~12°C에서 부위별 가온을 한 효과에 관한 연구는 부족한 실정이다. 또한 추운 환경에서 부분 가온시 가온부위나 가온시간에 따른 혈류량의 변화, 피부온도 변화, 주관적 감각을 동시에 측정하여 분석한 연구도 부족하다.

따라서 본 연구에서는 가을 겨울철 야외활동 시의 외부 온도에 해당하는 저온 환경에서(10~12°C, 23%RH) 인체의 체간 및 체지부를 가온하였을 때와 발열체를 제거하였을 때의 피부온 및 혈류량의 변화와 이때의 온열 쾌적성과의 관련성을 살펴보고 발열 스마트 의류제품 설계 시 효과적인 가온 부위 및 방법을 제안하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상자 및 실험의복

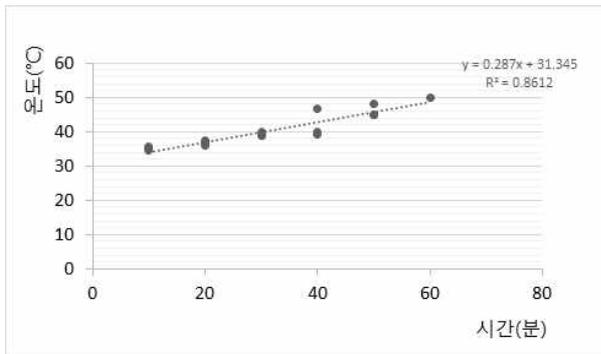
본 연구는 겨울스포츠를 많이 즐기는 20대 남성 8명을 대상으로 연구를 진행하였으며, 연구대상자의 신체 특징은 <표 1>과 같았다. 연구대상자 선정은 제7차 사이즈 코리아(Size Korea, 2017)의 20대 한국인 평균 데이터에 근

〈표 1〉 연구대상자 신체 특징

구 분	연령 (세)	키 (cm)	몸무게 (cm)	BMI	가슴둘레 (cm)	허리둘레 (cm)	엉덩이둘레 (cm)
Mean	24.9	174.9	70.6	23.1	95.7	81.9	96.4
SD	1.8	3.4	3.5	1.1	4.9	5.4	4.1

거하여 선정하였다.

실험의복 상의는 인체에 밀착되는 티셔츠(Pe 80%, Pu 20%)와 아웃도어 자켓(Nylon 100%)을 착용하였으며, 하의는 아웃도어 바지(Nylon 87%, Pu 13%) 1겹을 착용하였다. 실험 시 손과 발은 저온환경(12.1±1.0°C, 26.9±7.6%RH)에 노출된 상태로 실험을 진행하였다. 본 연구에 사용된 발열체는 시중에서 판매되고 있는 불이는 일회용 핫팩으로 40°C이상에서 지속시간 12시간, 평균온도 50°C, 최고온도 60°C, 사이즈 12.5×9.5cm를 사용하였다. 또한 실험에 일정한 온도(45~50°C)의 핫팩을 사용하기 위해 3회에 걸쳐 핫팩의 온도변화를 측정하였다[그림 1]. 측정결과 45~50°C의 핫팩을 사용하기 위해서는 실온에 오픈한 후 50~60분의 시간이 소요되었기 때문에 실험 시작 전 미리 포장 비닐을 뜯어 일정한 온도로 실험을 진행할 수 있도록 하였다. 인체에 부착하기 직전에 FLIR E30 열화상카메라(FLIR Systems, Inc.)를 사용하여 온도를 측정하고 45~50°C에 해당하는 발열체(핫팩)를 사용하였다.



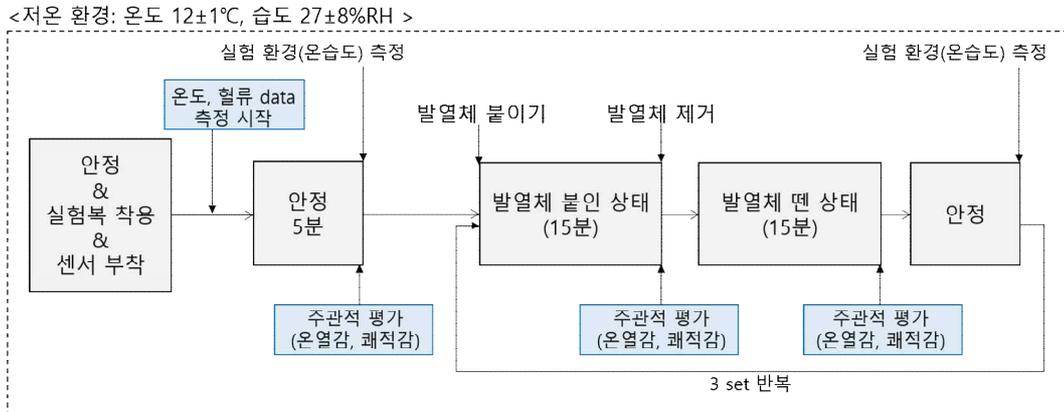
〈그림 1〉 발열체(핫팩)의 온도변화

2. 실험순서 및 측정 장비

실험은 온도 12.1±1.0°C, 습도 26.9±7.6%RH에서 진행되었으며, 처음 안정 후 실험복을 착용한 다음 온도와 혈류 측정센서를 부착하였다. 모든 실험 준비를 마친 후 피

험자는 앉은 자세로 5분간 안정하고, 주관적인 온열감과 쾌적감을 측정하였다. 그 후 발열체를 인체에 붙인 후 15분간 앉아 있었으며, 발열체를 제거하고 15분간 다시 앉아 있었다. 주관적인 온열감과 쾌적감은 매 단계에서 측정하였다. 1세트의 실험이 끝난 후 다른 실험의 영향을 최소화하기 위해 발열체를 붙인 위치의 온열이 모두 없어질 때까지 안정을 취한 후 다음 실험을 진행하였다. 발열체 부착위치는 온도 저하를 느끼는 피부 냉점이 많이 분포된 곳이 따뜻해 질 때 발열효과가 효율적일 것으로 생각되어 내측 전완 부분인 팔과 건갑 아래 등 부분으로 정하였다 (Gerrett et al., 2017). 또한 판매중인 발열의복 대부분은 한 부위에 발열체를 부착한 경우가 많으며, 관련 연구들에서도 주로 한 부위만을 가온하여 발열부위별 온도변화를 관찰했을 뿐 여러 부위를 동시에 가열한 결과를 비교한 연구는 없었다. 따라서 한 부위를 가열하는 것과 두 부위를 동시에 가열하는 것이 피부온과 혈류량을 증가시키는데 얼마나 영향을 주는지를 알아보기로 부착위치를 팔, 등, 팔+등으로 정하였다. 즉, 실험은 발열체를 내측전완부분(팔)에 붙이는 경우, 건갑아래 등 부분(등)에 붙이는 경우, 팔과 등에 모두 붙이는 경우 3가지로 나누어 진행하였으며, 이때 발열체를 붙이는 순서는 라틴스퀘어 방법으로 랜덤하게 진행하였다.

피부온과 발열체 부착위치인 팔과 등 위의 의복내 온도는 피부온도 측정기(Thermistor, LT-8A, Gram, Co., Japan)를 이용하여 측정하였다. 피부온도 측정기(LT-8A)의 측정 온도 범위는 0~70°C였으며, 측정된 데이터는 제공되는 LT software를 사용하여 1초 단위로 저장하였다. 온도 측정은 손등, 넷째 손가락, 가슴, 건갑, 팔, 등에서의 피부온 6점과 팔과 등 위의 의복내 온도 2점으로 총 8점에서 측정하였다. 혈류는 혈류량 측정기(Blood Flow Meter, Technox Inc., Korea)를 이용하였으며, 왼쪽 중지 손가락에서 접촉식(FLO-C1) 디스크 프로브 센서를 사용하여 측정하였다. 이때 한 점에서 측정된 측정값을 통해 혈류량(Blood flow), 혈류 속도(Blood velocity), 혈액량(Blood mass)을 동시에 관찰할 수 있으며, 데이터는



[그림 2] 실험 순서

34970A 데이터 수집/데이터 로거 스위치 장치(Keysigh Technologies, USA)를 이용하여 1초단위로 측정하였다.

3. 주관적 평가

주관적 온열감과 쾌적감 평가는 안정 후, 발열체를 붙이고 15분 후, 발열체를 떼고 15분 후 각각 평가하였다. 이때 전체 주관적 온열감과 쾌적감, 손의 온열감과 쾌적감, 발의 온열감과 쾌적감을 평가하였다. 이때 주관적 온열감은 9점 의미미분척도(-4: 매우 춥다, 0: 보통, 4: 매우 덥다)를 사용하였으며, 주관적 쾌적감은 리커트 7점 척도(1: 매우 불쾌하다, 4: 보통, 7: 매우 쾌적하다.)를 사용하여 평가하였다.

4. 측정데이터 분석

온도와 혈류의 데이터 분석은 처음 안정 후 발열체를 붙이고 5분 후, 10분 후, 15분 후, 발열체를 떼고 5분 후, 10분 후 시점에서 1분 동안의 데이터를 각각 평균하였다. 발열체를 붙이거나 떼고 후 시간에 따른 온도와 혈류 변화, 발열체 부착부위에 따른 차이를 알아보기 위해 일원분산분석(one-way ANOVA; one-way analysis of variance) 및 Duncan 사후검증을 실시하였다. 주관적 온열감과 쾌적감은 발열체를 붙였을 때와 떼었을 때 발열체 부착 위치에 따른 차이가 있는지를 알아보았다. 측정된 모든 데이터는 IBM SPSS 24.0 Statistics를 이용하여 통계처리하였으며, 모든 분석은 유의수준 $p < .05$ 에서 실시하였다.

본 연구의 연구문제는 다음과 같다.

1. 가온부위(팔, 등, 팔과등)에 따른 혈류량, 혈류속도, 혈액량의 차이를 알아본다.
2. 가온시간(발열체를 붙이고 5분 후, 10분 후, 15분 후, 제거 후 5분 후, 10분 후)에 따른 혈류량, 혈류속도, 혈액량의 변화율을 알아본다.
3. 가온부위에 따른 피부온과 의복내 온도 차이를 알아본다.
4. 가온시간에 따른 피부온과 의복내 온도 차이를 알아본다.
5. 가온부위와 가온유무에 따른 온열감 및 쾌적감 차이를 알아본다.

Ⅲ. 연구결과

1. 혈류량, 혈류속도, 혈액량 및 변화율

가온부위(등, 팔, 등과 팔 종합), 가온/가온제거 후 시간에 따른 차이가 있는지를 각각 살펴본 결과, 가온부위에 따라서는 통계적인 차이가 나타났다. 가온부위에 따른 차이는 일원분산분석(ANOVA)과 사후검증(Duncan-test)을 통해 알아보았으며, 결과는 <표 2>에서 보는 바와 같았다. 혈류량의 경우 등을 가온하거나(5.14ml/s) 등과 팔 부위를 동시에 가온한 경우(5.54ml/s)가 팔을 가온한 경우(2.84ml/s)보다 더 높게 나타났다($p < .01$). 혈류속도 역시 등을 가온하거나 등과 팔 부위를 동시에 가온한 경우에는 0.58mm/s로 팔을 가온한 경우(0.41mm/s)보다 더 빠르게 나타났다($p < .05$). 반면 혈액량의 경우에는 등과 팔을 동시에 가온한 경우 상대값이 274.47로 가장 크게 나타났으

며, 팔만 가온한 경우에는 상대값이 235.75로 가장 낮게 나타났다($p<.05$). 즉, 혈액량의 경우 팔과 등을 동시에 가온한 경우가 가장 높게 나타났으며, 혈류량의 경우에는 등을 가온한 경우나 팔과 등을 동시에 가온한 경우 모두 통계적으로 높게 나타났다. 다만 등을 가온한 경우보다는 팔과 등을 동시에 가온한 경우의 혈류량 평균값이 조금 높게 나타났다.

혈류량, 혈류속도, 혈액량 변화율은 각 세트(set)별 안정 시 측정된 데이터 대비 변화율을 계산하였다. 발열체를 가온/가온제거 후 시간에 따른 혈류량 변화율 평균을 가온부위별로 살펴본 결과 [그림 3]과 같았다. 팔을 가온한 경우 가온과 상관없이 처음 안정 시 혈류량보다 전반적으로 낮아졌으며, 등을 가온한 경우 시간이 지남에 따라 가온과 상관없이 혈류량이 낮아지는 경향을 보였다.

반면, 팔과 등을 동시에 가온하면 전반적으로 안정 시 대비 혈류량이 증가하였으며, 이때 혈류량의 변화율은 가온 15분 후 13.7% 증가하였고, 발열체를 제거한 후 10분이 경과한 후에도 21.1%로 증가하였다.

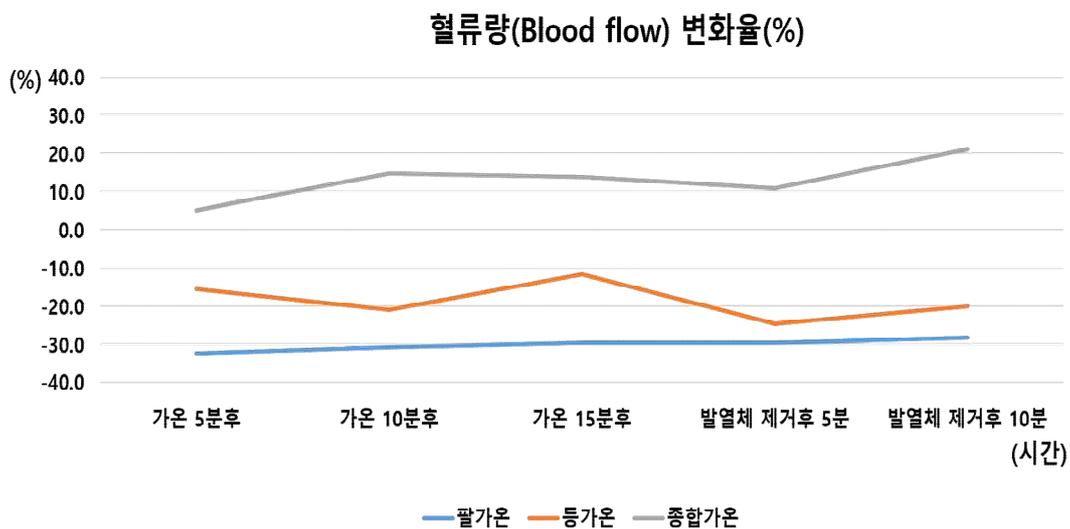
혈류속도의 경우에도 팔을 가온한 경우에는 안정시보다 혈류속도가 낮아지므로 변화율이 -값을 나타냈으나, 팔과 등을 동시에 가온한 경우에는 전반적으로 안정 시의 혈류속도와 큰 차이가 나타나지 않았다[그림 4].

발열체를 가온/가온제거 후 시간에 따른 혈액량 변화율 평균을 가온부위별로 살펴본 결과[그림 5], 팔을 가온한 경우나 등을 가온한 경우에는 안정 시 혈액량보다 적어졌으나, 팔과 등을 동시에 가온하는 경우 가온 후 시간이 증가할수록 변화율이 조금 증가하다가 발열체 제거 후에는 안정 시의 혈액량과 비슷하게 나타났다.

〈표 2〉 가온부위에 따른 혈류량, 혈류속도, 혈액량 측정결과

구 분		등 가온	팔 가온	종합(등과 팔) 가온	F	Duncan
혈류량 (ml/sec)	Mean	5.14 ^a	2.84 ^b	5.54 ^a	5.112 ^{**}	a>b
	(SD)	(5.18)	(1.47)	(5.54)		
혈류속도 (mm/sec)	Mean	0.58 ^a	0.41 ^b	0.58 ^a	4.378 [*]	a>b
	(SD)	(0.38)	(0.15)	(0.35)		
혈액량 (상대값)	Mean	264.71 ^{a,b}	235.75 ^b	274.47 ^a	3.373 [*]	a>b
	(SD)	(77.19)	(66.89)	(82.96)		

* $p<.05$, ** $p<.01$



[그림 3] 가온/가온제거 후 시간에 따른 가온부위별 혈류량 변화율(%) 평균

〈표 3〉 가온부위에 따른 피부온과 의복내 온도 측정 결과(단위: °C)

구 분		등 가온	팔 가온	종합(등과 팔) 가온	F	Duncan
팔 의복내 온도	Mean	28.96 ^b	33.10 ^a	32.69 ^a	30.392 ^{***}	a>b
	(SD)	0.79	3.44	3.49		
팔 피부온	Mean	30.12 ^b	33.20 ^a	32.69 ^a	36.083 ^{***}	a>b
	(SD)	0.83	2.05	2.45		
등 의복내 온도	Mean	33.16 ^a	29.34 ^b	33.51 ^a	20.367 ^{***}	a>b
	(SD)	4.01	1.76	4.31		
등 피부온	Mean	34.69 ^a	33.01 ^b	34.98 ^a	27.076 ^{***}	a>b
	(SD)	1.60	1.07	1.52		
견갑 피부온	Mean	31.86	31.69	31.68	0.405	-
	(SD)	0.85	1.26	1.22		
가슴 피부온	Mean	32.43	32.58	32.48	0.466	-
	(SD)	0.77	0.76	0.76		
손등 피부온	Mean	21.92	22.36	21.78	0.297	-
	(SD)	3.60	2.17	3.96		
손가락	Mean	18.94	16.48	19.20	2.210	-
	(SD)	6.82	2.74	7.47		

*** $p=.000$

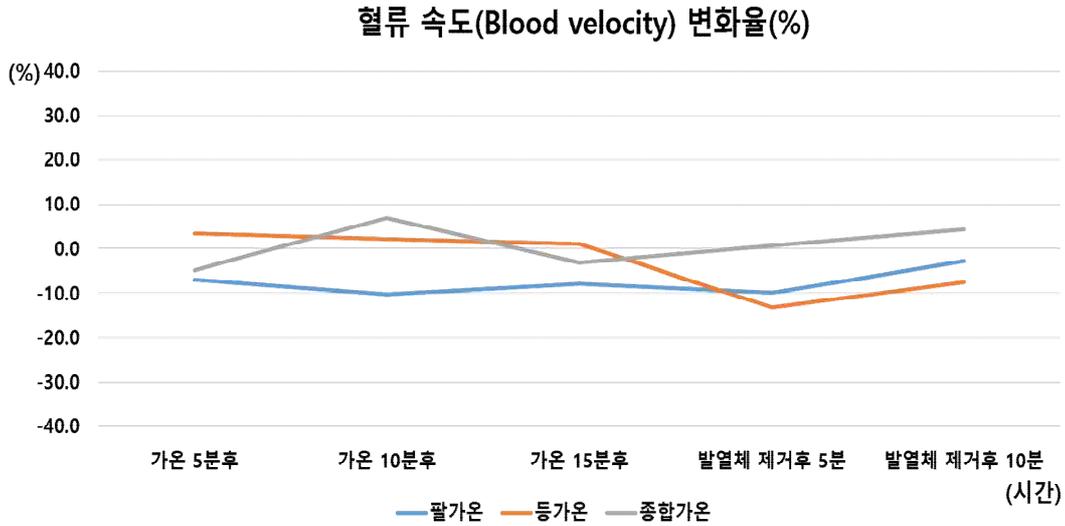
종합적으로 살펴보면 팔가온을 하거나 등 가온을 한 경우의 혈류량, 혈액량의 변화율은 감소하는 경향을 보였으나, 종합가온 시에는 증가하거나 안정시의 상태를 유지하였다. 즉 체지방(팔)과 체지방(등)을 종합적으로 동시에 가온하는 것이 저온환경에서 혈류를 안정시 상태로 유지하는데 효과적임을 알 수 있었다.

2. 피부 및 의복내 온도 변화

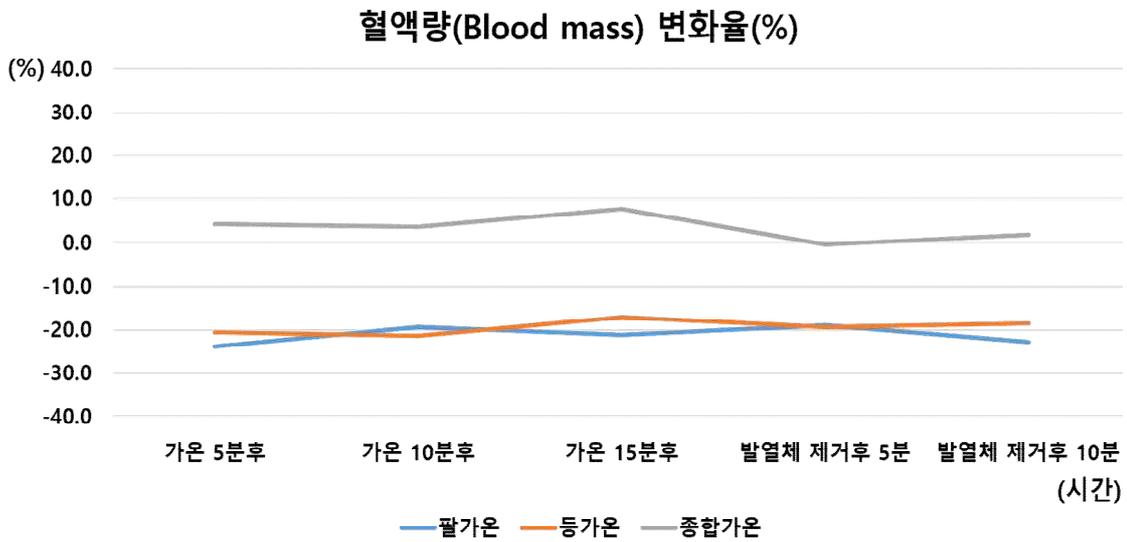
온도는 총 8점에서 측정하였는데, 가온부위인 팔과 등에서는 피부온과 의복내 온도 4점을 각각 측정하였고, 가온부위가 아닌 곳은 가슴, 견갑, 손등, 넷째손가락 4점에서의 피부온을 측정하였다. 먼저, 가온부위(등, 팔, 등과 팔 종합)에 따른 온도변화나 가온/가온제거 후 시간에 따른 온도변화를 각각 살펴본 결과, 가온부위에 따라 시간에 따라 통계적인 차이가 나타났다. 가온부위에 따른 차이는 일원분산분석(ANOVA)과 사후검증(Duncan-test)을 통해 알아보았으며 결과는 <표 3>에서 보는바와 같았다. 팔 피부온과 팔 의복내 온도는 팔을 가온한 경우(팔 가온, 종합가온)에 온도가 유의미하게 높아졌으며, 가온하지 않은 경우 온도가 낮게 나타났다($p=.000$). 등 피부온과 의복내 온도 역시 등을 가

온한 등 가온과 종합 가온의 경우에 온도가 높았으며, 가온하지 않은 경우 온도가 낮게 나타났다($p=.000$). 그 외 견갑, 가슴, 손등, 손가락 4점에서의 피부온은 가온부위에 따라 통계적인 차이가 나타나지 않았다. 즉, 저온환경(12°C)의 경우에는 가온을 직접적으로 한 부위 외에는 피부온이 증가하지 않음을 알 수 있었다.

다음으로 가온/가온제거 후 시간에 따른 온도변화에 차이가 있는지를 일원분산분석(ANOVA)과 사후검증(Duncan-test)을 통해 살펴본 결과<표 4>, 팔 의복내 온도와 팔 피부온, 등 의복내 온도와 등 피부온, 가슴 피부온에서 통계적 차이가 나타남을 알 수 있었다. 팔 의복내 온도와 팔 피부온, 등 의복내 온도의 경우 발열체를 붙인 후 5분 후, 10분 후, 15분 후의 온도가 안정 시, 발열체를 제거한 후의 온도에 비해 통계적으로 높게 나타났다($p=.000$). 등 피부온의 경우에는 발열체를 붙인 후 15분이 경과한 후의 온도(35.08°C)가 통계적으로 가장 높게 나타났으며($p=.000$), 안정시의 온도가 33.01°C 으로 가장 낮게 나타났다. 가슴 피부온의 경우에는 안정시의 온도가 31.93°C 으로 통계적으로 가장 낮게 나타났으며, 그 외 발열체를 붙인 후 5분 후, 10분 후, 15분 후, 발열체를 제거하고 5분 후, 10분 후의 온도는 32.36~32.75°C 으로



[그림 4] 가온/가온제거 후 시간에 따른 가온부위별 혈류속도 변화율(%) 평균



[그림 5] 가온/가온제거 후 시간에 따른 가온부위별 혈액량 변화율(%) 평균

안정시보다 점차 높아지고 있음을 알 수 있었다($p < .01$).

안정 시와 발열체를 붙인 후와 제거 후 시간 변화에 따른 부위별 온도를 [그림 6]에 제시하였다. 손등 피부온과 손가락 온도는 발열 유무와 상관없이 처음 안정시보다 온도가 점점 내려가고 있었다. 반면 발열체를 부착한 등 부위와 팔 부위의 온도는 발열체 부착 시 온도가 상승하였다가 발열체를 제거함과 동시에 피부온과 의복내 온도가 내려감을 알 수 있었다. 그러나 팔 피부온은 팔 의복 내

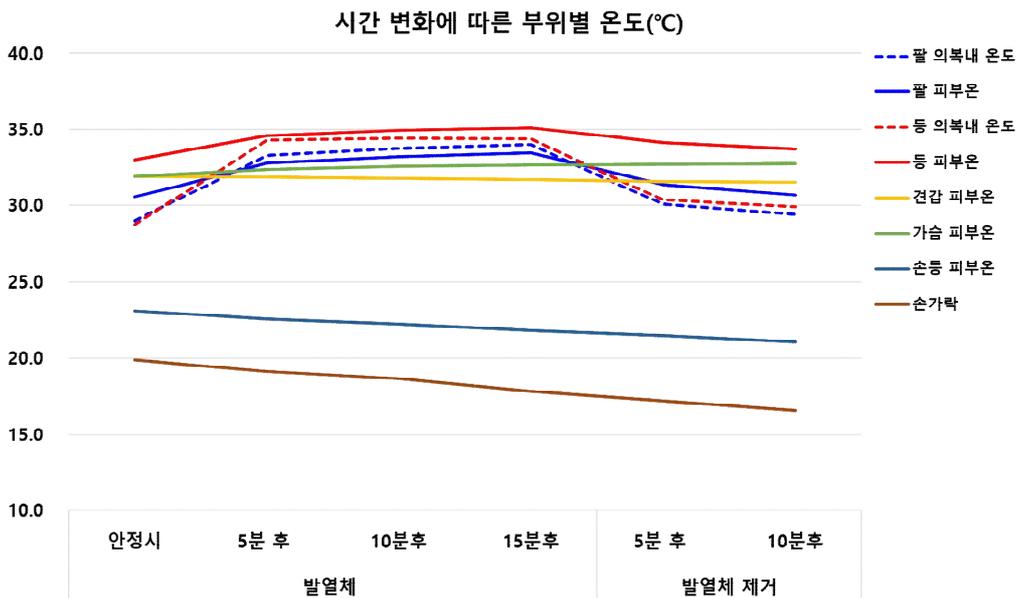
온도가 높아지거나 낮아지면 함께 변화하였으나, 등 피부온의 경우에는 등 의복 내 온도가 높아지거나 낮아지면 같이 변화하는 경향을 보이기는 했으나 발열체를 제거한 후에도 피부온도가 크게 낮아지지는 않았다. 가슴 피부온과 견갑 피부온은 발열체를 부착하지 않았기 때문에 온도 변화가 크지는 않았으나, 안정시 온도에 비해 점차적으로 온도가 상승하는 경향을 보였다. 즉, 팔과 등의 가열로 인해 시간이 지나면서 가슴 부위의 피부온이 점차 증가하는

경향을 보인 것으로 생각된다. 이러한 결과는 등 부위에 선행연구 결과와도 일치한다(조하경, 조상우, 2015). 온열패드 부착시 가슴, 등, 허리의 피부온이 상승한다는

〈표 4〉 가온시간에 따른 피부온과 의복내 온도 측정 결과 (unit: °C)

구 분		발열체				발열체 제거		F	Duncan
		안정시	5분 후	10분 후	15분 후	5분 후	10분 후		
팔 의복내 온도	Mean	28.99 ^b	33.29 ^a	33.73 ^a	33.98 ^a	30.07 ^b	29.43 ^b	17.656 ^{***}	a>b
	(SD)	0.94	3.30	3.62	3.90	1.52	1.27		
팔 피부온	Mean	30.55 ^b	32.78 ^a	33.21 ^a	33.44 ^a	31.37 ^b	30.67 ^b	9.783 ^{***}	a>b
	(SD)	1.19	2.09	2.50	2.83	1.67	1.41		
등 의복내 온도	Mean	28.76 ^b	34.28 ^a	34.41 ^a	34.35 ^a	30.34 ^b	29.90 ^b	15.444 ^{***}	a>b
	(SD)	1.63	4.19	4.27	4.33	1.75	1.86		
등 피부온	Mean	33.01 ^d	34.55 ^{a,b,c}	34.94 ^{a,b}	35.08 ^a	34.10 ^{b,c}	33.68 ^{c,d}	6.606 ^{***}	a>b>c>d
	(SD)	1.24	1.55	1.77	1.93	1.29	1.12		
견갑 피부온	Mean	31.94	31.90	31.78	31.70	31.60	31.56	0.444	-
	(SD)	1.03	1.04	1.12	1.24	1.14	1.20		
가슴 피부온	Mean	31.93 ^b	32.36 ^a	32.57 ^a	32.66 ^a	32.70 ^a	32.75 ^a	4.368 ^{**}	a>b
	(SD)	0.87	0.70	0.67	0.66	0.69	0.70		
손등 피부온	Mean	23.08	22.53	22.20	21.81	21.46	21.06	0.886	-
	(SD)	3.54	3.33	3.38	3.26	3.22	3.17		
손가락	Mean	19.88	19.12	18.63	17.82	17.20	16.57	0.725	-
	(SD)	6.83	6.89	6.57	6.02	5.46	4.91		

** $p<.01$, *** $p=.000$



[그림 6] 발열체/발열체 제거 후 시간 변화에 따른 부위별 온도

3. 주관적 평가 결과

발열부위(등, 팔, 종합)와 발열유무에 따른 주관적인 전체적 온열감과 쾌적감, 부위별(손과 발) 온열감과 쾌적감을 측정된 결과는 <표 5>에서 보는 바와 같다. 발열체를 붙인 경우와 제거한 경우를 살펴보면, 전체온열감에서는 발열체를 붙인 경우에는 온열감이 상대적으로 더 좋게 나타난 반면($p<.01$), 부위별 온열감에서는 발열체 유무와 상관없이 춥다고 응답하였다. 특히 발열부위와 발열유무에 따른 온열감을 살펴보면 등을 가온하거나 등과 팔을 종합적으로 가온한 경우의 온열감이 0.4점으로 보통이라고 응답한 반면, 팔에 있던 발열체를 제거한 경우에는 -1.8점으로 춥다고 응답하였다($p<.05$). 전체적 쾌적감은 발열부위, 발열유무와 상관없이 4.0~4.6점으로 보통이라고 응답하였으나, 손이나 발 부위의 쾌적감은 3.3~4.0점으로 낮게 평가되었다. 특히, 가온하지 않은 발보다 가온을 한 손 부위의 쾌적감이 조금씩 낮게 평가되었고 온열감에서도 좀 더 춥게 평가되었다. 즉, 전체적 온열감은 등에 발열체를 붙인 경우나 등과 팔에 종합적으로 발열체를 붙인 경우 온열감이 높게 나타났다. 이러한 결과는 선행 연구 결과(Arens et al., 2006b) 등과 가슴, 골반과 같이 체간부를 가온하는 것이 전체적인 온열감에 영향을 미친다는 결과와 일치한다.

종합적으로 혈류, 피부온, 주관적인 온열감 결과를 살펴보기 위해 통계적으로 차이를 보인 값들의 결과를 <표 6>에 정리하였다. 이때 동일한 시점에서의 평가 및 측정 결과를 비교하기 위해 가온부위(등, 팔, 종합)에 따라 발열체 부착 후 15분, 발열체 제거 후 10분일 때의 값을 정리하였다. 혈류결과에서는 혈류량(Flow), 혈류속도(Vel.), 혈액량(Mass)의 변화율을 비교하였으며, 피부온은 통계적 차이를 보인 팔 의복내 온도, 팔 피부온, 등 의복내 온도, 등 피부온, 가슴 피부온을 정리하였다. 주관적 평가에서도 통계적 차이를 보인 전체적 주관적 온열감에 대한 평균값을 비교하였다.

또한 본 연구에서 측정된 데이터들을 좀 더 시각적으로 종합 비교하기 위해 [그림 7]과 같이 가온유무(부착과 제거)와 가온부위(등, 팔, 종합)에 따른 평균값을 Z-score로 환산하여 비교하였다. 이 때 피부온은 가온부위가 아닌 부분에서 통계적 차이를 보인 가슴 피부온에 대한 평균값만을 비교하였다.

그 결과 종합적으로 팔과 등을 종합 가온한 경우가 주관적 온열감, 혈류량(Flow)과 혈액량(Mass)의 변화율, 가슴 피부온이 높게 나타났다. 또한 종합(등과 팔)가온 후 발열체를 제거한 후에도 혈류량(Flow), 혈류속도(Vel.), 혈액량(Mass)의 변화율이 여전히 높게 유지되고 있음을

<표 5> 발열체 유무와 가온부위에 따른 온열감 및 쾌적감 결과

구 분		발열체유무	발열체			발열체 제거			F	Duncan
		가온부위	등	팔	종합 (등&팔)	등	팔	종합 (등&팔)		
온열감	전체	Mean	0.4 ^a	-0.8 ^{a,b}	0.4 ^a	-1.1 ^{a,b}	-1.8 ^b	-1.3 ^{a,b}	2.357*	a>b
		(SD)	1.9	1.8	1.7	1.4	1.5	1.4		
	손	Mean	-2.1	-1.6	-1.9	-2.4	-3.0	-2.5	.729	-
		(SD)	1.8	2.1	1.6	1.6	0.9	1.4		
	발	Mean	-1.6	-1.4	-1.6	-2.0	-1.9	-2.0	.261	-
		(SD)	1.2	1.7	1.3	1.1	1.5	1.5		
쾌적감	전체	Mean	4.6	4.5	4.4	4.0	4.0	4.1	.395	-
		(SD)	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2		
	손	Mean	3.8	3.6	3.3	3.4	3.3	3.1	.295	-
		(SD)	1.4	1.5	1.2	1.1	1.3	1.1		
	발	Mean	3.5	4.0	3.8	3.4	3.6	3.5	.243	-
		(SD)	1.2	1.1	1.4	1.4	1.2	1.4		

* $p<.05$

주관적 온열감: -4(매우 춥다), 0(보통), 4(매우 덥다)

주관적 쾌적감: 1(매우 불쾌하다), 4(보통), 7(매우 쾌적하다)

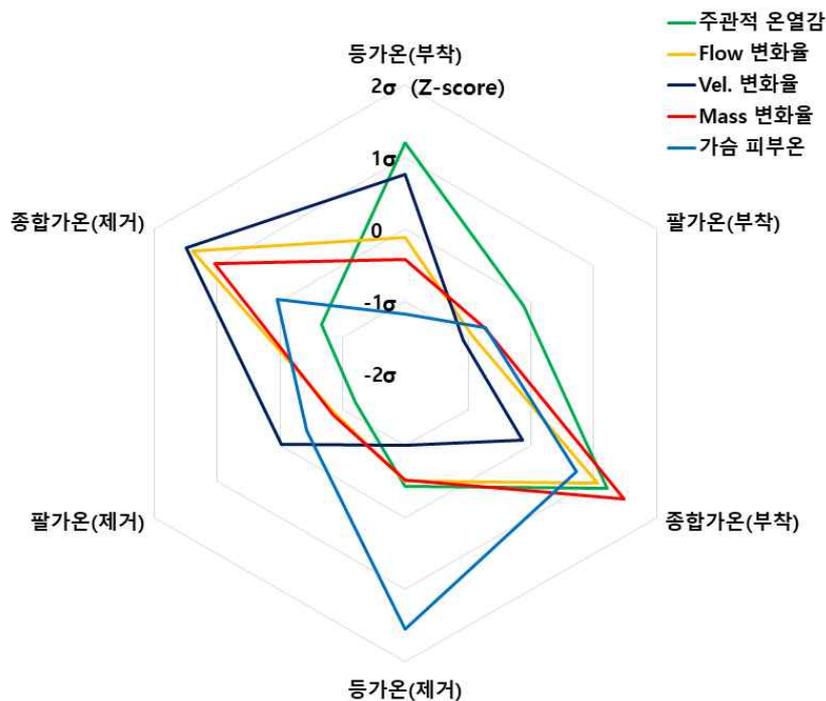
알 수 있었다. 등 가온 후에는 주관적인 온열감과 혈류속도(Vel.) 변화율이 높게 나타났으며, 등 가온 후 발열체를 제거한 후에는 가슴 피부온이 높게 유지되고 있었다. 그러나 팔부위만을 가온하는 것은 혈류, 피부온, 주관적 온열감에 영향을 주지 않았다. 따라서 저온환경에서는 체간부(등)와 체지부(팔)를 동시에 가온하는 것이 혈류, 피부온, 주관적 온열감을 높이는데 효과적임을 알 수 있었다.

IV. 결론

본 연구에서는 발열 스마트 의류제품설계의 기초자료로 사용하고자 저온 환경에서(10~12°C, 23%RH)에서 발열시 효과적인 부위와 가온방법을 찾기 위해 혈류와 피부온을 측정하고 주관적인 온열쾌적성을 평가하였다. 발

〈표 6〉 가온부위와 발열체 부착유무에 따른 혈류변화율, 피부온과 의복내온도, 주관적 온열감 결과

발열체 부착유무		발열체 부착 후 15분			발열체 제거 후 10분		
		등	팔	종합 (등&팔)	등	팔	종합 (등&팔)
혈류변화율 (%)	가온부위						
	혈류량(Flow)	-11.7	-29.5	13.7	-20.2	-28.2	21.1
	혈류속도(Vel.)	1.0	-7.7	-3.2	-7.4	-2.7	4.5
	혈액량(Mass)	-17.1	-21.2	7.6	-18.5	-22.7	1.8
온도(°C)	팔 의복내온도	29.4	29.1	37.2	30.5	36.9	30.1
	팔 피부온	30.3	30.0	35.6	31.8	35.6	31.5
	등 의복내온도	36.2	29.8	29.7	29.2	37.3	30.1
	등 피부온	36.0	34.0	33.1	33.0	36.4	34.1
	가슴 피부온	32.5	32.6	32.8	32.9	32.6	32.7
주관적 온열감 (-4점~4점)		0.4	-0.8	0.4	-1.1	-1.8	-1.3



[그림 7] 혈류, 피부온, 주관적 온열감의 종합적 비교(Z-score 값)

열부위는 체간부인 등, 체지부인 팔, 체간부와 체지부의 종합가온(등과 팔) 3가지로 나누어 실험하였으며, 데이터 분석은 발열부위별, 발열시간별(안정시, 발열체 부착 후, 발열체 제거 후)로 나누어 결과를 비교하였다. 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 혈류량, 혈류속도의 경우 등을 가온하거나 등과 팔 부위를 동시에 가온한 경우가 높게 나타났으며, 혈액량의 경우에는 등과 팔을 동시에 가온한 경우가 크게 나타났다. 또한 안정시 대비 혈류량과 혈액량의 변화율을 살펴보면 종합가온 시 증가하거나 안정시의 상태를 유지한 반면 팔과 등 중 한 부위를 가온한 경우에는 변화율이 감소하는 경향을 보였다. 따라서 체지부(팔)와 체간부(등)를 종합적으로 동시에 가온하는 것이 저온환경에서 효과적임을 알 수 있었다.

둘째, 피부온의 경우에는 가온한 부위의 온도만 높아졌으며, 그 외 가온하지 않은 견갑, 가슴, 손등, 손가락 4 점에서의 피부온은 가온부위에 따라 차이가 나타나지 않았다. 발열체를 붙인 후, 발열체를 제거한 후의 온도변화를 살펴본 결과 체지부(팔)를 가온한 경우에는 발열체를 제거함과 동시에 온도가 낮아졌으나, 체간부(등)를 가온한 경우에는 발열체 제거시 온도가 낮아지는 경향성을 보이는 것은 있었으나 통계적으로 유의미하게 차이가 날 정도로 떨어지지 않는 않았다. 또한 가슴 피부온의 경우에는 직접적으로 발열체를 부착하지 않았기 때문에 온도변화가 크지는 않았으나, 안정시 온도에 비해 점차적으로 온도가 상승하는 경향을 보였다. 즉, 팔과 등의 열이 시간이 지나면서 가슴 부위로 전달되어 피부온이 증가하는 경향을 보이는 것으로 생각된다. 그러나 손등 피부온과 손가락 온도는 발열유무와 상관없이 점차 낮아졌다. 따라서 손의 경우에는 저온환경에서도 보호할 수 있는 장치가 별개로 이루어져야 할 것이다.

셋째, 주관적 온열쾌적감에서는 등에 발열체를 붙인 경우나 등과 팔에 종합적으로 발열체를 붙인 경우 온열감이 높게 나타났다. 반면 손과 발 부위별 온열감에서는 발열체 유무, 발열체 부위와 상관없이 모두 좋다고 응답하였다.

종합적으로 살펴보면 등과 팔을 동시에 가온하는 경우에는 주관적 온열감, 혈류량(Flow)과 혈액량(Mass)의 변화율, 가슴 피부온이 높게 나타났으며, 발열체 제거 후에도 여전히 혈류량(Flow), 혈류속도(Vel.), 혈액량(Mass)의 변화율이 높게 유지되었다. 따라서 저온환경에서는 체간부(등)와 체지부(팔)를 동시에 가온하는 것이 혈류, 피부

온, 주관적 온열감을 높이는데 효과적임을 알 수 있었다. 또한 발열체를 제거한 후에도 손끝의 혈류 변화율은 높게 유지되는 것을 알 수 있었다.

따라서 추후 발열 스마트웨어를 개발할 경우 체간부위에만 발열체를 넣기보다는 체간부와 체지부에 모두 발열체를 넣는 것이 효율적임을 알 수 있었다. 또한 본 연구에서 선택한 등과 팔을 동시에 가온할 경우 시간이 지남에 따라 가온부위의 반대쪽인 가슴 피부온이 증가하였는데, 이는 가온 접촉 면적이 증가하면서 인체로의 전도 복사열이 증가하게 되어 인체 다른 부위까지 영향을 준 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 종합 가온을 15분 하였을 때 주관적 온열감 평균이 0.4점(보통)으로 나타났으므로, 저온 환경(10~12°C)의 경우 45~50°C 정도의 발열체로 15분 이상 가온되도록 세팅하는 것이 적절한 조건임을 확인 할 수 있었다. 게다가 이 경우에는 주관적 온열감 증가와 함께 혈류량도 증가하는 것으로 보아 생리적으로도 긍정적 효과를 주는 것을 알 수 있었다. 따라서 이러한 연구 결과는 통증관리 또는 관절염 치료 등에 효과적인 헬스케어 스마트의류 제작에도 활용가능 할 것으로 예상된다.

그러나 본 연구에서는 가온시간이 실제 발열 스마트웨어 착용시간보다 짧았기 때문에 가온에 의한 열이 다른 부위에 미치는 영향을 볼 수 없었다. 또한 평소 추위를 잘 타는지 유무에 따라 그룹을 나누어 평가하기 않았기 때문에 평소 개인적인 특성이 반영되지 못하였다. 따라서 후속연구에서는 평소 추위를 잘 견디는지 등과 같은 개인적 특성에 따라 그룹을 나누어 여러 명을 대상으로 실험이 이루어져야 할 것이다.

주제어: 발열, 스마트웨어, 혈류, 피부온, 온열감

REFERENCES

- 권희영(2017). 미국 스마트의류, 웨어러블 시장에 활력을 넣는다, <http://news.kotra.or.kr/user/globalAllBbs/kotranews/album/2/globalBbsDataAllView.do?dataIdx=160864&column>에서 인출.
- 김소영, 홍경희(2014). 핫팩을 이용한 인체의 부위별 가온과 제거가 사지부 피부 열화상도에 미치는 영향. *한국생활과학회지*, 23(6), 1205-1215.
- 이영숙(1988). 국소가온이 한냉혈관반응에 미치는 영향.

- 해부 생물인류학, 1(1), 107-119.
- 이희란, 홍경희, 이예진, 김소영(2017). 스마트 베이스 레이어 의복의 효과적인 발열모드 설정을 위한 사용자의 자율적 가열행동 연구. *한국의를학회지*, 41(5), 872-882.
- 장충, 전대근, 정운선(2015). 대학생의 신체부위별 추위 지각 반응과 착의 행동. *한국지역사회생활과학회지*, 26(4), 775-783.
- 정운선(1994). 사지말초부의 피복면적이 쾌적성과 체온조절반응에 미치는 영향. *한국의를학회지*, 18(2), 163-169.
- 정운선(2007). 족부의 냉각과 가온이 행동성 체온조절에 미치는 영향. *한국지역사회생활과학회지*, 18(4), 681-686.
- 조하경, 조상우(2015). 발열 기능 스마트 의류를 위한 인체 온열반응 기반의 최적의 발열위치 연구. *감성과학*, 18(3), 93-106.
- 최정화, 박준희(2009). 온·냉 족욕을 이용한 온도 자극이 혈관 반응 및 체온 조절 반응에 미치는 영향. *한국생활환경학회지*, 16(2), 172-185.
- 황경숙, 최정화, 이경숙(2007). 사지부의 냉각효율성에 관한 연구. *한국지역사회생활과학회지*, 18(1), 87-95.
- Arens, E., Zhang, H., & Huizenga, C. (2006a). Partial-and whole-body thermal sensation and comfort - Part I: Uniform environmental conditions. *Journal of thermal biology*, 31(1-2), 53-59.
- Arens, E., Zhang, H., & Huizenga, C. (2006b). Partial-and whole-body thermal sensation and comfort - Part II: Nonuniform environmental conditions. *Journal of thermal biology*, 31(1-2), 60-66.
- Bharthi, H.P., Murthy, S.N., Babina, N, Kadam, A, & Raghavendra, M. (2012). Management of pelvic pain in primary dysmenorrhea using a hot hip-bath: a pilot study. *Alternative therapies in health and medicine*, 18(1), 24.
- Cabanac, M., Massonnet, B., & Belaiche, R. (1972). Preferred skin temperature as a function of internal and mean skin temperature. *Journal of applied physiology*, 33(6), 699-703. doi:10.1152/jappl.1972.33.6.699
- Detry, J. M., Brengelmann, G. L., Rowell, L. B., & Wyss, C. R. A. I. G. (1972). Skin and muscle components of forearm blood flow in directly heated resting man. *Journal of applied physiology*, 32(4), 506-511.
- Edholm, O. G., Fox, R. H., & Macpherson, R. K. (1956). The effect of body heating on the circulation in skin and muscle. *The Journal of physiology*, 134(3), 612-619.
- Gerrett, N., Ouzzahra, Y., & Havenith, G. (2017). *Distribution of skin thermal sensitivity. Agache's measuring the skin: Non-invasive investigations* (2). Switzerland: Springer, 1285-1301.
- Hamada, S., Torii, M., Szygula, Z., & Adachi, K. (2006). Effect of partial body cooling on thermophysiological responses during cycling work in a hot environment. *Journal of thermal biology*, 31(1-2), 194-207.
- Heinonen, I., Brothers, R. M., Kempainen, J., Knuuti, J., Kalliokoski, K. K., & Crandall, C. G. (2011). Local heating, but not indirect whole body heating, increases human skeletal muscle blood flow. *Journal of applied physiology*, 111(3), 818-824.
- Huizenga, C., Zhang, H., Arens, E., & Wang, D. (2004). Skin and core temperature response to partial- and whole-body heating and cooling. *Journal of thermal biology*, 29(7-8), 549-558.
- Johnson, J. M., & Rowell, L. B. (1975). Forearm skin and muscle vascular responses to prolonged leg exercise in man. *Journal of applied physiology*, 39(6), 920-924.
- Lee, C. H., Roh, J. W., Lim, C. Y., Hong, J. H., Lee, J. K., & Min, E. G. (2011). A multicenter, randomized, double-blind, placebo-controlled trial evaluating the efficacy and safety of a far infrared-emitting sericite belt in patients with primary dysmenorrhea. *Complementary therapies in medicine*, 19(4), 187-193.
- Rabini, A., Piazzini, D. B., Tancredi, G., Foti, C., Milano, G., Ronconi, G., & Galli, M. (2012). Deep heating therapy via microwave diathermy

- relieves pain and improves physical function in patients with knee osteoarthritis: a double-blind randomized clinical trial. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 48(4), 549-559.
- Shim, B. J. (1997). Effects of local heating upon skin temperature of the whole body. *Korean journal of human ecology*, 4(1), 33-54.
- Torii, M., Yamasaki, M., & Sasaki, T. (1996). Effect of prewarming in the cold season on thermoregulatory responses during exercise. *British journal of sports medicine*, 30(2), 102-111.
- Wang, D., Zhang, H., Arens, E., & Huizenga, C. (2007). Observation of upper-extremity skin temperature and corresponding overall-body thermal sensations and comfort. *Building and environment*, 42, 3933-3943.
- Wilson, T. E., Cui, J., & Crandall, C. G. (2002). Effect of whole-body and local heating on cutaneous vasoconstrictor responses in humans. *Autonomic Neuroscience: Basic and clinical*, 97(2), 122-128.

Received 21 February 2020;

1st Received 2 April 2020;

Accepted 20 April 2020