

저온환경에서 여성 온열쾌적성 유지를 위한 쾌적온도범위 및 동적 온도변화 연구

김소영 · 이옥경¹⁾ · 이희란^{2)†}

충남대학교 생활과학연구소

¹⁾충남대학교 의류학과

²⁾금오공과대학교 소재디자인공학과

Women's Comfort Temperature Range and Dynamic Temperature Change for Maintaining Thermal Comfort in Low Temperature Environment

Soyoung Kim, Okkyung Lee¹⁾, and Heeran Lee^{2)†}

Research Institute of Human Ecology, Chungnam National University; Daejeon, Korea

¹⁾Dept. of Clothing and Textiles, Chungnam National University; Daejeon, Korea

²⁾Dept. of Material Design Engineering, Kumoh National Institute of Technology; Gumi, Korea

Abstract: Various types of clothing are being developed to boost thermal comfort during cold winters along with research on change of body temperature when heating is applied. There is a noticeable behavioral difference by gender when using heating panels in a cold environment; however, research on women has been insufficient. This study find a temperature range that provides sustainable thermal comfort in a low temperature environment by observing temperature and change of temperature when subjects are classified according to physical activities or cold sensitivities. For the study results, 8 women in their 20s were subjected to experiment in a low temperature environment for 75 minutes (sitting position: 30 min., running: 15 min., and sitting position: 30 min.). Subjects were asked to turn on/off the heating panel freely to analyze the range of comfortable temperature and clothing microclimate; in addition, skin temperature and heating panel temperature were measured and analyzed at 9 points. As a result, temperature at which subjects turn on and off the heating panel indicated a statistically meaningful difference between the cold sensitivity group depending on exercise or non-exercise. The range of comfortable abdomen temperature was wider than the lower back and was significantly reduced when the subject was running. The range of comfortable temperature was also largest for the heating panel temperature, microclimate, and skin temperature in suggesting that adequate adjustment will be required depending on the surrounding environment or movement of the wearer.

Key words: comfort temperature range (쾌적온도범위), thermal comfort (온열쾌적성), dynamic temperature change (동적 온도변화), low temperature environment (저온환경)

1. 서 론

외부 환경조건 변화와 상관없이 의복 내 쾌적 환경이 유지 되도록 의복을 개발하는 것은 작업능률 향상과 신체기능 증진을 위해 고려되어야하는 가장 중요한 의복 개발요소 중 하나이다(Choi & Kim, 2011). 특히 겨울철 추운환경에서는 의복만으로 체온을 유지하는데 한계가 있기 때문에 착용자의 온열쾌적

성을 향상시키기 위한 다양한 형태의 발열 의복이 개발되고 있으며, 이에 대한 연구도 다양하게 이루어지고 있다. 최근에는 발열 및 온도조절 성능을 기반으로 한 스마트 소재의 개발과 함께 ICT 기술과의 융·복합화가 활발히 이루어지면서(Cho et al., 2014), 다양한 형태의 발열 스마트웨어가 개발 중에 있다. 특히 코오롱, 블랙야크, K2 등을 선두로 착용자의 온열 쾌적성 향상을 위한 겨울용 발열 스마트웨어 제품이 출시되었을 뿐 아니라(Kim et al., 2020; Lee & Lee, 2014; Lee & Lee, 2015), 전도성 고분자 섬유, 열선 및 발열체를 의복에 접목한 다양한 형태의 발열 스마트웨어에 대한 연구도 이루어지고 있는 추세이다(Kim et al., 2016; Kim & Lee, 2019; Yao et al., 2016). 이러한 스마트의류는 최근 웨어러블 분야에서 가장 잠재적인 아이템으로 전망되면서 연평균 50% 이상의 성장률을 나타내 2024년에는 시장 점유율이 4조원(40억 달러) 이상이 될 것으로

†Corresponding author; Lee, Heeran

Tel. +82-54-478-7717, Fax. +82-54-478-7711

E-mail: heeran@kumoh.ac.kr

© 2020 (by) the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

예측되기도 하였다(IPR, 2018). 현재 국내에서 제품화되어 출시된 스마트웨어 대부분은 발열체를 삽입하거나 부착하여 착용자의 신체 일부를 부분적으로 가온하는 방식이 주를 이루고 있다. 그뿐만 아니라 이와 관련된 연구들 역시 가온 효과에 관한 연구나(Arena et al., 2006; Huizenga et al., 2004; Kim et al., 2020; Lee et al., 2020), 발열 스마트웨어에 대한 평가, 이를 활용한 제품 개발(Cho & Cho, 2015; Lee & Jeong, 2010) 등이 많이 이루어지고 있다. 그러나 대부분 남녀 구분 없이 개발이 이루어지거나 주로 남성을 대상으로 연구, 개발된 경우가 많았다. 성별에 따른 신체적 특성에 대한 선행연구들을 구체적으로 살펴보면, Jeong(2000; 2001)은 남성과 여성이 신체적·생리적으로 차이가 있을 뿐 아니라 추위에 대한 행동 조절 능력도 다르다고 보고하였다. 또한 Lee et al.(2017)의 연구에서는 성별에 따른 온열 쾌적감, 추위에 견디는 시간, 발열판 사용 시간 등 추운 환경에서 온열을 유지하기 위한 행동 특성에 차이가 나타남을 보였기 때문에 추운 환경에서 온열 쾌적성을 유지하기 위해서는 남성과 여성을 구별하여 발열 스마트웨어의 발열 조건을 설정하는 것이 필요하다고 하였다.

이러한 부분가온에 대한 연구는 추운환경에서 온열쾌적성을 유지하기 위한 것 외에도 통증 완화를 위해 인체 부위를 가온하는 헬스케어 제품 측면에서 이루어지기도 하였다. Hwang and Lee(2012; 2013)는 복부 질환으로부터 발생하는 통증 완화를 위해 수동온도 조절 장치가 부착된 면상 카본 직조발열체 형태를 개발하였고 착용자의 활동성을 고려하여 발열체가 허리 부분에 삽입된 여성용 스마트 보온 거들을 설계, 개발하였다. 그 외 Kim and Hong(2014)은 온열팩을 이용하여 인체를 부위별로 가온한 후 이때의 피부온을 서모그래피로 측정하였는데, 배부위 가온시에는 대퇴와 상완, 어깨부위 가온 시에는 손가락·발가락의 온도가 잘 유지되어 체간부는 배부위를, 체지부는 어깨 부위를 가온해주는 것이 효과적이라고 하였다. 또한 Jeong et al.(2009)은 추운 환경에서의 온열 쾌적성 유지가 작업능률에 영향을 미치기 때문에 여성의 경우 외부 활동 시 온열 쾌적성을 매우 중요하게 고려해야 한다고 하였다. 그러나 지금까지 이루어진 선행연구들은 부분 가온 시 인체의 생리적 특성 변화에 대한 연구가 대부분이며, 추운환경에서 온열쾌적성을 유지하기 위한 여성 쾌적 온도범위나 운동과 같은 다양한 환경에서의 인체온도변화 등과 같은 연구는 부족한 실정이다. 그러므로 이러한 저온환경에서의 발열과 이와 관련된 인체데이터, 쾌적 온도범위는 추운환경에서 스포츠 활동 뿐 아니라 다양한 작업 시에 착용하는 스마트 의복 개발에 적용이 가능할 뿐 아니라 온열요법이 적용된 헬스케어 의류 제품 개발을 위한 기초자료로도 활용될 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 저온환경에서 온열쾌적성을 유지할 수 있는 다양한 여성용 스마트웨어 개발의 기초자료로 활용하고자 추위에 대한 민감도나 운동과 같은 환경변화에 따른 쾌적온도범위를 알아보고자 하였다. 이를 위해 온열쾌적성이 유지되도록 복부와 뒤 허리의 발열판을 on/off하여 그 시점의 온도를 측정하였고, 상황별, 부위별 온도변화를

알아보고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1. 실험순서

본 연구는 우리나라 12월 초겨울 날씨일 때의 쾌적 온도범위를 알아보기 위해 실험을 진행하였다. 기상청(Korean meteorological administration) 과거 자료를 통해 2015년~2019년 중부지역인 대전의 12월 평균 온도($1.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$)를 조사하였으며, 저온환경(Kim, 2001; Kim & Kim, 2002; Kim, 2004; Lee & Jeon, 2013)과 한랭환경(Kim et al., 2018; Kwon et al., 1999)에서 수행된 선행연구를 토대로 본 연구는 온도 $2 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 인 저온환경에서 수행되었다. 저온환경인 챔버에 들어가기 전 인체의 생리적 안정화를 위해 실험 전 단계로 $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$, $55 \pm 3\%$ RH인 실험실에서 10분 휴식 후 실험의복을 착용하고 센서를 부착하였고 10분간 휴식을 실시하였다. 그 다음 본 실험단계는 저온환경($2 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, $60 \pm 3\%$ RH, $1.2 \pm 0.5\text{m/s}$)에서 진행하였으며, 착용자의 운동(행동) 유무에 따른 쾌적한 온도범위를 알아보기 위하여 세가지 단계로 실험을 진행하였다. 1단계에서는 챔버에 들어가서 30분 동안 의자에 앉아있도록 하였으며, 2단계에서는 3%의 기울기로 기울어진 트레드밀에서 7.5 km/h 로 15분 동안 뛰도록 하였다. 3단계에서는 운동 후 다시 의자에 30분 동안 앉아있도록 하였다. 이때 인체의 온열쾌적성을 유지할 수 있도록 모든 단계에서 발열판을 자유롭게 on/off하도록 하였으며, 단 발열판을 켜지 않고 추운환경에서 어느 정도까지 유지할 수 있는지를 알아보기 위해 step 1에서는 발열패드를 off 한 상태로 시작하였고 그 외 step 2와 step 3에서는 발열패드를 on한 상태로 시작하였다. 본 실험단계로 챔버에 있는 전 시간동안 온도데이터를 2초 단위로 측정하였다.

2.2. 실험대상 및 의복

연구대상자는 20~30대 여성 8명이었으며, 선정기준은 제7차 사이즈코리아(Korean Agency for Technology and Standards, 2015)의 20~30대 한국인 여성 인체 평균 데이터에 해당하는 신체 건강한 여성으로 선정하였고, 실험복 상의(size: 90)와 하의(size: 27)를 착용할 수 있는 대상으로 정하였다. 사이즈코리아 평균데이터와 선정된 연구대상자의 신체치수 평균은 Table 1에서 보는 바와 같았다.

실험의복 상의는 총 3겹, 하의는 총 2겹을 착용하였으며, 총 착의량은 1.46 clo 였다. 총 착의량(clo)은 기존 연구(Cho, 2009)를 토대로 계산하였다. 상의의 경우에는 브래지어(0.02 clo)를 착용하고, 복부에 발열판이 부착된 베이스레이어(0.18 clo)를 착용하였으며, 그 위에 집업 티셔츠(0.17 clo)를 착용하였다. 또한 맨 위 외측에는 아웃도어용 자켓(0.68 clo)을 착의하였다. 하의의 경우 내측에는 팬티(0.02 clo)를 착용하고 발열판이 뒤 허리에 부착된 베이스레이어(0.12 clo)를 착용하였으며, 그 위에 아웃도어용 바지(0.27 clo)를 착용하였다. 본 연구에 사용된 발열

Table 1. Body dimension of women participants in their 20–30s (Subjects vs. Korea 2015) characteristics

	Mean (±SD)				
	Height (cm)	Weight (kg)	Chest Circumference (cm)	Waist Circumference (cm)	Hip Circumference (cm)
Size Korea	160.6(±5.2)	56.6(±9.3)	85.9(±6.1)	73.9(±8.4)	93.3(±6.9)
Subject	165.0(±5.7)	56.3(±2.5)	85.9(±3.3)	66.9(±3.4)	93.1(±1.7)

판은 전도성 소재로 제작된 것으로 베이스레이어 안쪽에 주머니식으로 넣도록 되어 있으며, 발열판의 크기는 가로 10 cm, 세로 5 cm였다. 또한 본 연구에서 발열을 위해 사용된 배터리는 리튬이온 배터리로 7.4 V, 2200 mAh로 최고 온도를 70°C로 설정하였을 때 약 2시간 동안 발열성능이 유지되었다. 그리고 발열판에는 on-off control이 부착되어 있어 착용자가 원하는 시점에 자유롭게 on-off가 가능하도록 하였다. 또한 본 실험에 사용된 발열체는 인체의 피부 위에 직접 부착한 것이 아니라 실험의복에 부착된 포켓 안에 삽입하여 사용되었으며, 선행 연구(Draper et al., 1998; Kain et al., 2011)에 따르면 일반적으로 연조직 손상에 사용되는 온열테라피의 온도는 약 75°C-79.4°C이고 최근 개발된 발열스마트웨어의 히팅 온도도 약 60°C로 설정되어 제작되고 있기 때문에(Jayathilaka et al., 2019) 저온화상의 위험으로부터 피험자는 안전한 상황에서 실험이 이루어졌다고 생각된다.

2.3. 측정장비 및 측정 위치

본 연구에 사용된 측정 장비는 표면 온도 측정 센서로 (Thermistor, LT-8A&B, Gram, Co., Japan) 측정 온도 범위는 0~70°C였으며, 이를 이용하여 피부온, 발열판 온도, 의복 내 온도를 2초 단위로 측정하였다. 측정위치는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 총 9점에서 측정하였다. 구체적으로 살펴보면 피부온은 복부, 뒷허리, 견갑부위, 무릎아래 부위에서 측정하였으며, 발열판 온도는 복부 위, 뒤 허리 위에서 측정하였다. 또한 의복 내 온도는 가슴부위 셔츠아래, 복부 점퍼아래, 무릎아래 바

지아래에서 측정하였다.

2.4. 측정데이터 분석

본 연구에서는 피험자가 원할 때 발열판을 자유롭게 on-off 하였기 때문에 발열 판이 작동하는 동안의 피부온도를 쾌적온도범위로 정하였다. 따라서 피부온, 발열판, 의복내 쾌적온도범위를 구하기 위해 발열판을 on한 시점들의 평균을 쾌적온도범위의 바닥(floor temperature)으로 정하였고, off한 시점들의 평균을 쾌적온도범위의 상한(ceiling temperature)으로 정하여 데이터를 분석하였다. 분석한 on/off 시점의 평균들은 추위민감도에 따라 2그룹으로, 동적 외부환경 즉 운동유무에 따라 3그룹으로 나누어 데이터를 통계 분석하였다. 추위민감도를 나누는 기준은 본 실험단계인 저온 환경 챔버(2°C, 60 %RH, 1.2 m/s)에 입실한 후 발열패드를 on할 때까지 걸린 시간의 평균(11분)으로 추위에 민감한 그룹 A(cold sensitive group: 발열패드를 일찍 on한 4명)과 추위에 민감하지 않은 그룹 B(cold insensitive group: 발열패드를 11분 이후 on한 4명)으로 분류하였다. 동적 외부환경은 추운환경에서 앉아있었던 1단계, 트레드밀에서 운동한 2단계, 운동 후 휴식한 3단계로 나누어 분석하였다. 이때 그룹별 차이를 알아보기 위해 SPSS 24.0 statistics program을 사용하여 기술통계, t-검증, 일원배치분산분석으로 분석하였으며, 모든 분석은 유의수준 $p < .05$ 에서 실시하였다.

3. 결과 및 논의

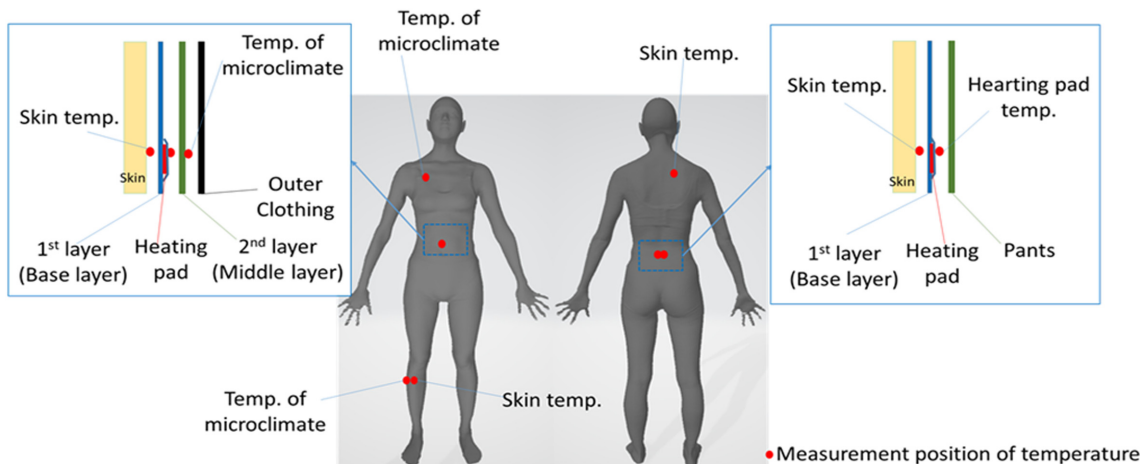


Fig. 1. Measurement positions of skin temperature, microclimate and surface temperature on heating pad.

Table 2. Temperature difference in the heating plate, skin, and microclimate of clothing depending on the cold sensitivity when the heating plate was turned on

Location of temp.	Group	Group A		Group B		t
		Mean	SD	Mean	SD	
Surface temp. under the base layer	Abdomen	35.7	3.5	37.0	4.6	-.749
	Lower Back	34.6	4.2	33.6	2.3	.652
	Shoulder Blades	30.1	2.5	30.9	1.5	-.811
	Calf	25.6	2.8	22.3	1.5	3.576**
Temp. under the clothing	Chest Under The Shirts	23.2	1.5	24.3	1.5	-1.644
	Abdomen Under The Jumper	20.3	3.8	22.4	6.1	-.747
	Calf Under The Pants	20.7	2.4	19.1	1.9	1.780
Heating pad temp.	Abdomen	32.7	4.6	33.2	12.9	-.116
	Lower Back	30.4	9.0	25.7	7.2	1.366

**p<.01

*Group A: cold sensitive, Group B: cold insensitive

3.1. 추위민감도에 따른 피부온, 의복내온도, 발열판 온도

본 연구에서는 추위민감도에 따라 자율적으로 발열판을 on/off하는 시점의 피부온, 발열판 온도, 의복 내 온도를 비교해보고자 추운환경(2±0.5°C, 60±3%RH, 1.2±0.5 m/s)에서 발열판을 on하지 않고 견딘 평균 시간(11분)으로 그룹을 분류하였으며, 그룹에 따른 발열판의 온도, 피부온, 의복 내 온도를 비교한 결과는 Table 2와 Table 3에서 보는 바와 같았다.

그룹에 따라 발열판을 on한 시점에서의 온도를 통계 분석한 결과(Table 2), 무릎아래 피부온(surface temp. of calf)에서 유의미한 차이가 나타났다(p<.01). 즉, 추위에 민감한 group A가 발열판을 on한 시점의 무릎아래 피부온은 25.6°C이었던 반면, 추위에 민감하지 않은 group B가 발열판을 on한 시점의 무릎아래 피부온은 22.3°C도로 낮게 나타났다. 그러나 복부 부분(abdomen)의 평균 피부온과 의복 내 온도를 살펴보면 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았지만 group A는 35.7°C, 20.3°C으로 group B의 피부온과 의복내 온도인 37.0°C, 22.4°C

보다 낮게 나타남을 알 수 있었다. 즉, 발열판을 on한 시점의 전반적인 온도를 살펴보면 상부의 경우 group A의 온도가 group B보다 전체적으로 낮게 나타났으나, 하부의 경우 group A의 온도가 group B보다 높게 나타남을 알 수 있었다.

추위민감도 그룹에 따라 발열판을 off한 시점에서의 온도 차를 살펴본 결과(Table 3), 무릎아래 피부온(surface temp. of calf)과 가슴부위 의복 내 온도(chest temp. under the shirts)에서 유의미한 차이가 나타났다(p<.01, p<.05). 발열판을 off한 시점의 무릎아래 피부온을 살펴본 결과, 추위에 민감한 group A는 25.4°C였으며 추위에 민감하지 않은 group B는 22.4°C로 group A보다 낮게 나타났다. 반면 가슴부위 셔츠아래 의복내 온도는 group B(24.9°C)가 group A(23.0°C)보다 높게 나타났다.

그 외 전반적인 피부온을 살펴보면 무릎아래를 제외하고 상부의 경우에는 두 그룹간의 피부온 평균이 비슷하게 나타났다. 의복 내 온도를 살펴본 결과 통계적 차이를 보이지 않았으나 추위에 민감한 group A의 경우, 상부인 점퍼 아래 의복 내 온

Table 3. Temperature difference in the heating plate, skin, and microclimate of clothing depending on the cold sensitivity when the heating plate was turned off

Location of temp.	Group	Group A		Group B		t
		Mean	SD	Mean	SD	
Surface temp. under the base layer	Abdomen	42.9	3.6	42.6	3.4	.169
	Lower Back	38.3	3.2	39.9	2.6	-1.283
	Shoulder Blades	30.8	1.8	30.4	2.1	.398
	Calf	25.4	2.8	22.4	1.4	3.264**
Temp. under the clothing	Chest Under The Shirts	23.0	1.7	24.9	1.2	-2.823*
	Abdomen Under The Jumper	31.3	19.5	32.8	9.7	-.211
	Calf Under The Pants	20.3	2.1	19.0	1.8	1.661
Heating pad temp.	Abdomen	51.0	11.8	57.1	10.3	-1.157
	Lower Back	46.5	12.7	55.3	15.3	-1.505

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

*Group A: cold sensitive, Group B: cold insensitive

Table 4. Temperature difference depending on the exercise or non-exercise when the heating plate was turned on

Location of temp.	Step	Step 1(rest 1)		Step 2(running)		Step 3(rest 2)		F
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Surface temp. under the base layer	Abdomen	33.62	1.65	38.29	5.99	36.94	1.57	2.560
	Lower Back	31.40 ^a	0.96	35.60 ^b	4.33	35.00 ^b	2.56	4.143 [*]
	Shoulder Blades	32.03 ^b	1.38	30.57 ^{a,b}	1.76	29.26 ^a	1.92	4.189 [*]
	Calf	24.54	2.74	22.74	3.24	24.82	2.29	1.292
Temp. under the clothing	Chest Under The Shirts	24.71 ^b	1.36	24.35 ^b	1.45	22.52 ^a	0.97	5.740 [*]
	Abdomen Under The Jumper	23.09	1.98	23.42	7.65	18.53	3.63	1.682
	Calf Under The Pants	20.83	2.70	18.88	2.41	20.17	1.46	1.509
Heating pad temp.	Abdomen	28.45	3.11	38.63	13.81	31.15	6.73	2.148
	Lower Back	22.56	2.99	29.27	9.34	31.84	8.70	2.829

**p*<.05

도는 조금 더 낮게, 허부인 바지아래 의복 내 온도는 조금 높게 나타났다.

즉, 여성의 경우 추위민감도에 따라서는 통계적으로 큰 차이가 나타나지 않았는데 이러한 결과는 남성을 대상으로 한 선행 연구(Lee et al., 2020)결과와는 다르게 나타났다. 남성의 경우 발열판을 on한 시점의 온도는 추위민감도에 따라 허벅지, 종아리, 어깨, 손등 피부온에서 차이가 있었으며, 가슴, 복부, 허벅지, 종아리 의복내온도에서 차이가 나타남을 알 수 있었다. 또한 발열판을 off한 시점의 온도는 추위민감도에 따라 허벅지, 종아리, 뒤통리, 손등 피부온에서 차이가 있었으며, 복부, 뒤통리, 종아리 의복내온도에서 차이가 나타남을 알 수 있었다. 따라서 남성의 경우 추위민감도에 따라 쾌적온도범위를 따로 선정하는 것이 필요하나 여성의 경우에는 그렇지 않음을 알 수 있었다.

3.2. 운동유무에 따른 피부온, 의복내온도, 발열판 온도

앞선 연구결과를 통해 대부분의 부위에서 추위민감도에 따른 온도 차이가 나타나지 않았기 때문에 그룹을 따로 나누지 않고 on/off시 운동유무에 따른 온도 차이를 살펴보았다. 착용

자가 자율적으로 발열판을 on했을 시 운동유무(운동 전 휴식, 운동시, 운동 후 휴식)에 따른 피부온도, 의복내 온도, 발열판 온도 ANOVA(Analysis of variance)와 Duncann 사후분석 결과는 Table 4와 같았다. 피부온에서는 뒤통리부위와 견갑 부위에서(*p*<.05) 통계적 차이를 보였으며 의복내 온도는 가슴부위 셔츠 아래 의복내 온도에서(*p*<.05) 통계적 차이를 보였다.

발열판을 on한 시점의 피부온을 구체적으로 살펴보면, 뒤통리 부분은 운동전 휴식시에 31.4°C에서 발열판을 on하였으나 운동시나 운동 후 휴식시에는 35.6°C, 35.0°C에서 발열판을 on한 것으로 나타났다. 또한 견갑부위에서는 운동 후 휴식시 29.3°C로 운동전 휴식시(32.0°C)보다 낮은 온도에서 발열판을 on하였다. 의복내 온도는 가슴부위에서 차이를 보였는데 운동 후 휴식시에는 22.5°C로 운동전 휴식시(24.7°C)나 운동시(24.4°C)보다 낮은 온도에서 발열판을 on하였다. 종합적으로 발열판을 on한 시점의 전체적 온도를 살펴보면 운동시에는 발열판이 부착된 뒤통리나 복부 부분은 피부온이 높았으나 견갑이나 종아리 부위는 운동전 휴식시보다 낮아지는 것을 발견할 수 있었다. 또한 운동 후 휴식시에도 발열판이 부착된 부위의 피부온은 운동전 휴식시보다 높게 나타났으나, 견갑이나 종아리 부위는 운동

Table 5. Temperature difference depending on the exercise or non-exercise when the heating plate was turned off

Location of temp.	Step	Step 1(rest 1)		Step 2(running)		Step 3(rest 2)		F
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Surface temp. under the base layer	Abdomen	43.49	4.46	41.66	3.65	43.30	1.72	0.557
	Lower Back	39.49	3.57	39.93	2.57	37.85	2.82	1.071
	Shoulder Blades	31.65	1.08	29.66	2.53	30.52	1.46	1.853
	Calf	23.83	2.39	23.13	3.38	24.93	2.09	0.911
Temp. under the clothing	Chest Under The Shirts	24.79	1.44	24.27	1.79	23.22	1.57	1.480
	Abdomen Under The Jumper	39.48	17.23	23.56	8.02	34.19	8.30	2.644
	Calf Under The Pants	20.00	2.07	18.92	2.43	20.17	1.51	0.868
Heating pad temp.	Abdomen	61.60 ^b	8.58	45.84 ^a	10.69	58.79 ^b	4.70	6.034 [*]
	Lower Back	49.77	14.51	52.35	16.52	49.81	13.98	0.075

**p*<.05

전 휴식시보다 낮거나 비슷한 온도를 보였다. 반면 의복내 온도를 살펴보면 운동전 휴식시나 운동시에는 비슷한 온도를 보였으나 운동 후 휴식시에 의복내 온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 운동유무에 따라 피부온과 의복내 온도의 경향성이 다르게 나타남을 발견할 수 있었다.

착용자가 발열판을 off했을 시 운동유무(운동 전 휴식, 운동시, 운동 후 휴식)에 따른 피부온도, 의복내 온도, 발열판 온도 ANOVA(Analysis of variance)와 Duncann 사후분석 결과는 Table 5와 같았다. 피부온, 의복내 온도에서는 통계적 차이를 보이지 않았으며, 복부 위 발열판 온도에서만 통계적 차이를 보였다($p<.05$). 구체적으로 살펴보면, 운동시 가장 낮은 온도인 45.8°C에서 발열판을 off하였으며 운동전 휴식시나 운동 후 휴식시에는 높은 온도에서 발열판을 off하였다. 통계적 차이를 보이지 않았으나 운동시에는 피부온이나 의복내 온도가 조금 낮아지거나 비슷한 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 이유로는 운동시 인체 내부 온도가 올라가면서 다른 상황보다는 낮은 온도에서 착용자들이 쾌적하게 생각함을 알 수 있었다.

3.3. 저온환경에서의 쾌적 온도범위

남성을 대상으로 진행된 선행연구(Lee et al., 2002) 결과와는 다르게 여성의 경우에는 추위민감도에 따라 발열판, 피부온, 의복내 온도에서 통계적 차이를 보인 부분이 총 9점 중 2점(중

아리 피부온, 가슴부위 셔츠아래 의복내 온도)으로 대부분 그룹간 차이를 보이지 않았다. 반면 운동유무에 따라서는 통계적 차이가 나타났기 때문에 쾌적온도 범위는 추위민감도 그룹에 따라서는 나누지 않았고 운동유무에 따라 온도범위를 따로 설정하였다. 본 연구에서는 착용자가 원할 때 발열판을 자율적으로 on-off할 수 있도록 하였기 때문에 발열 판이 작동하는 동안의 온도를 쾌적온도범위로 정하였으며, 발열판, 피부온, 의복내의 쾌적온도범위를 살펴보았다. 또한 발열판을 복부부분과 뒤허리 부분에 부착하였기 때문에 부위별 쾌적온도 범위를 나누어 살펴보았다. 따라서 복부부분(Abdomen)과 뒤허리부분(lower back waist)에서의 쾌적온도범위를 운동유무에 따라 운동전 휴식(rest 1), 운동시(running), 운동후 휴식(rest 2)으로 각각 나누어 Fig. 2와 Fig. 3에 도식화 하였으며, 복부부분에서의 의복내 쾌적온도범위는 Fig. 4에 나타내었다.

발열부위별 발열판 쾌적온도범위를 운동유무에 따라 살펴본 결과(Fig. 2), 복부부분이(rest 1: 29°C~62°C, running: 39°C~46°C, rest2: 31°C~59°C) 뒤허리 부분보다(rest 1: 23°C~50°C, running: 29°C~52°C, rest2: 32°C~50°C) 전반적으로 온도범위가 더 넓게 나타났다. 그러나 운동 시에는 복부부분의 온도범위가 매우 좁아졌는데 이는 운동으로 인해 인체 내부 온도가 올라가 발열판 사용을 적게 한 것으로 생각된다.

복부와 뒤허리 부분에서의 피부온 쾌적온도 범위는 Fig. 3에

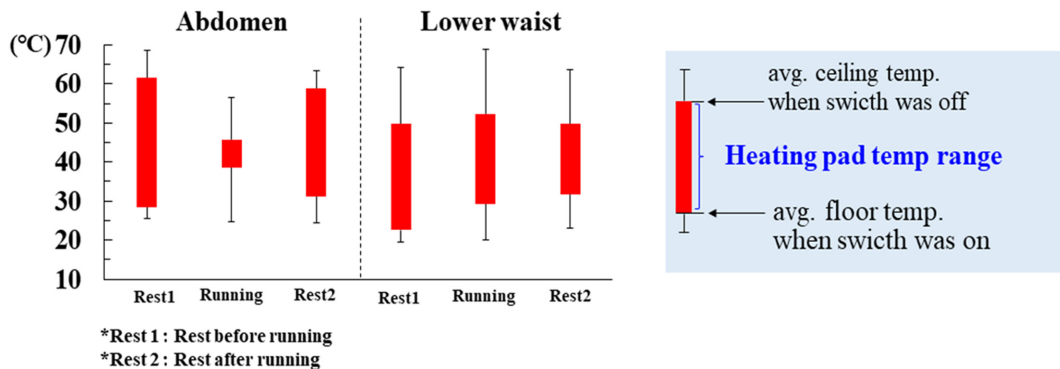


Fig. 2. Comfort temperature range of heating plate in the abdomen and lower back waist.

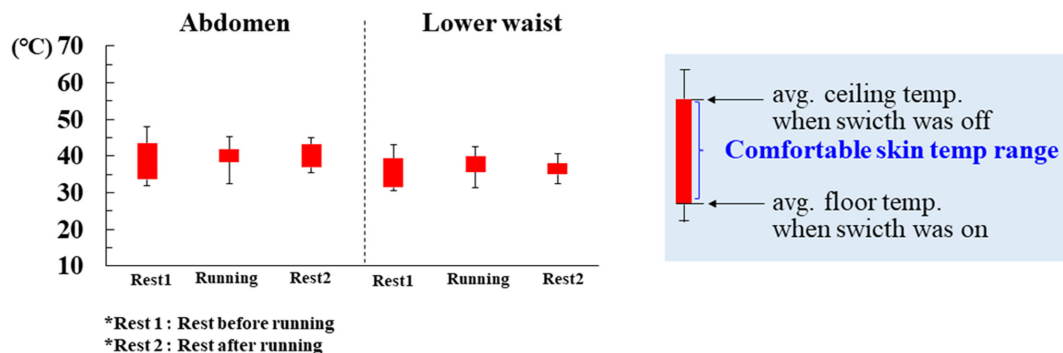


Fig. 3. Comfort skin temperature range in the abdomen and lower back waist.

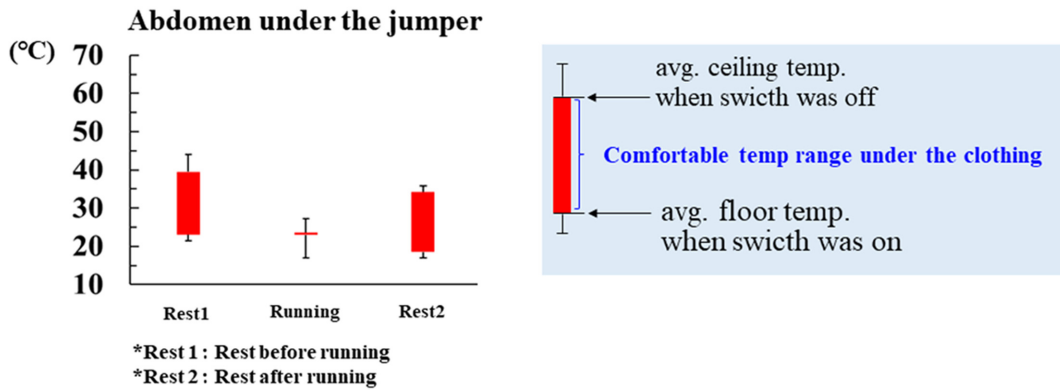


Fig. 4. Comfort temperature range of microclimate pf clothing in the abdomen.

서 보는바와 같이 운동전 휴식시가 복부 34°C~44°C, 뒤 허리 31°C~40°C로 범위가 넓은 편이었다. 그러나 운동 시나 운동 후 휴식 시에는 상대적으로 쾌적온도범위가 좁아졌다. 복부부분에서는 운동 시 쾌적온도 범위가 38°C~42°C로 가장 좁아졌으며, 운동 후 휴식 시에는 37°C~43°C로 나타났다. 반면 뒤허리 부분에서는 운동 후 휴식시가 35°C~38°C로 범위가 가장 좁아졌으며, 그 다음 운동 시 쾌적온도 범위가 36°C~40°C로 나타났다.

또한 복부 부분에서의 의복 내 쾌적온도 범위를 구체적으로 살펴보면 Fig. 4에서 보는바와 같았다. 운동전 휴식시의 온도범위는 23°C~39°C였으며, 운동 후 휴식시의 온도범위는 19°C~34°C로 범위가 좁아졌으며 온도도 전체적으로 낮아진 것을 알 수 있었다. 반면 운동 시에는 23°C~24°C로 발열판을 on하고 조금 후 바로 off함을 알 수 있었는데 이렇게 온도 범위가 매우 좁은 이유로는 운동 시 인체 내부의 온도가 올라가기 때문에 발열판을 오래 켜지 않는 이유도 있지만 운동 시 의복 내 환경에서 스스로 환기가 이루어져 의복내 온도는 올라가지 않기 때문으로 생각해 볼 수도 있다. 특히 점퍼 아래에서 측정되었기 때문에 운동에 의한 환기(ventilation)가 크게 발생했을 것으로 생각된다. 전반적으로 발열판 온도 범위크기가($\Delta T = \text{off}$ 시점의 온도-on시점의 온도)가 최소 7°C에서 최대 33°C이었던 반면 피부온도 범위크기(ΔT)는 최소 3°C에서 최대 10°C으로 작게 나타났다. 또한 의복 내 온도 범위크기(ΔT)는 최소 0°C에서 최대 16°C으로 나타났다. 이러한 결과는 운동유무, 외부환경에 따라 달라질 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구 결과는 적절한 상황에 따라 다르게 적용 가능할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 저온환경에서 온열쾌적성을 유지할 수 있는 쾌적온도범위를 알아보기 위해 추위민감도나 운동유무에 따라 자율적으로 발열판을 on/off하는 시점의 피부온, 발열판 온도, 의복내 온도에 차이가 있는지를 알아보았다. 이를 위해 저온환경에서 발열판을 켜지 않고 있었던 시간으로 추위 민감도 그룹

을 나누었으며, 운동유무는 운동전 휴식, 운동(running), 운동후 휴식으로 나누어 동적 온도변화를 살펴보고, 이에 대한 연구 결과는 다음과 같았다.

첫째, 발열판을 on/off 한 시점에서의 각 부위별 온도는 추위에 민감한 그룹에서 유의하게 차이가 있었고, 전반적인 피부온 평균은 발열판 on 시에는 추위에 민감한 그룹은 차이가 있었지만, 발열판 off 시에는 두 그룹 간에 비슷하게 나타났다. 즉, 여성의 경우 추위민감도에 따라서는 통계적으로 큰 차이가 나타나지 않았는데 이러한 결과는 남성을 대상으로 한 선행연구 결과와는 다를 수 있었다. 따라서 남성의 경우 추위민감도에 따라 나누어 쾌적온도범위를 선정하는 것이 필요하나 여성의 경우에는 그렇지 않음을 알 수 있었다.

둘째, 착용자가 자율적으로 발열판을 on/off 했을 시 운동유무(운동 전 휴식, 운동시, 운동 후 휴식)에 따라서는 발열판을 on한 시점에서는 발열판이 부착된 뒤허리 부분 피부온은 운동 전 휴식 시에 온도가 낮았으나, 견갑 피부온이나 가슴부분 의복내 온도는 운동 후 휴식 시 온도가 가장 낮은 것을 발견할 수 있었다. 반면 발열판을 off한 시점에서는 복부 위 발열판 온도에서 운동 시 가장 낮은 온도가 나타났다. 또한 운동시 발열판을 off한 시점의 피부온이나 의복내 온도가 대부분 낮음을 관찰할 수 있었는데, 이는 운동으로 인체 내부 온도가 올라가면서 다른 상황보다 낮은 온도에서 착용자들이 쾌적하게 느낀 것으로 생각된다. 따라서 운동유무에 따라 피부온과 의복내 온도에 차이가 있을 뿐 아니라 경향성이 다르게 나타나기 때문에 이때의 쾌적온도범위를 따로 알고 있는 것이 필요할 것으로 생각된다.

셋째, 발열부위별 쾌적온도범위를 살펴본 결과, 복부부분이 뒤허리 부분보다 전반적으로 온도범위가 더 넓게 나타났다, 운동 시에는 복부부분의 온도범위가 매우 좁아지는 것이 관찰되었다. 이러한 결과는 운동으로 인해 인체 내부 온도가 올라가 발열판 사용을 적게 하였기 때문으로 생각된다. 또한 쾌적 온도범위는 발열판 온도범위가 가장 넓게 나타났으며, 피부온 쾌적온도범위가 가장 좁게, 의복 내 쾌적온도범위가 중간 정도로 나타났다. 이는 발열판 온도가 내려가거나 높게 올라가도 피

부은은 의복 가장 내측에 있어 외부영향보다는 인체 내부온도의 영향을 더 받기 때문이며, 의복 내 온도는 중간층으로 외부 환경과 인체환경을 동시에 받기 때문에 온도범위가 중간 정도로 나타난 것으로 예상된다. 따라서 쾌적온도범위를 의복에 활용하기 위해서는 바로바로 변화되는 발열판온도의 사용보다는 변화가 적은 피부온이나 의복내 온도를 적용하는 것이 더 효율적으로 생각된다. 특히 주변환경이나 착용자의 동작유무에 따라 적절히 적용하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 또한 이러한 연구 결과 역시 남성과는 차이가 있기 때문에 성별에 따라서도 다르게 적용하는 것이 필요할 것이다.

이러한 연구 결과는 추후 다양한 스포츠웨어나 스마트웨어 개발시 활용할 수 있을 것으로 생각되며, 더 나아가 저온환경이나 운동시와 같은 다이나믹한 환경에서 효율적으로 생체데이터를 측정하기 위한 센서의 위치나 온도에 따라 스스로 변화하는 센서의 형태를 개발하기 위한 기초자료로도 활용이 가능할 것으로 생각된다. 그러나 본 연구는 복부와 뒤 허리부분을 가열했을 경우의 온도변화만을 관찰할 것으로 운동 시와 운동 후 휴식 시 영향을 미칠 것으로 생각되는 습도에 대한 연구는 이루어지지 않았기 때문에 추후에 본 연구 결과를 좀 더 효율적으로 활용하기 위해서는 이러한 습도부분까지 고려된 후속 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(NRF-2020R111A3073843).

References

- Arens, E., Zhang, H., & Huizenga, C. (2006). Partial-and whole-body thermal sensation and comfort-Part II: Non-uniform environmental conditions. *Journal of Thermal Biology*, 31(1), 60-66. doi: 10.1016/j.jtherbio.2005.11.027
- Cho, G. S. (2009). *의복과 환경* [Clothing and environment]. Seoul: Dongseomunhwawon.
- Cho, H. S., Kim, J. H., & Koo, H. R. (2014). An analysis of consumer emotion for product planning of smart clothing. *Journal of the Korean Society for Emotion and Sensibility*, 17(3), 49-56. doi: 10.14695/KJSOS.2014.17.3.49
- Cho, H. K., & Cho, S. W. (2015). Optimal heating location for developing the heating smart clothing based on thermal response of body. *Science of Emotion and Sensibility*, 18(3), 93-106. doi:10.14695/KJSOS.2015.18.3.93
- Choi, J. H., & Kim, M. J. (2011). *의복과 건강* [Clothing and health]. Gyeonggi-do, Paju: Gyomoon Publishers.
- Draper, D. O., Harris, S. T., Schulthies, S., Durrant, E., Knight, K. L., & Ricard, M. (1998). Hot-pack and 1-MHz ultrasound treatments have an additive effect on muscle temperature increase. *Journal of Athletic Training*, 33(1), 21-24.
- 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), 549-558. doi: 10.1016/j.jtherbio.2004.08.024
- Hwang, Y. M., & Lee, J. R. (2012). Prototype of smart foundation with heating devices. *Journal of the Korean Society for Clothing Industry*, 14(4), 588-596. doi: 10.5805/KSCI.2012.14.4.588
- Hwang, Y. M., & Lee, J. R. (2013). Development and evaluation of smart foundation with heating devices. *Journal of the Korean Society for Clothing Industry*, 15(2), 231-239. doi: 10.5805/SFTI.2013.15.2.231
- Industry Policy Research. (2018). *산업용 섬유 고기능 소재 가공 기술개발 동향과 지능형 전자섬유 스마트의류 기술개발 및 글로벌 기업 동향* [Industrial textile high-functional material processing technology development trend and intelligent electronic fiber smart clothing technology development and global company trend]. Seoul: Industry Policy Research Center.
- Jayathilaka, W. A. D. M., Qi, K., Qin, Y., Chinnappan, A., Serrano Garcia, W., Baskar, C., Wang, H., He, J., Cui S. Thomas, S., & Ramakrishna, S. (2019). Significance of nanomaterials in wearables: a review on wearable actuators and sensors. *Advanced Materials*, 31(7), 1805921. doi:10.1002/adma.201805921
- Jeong, J. R., Kim, H. E., & Rissanen, S. (2009). Research on winter working environment and working clothes at a construction site. *Fashion & Textile Research Journal*, 11(1), 174-179.
- Jeong, W. S. (2000). Thermoregulation and clothing selection behavior of the sensitive person to the cold. *Journal of the Korean Society Clothing Textiles*, 24(2), 199-204.
- Jeong, W. S. (2001). Gender difference of clothing selection behavior for thermal comfort. *Journal of the Korean Society of Living Environmental System*, 8(2), 189-193.
- Kain, J., Martorello, L., Swanson, E., & Segó, S. (2011). Comparison of an indirect tri-planar myofascial release (MFR) technique and a hot pack for increasing range of motion. *Journal of bodywork and movement therapies*, 15(1), 63-67. doi:10.1016/j.jbmt.2009.12.002
- Kim, H. S., & Kim, K. J. (2002). The effects of BCAA supplementation on the blood metabolic variables during submaximal prolonged exercise in low temperature. *Exercise Science*, 11(2), 301-313.
- Kim, H., & Lee, S. (2019). Electrical heating properties of various electro-circuit patterns coated on cotton fabric using graphene/polymer composites. *Textile Research Journal*, 89(19-20), 4114-4130. doi:10.1177/0040517519829922
- Kim, K. J. (2004). The effect of environmental temperature on lipid metabolism, oxidative stress, and antioxidant during continuous exercise in obese. *Exercise Science*, 13(4), 399-412.
- Kim, S., & Hong, K. (2014). Effects of local body heating and cooling on thermogram analysis of the extremity with hot pack. *Korean Journal of Human Ecology*, 23(6), 1205-1215. doi: 10.5934/kjhe.2014.23.6.1205
- Kim, S., Lee, Y & Lee, H (2020). Heating effect on the upper body for developing exothermic smartwear. *Korean Journal of Human Ecology*, 29(3), 371-383. doi: 10.5934/kjhe.2020.29.3.371
- Kim, S., Roh, J. S., & Lee, E. Y. (2016). Development and wearability evaluation of all-fabric integrated smart jacket for a temperature-regulating system based on user experience design. *Fashion & Textile Research Journal*, 18(3), 363-373. doi: 10.5805/SFTI.2016.18.3.363

- Kim, T. G., Song, M. K., Lee, C. M., & Kwon, O. K. (2018). Thermal comfort of the sports/leisure clothing with the heat storage/reflection function - Wearing evaluation under the condition of $0\pm 1^{\circ}\text{C}$ and $50\pm 5\%$ RH. *Fashion & Textile Research Journal*, 20(4), 474-481. doi:10.5805/SFTI.2018.20.4.474
- Kim, W. J. (2001). Effect of energy expenditure exercise in the cold environment. *The Korean Journal of Physical Education*, 40(2), 623-633.
- Korean Agency for Technology and Standards. (2015). The 7th Size Korea 3D scan & measurement technology report. Seoul: Government Printing Office.
- Korean meteorological administration. (2020). 지상관측자료 과거 자료 [Ground observation data, historical data]. Retrieved January 10, 2020, from https://www.weather.go.kr/weather/climate/past_table.jsp
- Kwon, O. K., Kim, T. K., Son, D. H., & Park, S. H. (1999). Physiological effect of different underwear materials thermoregulatory response during exercise with sweating at cold environments. *Fashion & Textile Research Journal*, 1(1), 43-49. doi: 10.5805/SFTI.2018.20.4.474
- Lee H, Hong, K, Lee, Y & Kim, S.(2017). User's voluntary heating behavior for the programming of the efficient heating mode of smart base layer clothing. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 41(5), 872-882. doi: 10.5850/JKSCT.2017. 41.5. 872
- Lee, B. H., & Lee, J. E. (2015). Development of design for band type heating vest. *Fashion Business*, 19(5), 93-109. doi:10.12940/jfb.2015.19.5.93
- Lee, H. Y., & Jeong, Y. H. (2010). Subjective wearing evaluation of the commercial electric heated vest. *Korean Journal of Human Ecology*, 19(4), 667-674. doi: 10.5934/KJHE.2010.19.4.667
- Lee, H., Hong, K., & Kim, S. (2020). A study on clothing microclimate change upon heating of the abdomen and lower back for the development of heating smartwear. *Proceedings of the 2020 International Conference on Clothing and Textiles (ICCT)*, Busan, Korea, p.8.
- Lee, J., & Lee, B. (2014). Development of design for heating vest with detachable heating device. *Fashion Business*, 18(5), 82-98. doi: 10.12940/jfb.2014.18.5.82
- Lee, S. B., & Jeon, Y. G. (2013). The effects of exercise performance ability changes in external environmental temperature. *Journal of the Korean Society for Wellness*, 8(1), 151-159.
- Yao, Y., Fu, K. K., Yan, C., Dai, J., Chen, Y., Wang, Y., Zhang, B., Hitz, E., & Hu, L. (2016). Three-dimensional printable high-temperature and high-rate heaters. *Acs Nano*, 10(5), 5272-5279. doi: 10.1021/acsnano.6b01059

(Received 13 November, 2020; 1st Revised 30 November, 2020; Accepted 4 December, 2020)