



ISSN 1229-8565 (print) ISSN 2287-5190 (on-line)
한국지역사회생활과학회지 37(2): 209~230, 2026
Korean J Community Living Sci 37(2): 209~230, 2026
<http://doi.org/10.7856/kjcls.2026.37.2.209>

여름철 열부담 경감을 위해 시판되는 냉각의류의 인체 냉각 효과 : 대류형·전도형·액체순환 냉각의류의 탐색적 비교

백 윤 정¹⁾ · 정 수 빈²⁾ · 안 솔 빈²⁾ · 이 주 영^{3),4),5)†}

서울대학교 생활과학연구소 책임연구원¹⁾ · 서울대학교 의류학과 학부생²⁾ · 서울대학교 의류학과 교수³⁾ ·
서울대학교 생활과학연구소 겸무연구원⁴⁾ · 차세대융합기술연구원 그래핀융합기술센터 부소장⁵⁾

Body Cooling Effects of Commercial Cooling Garments for Mitigating Heat Strain in Summer: An Exploratory Comparison among Convective-, Conductive-, and Liquid-Circulating Cooling Garments

Baek Yoon Jeong¹⁾ · Chung Subin²⁾ · Ahn Solbin²⁾ · Lee Joo-Young^{3),4),5)†}

Principal Researcher, Research Institute of Human Ecology, Seoul National University,
Seoul, Korea¹⁾

Undergraduate Student, Dept. Fashion and Textiles, College of Human Ecology,
Seoul National University, Seoul, Korea²⁾

Professor, Dept. Fashion and Textiles, College of Human Ecology, Seoul National University,
Seoul, Korea³⁾

Adjunct Researcher, Research Institute of Human Ecology, Seoul National University, Seoul, Korea⁴⁾
Vice Director, Graphene Research Center for Convergence Technology, Advanced Institute of
Convergence Technology, Suwon, Korea⁵⁾

ABSTRACT

This exploratory study compared the body cooling effects of eight commercially available cooling garments under hot and humid conditions (36°C, 65% Relative humidity [RH]; Wet bulb globe temperature [WBGT] 32°C). One healthy young male participated in eight randomized trials while wearing two neck cooling bands and six cooling vests, each using different convective, conductive, or liquid-circulating cooling mechanisms. A trial consisted of 10 min of rest, followed by 50 min of exercise, and 10 min of recovery. Despite wearing cooling garments, rectal temperature increased by a similar amount across all conditions (0.6–0.7°C), indicating that partial-body cooling alone was insufficient to suppress core temperature elevation during exercise in severe heat stress.

Received: 13 May, 2026 Revised: 25 May, 2026 Accepted: 31 May, 2026

†Corresponding Author: Lee Joo-Young Tel: +82-2-880-8746 E-mail: leex3140@snu.ac.kr

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.

in contrast, differences in skin temperature responses were observed by cooling type and cooling area. The liquid-cooling vest produced the greatest cooling effect, resulting in a continuous reduction in mean skin temperature throughout exercise (-1.8°C from rest) and a marked decrease in chest skin temperature (-15.3°C). The vest with 57 distributed Phase Change Material (PCM) cells also reduced mean skin temperature and clothing microclimate humidity more effectively than other cooling garments. Total sweat loss was lower with the 57PCMs vest and the liquid-cooling vest than with the neck-cooling bands. Subjectively, the liquid-cooling vest showed the best thermal comfort and lowest whole-body thermal sensation, whereas the FanAir (Air-circulating cooling type) vest produced the lowest humidity sensation despite limited physiological cooling effects. The present findings suggest that liquid-cooling and distributed-PCM-cooling vests were more effective at reducing skin temperature, clothing humidity, sweat loss, and thermal discomfort under hot and humid conditions. This study may provide practical guidance for selecting cooling garments for workers exposed to summer heat stress and for designing future large-scale human wear trials.

Key words: heat wave, heat strain, cooling garment, evaporative heat loss, conductive heat loss, heat-related disease, thermal comfort

I. 서론

최근 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)는 2024년 전 지구 평균기온이 산업화 이전 수준보다 약 1.55°C 높아 관측 역사상 가장 더운 해였다고 보고하였다(WMO 2025). 또한, 2015-2024년은 모두 관측 이래 가장 더운 10개 연도에 포함되어, 최근 고온 현상은 일시적 기상 변동을 넘어 장기적인 기후변화와 이와 관련된 건강 위험 요인으로 해석되고 있다(WMO 2025). 한국에서도 2024년 일 최고기온 33°C 이상인 폭염 일수는 24.0일로 평년 10.6일의 약 2.3배였고, 열대야일수는 20.2일로 평년 6.5일의 약 3.1배였다(KMA 2024). 2025년에도 전국 폭염일수는 28.1일로 평년보다 17.5일 많아, 최근 한국의 여름철 고온 현상이 반복적으로 나타나고 있음을 보이고 있다(KMA 2025). 실제로 질병관리청 온열질환 응급실 감시 체계에 따르면 2024년도 온열질환자는 3,704명, 사망자는 34명으로 보고되었고(KDCA 2024), 2025년 온열질환

자는 4,460명으로 2024년도 대비 약 20.4%나 증가하여(KDCA 2025), 폭염이 실질적인 건강 피해로 이어지고 있음을 보여주고 있다.

특히, 건설현장 작업자, 농작업자, 군인, 물류센터 작업자, 택배·배달서비스 종사자 등은 여름철 열스트레스에 취약한 집단으로, 이들은 장시간 작업, 직사광선 및 복사열 노출, 중량물 취급, 보호구 착용, 불충분한 휴식, 제한된 냉방 공간 등으로 인해 열스트레스, 탈수, 온열질환 및 작업 능력 저하의 위험이 높다. 코로나19 이후 비대면 소비, 전자상거래 및 음식 배달 서비스 등이 확대되면서 생활 물류 및 배달서비스 종사자의 업무 중요성이 증가하였고, 이들의 열부담은 환경 요인과 함께 작업 구조와도 밀접하게 관련된다. 생활물류 및 배달서비스 종사자는 운송 업무 외에도 배송 물품의 분류, 상차, 배송, 집하, 고객응대, 정해진 배송 물량 처리, 시간 압박, 장시간 고강도 육체 노동 등 복합적인 작업 부담에 노출되어 있다(Park 2025; Ryu 2025). 특히 여름철에는 야외 이동, 중량물 취급, 이동 중 휴식 공간 부족 등이 결합되어 열부

담이 가증될 수 있다. 또한 최근 실태조사에서 배달서비스 종사자의 폭염 노출과 건강이상 경험에 보고된 바 있다(Jiang et al. 2024; Newsis 2025).

이처럼 생활 물류 및 배달서비스 종사자는 노동 강도 증가와 여름철 폭염 노출이 겹치는 작업 환경에 노출되어 있으나, 이들이 실제 작업 현장에서 어떤 냉각의류를 사용하고 있는지, 인체 냉각 제품 선택 시 어떠한 어려움을 겪는지, 그리고 작업 특성에 적합한 냉각 방식은 무엇인지에 대한 체계적 연구는 부족한 실정이다. 또한 시판 냉각의류는 공기순환형, 액체순환형, 증발냉각형, 상변이물질(PCM)사용형 등 냉각방식이 다양하고, 제품별 냉각 성능뿐만 아니라 평가 프로토콜에 따라서도 측정 결과가 달라질 수 있기 때문에(Kim et al. 2024), 실제 작업환경에 적합한 냉각의류를 선택하기 위한 객관적 기준과 가이드 라인이 필요한 실정이다.

냉각의류는 냉각 원리에 따라서 기류형, 냉매 삽입형, PCM형, 액체순환형, 증발냉각형 및 하이브리드형 등으로 구분된다. 기류형 냉각의류는 팬이나 압축공기를 이용하여 의복 내 공기를 순환시키고, 피부 표면으로부터 대류열손실과 발한 증발을 촉진하는 방식이다. 소형 팬이 부착된 조끼는 고온 환경에 노출된 피험자의 의복 내부 열과 습기 배출을 돕는 것으로 보고되었으며(Eom & Lee 2019), 고온 다습한 환경에서도 맨 피부에 직접 강한 압축공기를 공급하는 경우 일정 수준의 냉각 기능을 나타낸 바 있다(Wu et al. 2021). 그러나 한국의 여름철과 같은 고온 다습한 환경에서는 발한 증발에 의한 냉각 효율의 효과가 저하될 수 있으며, 팬/덕트/배터리 위치와 무게, 작동 중 소음, 배터리 지속시간 등의 실용적 문제가 있다. 냉매 삽입형 냉각의류는 얼음팩이나 고흡수폴리머 젤팩 등을 삽입하여 피부로부터의 전도성 열손실을 유

도하는 방식이다. 이 방식은 착용 초기 비교적 즉각적 냉감을 제공할 수 있으나, 냉각재 무게, 제한적인 지속시간, 재냉각 또는 주기적 교체 필요성 등으로 불편함을 주고 있다(Choi & Hwang 2001). PCM형 냉각 의류는 상변이물질의 잠열을 이용하여 일정 온도 범위에서 냉각을 제공하는 방식으로, 상변이 온도, 냉각재 무게, 착용 환경 및 작업 강도에 따라 열 부담 효과가 달라질 수 있다(House et al. 2013; Liu et al. 2023). 따라서 PCM형 역시 냉각재의 질량과 상변이 온도, 재냉각 조건에 따라 냉각량과 지속시간이 제한될 수 있다.

액체순환형 냉각의류는 튜브를 따라 냉각수가 순환하면서 피부와 접촉하는 부위에서 전도성 열손실을 유도하는 방식으로 냉각수 온도와 유량을 조절하여 냉각량을 비교적 능동적으로 조절할 수 있고 보호복 내부에서도 적용 가능하다는 장점이 있다. Jung et al.(2020)은 액체 냉각복의 냉각수 온도와 냉각부위를 비교한 결과, 상대적으로 낮은 냉각수 온도와 구간부 중심의 냉각이 작업자의 열 부담 완화에 효과적이라고 보고하였다. 또한, 손과 전완부 냉각은 냉각 부위의 피부온과 평균피부온을 낮추는데 기여하였으나, 직장온을 낮추는데는 효과가 없었다(Seol et al. 2021). 불투습성 보호복 내부에 액체순환형 냉각조끼를 착용했을 때에는 직장온, 평균피부온, 발한율 및 심박수 상승을 억제하는 효과가 보고되었다(Tokizawa et al. 2020). 그러나 액체순환형은 펌프, 배터리, 냉각수 저장 장치로 인해 구조가 복잡하고 무거워질 수 있으므로, 이동성과 민첩성이 중요한 작업에는 적용이 제한적일 수 있다.

냉각 의류는 냉각 원리 뿐 아니라 냉각 부위와 디자인에 따라서도 구분될 수 있다. 목 냉각 방식은 전경부 혹은 후경부 등 목 주변부를 냉각하는

방식으로, 머리, 얼굴, 목 냉각이 운동 및 작업 활동시 지각적 열부담을 낮추고 수행능력을 개선할 수 있다고 보고되었다(Cao et al. 2022; Stevens et al. 2025). 조끼형 냉각은 구간부를 넓게 냉각할 수 있어서 평균피부온, 심박수 및 직장은 상승 완화 효과가 보고되어 왔다(Choi et al. 2005; House et al. 2013; Tokizawa et al. 2020). 그러나 조끼형 냉각의류는 냉각 방식에 따라 냉각제, 팬, 배터리 또는 물 순환 장치 등으로 인해 무게와 부피가 증가할 수 있고, 어깨와 몸통의 움직임에 방해할 가능성이 있다.

국내에서 수행된 냉각 의류 및 국부 냉각 연구는 냉각 조끼, 냉각 안전모, 스카프, 냉각모자류, 손/전완부 냉각, 액체 냉각복, 소방복 내 냉각복 등 다양한 형태로 이루어져 왔다. 구체적으로 고온 환경에서 냉각조끼의 온열 생리 효과를 평가한 연구(Kwon et al. 2000a; Kwon et al. 2000b; Choi & Hwang 2001), 여름철 노지 농작업자 또는 비닐 하우스 내 농작업자 대상 냉각조끼 착용 시 열부담 완화를 검증한 연구(Choi et al. 2005; Kim et al. 2020), 냉각되는 인체 부위별 열부담을 비교한 연구(Choi & Park 2007; Choi et al. 2008; Seol et al. 2021), 소방보호복 착용 시 냉각조끼와 차가운 음료 섭취의 효과를 평가한 연구(Kim et al. 2020), 소방복 또는 전신 보호복 안에 착용한 냉각의류의 효과를 검토한 연구(Kim et al. 2019; Park & Lee 2024; Park & Lee 2025), 액체 냉각복의 냉각온도와 적용 부위를 평가한 연구(Jung et al. 2020), 시판 냉각조끼의 냉각 성능을 비교한 연구(Kim et al. 2024) 등이 있다. 그러나 이러한 연구들은 주로 단일 냉각 방식을 대상으로 하여 다양한 방식의 냉각의류 효과를 비교한 연구는 거의 없다. 나아가, 생활 물류 및 배달서비스 종사자의 작업 특성을 고려하여 다양

한 시판 냉각의류의 냉각방식, 냉각부위 및 착용성을 동시에 비교한 연구는 거의 없는 실정이다.

해외 연구들의 경우 다양한 냉각 의류와 국부 냉각 장치의 온열 생리적, 정신심리적 효과 및 냉각 성능에 대해 비교적 오랫동안 검토되어 왔다. 아이스팩 삽입형 냉각조끼(Kenny et al. 2011; Seeley and Sherman 2021), PCM형 냉각조끼(House et al. 2013), 기류형 냉각 재킷(Otani et al. 2021; Naito et al. 2023; Otani et al. 2024), 하이브리드형 냉각조끼(Chan et al. 2017), 화학적 활성 냉각조끼(Hosokawa et al. 2020), 액체순환형 냉각조끼(Tokizawa et al. 2020), 목 냉각 밴드나 스카프(Chicas et al. 2021a; Chicas et al. 2021b), 냉각/냉감 기술 적용 티셔츠(McQuerry & Grzywacz 2023)의 효과들이 평가되었다. 국내 선행연구들 뿐만 아니라 이들 연구에서도 냉각 방식에 따른 심부온 상승 억제, 평균 피부온 및 심박수 감소 등과 같은 온열생리적 열부담 완화 효과와 온열쾌적감 향상, 착용성 및 현장 적용 가능성 등이 보고되었다. 다양한 종류의 냉각조끼 성능과 지속 시간을 비교한 연구(Ciuha et al. 2021), 머리, 얼굴, 목 냉각과 같이 부위별 냉각 효과를 비교한 연구(Cao et al. 2022; Stevens et al. 2025)도 발견된다. 그러나 여전히 냉각 부위, 냉각 방식, 착용성 및 작업 특성 등을 동시에 고려하여 다양한 시판 냉각의류를 종합적으로 비교한 연구는 매우 제한적이다.

이처럼 다양한 종류의 냉각의류를 대상으로 냉각 부위와 냉각 방식에 따른 냉각 효과를 종합적으로 비교하기 어려운 이유는 냉각의류 유형과 실험 조건이 많아질수록 실험 규모가 급격히 증가하기 때문이다. 예를 들어, 피험자 내 비교 설계(반복측정 설계)를 적용할 경우, 냉각제 종류, 냉각 방식, 냉각 부위, 환경 조건, 작업 강도 및 피험자

수에 따라 총 실험 횟수가 크게 증가하여 현실적인 연구 수행에 제약이 발생한다. 그럼에도 실제 여름철 고온 환경에 노출되어 작업하는 개인들은 시판 냉각의류 중 어떤 종류의 냉각의류가 가장 효과적인지에 대한 정보를 필요로 한다. 이를 위해, 먼저 소수의 피험자를 대상으로 탐색적 실험을 수행하여 냉각 효과와 착용성 측면에서 우수한 냉각의류 제품을 선별한 다음, 통계적으로 유의미한 피험자 수를 확보하여 다음 단계의 실험을 진행하는 단계적 연구가 실용적 대안일 것이다.

따라서, 본 연구의 목적은 현재 시판 중인 다양한 냉각의류를 선정하여 고온다습 환경에서 운동 시 인체 냉각 효과를 비교하고, 냉각 방식과 디자인에 따른 장단점을 도출하는 것이다. 본 연구에서 탐색하고자 하는 연구문제는 다음과 같다: 첫째, 목 냉각 밴드보다 냉각조끼 형태 착용 시 인체 냉각 효과가 더 클 것인가. 둘째, 공기순환형 냉각의류보다 전도형 냉각의류의 인체 냉각효과가 더 클 것인가. 셋째, 전도형 냉각의류 중 고흡수 폴리머 냉매 또는 PCM 냉매를 사용한 냉각의류보다 액체순환형 냉각의류의 인체 냉각효과가 더 클 것인가. 본 연구에서 인체 냉각 효과는 피험자의 심부온, 피부온 및 정신심리반응을 통해 평가하였다. 본 연구 결과는 여름철 작업자가 노출되는 환경과 작업 방식에 적합한 냉각의류를 선정하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

II. 연구방법

1. 피험자

본 연구는 다양한 시판 냉각의류의 착용 효과에 대한 탐색적 비교를 위해 건강한 성인 남성 1인(24세, 키 176.5 cm, 몸무게 76.6 kg, 체표면적 1.97 m², BMI 23.5 kg/m²)이 피험자로 참여하였다. 피험자에게는 모집 단계에서 실험 내용에 대

해 충분히 설명하였고, 자발적인 동의 후에 본 실험에 참여하였다. 피험자에게는 실험 전날 과도한 운동 및 음주를 자제하고, 충분한 수면을 취하도록 사전에 주의사항을 전달하였다. 본 연구는 서울대학교 생명윤리위원회의 사전 승인을 받았다(IRB No. 2509/002-007).

2. 실험 의복 특성

국내 시판 냉각의류 중 냉각의류의 형태(목냉각형, 냉각조끼형)를 1차 선정 기준으로, 냉각 방식(기류식, 냉매식, 액체순환식)을 2차 선정 기준으로 적용하여 총 8종의 냉각의류를 선정하였다. 다만, 각 범주 내에서도 다수의 제품이 판매되고 있었으므로, 국내에서 손쉽게 구매가 가능하고 구매한 소비자들의 평가가 우수한 제품들 위주로 최종 실험 대상으로 선정하였다. 본 연구에서 선정한 8종의 냉각의류 형태(디자인)는 목을 냉각하는 밴드 형태와 몸통을 냉각하는 조끼 형식으로 구분되며, 냉각 방식은 대류에 의한 냉각, PCM을 사용한 전도 냉각, 액체순환방식에 기반한 전도 냉각으로 구분되었다(Table 1, Fig. 1). 목을 냉각하는 방식의 냉각의류는 대류식과 접촉 냉각식 밴드 2종으로 구성하였다. 대류에 의한 냉각 방식의 목 밴드(WINNICOOL Neck Fan, Shenzhen Kaisirui Technology Co., Ltd, China, 충전식, 5200 mAh 배터리 삽입)는 목 밴드의 양 옆 목 부분에 팬 1개씩 총 2개 삽입, 후면부 뒷목 중앙 부위에 1개의 금속 냉각면이 부착된 플라스틱 소재의 밴드이다(Neck band air type in Table 1). 접촉식 목 냉각 밴드(B.FLO ICY 18°C)는 18°C에서 녹는 10개의 PCM 셀(각 셀의 폭 4.5 ~ 6.5 cm)로 구성되며 각 PCM 셀은 TPU 소재로 둘러싼 형태이다(펼친 수평 길이 44 cm, 72시간 냉동한 후 딱딱한 상태에서 사용함. 본 실험 환경에 60분 노

출되는 동안 서서히 녹음). 실험에 사용된 시판 냉각조끼는 총 6종으로 대류식 냉각조끼 3종, 냉매 집속식 냉각조끼 2종, 액체순환형 냉각조끼 1종이었다. 대류식 냉각조끼는 조끼에 삽입된 팬을 이용

Table 1. Photos and specifications of the eight cooling garments in the present study

Cooling area	Cooling type	Photo	Material	Weight (g)	Company
Neck band	[AIR] Convective cooling by airflow		Plastic	446	Shenzhen Kaisirui Technology Co., Ltd (China)
	[PCM] Conductive cooling using PCM		Outshell: TPU Infill: PCM 18°C	237	B.Flo (Korea)
Vest	[Upward AIR] Convective cooling by upward airflow		Outshell: TeijinConex 93%, Twaron 5%, Antistatic 2% Distance material: Polyester 100% Lining: Polyamide 100%	1,419	TEIJIN Cooling Vest (Japan)
	[Fan AIR] Convective cooling by airflow from four air fans		Polyester 100%	1,069	ZHINUO Fan Vest (China)
	[Cold AIR] Convective cooling by cold airflow		Cotton, Polycotton	1,368	LI QIANG (China)
	[Big 4PCMs] Conductive cooling using PCM packs (Partial body regions)		Outshell: Polyester 100% Infill: Super Absorbent Polymer (SAP) + Water	1,019	TheMakers, TheM (Korea)
	[Small 57PCMs] Conductive cooling using PCM packs (Total trunk body regions)		Outshell: Nylon & TPU Infill: PCM	1,312	Nanoguard Yein (China)
	[Liquid cooling] Conductive cooling by circulating cool water		Outshell and Liner: Nylon 85% & Spandex 15%	5,322	COMPCOOLER mesh Active Cooling Vest (US)

한 바람을 통해 냉각 효과를 발휘하는 유형으로, 팬이 하부에 부착되어 밑단 부분에서 생성된 바람이 안감과 겹감 사이에 상승 기류를 형성하고 생성된 상승기류가 안감을 통해 인체 피부 면으로 퍼지는 하부생성형 냉각조끼(TEIJIN Cooling Vest, Table 1에서 Upward Air vest), 4개의 소형 팬으로 생성된 바람이 밑단과 겨드랑이로 새어나가지 않고 몸통에서 순환 후 목 칼라를 통해 배출되도록 설계된 ‘선풍기형’ 냉각조끼(ZHINUO Fan Vest, Table 1에서 Fan Air vest), 냉각 모듈을 탑재하여 차가운 바람을 공급하는 냉각 기류형 조끼(LeaM Air Conditioning Vest, Table 1에서 Cold Air vest)를 선정하였다. 냉매 접촉식 냉각조끼는 사용 전 냉동한 후 피부에 밀착하여 착용하는 조끼로, 가슴과 등 부위에 각각 세로로 두 개의 냉매팩(고흡습성 폴리머 냉매 총 4개, 냉매 1개 사이즈 13×16 cm, 냉매 1개 중량 175 g)을 삽입한 냉각조끼(The Makers Ice Vest, Table 1에서 Big 4PCMs vest)와 등과 가슴 부위에 전체적으로 작은 PCM셀이 부착되어 있는 냉각조끼(NANOGUARD Ice Cooling Vest, PCM 28°C 이상에서 녹음, 총 57개의 소형 다각형 PCM 셀로 구성, Table 1에서 Small 57PCMs vest)가 선정되었다(PCM 냉각조끼의 냉각력은 본 실험 환경에 60분 노출되는 동안 서서히 녹았으나 노출 마지막 시점에서도 냉각력은 어느 정도 유지됨). 액체순환형 냉각조끼(COMPCOOLER Mesh Cooling Vest, 72시간 냉동실에서 얼린 후 사용, Table 1에서 Liquid Cooling vest)는 3L 용량의 냉각수 주머니와 펌프, 배터리로 구성되어 있는 작은 배낭과 몸통 전반에 걸쳐 물이 흐르는 튜브가 삽입된 조끼로 구성되며, 냉각수는 조끼 전체에 규칙적 패턴으로 삽입된 튜브를 통해 순환한 후 다시 냉각수 주머니로 들어간다.

냉각수의 50%에 해당하는 물 1.5 L를 냉각수 주머니에 넣은 채 얼린 후, 주머니에 나머지 50% (1.5 L)의 물을 부어 준비하였다.

냉각의류 이외 기본 착용 의복은, 여름철 택배 물류 배송 작업자의 의복을 고려하여 팬티, 반팔 상의(폴리에스테르), 반 바지(폴리에스테르), 작업용 조끼(폴리에스테르, 메쉬), 작업용 장갑, 양말, 운동화이다. 냉각조끼 착용 조건에서는 작업용 조끼 대신 냉각조끼를 착용하였고, 목 냉각 조건에서는 작업용 조끼를 착용하였다.

3. 실험프로토콜 및 실험과정

모든 실험은 기온 36°C , 습도 65%RH(WBGT 32°C)로 설정된 인공기후실에서 총 70분 동안 진행되었으며, 1회 실험은 안정기(10분), 트레드밀에서 3단계의 점진적 운동기(50분), 회복기(10분)으로 구성되었다(Fig. 2). 피험자는 실험 준비실에 도착한 후, 탈수 방지를 위해 생수 330 ml를 마신 다음에 직장온 센서를 삽입하고 본인 속옷만 착용한 상태에서 체중 측정을 위해 실험용 가운을 착용하였다. 체중과 신장, 인체 체성분을 측정한 이후, 실험 준비실에서 귀내온, 여덟 부위 피부온도 센서, 의복내 온습도(등 최내층), 심박수 측정용 벨트 및 심박수 센서 등을 부착하였다. 기본 의복(반팔 상의, 반바지, 작업용 조끼, 작업용 장갑, 양말, 운동화)을 착용한 다음 인공 기후실로 이동하였다. 인공 기후실에 입실한 다음 피험자는 안정기(10분)동안 의자에 앉은 자세를 유지하였고, 이 때 혈압을 측정하였다. 안정기 마지막 시점(운동 시작 30초 전)에 냉각 의류를 착용·작동하였다. 냉각조끼는 허리 혹은 옆구리 부분 사이즈 조정 벨트를 이용해 피험자의 몸에 잘 밀착되도록 조정하였으며, 각 냉각조끼의 냉각 단계는 최대 단계로 설정하였다. 운동기(총 50분)는 속도 4 km/h (경사



Fig. 1. Experimental conditions and a subject who wore cooling garments during exercise in the present study.

0도, 20분; 저강도), 속도 5 km/h (경사 5도, 20분; 중등강도), 그리고 속도 6 km/h (경사 10도, 10분; 고-중등강도)로 단계적으로 실시하였다(Fig. 1). 운동기(50분)직후 회복기(10분) 동안 의자에 앉은 자세를 유지하였으며, 운동 직후 바로 혈압을

측정하였다. 냉각의류는 안정기(10분)를 제외한 운동기(50분)와 회복기(10분) 동안 지속적으로 착용하였다. 피험자는 총 8종의 냉각의류를 임의의 순서로 착용하였으며 (실험 조건 순서: Air Neck Band → 4PCMs vest → Fan air vest → PCM

neck band → 57PCMs vest → Cold air vest → Liquid cooling vest → Teijin air vest), 각 실험 간에는 최소한 48 ~ 120 시간의 실험 간격을 두었고, 체온의 일주기 리듬을 고려하여 모든 실험은 오전 8시 30분 ~ 9시 사이에 시작하였다.

4. 측정 항목

직장온은 전용 센서를 사용하여 직장 내 16 cm 깊이에서 5초 간격으로 연속 측정하였다(LT-8A, Gram Corporation, Japan). 귀내온은 이어폰 형태로 제작된 귀내온 전용 센서를 왼쪽 귀에 피험자가 직접 넣도록 한 후 숨을 이용하여 귀 주변의 외기를 차단하여 고정한 후 5초 간격으로 자동 기록하였다(Fig. 2). 피부온은 여덟 부위(이마, 가슴, 등, 아래팔, 손등, 넓적다리, 종아리, 발)에 이마를 제외하고 모든 센서를 피험자 왼쪽에 부착하여 5초 간격으로 연속 측정하였다. 직장온, 귀내온 및 피부온은 동일한 데이터 로거(LT-8A, Gram Corporation, Japan)를 사용하였다. 심박수는 벨트형 센서를 가슴 부위에 부착한 다음 1초 간격으로 측정하였다(H10, Polar Electro Oy, Finland).

의복내온습도는 의복내 최내층(피부면과 최내층 의복 간 생성되는 공기층)에서, 윗등 중앙부에 센서를 부착하여 5초 간격으로 연속 측정하였다(TR-72wb, T&D, Japan). 혈압은 운동 시작 직전(안정기)과 운동 종료 직후(회복기) 각 2회씩 측정하였다. 총발한량 측정을 위해 인체천칭(F150S, Sartorius, Germany, resolution 1 g)을 이용하여, 실험용 팬티, 실험가운 만을 착용한 상태에서 실험 전후로 체중을 각 3회씩 측정하고 이의 평균을 계산한 후 실험 전후 차이로 계산하였다. 기본 의복과 냉각의류의 무게도 실험 전후로 3회씩 반복 측정하였다.

정신·심리적 반응으로는 한서감(전신, 목 부위, 몸통 부위)과 온열쾌적감(전신), 습윤감(전신)을 10분 간격으로 측정하였다. 한서감은 9점 척도(-4: 매우 춥다, -3: 춥다, -2: 서늘하다, -1: 약간 서늘하다, 0: 춥지도 덥지도 않다, +1: 약간 따뜻하다, +2: 따뜻하다, +3: 덥다, +4: 매우 덥다), 온열쾌적감은 7점 척도(-3: 매우 불쾌하다, -2: 불쾌하다, -1: 약간 불쾌하다, 0: 보통이다, +1: 약간 쾌적하다, +2: 쾌적하다, +3: 매우 쾌적하다), 습

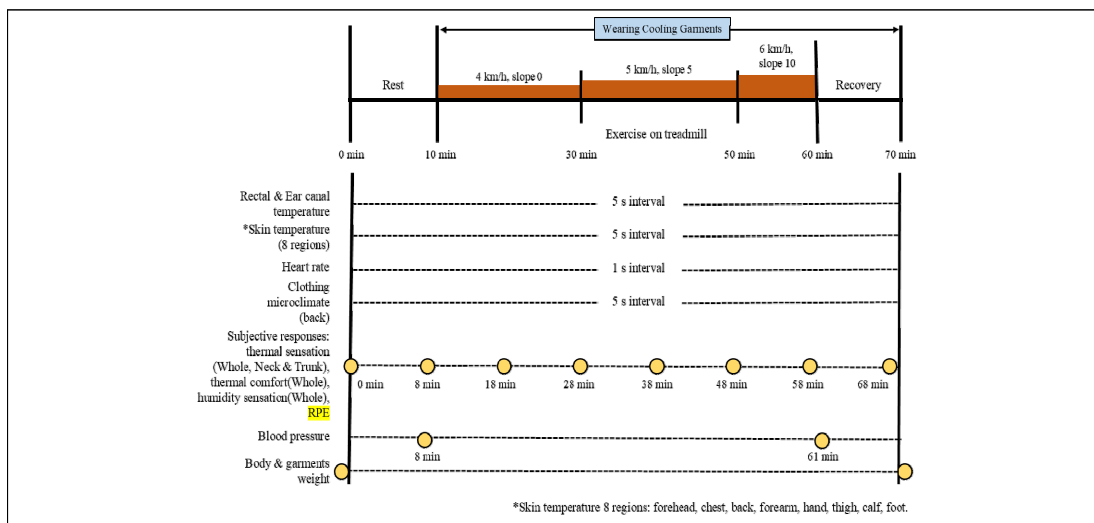


Fig. 2. Experimental protocol and measurement intervals of the present study.

운감은 7점 척도(-3: 매우 건조하다, -2: 건조하다, -1: 약간 건조하다, 0: 보통이다, +1: 약간 습하다, +2: 습하다, +3: 매우 습하다)를 사용하였다. 모든 응답은 0.5점 단위로도 함께 측정되었다. 운동 50분 동안 10분 간격으로 수정된 Borg's Scale로 주관적 힘들기(Ratings of Perceived Exertion, RPE)를 측정하였다.

5. 데이터 분석

평균피부온도(mean T_{sk})는 수정된 Hardy and Dubois(1938)의 식에 따라 다음과 같이 계산하였다. $Mean\ T_{sk} = 0.07T_{forehead} + 0.35[(T_{chest} + T_{back})/2] + 0.14T_{forearm} + 0.05T_{hand} + 0.19T_{thigh} + 0.13T_{calf} + 0.07T_{foot}$. 직장온, 귀내온, 피부온, 심박수, 의복내온습도 등 연속 측정된 변수들에 대해 안정기(7-10분), 운동기(57-60분) 및 회복기(67-70분) 동안의 값을 각 phase의 대표값으로 사용하였다.

III. 연구결과

1. 직장온 및 귀내온

모든 조건에서 직장온과 귀내온은 냉각의류를 착용했음에도 불구하고 운동과 함께 점진적으로 상승하였다. 운동 종료 직후 회복기 동안 직장온은

유지 혹은 증가한 반면, 귀내온은 유지 혹은 감소하였다(Fig. 3). 운동 종료 시점에서 직장온은

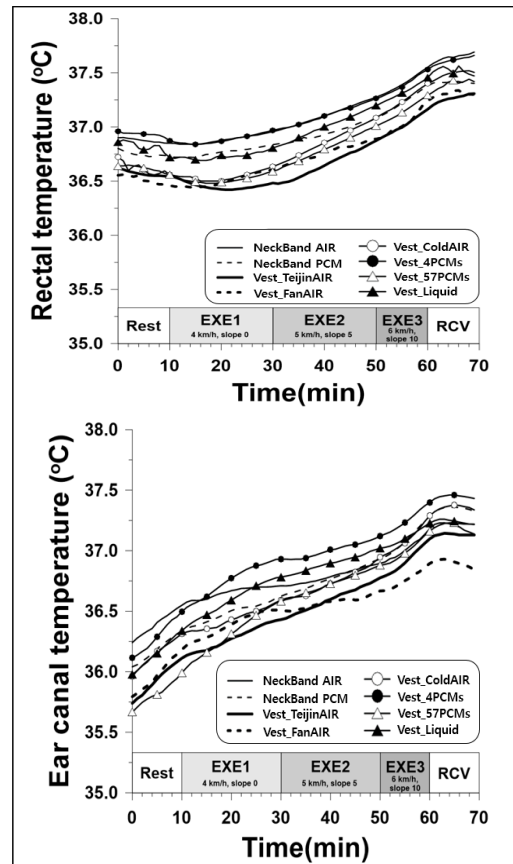


Fig. 3. Time courses of rectal temperature and auditory canal temperature for 70 min (One male subject: 176.5 cm in height and 76.6 kg in body weight)

Table 2. Rectal and ear canal temperatures during rest, exercise, and recovery for the 8 cooling conditions

Variable	Phase	Neckband				Vest			
		Air	PCM	Teijin Air	Fan Air	Cold Air	4PCMs	57PCMs	Liquid cooling
Rectal temp. (°C)	Rest ①	36.9	36.7	36.5	36.5	36.6	36.9	36.6	36.8
	Exercise ②	37.5	37.3	37.1	37.1	37.3	37.5	37.2	37.4
	Recovery	37.7	37.4	37.3	37.3	37.5	37.6	37.4	37.5
	Change(②-①)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6
Ear canal temp. (°C)	Rest ①	36.5	36.3	36.1	36.1	36.3	36.4	35.9	36.3
	Exercise ②	37.1	37.2	37.0	36.8	37.2	37.3	37.1	37.2
	Recovery	37.2	37.3	37.1	36.9	37.4	37.4	37.2	37.2
	Change(②-①)	0.6	0.5	0.9	0.7	0.9	0.9	1.2	0.9

37.1 ~ 37.5°C, 귀내온은 36.8 ~ 37.3°C로 여덟 가지 냉각의류 조건 간 눈에 띄는 차이는 발견되지 않았다. 운동 중 직장온 증가량은 여덟 가지 냉각의류 조건 간 큰 차이 없이 0.6 ~ 0.7°C였으나, 귀내온 증가량은 목 냉각 밴드 조건에서 0.5 ~ 0.6°C로 냉각조끼 조건들에 비해 낮았으며, 냉각

조끼 착용조건에서 귀내온 증가량은 0.7 ~ 1.2°C로 나타났다(Table 2).

2. 평균피부온도와 부위별 피부온도

두 종류의 목 냉각 밴드 조건 모두에서 평균피부온도는 점진적으로 상승한 반면, 냉각조끼 중 57PCMs 조건 및 액체순환형 냉각조끼가 착용과

Table 2. Mean and body regional skin temperatures during rest, exercise, and recovery for the 8 cooling conditions

Variable	Phase	NeckBand		Vest					
		Air	PCM	Teijin Air	Fan Air	Cold Air	4PCMs	57PCMs	Liquid cooling
Mean skin temp. (°C)	Rest ①	34.3	34.3	34.1	34.1	34.4	34.5	34.1	34.2
	Exercise ②	35.9	36.2	35.6	35.7	35.9	36.1	35.6	32.4
	Recovery	36.3	36.5	35.8	35.3	36.3	36.3	35.7	32.7
	Change(②-①)	1.6	1.9	1.5	1.6	1.5	1.6	1.5	-1.8
Forehead temp. (°C)	Rest ①	36.0	35.7	35.8	35.9	35.8	36.5	35.9	36.0
	Exercise ②	36.6	36.9	36.6	36.3	36.7	36.9	36.6	36.6
	Recovery	36.5	36.8	36.8	36.1	36.6	36.7	36.6	36.5
	Change(②-①)	0.6	1.2	0.8	0.4	0.9	0.4	0.7	0.6
Chest temp. (°C)	Rest ①	34.0	33.1	33.2	33.3	33.6	33.8	33.1	32.9
	Exercise ②	35.5	35.6	34.9	35.3	36.1	35.8	34.3	17.6
	Recovery	36.2	36.2	35.5	34.6	36.8	36.2	33.9	19.2
	Change(②-①)	1.5	2.5	1.7	2.0	2.5	2.0	1.2	-15.3
Back temp. (°C)	Rest ①	34.2	34.0	34.0	34.3	34.1	34.4	34.5	34.1
	Exercise ②	35.7	36.6	35.7	35.3	36.0	36.5	34.6	33.7
	Recovery	35.9	36.7	36.0	34.4	35.8	36.8	35.4	33.5
	Change(②-①)	1.5	2.6	1.7	1.0	1.9	2.1	0.1	-0.4
Forearm temp. (°C)	Rest ①	34.2	34.0	34.2	34.0	34.4	34.3	34.1	34.6
	Exercise ②	35.9	35.8	36.3	35.3	36.0	35.7	36.0	35.6
	Recovery	36.0	36.3	36.1	34.7	36.2	35.6	36.2	35.6
	Change(②-①)	1.7	1.8	2.1	1.3	1.6	1.4	1.9	1.0
Hand temp. (°C)	Rest ①	35.4	35.5	35.3	35.3	35.5	35.7	35.3	35.5
	Exercise ②	35.7	35.9	35.7	35.5	35.9	35.3	35.7	35.5
	Recovery	36.1	36.3	35.6	35.5	36.2	35.4	35.9	35.6
	Change(②-①)	0.3	0.4	0.4	0.2	0.4	-0.4	0.4	0.0
Thigh temp. (°C)	Rest ①	34.2	34.3	33.9	34.1	34.3	34.6	34.1	33.9
	Exercise ②	35.6	36.0	34.7	36	35.6	35.8	35.9	36.0
	Recovery	36.7	36.5	35.0	36	36.3	36.6	36.0	36.2
	Change(②-①)	1.4	1.7	0.8	1.9	1.3	1.2	1.8	2.1
Calf temp. (°C)	Rest ①	33.7	34.2	33.6	33.8	33.9	34.1	33.2	33.9
	Exercise ②	35.9	36.4	36.0	36.0	34.8	36.0	36.2	36.1
	Recovery	36.3	36.4	36.1	35.6	36.4	36.2	36.1	35.9
	Change(②-①)	2.2	2.2	2.4	2.2	0.9	1.9	3.0	2.2
Foot temp. (°C)	Rest ①	34.2	35.9	35.5	34.2	35.8	35.0	35.1	35.7
	Exercise ②	37.1	37.1	36.9	36.9	36.9	37.1	36.9	37.0
	Recovery	37.1	37.1	37.0	36.9	37.0	37.1	37.0	37.1
	Change(②-①)	2.9	1.2	1.4	2.7	1.1	2.1	1.8	1.3

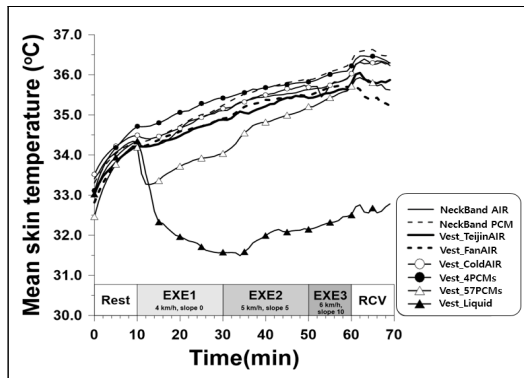


Fig. 4. Time courses of mean skin temperature for 70 min at 36°C and 65% relative humidity(RH)(One male subject: 176.5 cm in height and 76.6 kg in body weight).

동시에 평균피부온도는 하강하였으며, 특히 액체순환형 냉각조끼 착용 조건에서 평균피부온도는 급격히 하락하여 다른 조건들에 비해 현저하게 낮은 평균피부온도가 관찰되었다(Fig. 4, Table 2). 57PCMs 냉각조끼에 비해 액체순환형 조끼 착용 시에 냉각은 더 오랫동안 지속되어 운동 약 24분까지 평균피부온 하강이 지속되었다(Fig. 4). 운동 종료 직후 회복기에서 평균피부온도는 대부분의 냉각 조건에서 약 0.1 ~ 0.4°C 상승하였다가 다시 하강하는 현상이 발견되었다(Fig. 4). 대부분의 조건에서 운동 중 상승한 평균피부온도는 약 1.5 ~ 1.9°C였으나 액체순환형 냉각조끼 착용 조건에

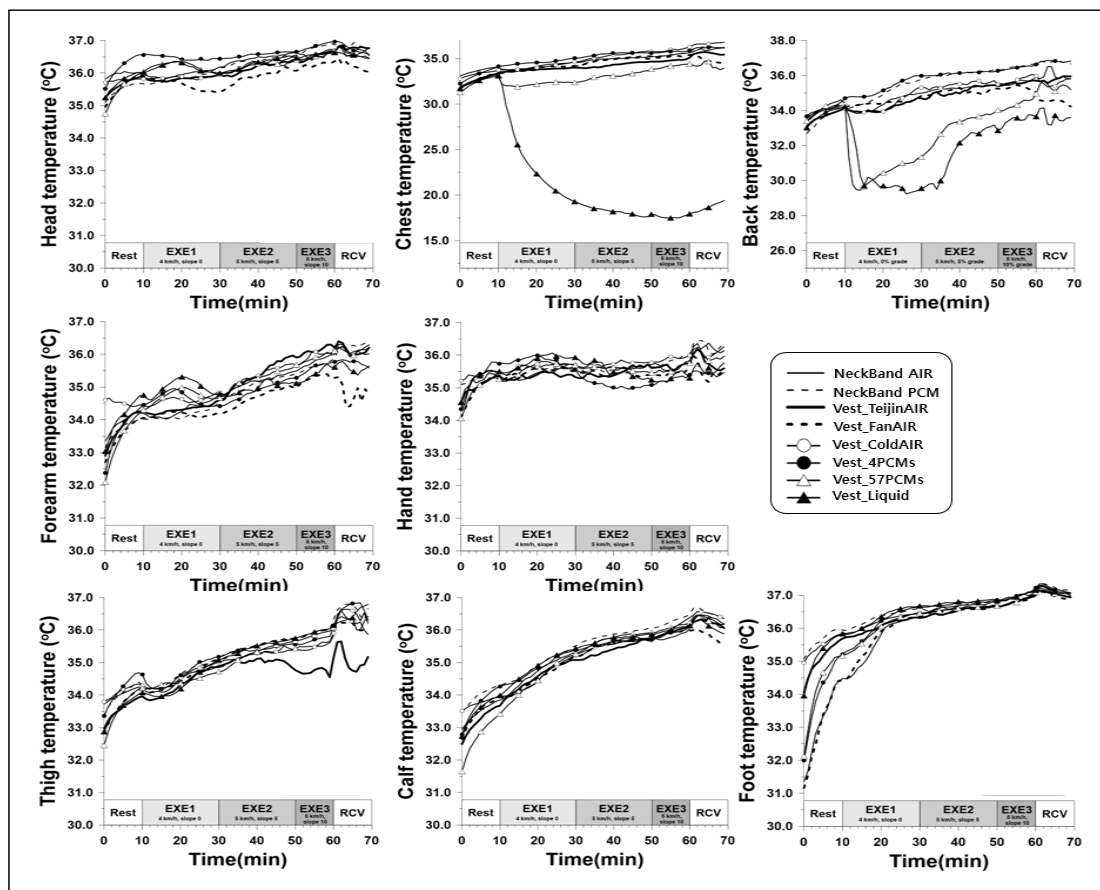


Fig. 5. Time courses of body regional skin temperature for 70 min at 36°C and 65% relative humidity (One male subject: 176.5 cm in height and 76.6 kg in body weight).

서만 평균피부온도는 1.8°C 하강하였다(Table 2).

부위별 피부온도 중 이마, 아래팔, 손등, 넓적다리, 종아리, 발등 부위 온도는 여덟 가지 냉각 조건별로 회복기, 운동기, 휴식기에서 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 5). 그러나 가슴 부위 피부온도는 액체순환형 조끼와 57PCMs 삽입형 조끼 조건에서 다른 조건과 달리 착용 이후 온도가 하락하였다. 특히 액체순환형 조끼 착용 시 운동 시작 후 47분경까지 온도가 하락하여 운동 종료 시점에서 가슴 온도는 휴식기에 비해 15.4°C 감소하였다. 등 부위 온도는 57PCMs 삽입형 조끼와 액체순환형 조끼에서 착용 직후 가장 크게 하락하였으며, 다른 냉각의류 조건의 경우 감소폭이 $0.1 \sim 0.3^{\circ}\text{C}$ 로 낮았다(Fig. 5, Table 2).

3. 의복내온습도

등 부위 의복 내 온도의 경우 목 밴드형이나 공기순환형 냉각조끼 착용 조건에서 온도 감소는 발견되지 않았다. 반면, PCM형 냉각조끼와 액

체순환형 냉각조끼를 착용한 경우 등 부위 의복 내 온도는 운동 중 감소하였으며, 특히 액체순환형 조끼와 4PCMs형 냉각조끼 착용 시 $25 \sim 26^{\circ}\text{C}$ 까지 감소하였다(Fig. 6). 등 부위 의복 내 습도는 목 냉각 밴드 착용 조건에서 큰 변화없이 90%RH 이상을 유지하였으나, 여섯 가지 냉각조끼 착용 조건에서는 착용 초기에 감소하는 경향이 발견되었다(Fig. 6). 특히, 액체순환형 냉각조끼와 PCMs형 냉각조끼 착용 시 크게 감소하였으며, 특히 57PCMs 조끼 착용과 동시에 등 부위 의복 내 습도의 큰 감소가 발견되었다(Fig. 6).

4. 심박수, 혈압, 총발한량

심박수는 여덟 조건 간 큰 차이 없이 안정 시 평균 $70 \sim 76$ bpm에서 시작하여, 운동 종료 시점 $130 \sim 150$ bpm, 회복기 마지막 시점에서는 $80 \sim 95$ bpm 수준을 보였다(Fig. 7).

안정기 수축기/이완기 혈압은 여덟 조건 간 큰 차이없이 $110 \sim 117$ mmHg/ $62 \sim 76$ mmHg였

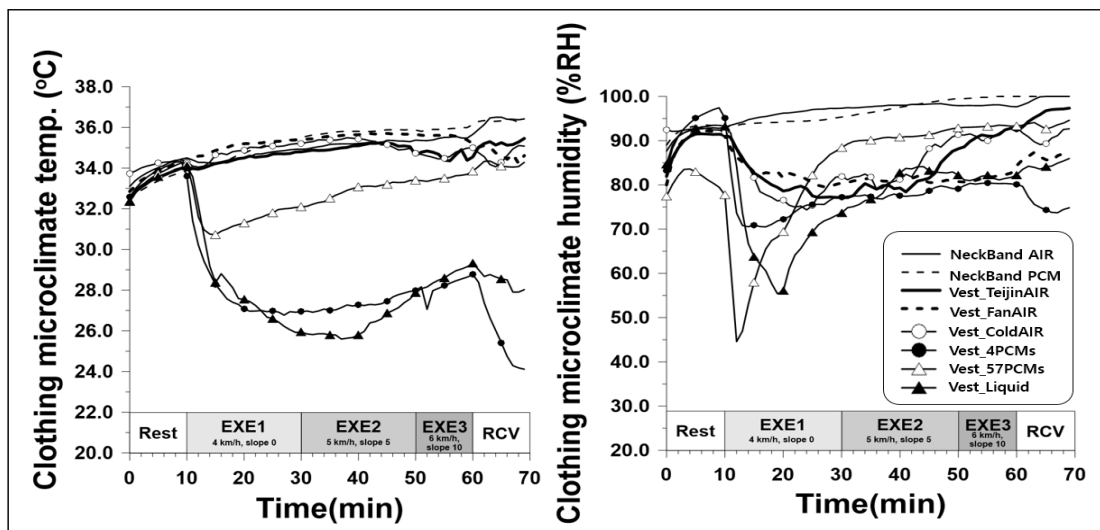


Fig. 6. Time courses of clothing microclimate temperature (left) and humidity (right) for 70 min at 36°C and 65% Relative humidity (One male subject: 176.5 cm in height and 76.6 kg in body weight).

으며, 운동 종료 직후 수축기/이완기 혈압은 120 ~ 141 mmHg/69 ~ 81 mmHg였다. 운동에 의

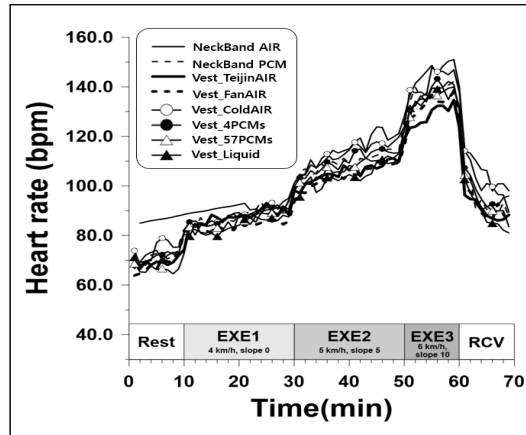


Fig. 7. Time courses of heart rate and ratings for 70 min at 36°C and 65% Relative humidity(One male subject: 176.5 cm in height and 76.6 kg in body weight).

한 수축기 혈압은 9 ~ 38 mmHg 증가한 반면 이완기 혈압은 -7 ~ 8 mmHg 변화하였다. 총발한량은 공기 순환형 목 밴드, PCM 목밴드, TeijinAir 냉각조끼, FanAir 냉각조끼, ColdAir 냉각조끼, 4PCMs형 냉각조끼, 57PCMs형 냉각조끼, 액체 순환형 냉각조끼 조건에서 각각 726, 606, 588, 540, 601, 650, 470, 496 g/trial로 두 가지 목 밴드 조건(평균 666 g)보다 여섯 가지 냉각조끼 조건(평균 558 g)에서 109 g 더 적은 값이 발견되었다. 특히 57PCMs조끼와 액체순환형 냉각조끼 조건에서 가장 적어 목 냉각 밴드 조건에 비해 27% 더 적은 발한량이 발견되었다(57PCMs와 액체순환형 조끼 평균 483 g/trial vs. 목냉각 밴드 조건 평균 666 g/trial).

Table 3. Thermal sensation, thermal comfort, and humidity sensation during rest, exercise, and recovery for the eight cooling conditions

Variable	Phase	Neckband			Vest				
		Air	PCM	Teijin Air	Fan Air	Cold Air	4PCMs	57PCMs	Liquid cooling
Thermal sensation _Overall	Rest (8 th min)	2.5	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.0
	Exercise (18 th min)	2.5	2.0	2.5	1.0	3.0	2.0	1.5	1.0
	Exercise (58 th min)	4.0	3.5	4.0	1.5	4.0	4.0	3.5	0.5
	Recovery (68 th min)	2.5	3.0	1.5	0.5	2.5	3.0	1.5	-0.5
Thermal sensation _Neck	Rest (8 th min)	2.5	3.0	2.5	2.0	3.0	2.5	2.0	2.5
	Exercise (18 th min)	2.0	-2.0	2.5	1.0	3.5	2.5	2.0	2.5
	Exercise (58 th min)	4.0	1.5	4.0	1.0	4.0	4.0	4.0	1.5
	Recovery (68 th min)	2.0	2.0	2.0	0.0	3.0	3.0	2.0	1.0
Thermal sensation _Trunk	Rest (8 th min)	2.5	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.5
	Exercise (18 th min)	2.5	2.0	2.5	0.5	3.0	1.0	-1.0	2.5
	Exercise (58 th min)	4.0	3.5	4.0	1.5	4.0	3.5	3.5	4.0
	Recovery (68 th min)	2.5	3.0	1.5	1.0	3.0	1.5	1.0	1.5
Thermal comfort _Overall	Rest (8 th min)	-1.5	-1.5	-1.0	-1.5	-2.0	-1.0	-0.5	-1.5
	Exercise (18 th min)	-2.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	-1.5	-1.0	0.5
	Exercise (58 th min)	-3.0	-2.5	-2.5	-1.0	-3.0	-3.0	-3.0	-0.5
	Recovery (68 th min)	-3.0	-3.0	-2.0	-0.5	-2.0	-2.5	-2.0	-0.5
Humidity sensation _Overall	Rest (8 th min)	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	Exercise (18 th min)	2.5	2.0	1.5	1.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	Exercise (58 th min)	3.0	3.0	3.0	2.0	3.0	3.0	3.0	2.5
	Recovery (68 th min)	3.0	3.0	2.5	1.0	3.0	3.0	3.0	2.0

5. 정신 · 심리적 반응

전신 및 부위별 한서감은 초기 안정 시 2.0 ~ 3.0점 (약간 덥다 ~ 덥다) 사이였다. 냉각의류를 착용하고 운동을 시작하면서 전신 한서감은 FanAir 냉각조끼와 액체순환형 냉각조끼 착용 시 가장 덜 덥게 느낀 반면 ColdAir 냉각조끼 착용 조건에서 가장 덥게 느꼈다(Table 3, Fig. 8). 운동 종료 시점에서 전신 한서감은 액체순환형 조끼에서 0.5점으로 가장 낮았고, FanAir 조건에서도 1.5점으로 낮았던 반면, 목 냉각 밴드와 나머지 냉각조끼 착용조건에서는 3.5점 ~ 4.0점으로 매우 덥다고 응답하였다(Table 3, Fig. 8). 목 부위의 한서감은 공기순환형보다 PCM 목 냉각 밴드에서 더 차갑게 느꼈으며 이는 운동 종료시까지 유효했다(Table 3, Fig. 8). 운동 종료 시 목 부위 한서감은 액체순환형 조끼 및 FanAir 냉각조끼 착용 시에도 낮은

값이 발견되었다. 몸통 부위의 한서감은 운동 초기, 운동 종료 시, 회복기 모두 FanAir 조끼에서 가장 낮은 값이 발견되었다(Table 4, Fig. 8). 전신 온열쾌적감은 액체순환형 냉각조끼 착용 시 가장 우수했으며 이는 운동 종료 시 및 회복기까지 유지되었다(Table 3, Fig. 8). 전신 습윤감은 FanAir 냉각조끼 착용 시 가장 낮아 덜 습하다고 응답하였다(Table 3, Fig. 8).

IV. 고 찰

1. 목 냉각 밴드나 냉각조끼 착용만으로 고온 하 운동 시 심부는 저하가 가능한가?

본 연구 결과, 목이나 몸통 부분과 같이 인체 일부를 냉각하는 방식의 부분 냉각의류 착용은 고온 환경에서 운동 수행 시 심부는 상승을 효과적으로

Table 3. Thermal sensation, thermal comfort, and humidity sensation during rest, exercise, and recovery for the eight cooling conditions

Variable	Phase	NeckBand		Vest					
		Air	PCM	Teijin Air	Fan Air	Cold Air	4PCMs	57PCMs	Liquid cooling
Thermal sensation_Overall	Rest (8 th min)	2.5	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.0
	Exercise (18 th min)	2.5	2.0	2.5	1.0	3.0	2.0	1.5	1.0
	Exercise (58 th min)	4.0	3.5	4.0	1.5	4.0	4.0	3.5	0.5
	Recovery (68 th min)	2.5	3.0	1.5	0.5	2.5	3.0	1.5	-0.5
Thermal sensation_Neck	Rest (8 th min)	2.5	3.0	2.5	2.0	3.0	2.5	2.0	2.5
	Exercise (18 th min)	2.0	-2.0	2.5	1.0	3.5	2.5	2.0	2.5
	Exercise (58 th min)	4.0	1.5	4.0	1.0	4.0	4.0	4.0	1.5
	Recovery (68 th min)	2.0	2.0	2.0	0.0	3.0	3.0	2.0	1.0
Thermal sensation_Trunk	Rest (8 th min)	2.5	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.5
	Exercise (18 th min)	2.5	2.0	2.5	0.5	3.0	1.0	-1.0	2.5
	Exercise (58 th min)	4.0	3.5	4.0	1.5	4.0	3.5	3.5	4.0
	Recovery (68 th min)	2.5	3.0	1.5	1.0	3.0	1.5	1.0	1.5
Thermal comfort_Overall	Rest (8 th min)	-1.5	-1.5	-1.0	-1.5	-2.0	-1.0	-0.5	-1.5
	Exercise (18 th min)	-2.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	-1.5	-1.0	0.5
	Exercise (58 th min)	-3.0	-2.5	-2.5	-1.0	-3.0	-3.0	-3.0	-0.5
	Recovery (68 th min)	-3.0	-3.0	-2.0	-0.5	-2.0	-2.5	-2.0	-0.5
Humidity sensation_Overall	Rest (8 th min)	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	Exercise (18 th min)	2.5	2.0	1.5	1.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	Exercise (58 th min)	3.0	3.0	3.0	2.0	3.0	3.0	3.0	2.5
	Recovery (68 th min)	3.0	3.0	2.5	1.0	3.0	3.0	3.0	2.0

억제하기에는 제한적인 것으로 나타났다. 이는 인체 전신이 아닌 목 부위나 가슴/등과 같은 부분 냉각이 피부온 저하나 주관적 열부담 관련 지표에는 일부 긍정적인 영향을 줄 수 있으나, 직장온과 같은 심부온 조절 효과는 충분하지 않을 수 있다고 보고한 선행연구들과 유사하다. Ando et al. (2015)은 젖은 수건과 팬을 이용한 목 냉각이 고온 환경에서 단기간 고강도 운동 수행 시 심부온 조절을 유도할 만큼 냉각 강도가 충분하지 않았다고 보고하였다. Seeley & Sherman(2021)은 운동 후 회복기 동안 아이스 냉각 조끼가 한 손 냉각보다 온열 생리적 부담 감소에 효과적이나, 직장온과 한서감 개선에는 효과가 없었다고 하였다. Kenney et al.(2021) 연구에서도 냉각조끼 착용이 운동 지속력을 높였으나, 직장온 상승을 억제한다기 보다는 체온 상승으로 인한 생리적 한계점 도달 시간을 지연시키고 피로감을 경감시키는 역할을 할 뿐이라고 보고하였다. 또한 Bongers et al.(2016)은 척추 손상 환자들에게서 냉각 조끼 착용이 피부온과 한서감을 낮추는 경향은 보였지만, 운동 중 심부온 상승 억제 영향은 없었다고 하였다. Naito et al.(2023) 역시 팬 냉각 재킷이 회복기 동안 고막온과 피부온 감소를 돕고 한서감을 낮추었지만 직장온 감소율에는 영향을 주지 않았다고 보고하였다. 한편 Otani et al.(2024)은 기류형 팬 냉각 재킷이 운동과 회복기 동안 고막온, 피부온, 심박수 및 한서감과 온열 불쾌감을 낮추는데 효과적이었다고 보고하였으나 이 연구는 심부온(직장온)을 직접 측정하지는 않은 제한점이 있다. 이처럼 현재 목이나 가슴/등을 부분 냉각하는 시판 냉각의류는 고온 환경에서 피부온과 주관적 열부담을 완화하는 보조 도구로는 유용하나 직접적으로 심부온 상승을 억제하거나 심부온 저하를 유도하기에는 한계가 있다. 보다 효과적인 인체 냉

각을 위해서는 냉각하는 체표면적을 넓히거나 냉각의류 이외 찬물이나 아이스 슬러리 섭취 등과 같은 다른 냉각 방법을 동시에 병행하는 전략이 필요할 것으로 사료된다.

2. 목 냉각 밴드나 냉각조끼 착용만으로 고온 하에서 운동 시 평균피부온 저하가 가능한가?

본 연구 결과, 평균피부온은 냉각 방식에 따라 뚜렷한 차이를 보였다. 목 냉각 밴드 착용 조건과 공기순환형 냉각조끼 3종 착용 조건에서는 운동 중 평균피부온이 지속적으로 상승한 반면, 57PCMs형 냉각조끼와 액체순환형 냉각조끼 착용 조건에서는 착용 직후 평균피부온이 현저하게 감소하였다. 특히 액체순환형 냉각조끼는 운동 종료 시까지 평균피부온이 낮게 유지되었으며, 모든 조건 중 유일하게 평균피부온이 운동 전보다 낮아졌다. 즉, 8종의 냉각의류 중 피부온 상승 억제 효과가 가장 큰 냉각의류는 액체순환형 냉각조끼였고, 그 다음으로 작은 PCM 조각이 가슴과 등 부분에 고르게 배치된 57PCMs 냉각조끼였다. 큰 PCM 냉매를 일부 부위에 배치한 4PCMs 냉각조끼보다 작은 PCM 냉매를 등과 가슴 부위에 고르게 배치한 조끼에서 더 큰 피부 냉각 효과가 나타난 점은 흥미롭다.

이러한 결과는 냉각 면적과 냉각 방식이 평균피부온 조절에 중요한 요인임을 보여준다. 아이스팩이나 PCM을 이용한 냉각조끼는 전도 냉각을 통해 피부온과 평균 피부온을 낮추는데 효과적이며 (Choi and Hwang 2001; Bongers et al. 2016), 기류형 팬 냉각 재킷 역시 의복 내 공기 순환을 통해 의복 내 온도, 상체 피부온 및 평균피부온을 낮추는 효과가 보고되었다(Otani et al., 2021; Otani et al. 2024). 액체순환형 냉각복은 냉각수가 지속적으로 순환하면서 구간부 체온을

낮추기 때문에 피부온 상승을 막아주며, 회복기에 평균피부온을 약 1.9°C 낮추는 것으로 보고되었다(Jung et al. 2020). Seol et al.(2021)은 액체순환형 냉각 슬리브 착용으로 평균피부온 $0.7 - 1.0^{\circ}\text{C}$, 손가락 피부온은 $1.9 - 3.2^{\circ}\text{C}$ 감소한다고 보고하였다. 반면, 목 냉각은 착용 부위인 뒷목 피부온을 일시적으로 낮추는 데는 효과적이나, 냉각면적이 좁아서 조끼형 냉각 의류보다는 평균피부온을 낮추는 효과가 낮다(Ando et al. 2015; Son 2018).

이처럼 냉각의류 착용시 평균피부온 저하 효과는 냉각의류에 의해 덮이는 체표면적과 밀접하게 관련된다. 냉각면적이 넓을수록 더 많은 피부 표면에서 열교환이 발생하고, 이로 인해 평균피부온 상승을 효과적으로 억제할 수 있다. 냉각조끼는 인체 전신 체표면적의 약 21 - 26 %를 덮을 수 있어서, 냉각면적이 좁은 후드형이나 슬리브형보다 평균피부온 저하에 효과적이다(Jung et al. 2020; Otani et al. 2021). 종합하면, 목 냉각 밴드는 국소 피부온 저하와 한서감을 일시적으로 낮출 수 있지만, 평균피부온 상승을 억제하기에는 한계가 있다. 반면, 본 연구에서는 액체순환형 냉각조끼와 57 PCMs형 냉각조끼가 넓은 냉각 면적과 구간부에서의 지속적인 열 교환을 발생시켜 평균피부온 상승을 효과적으로 억제하는 것으로 확인되었다.

3. 목 냉각 밴드나 냉각조끼 착용만으로 고온 하 운동 시 발한량이나 습윤감 저하가 가능한가?

본 연구 결과, 총발한량은 목 냉각 밴드(2종)보다 57PCMs형 냉각조끼 및 액체순환형 냉각조끼 착용 조건에서 평균 27% 낮았다. 등 부위 의복 내 습도도, 다른 냉각 조건들보다 57PCMs형 냉각조끼와 액체순환형 냉각조끼 조건에서 더 낮게 유지되었다. 이는 해당 냉각조끼가 착용 초기부터 구간

부의 피부온 상승을 억제하고, 그 결과 구간부의 발한 반응과 의복 내 습도를 낮추었기 때문으로 사료된다. 이러한 국소발한 억제와 의복 내 습도 저하는 결과적으로 총발한량 감소에도 영향을 주었을 것으로 사료된다. 그러나, 두 냉각의류 조건에서 총발한량과 등 부위 의복 내 습도가 다른 조건들에 비해 상대적으로 낮았음에도 불구하고 전신 습윤감에서는 큰 영향이 발견되지 않았다.

국내의 선행연구를 살펴보면, 냉각조끼 착용이 발한량과 의복 내 습도 조절에 기여할 수 있음이 발견된다. Choi & Hwang(2001)은 아이스 겔 기반 냉각조끼 착용 시 미착용 조건보다 발한량이 더 낮았다고 보고하였고, Jung et al.(2020)은 액체순환형 냉각복 중 조끼 조건에서 다른 냉각 부위 조건에서보다 총발한량이 낮았다고 보고하였다. Kuma et al.(2009) 역시 액체순환형 냉각의복 착용 시 총발한량이 더 적다고 하였다. 그러나, 고온 환경에서 인체 냉각에 따른 발한량 감소에도 불구하고, 착용자의 습윤감은 유의하게 개선되지 않았다. 이는 습윤감이 발한량 뿐만 아니라 피부 표면에 잔류하는 땀의 양, 냉각의류에 의해 피복된 부위에서의 제한된 수분 증발로 인한 피부의 습윤 상태, 그리고 냉각조끼의 표면온과 피부온 간 온도 차이에 의해 발생하는 결로로 인한 의복 내부의 젖음 현상 등 복합적인 요인에 의해 결정되기 때문으로 판단된다. 본 연구에서도 57PCMs형 냉각조끼와 액체순환형 냉각조끼는 총발한량과 등 부위 의복 내 습도를 낮추는데 효과적이었으나 전신 습윤감을 개선하는 데에는 영향을 미치지 않았다. 따라서, 실제 착용자의 습윤감 개선을 위해 전도형 냉각 방식에 대류형이 혼합된 냉각조끼 개발이 요구된다고 볼 수 있다.

4. 여덟 가지 냉각의류 중 주관적으로 가장 선호된 조건은 무엇인가?

본 연구에서 얻어진 정신·심리적 반응 결과, 8종의 냉각의류 중 가장 긍정적으로 평가된 냉각의류는 FanAir 냉각조끼와 액체순환형 냉각조끼였다. 액체순환형 냉각조끼는 운동 종료 시점에서 모든 전신 한서감과 온열쾌적감을 가장 양호하게 유지하였으며, FanAir 냉각조끼는 전신 습윤감을 가장 낮게 유지하였다. 반면 ColdAir 냉각조끼와 목 냉각 밴드 조건에서는 운동 종료 직후 매우 덥고 불쾌하다고 응답하여 전신 한서감과 온열쾌적감이 낮게 평가되었다. 흥미롭게도 FanAir 냉각조끼는 평균피부온, 총발한량 및 의복 내 습도에서 뚜렷한 감소를 보이지는 않았음에도 전신 습윤감 평가에서 우수한 평가가 얻어졌다. 이는 팬에 의한 의복 내 공기 순환이 피부와 의복 사이의 축축함을 완화하고, 착용자가 느끼는 습윤감을 낮추는데 기여했기 때문으로 사료되나, 충분한 피험자 수를 바탕으로 한 후속 연구를 통해 정량적 비교가 요구된다.

선행연구에서도 팬 냉각 재킷('선풍기 재킷')은 한서감과 온열쾌적감에 긍정적인 영향을 주며, 실제 작업 환경에서 상의만 교체하여 착용할 수 있는 간편성 때문에 아이스팩이나 PCM형 냉각의류보다 높은 선호도를 보인다고 보고되었다(Son 2018; Otani et al. 2021). 조끼형 냉각의류는 후드형이나 슬리브형, 양말형 냉각의류보다 자각적으로 덜 힘들다고 평가되었고, 지나치게 낮은 온도보다 약 15°C 수준의 냉각조건에서 자각적으로 덜 힘들게 느낀다고 응답되었다(Jung et al. 2020). 일본에서는 가벼운 작업 시, 구간부 40%만 냉각해도 전신을 냉각하는 효과와 비슷한 효과를 얻을 수 있으며, 머리와 목 부위 냉각이 전신 냉각의 약 30% 수준으로 보고된 바 있다(Son 2018). 종합하면, 액체순환형 냉각조끼는 온열 생리적 반응 뿐

만 아니라 주관적으로도 가장 우수한 냉각 효과를 보였고, FanAir 냉각조끼는 온열 생리적 반응에서 냉각 성능이 강한 것은 아니었으나, 의복 내 기류 형성으로 습윤감에서 우수한 평가가 얻어졌다.

5. 피험자 1인을 대상으로 수행된 탐색적 연구의 과학적, 실용적 의의 및 한계

본 연구는 36°C, 65%RH의 고온다습 환경(WBGT 32°C)에서 시판 냉각의류 8종의 인체 냉각 효과를 탐색적으로 비교하였다. 시판 중인 다양한 냉각의류의 착용 효과를 충분한 수의 피험자를 대상으로 평가하기 위해서는 대규모 인체 착용 실험이 요구되지만, 이는 시간과 비용 측면에서 상당한 부담이 따른다. 따라서 본 연구와 같은 탐색적 예비 연구는 본 실험 단계에 앞서 실험 조건, 측정 변수, 비교 대상 및 적정 표본 규모를 결정하기 위한 기초 자료를 제공한다는 점에서 실용적 의의가 있다. 또한 본 연구는 심부온, 피부온, 발한량 및 정신·심리 반응을 종합적으로 분석함으로써 대표적인 시판 냉각의류 8종의 상대적 냉각 특성과 장단점을 비교할 수 있었다는 점에서 과학적 가치가 있다.

한편, 본 연구에서는 동일 피험자가 8회의 더위 노출 실험에 반복 참여하게 되므로, 실험 설계 단계부터 단기 열적응 발생 가능성을 고려하였다. 이러한 영향을 최소화하기 위해 연속된 두 실험 조건 간 참여 간격을 최소 48시간 이상으로 유지하였으며, 실제로 실험은 2 - 5일 간격으로 수행되었다. 한국과 같이 계절변화가 뚜렷한 지역에서는 여름철 자연 고온 노출 후 인체 열 적응 반응이 발현될 수 있다(Ko et al. 2020; Lee et al. 2013; Lee et al. 2015). 즉, 고온다습한 한국의 여름철(6~8월)을 지내는 동안 인체 열적응이 어느 정도 발현되기 때문에, 본 연구에서는 피험자가 이미 여

름철을 경험한 이후인, 즉 열 적응이 어느 정도 발현된 이후인 9 ~ 10월에 실험을 수행함으로써 본 실험 중 추가로 발생할 수 있는 열적응 현상을 최소화하였다. 이는 본 연구의 직장온 결과를 통해 확인할 수 있는데, 8회 실험 참여를 통해 단기 열 적응이 발현되었다면 실험의 후반부에 도달할수록 직장온 상승도가 낮아야 한다. 그러나 실험 참여가 진행됨에 따른 직장온 상승폭 감소 경향은 관찰되지 않았기 때문에 본 실험 중 단기 열적응이 새롭게 발현되었을 가능성은 제한적이라고 판단할 수 있다. 그러나, 본 연구는 남성 1인을 대상으로 얻어진 결과이기 때문에 냉각의류 8종간의 상대적 비교는 어느 정도 가능하나, 각 조건별 얻어진 생리·심리 반응의 절대값 및 양적 비교에 대한 일반화는 지양될 필요가 있다. 추가로, 본 연구에 적용된 운동강도는 저강도에서 중등강도 수준에 해당하므로, 한여름 열사병 발생이 우려되는 고강도 옥외작업 환경을 충분히 반영하지 못하였다. 따라서 보다 극한의 고온 환경 및 고강도 작업 조건에서 냉각의류의 효과를 검증하는 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

V. 결론

본 연구에서 제시한 세 가지 연구문제는 모두 확인되었다. 목 냉각 밴드보다 냉각조끼 형태 착용 시 인체 냉각 효과는 더 컸으며, 공기순환형 냉각의류보다 전도형 냉각의류의 인체 냉각의 생리적 효과가 더 컸고, 다양한 전도형 냉각조끼 중 액체순환형 냉각조끼의 인체 냉각효과가 가장 컸다. 본 실험에서 비교된 8종의 냉각의류 모두 고온다습 환경 하 운동 시 착용자의 심부온 상승 완화 효과는 제한적이었으나, 8종 중 액체순환형 냉각조끼와 57PCMs형 냉각조끼는 피부온 저하 및 의복 내 온습도 개선, 총발한량 감소에 효과적이었다.

특히 액체순환형 냉각조끼는 평균피부온도와 주관적 열쾌적성 개선에서 가장 우수한 성능을 보였으며, FanAir 냉각조끼는 온열생리적 장점이 발견되지 않았음에도 전신 습윤감 저감 측면에서 장점이 확인되었다. 단, 액체순환형 냉각조끼는 다른 냉각의류에 비해 부피와 무게가 상대적으로 크므로, 장시간 작업 시 이러한 특성이 작업피로 및 착용성에 미치는 영향도 함께 고려되어야 할 것이다. 탐색적 예비연구로서의 본 연구 결과를 바탕으로, 후속연구에서는 FanAir 냉각조끼와 작은 사이즈의 PCM이 몸통에 골고루 배치된 냉각조끼, 액체순환형 냉각조끼의 냉각 효과를 다양한 수준의 열 스트레스 환경 및 운동 강도 조건에서 충분한 수의 피험자를 대상으로 평가해 볼 필요가 있다.

Acknowledgements

본 연구는 환경부 한국환경산업기술원 신기후 제재 대응 환경 기술개발사업(RS-2025-02263293) 과제의 지원으로 이루어졌습니다. 행정적 지원을 해 준 허윤정, 정호연에게 감사를 드립니다.

References

- Ando S, Komiyama T, Sudo M, Kiyonaga A, Tanaka H, Higaki Y(2015) The effects of temporal neck cooling on cognitive function during strenuous exercise in a hot environment: a pilot study. BMC Res Notes 8, 202. doi:10.1186/s13104-015-1210-0
- Bongers CCWG, Hopman MTE, Eijssvogels TMH(2016) Effects of cooling during exercise on thermoregulatory responses of men with paraplegia. Phys Ther 96(5), 650-658. doi:10.2522/ptj.20150266
- Cao Y, Lei TH, Wang F, Yang B, Mündel T(2022) Head, face and neck cooling as per-cooling modalities to improve exercise performance in the heat: a narrative review and practical applications. Sports Med Open 8(1), 16

- Chan AP, Yang Y, Song WF, Wong DP(2017) Hybrid cooling vest for cooling between exercise bouts in the heat: effects and practical considerations. *J Therm Biol* 63, 1-9
- Chicas R, Xiuhtecutli N, Dickman NE, Flocks J, Scammell MK, Steenland K, Hertzberg V, McCauley L(2021b) Cooling interventions among agricultural workers: qualitative field-based study. *Hisp Health Care Int* 19(3), 174-181. doi:10.1177/1540415321993429
- Chicas R, Xiuhtecutli N, Elon L, Scammell MK, Steenland K, Hertzberg VS, McCauley L (2021a) Cooling interventions among agricultural workers: a pilot study. *Workplace Health Saf* 69(7), 315-322. doi:10.1177/2165079920976524
- Choi JW, Hwang KS(2001) The effects of cooling vest in hot environment. *J Korean Soc Cloth Text* 25(1), 83-90
- Choi JW, Kim MJ, Lee JY(2005) Efficacy of cooling vests for alleviating heat strain of farm workers in summer. *J Korean Soc Cloth Text* 29(8), 1176-1187
- Choi JW, Kim MJ, Lee JY(2008) Alleviation of heat strain by cooling different body areas during red pepper harvest work at WBGT 33°C. *Ind Health* 46(6), 620-628. doi:10.2486/indhealth.46.620
- Choi JW, Park JH(2007) Physiological responses of wearing safety helmet with cooling pack in hot environment. *J Korean Soc Cloth Text* 31(6), 955-965
- Ciuha U, Valenčič T, Mekjavić IB(2021) Cooling efficiency of vests with different cooling concepts over 8-hour trials. *Ergonomics* 64(5), 625-639. doi:10.1080/00140139.2020.1853820
- Eom R, Lee Y(2019) Wear trial assessment of a fan-attached jacket in a summer environment. *J Korean Soc Cloth Text* 43(6), 856-865
- Hosokawa Y, Belval LN, Adams WM, Vandermark LW, Casa DJ(2020) Chemically activated cooling vest's effect on cooling rate following exercise-induced hyperthermia: a randomized counter-balanced crossover study. *Medicina* 56(10), 539. doi:10.3390/medicina56100539
- House JR, Lunt HC, Taylor R, Milligan G, Lyons JA, House CM(2013) The impact of a phase-change cooling vest on heat strain and the effect of different cooling pack melting temperatures. *Eur J Appl Physiol* 113(5), 1223-1231
- Jiang L, Wang J, Castaño-Rosa R, Zhong C, Cao SJ(2024) Heat exposure and coping strategies for food delivery riders under urban heat extremes. *Energy Build* 322, 114693. doi:10.1016/j.enbuild.2024.114693
- Jung JY, Kang JH, Seol SH, Lee JY(2020) Developing liquid cooling garments to alleviate heat strain of workers in summer and exploring effective cooling temperatures and body regions. *Fashion Text Res J* 22(2), 250-260. doi:10.5805/SFTI.2020.22.2.250
- Kenny GP, Schissler AR, Stapleton J, Piamonte M, Binder K, Lynn A, Lan CQ, Hardcastle SG(2011) Ice cooling vest on tolerance for exercise under uncompensable heat stress. *J Occup Environ Hyg* 8(8), 484-491. doi:10.1080/15459624.2011.596043
- Kim DH, Bae GT, Lee JY(2020) A novel vest with dual functions for firefighters: combined effects of body cooling and cold fluid ingestion on the alleviation of heat strain. *Ind Health* 58, 91-106. doi:10.2486/indhealth.2018-0205
- Kim DH, Jung JY, Kim DH, Lee JY(2019) Effects of wearing Nomex body cooling garment inside firefighting protective equipment on the efficiency of performance during simulated firefighters' tasks. *J Korean Soc Living Environ Syst* 26(1), 9-24. doi:10.21086/ksles.2019.02.26.1.9
- Kim IS, Kim KR, Seo MT, Park SI, Cha JJ, Kim HC, Kim KS(2020) Development and evaluation of a cooling vest applied with vortex tube to reduce heat stress of greenhouse workers. *J Ergon Soc Korea* 39(1), 43-58
- Kim S, Lee S, Shin S, Lim D(2024) Cooling performance measurements of different types of cooling vests using thermal manikin. *Fashion Text* 11(1), 1-12. doi:10.1186/s40691-024-00381-z
- Ko Y, Seol SH, Kang J, Lee JY(2020) Adaptive changes in physiological and perceptual responses during 10-day heat acclimation training using a water-perfused suit. *J*

- Physiol Anthropol 39, 10. doi:10.1186/s40101-020-00217-x
- Korea Disease Control and Prevention Agency (2024) The number of emergency department visits due to heat-related illness increased by 31.4% in the prolonged heat wave during the summer of 2024. Available from <https://www.kdca.go.kr> [cited 2026 May 12]
- Korea Disease Control and Prevention Agency (2025) Results of the 2025 emergency department surveillance system for heat-related illness. Available from <https://www.kdca.go.kr> [cited 2026 May 12]
- Korea Meteorological Administration(2024) Climate characteristics of summer 2024. Available from <https://www.kma.go.kr> [cited 2026 May 12]
- Korea Meteorological Administration(2025) Climate characteristics of summer 2025: repeated heat waves and heavy rainfall, and clear regional polarization of heavy rainfall and drought. Available from <https://www.kma.go.kr> [cited 2026 May 12]
- Kume M, Yoshida T, Tsuneoka H, Kimura N, Ito T(2009) Relationship between body surface cooling area, cooling capacity, and thermoregulatory responses wearing water perfused suits during exercise in humans. *J Phys Fitness Sports Med* 58(1), 109-122. doi:10.7600/jspfsm.58.109
- Kwon OK, Kim JA, Kim TK(2000a) The study of cooling vest as an assistant cooling tool for the human body in hot environment. Part I. Thermophysiological characteristics according to local cooling. *J Korean Soc Cloth Ind* 2(3), 265-271
- Kwon OK, Kim TK, Kim JA(2000b) The study of cooling vest as an assistant cooling tool for the human body in hot environment. Part II. Thermophysiological characteristics of a developed product. *J Korean Soc Cloth Ind* 2(4), 346-352
- Lee JB, Kim TW, Min YK, Yang HM(2013) Seasonal acclimatization to the hot summer over 60 days in the Republic of Korea suppresses sweating sensitivity during passive heating. *J Therm Biol* 38(6), 294-299. doi:10.1016/j.jtherbio.2013.03.006
- Lee JB, Kim TW, Min YK, Yang HM(2015) Seasonal acclimatization in summer versus winter to changes in the sweating response during passive heating in Korean young adult men. *Korean J Physiol Pharmacol* 19(1), 9-14. doi:10.4196/kjpp.2015.19.1.9
- Liu B, Wang H, Lin H, Su Y, Wei G, Xu Z(2023) Effect of phase change cooling vest on related thermal regulation factors in moderately hot environments. *Build Environ* 242, 110566
- McQuerry M, Grzywacz JG(2023) Thermal comfort assessment of active cooling technology for agricultural end use: a field study. *J Text Eng Fashion Technol* 9(1), 14-19. doi:10.15406/jteft.2023.09.00327
- Naito T, Saito T, Ohhashi M, Hayashi S(2023) Recovery with a fan-cooling jacket after exposure to high solar radiation during exercise in hot outdoor environments. *Front Sports Act Living* 5, 1106882. doi:10.3389/fspor.2023.1106882
- Newsis(2025) Delivery workers urge the government to address platform companies' fatal delivery missions during extreme heat. Available from <https://www.newsis.com> [cited 2026 May 12]
- Otani H, Fukuda M, Tagawa T(2021) Cooling between exercise bouts and post-exercise with the fan cooling jacket on thermal strain in hot-humid environments. *Front Physiol* 12, 640400. doi:10.3389/fphys.2021.640400
- Otani H, Goto T, Kobayashi Y, Goto H, Hosokawa Y, Tokizawa K, Shirato M(2024) The fan cooling vest use reduces thermal and perceptual strain during outdoor exercise in the heat on a sunny summer day. *Int J Biometeorol* 68(8), 1625-1635
- Park JS(2025) Working environment of parcel delivery workers: current status and challenges of working conditions of parcel delivery workers. *Monthly Industrial Health* 443, 4-5
- Park SY, Lee Y(2024) Comparison of cooling effects by body region for improving thermal comfort. *J Korean Soc Cloth Text* 48(3), 501-510
- Park SY, Lee Y(2025) Effects of cooling inside whole-body protective clothing on thermal comfort. *J Korean Soc Cloth Text* 49(1), 38-48

- Ryu HC(2025) Working environment of parcel delivery workers: how to promote the health of parcel delivery workers? Monthly Industrial Health 443, 6-9
- Sainiyom P, Saeangsirisuwan V, Leow CHW, Lee JKW, Surapongchai J(2025) Novel cooling vest with personal protective equipment alleviates heat strain without increasing metabolic demands in the heat. Scand J Work Environ Health 52(1), 19
- Seeley AD, Sherman RA(2021) An ice vest, but not single-hand cooling, is effective at reducing thermo-physiological strain during exercise recovery in the heat. Front Sports Act Living 3, 660910. doi:10.3389/fspor.2021.660910
- Seol SH, Bae GT, Taylor NAS, Lee JY(2021) Hand and forearm cooling: exploring deep body cooling in hyperthermic individuals following exercise-induced heating at three different work rates. Ind Health 59(3), 161-170
- Son SY(2018) Research trends on prevention of heat stroke using clothing: focusing on practical research in Japan. Hum Ecol Res 56(5), 473-491. doi:10.6115/fer.2018.035
- Stevens CJ, Borg D, Brade C, Carter S, Filingeri D, Lee J, Tyler CJ(2025) Head, face, and neck cooling for performance: a systematic review and meta-analysis. Int J Sports Physiol Perform 20(6), 743-763
- Tokizawa K, Son SY, Oka T, Yasuda A(2020) Effectiveness of a field-type liquid cooling vest for reducing heat strain while wearing protective clothing. Ind Health 58(1), 63-71
- World Meteorological Organization(2025) State of the global climate 2024. Geneva: World Meteorological Organization, pp1-52
- Wu G, Liu H, Wu S, Liu Z, Mi L, Gao L(2021) A study on the capacity of a ventilation cooling vest with pressurized air in hot and humid environments. Int J Ind Ergon 83, 103106