

열적 쾌적성 증대를 위한 부위별 냉각 효과 비교

박소영 · 이에진*†

충남대학교 생활과학연구소, *충남대학교 의류학과

Comparison of Cooling Effects by Body Part to Increase Thermal Comfort

Soyoung Park · Yejin Lee*†

Research Institute of Human Ecology, Chungnam National University

*Dept. of Clothing and Textiles, Chungnam National University

Received December 26, 2023; Revised (March 13, 2024; May 9, 2024); Accepted May 31, 2024

Abstract

This study aimed to compare the cooling effect of specific body parts to increase workers' thermal comfort. The parts to be cooled comprised the head and neck; the coolant was a phase change material. The participants were ten men in their 20s of average size according to the 8th Size Korea. The experiment was conducted under the following conditions: $28.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $60.0 \pm 5.0\%$ RH, and $0.2 \pm 0.1\text{m/s}$. The exercise consisted of participants moving for 15 min at a constant speed of 80 BPM; later, a subjective sensation was performed, and the clothing surface temperature was measured. In doing so, heat, wetness, and discomfort after exercise were confirmed to have increased without a coolant. Significant differences over time appeared only when no coolant was used, showing that thermal comfort decreased. Despite the addition of coolant, the clothing surface temperature gradually increased over time, but it decreased with coolant rather than without it. Therefore, additional coolant areas, a lower temperature, and simultaneous cooling convection were required to improve thermal comfort.

Key words: Thermal comfort, Coolant, Cooling effect, Subjective sensation, Clothing surface temperature; 열적 쾌적성, 냉각제, 냉각 효과, 주관적 감각, 의복표면온도

I. 서 론

최근 세계적 기후 변화로 인해 국내의 여름 온도가 점점 더 상승하고, 폭염의 강도와 빈도도 증가하는 추세이다. 이러한 폭염 속에서 보호복을 착용하고, 작업하는 근로자는 서열 장애라는 위험 상황에 마주할 수밖에 없고, 동시에 작업 능률 저하로 이어질 수 있다(Jung et al., 2020).

일반적으로 고온 환경에서 보호복을 착용하고, 일하는 작업자 다수가 메스꺼움, 어지럼증, 의사소통의

어려움, 호흡곤란, 질식, 탈수 등의 증세를 호소하고 있다(Chan et al., 2013; Lou et al., 2022; Vidua et al., 2020). 특히, Davey et al.(2021)은 전신 보호복 착용 경험이 있는 의료진을 대상으로 한 설문조사에서 이의 착용은 열 스트레스, 두통, 피로, 목 건조, 김서림 등의 부정적 증상을 유발한다고 언급하였다. 또한, Xu and Gonzalez(2011)와 Zhang et al.(2022)은 전신 보호복은 외부의 유해물질 뿐만 아니라, 신체에서 발생한 열과 수분까지 차단하여 열적 스트레스를 발생시키므로 이의 해결책이 연구되어야 한다고 보고하였다. 보호복 내 열적 스트레스는 대부분 보호복 착용 시 기온, 습도, 풍속, 신체 활동, 소재 조건 등에 따른 의복 내 미세

†Corresponding author

E-mail: yejin@cnu.ac.kr

기후, 피부온, 맥박수, 발한량 등의 측정으로 확인하고, 이를 통해 신체의 생리 반응 및 쾌적성에 미치는 요인을 분석하고 있다(Ertekin et al., 2018; Mao et al., 2022).

이러한 열적 스트레스 문제점이 이슈가 되면서 몇몇 업체는 냉각제를 도입한 제품을 소개하였고, 가슴이나 등 부위 안쪽 주머니에 액체 냉각제를 넣는 조끼형 제품이 주를 이루고 있다. 그리고 학계에서는 이 제품을 중심으로 착용 효과를 검증하는 연구가 수행되었다. 예를 들면, Choi and Hwang(2001)은 고온 환경 조건(40°C, 50%RH)에서 냉각 조끼를 입은 경우와 그렇지 않은 경우, 신체의 생리 반응을 비교하여 냉각 조끼가 쾌적성 측면에서 우수하나, 냉각 지속 시간의 연장, 중량 경감 등의 문제점은 보완되어야 한다고 하였다. Bang(2015)은 소방용 보호 장구 착용과 함께 얼음을 이용한 능동적 방법의 냉각 조끼가 신체에 미치는 영향을 분석하여 체온과 피로 수준을 낮추는데 효과적이라고 언급하였다. Smolande et al.(2004)도 소방관 방화복 안에 얼음 조끼 착용은 피부 온도를 감소시킴을 확인하고, 소방관의 생리 및 주관적 반응에 영향을 준다고 하였다. 한편, Kim et al.(2019)은 새롭게 개발된 노백스 냉각 셔츠와 기존 냉각 조끼 2종을 소방용 방화복 안에 착용 시 작업 효율성을 비교하였다. 이때, 작업 효율성은 일련의 소방 동작들로 구성된 모의 소방 작업을 수행하면서 심혈관계 부담, 주관적 인지, 작업 완료 시간 등으로 평가하였는데, 소방용 방화복 안에 노백스 냉각 셔츠 착용 시 기존의 조끼보다 심혈관계에 부담이 덜 되면서 피부 밀착으로 더 시원하고, 더 동작이 용이하다고 하였다. 이 외에 Eom and Lee(2019)는 더운 환경에서 팬의 부착 위치에 따른 조끼 착용 시 의복 및 피부에 미치는 온도 감소 효과를 살펴봄으로써 열적 스트레스를 효과적으로 경감해 줄 수 있는 자료를 제공하였다. 하지만 최근, Jung et al.(2020)은 여름철 셔열 부담 경감에 효과적인 신체 냉각 부위를 탐색하기 위해 모자형, 조끼형, 소매형, 긴 양말형의 냉각 의복 비교 결과, 조끼형이 평균 피부온 상승 및 총 발한량 증가 억제에 효과적이었지만, 면적 대비 환산하여 비교하면 위치에 따른 유의한 차이가 거의 없다고 하였다. Nakamura et al.(2013)은 더위 노출 시 몸통이나 사지 부위에 비해 얼굴 냉각이 효율적이고, 몸통 부위에 따른 온열 쾌적감은 유의한 차이가 거의 없다고 하였다. Stevens et al.(2017)도 더위에서 운동하는 동안 목이나

얼굴에 물 또는 바람을 제공하면, 운동 수행 능력 향상에 긍정적인 효과가 있다고 하였고, 목의 냉각은 인지적 힘들기 점수를 하강시킨다고 언급하여(Tyler et al., 2010), 몸통보다는 머리카나 얼굴의 냉각 효과가 부각되고 있었다.

앞서 살펴본 선행연구는 공통적으로 신체에서 발생하는 열적 스트레스가 냉각에 의해 피부온과 피로 수준을 낮출 수 있으며, 심리적으로도 긍정 효과를 준다고 보고하고 있다. 그렇지만 아직까지 주로 조끼형의 판매 제품을 사용하여 효과가 있음을 증명하거나, 냉각 유무에 따른 효율성에 초점을 맞추고 있는 상황이었다.

그러므로 본 연구는 기존 연구에서 열적 쾌적성 증대에 보다 효과적일 수 있다고 언급된 머리와 얼굴에 집중하여 냉각제의 크기 및 형태가 통제된 조건에서 의복 기후와 신체에 미치는 영향을 심도 있게 분석하고자 하였다. 이를 통해, 더운 환경 작업자의 건강을 보호하고, 작업 생산성을 향상할 수 있는 기능성의복 개발 시 활용할 수 있는 기초 자료를 확립하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 피험자 선정과 실험 복장

실험에 참가한 피험자 10명과 제 8차 사이즈코리아의 20대 평균 치수 정보는 <Table 1>과 같다. 본 연구는 생명윤리위원회 심의 IRB(202205-SB-055-01) 승인을 받았다. 실험은 더운 환경에서 효과적인 냉각 부위를 찾는 것이 목적이므로 먼 100% 기본 핏의 반팔 티셔츠와 반바지를 착용하고, 신발은 편안한 운동화를 신은 상태에서 진행하였다. 피험자는 신체 사이즈를 측정하고, 체질량 지수와 체지방률을 인바디370S(Inbodyco., Ltd.)로 측정한 후 실험에 참여하였다.

2. 냉각제 선정

냉각제는 종류가 다양하나, 인체 실험 시 무해하도록 SGS(Societe generale surveillance)의 시험인증기관과 피부 안전성 테스트 ROHS(Restriction of hazardous substances)의 유해물질 안전 인증이 완료된 것으로 선정하였다. (주)쿨타임협력사 제품으로 웹사이트에서 구매하였으며, 냉각에 의한 피부 괴사 및 동상 걱정이

Table 1. Body size of the participants and average SizeKorea males in their 20s

	Participants (n=10)		Size Korea
	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)
Age (years)	22.6 (2.4)	-	-
Height (cm)	172.9 (2.5)	174.8 (5.6)	174.8 (5.6)
Chest circumference (cm)	96.5 (4.3)	97.6 (7.5)	97.6 (7.5)
Waist circumference (cm)	85.2 (4.0)	85.7 (9.0)	85.7 (9.0)
Hip circumference (cm)	96.7 (4.2)	97.1 (6.1)	97.1 (6.1)
Weight (kg)	73.2 (5.1)	73.3 (11.2)	73.3 (11.2)
Body mass index (kg/m ²)	25.7 (2.6)	-	-
Percent body fat (%)	22.2 (4.3)	-	-

없는 제품임을 확인하였다. 실험에 사용한 냉각제의 표면은 폴리우레탄이었고, 그 안에는 100% 특수냉매제 상변이물질(Phase change material, PCM)이 사용되었다. 형태는 머리와 얼굴에 착용시키기 위해 원형의 밴드 형태로 선정하였고, 크기는 가로 3.0cm, 세로 44.0cm였으며, 두께는 2.0cm, 무게는 120.0g이었다. 그리고 냉각 온도는 표준 환경(21.0±2.0°C, 50.0±5.0%RH)에서 약 3.5°C를 15분간 유지하였다.

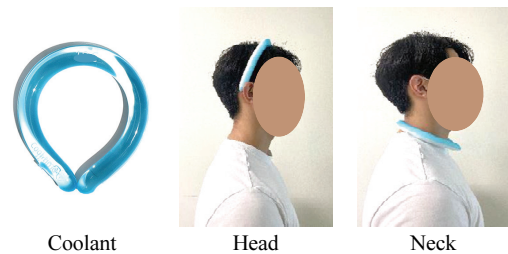


Fig. 1. Image of coolant and wearing coolant on the head and neck.

3. 냉각제 착용 부위에 따른 냉각 효과 평가

실험은 더운 환경이 되도록 인공기후실의 온, 습도를 28.0±0.5°C, 60.0±5.0%RH, 0.2±0.1㎍ 조건으로 설정하고, 2022년 8월에 실시하였다. 냉각제 부착 위치는 선행연구(Jung et al., 2020; Smith & Havenith, 2011; Stevens et al., 2017; Tyler et al., 2010)에 근거하여 더운 환경에서 쾌적성 증대에 효과적인 머리(head), 목(neck) 2부위로 선정하였다. 냉각제(Nawist, 2024)와 냉각제를 착용한 상태는 <Fig. 1>과 같다. 부위별 냉각 효과를 평가하기 위해 동일한 냉각제를 피험자에게 착용시켰고, 냉각제는 신체에 밀착되도록 피부에 무해한 의료용 3M 테이프로 고정하였다. 머리를 고정할 때는 귀 뒷부분에 3M 테이프를 사용하였고, 목을 고정할 때는 목뒤점과 목옆점에 사용하였다. 다만, 목의 냉각제는 벌어지지 않도록 양쪽 끝부분도 서로 고정시켰다.

냉각제 착용 부위에 따른 주관적 평가는 운동 후 설문지 응답으로 이루어졌다. 이때, 운동 조건은 예비 실험을 통해 피험자가 일정한 속도(80 BPM; Beat per mean)에 맞추어 스텝퍼 운동 후 덥다고 느끼는 10분에서 5분 추가하여 15분으로 설정하였다. 피험자는 일정

한 속도에 맞추어 15분 동안 스텝퍼 운동을 진행하면서 부위별 냉각 효과에 대해 연구자가 질문 후 응답하도록 하고, 연구자가 메모하였다. 이는 운동 5분 후, 운동 10분 후에 각 1회씩 실시하였다. 설문지는 열적 쾌적성, 냉각제 조건, 동작 용이성으로 구성하였다. 열적 쾌적성 항목은 ‘더운감을 느끼는 정도’, ‘습윤감을 느끼는 정도’, ‘불쾌감을 느끼는 정도’였다. 냉각제 조건 항목은 ‘냉각제 온도가 더 차가워지면 좋은가’, ‘냉각제 면적이 더 추가되면 좋은가’, ‘냉각제와 동시에 차가운 바람이 제공되면 더 좋은가’였다. 동작 용이성 항목은 ‘냉각제가 동작에 방해가 되는가’, ‘냉각제의 무게가 어떠한가’였다. 즉, 총 8문항이었고, 7점 리커트 척도(1점: 전혀 그렇지 않음~4점: 보통임~7점: 매우 그러함)를 이용하였다. 다만, 냉각제 없이 스텝퍼 운동 후에 대한 주관적 평가는 통제 변인으로 열적 쾌적성 항목에만 응답하도록 하였다. 또한, 냉각제의 온도 변화를 살펴보기 위하여, 초기 3.5°C의 냉각제가 운동 5분 후, 운동 10분 후에 얼마나 상승했는지도 측정하였다. 냉각제 착용은 라틴스퀘어법(Keedwell & Denes, 2015)에 의해 순서 효과를 배제하였고, 서로 상호작용

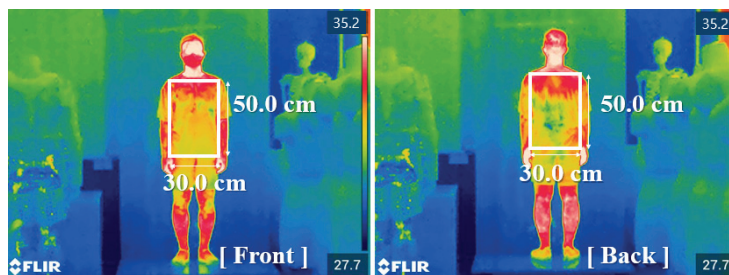


Fig. 2. Analysis area of clothing surface temperature.

이 없도록 피험자는 1시간의 충분한 휴식을 취한 뒤, 다음 실험으로 진행하였다.

4. 의복표면온도 측정

적외선 열화상 카메라(ThermaCAM P25, FLIR)를 사용하여 운동 5분 후, 운동 10분 후 피험자의 앞·뒤 모습의 열화상 이미지를 촬영하였다.

열화상 이미지 분석은 상체에서만 진행하였고, ROI(Region of interest)는 팔을 제외하고, 앞과 뒤 가로×세로=30.0×50.0cm였다(Fig. 2).

5. 자료 처리

실험결과 데이터는 IBM SPSS Statistics 24.0을 이용하여 평균값(Mean)과 표준편차(SD)를 산출하였으며, 냉각 부위에 따라 차이를 보기 위해 일원배치분산분석(ANOVA)과 사후검증(Duncan)을 실시하였다. 그리고 냉각 부위별 운동 시간에 따른 차이는 *t*-test로 비교하였다. 이때, 유의수준은 $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$ 이었다.

III. 연구결과

1. 냉각 부위에 따른 주관적 평가

냉각 부위에 따른 운동 후 주관적 감각 평가는 <Table 2>와 같았다. 일원배치분산분석(ANOVA)의 사후검증(Duncan) 결과, ‘더운감을 느끼는 정도’는 운동 5분 후 냉각제가 없을 때 5.0 ± 0.5 점, 머리와 목은 3.8 ± 1.1 점이었고, 운동 10분 후 냉각제가 없을 때 5.9 ± 0.7 점, 머리 4.3 ± 1.3 점, 목 4.4 ± 1.2 점이었다. ‘습윤감을 느끼는 정도’는 운동 5분 후에 냉각제가 없을 때 5.1 ± 0.9 점, 머리 3.8 ± 1.2 점, 목 3.9 ± 1.4 점으로 나타났으며, 운

동 10분 후에 냉각제가 없을 때 6.0 ± 0.9 점, 머리 4.6 ± 1.1 점, 목 4.8 ± 1.4 점으로 나타났다. 마지막으로 ‘불쾌감을 느끼는 정도’는 운동 5분 후 냉각제가 없을 때 4.2 ± 0.9 점, 머리 2.8 ± 0.8 점, 목 2.7 ± 0.8 점이었으며, 운동 10분 후 냉각제가 없을 때 4.7 ± 1.1 점, 머리 3.5 ± 1.4 점, 목 3.0 ± 0.8 점으로 나타났다. 냉각제가 없으면, 머리카락에 냉각제가 있을 때보다 더 덥고, 습하다고 느끼는 것을 알 수 있었다. 또한, 냉각제는 불쾌감 해소의 역할을 하였고, 더운감과 습윤감에 비해 상대적으로 점수가 낮아, 효과적임을 확인하였다.

한편, 운동 5분 후와 운동 10분 후의 시간에 따른 응답 차이를 보기 위해 *t*-test를 실시한 결과, 냉각제가 없을 때만 더운감과 습윤감에서 유의차가 나타나(Fig. 3), 짧은 시간이지만, 시간이 지날수록 냉각제가 없으면 열적 스트레스가 증가함을 알 수 있었다. 즉, 냉각제가 없으면 운동을 5분만해도 5점 이상의 더운감과 습윤감을 느꼈고, 10분이 지나면 이에 대한 감각이 보다 증대되었다. 그러나 머리카락에 냉각제가 있으면, 일정 시간 열적 쾌적성에 효과가 있었다.

따라서 냉각제는 확실히 더운감, 습윤감, 불쾌감에 영향을 주는 요인이었다. 냉각제가 없을 때는 덥고, 습하며, 쾌적하지 않음에서 냉각제가 있으면, 착용 부위에 따라 약간의 점수 차이는 있으나, 보통 이하의 더움과 습함 및 불쾌감을 느꼈다. 이는 얼굴과 목의 열적 쾌적성과 밀접한 관계가 있다는 선행연구 결과(Nakamura et al., 2013; Stevens et al., 2017; Tyler et al., 2010)를 지지한다.

다음으로 냉각제 조건과 관련된 주관적 감각 평가는 <Fig. 4>와 같았고, 부위에 따른 유의차는 없었다. ‘냉각제 온도가 더 차가워지면 좋을까’의 항목에서 운동 5분 후 머리 4.7 ± 1.6 점, 목 5.4 ± 1.3 점으로 나타났으며, 운동 10분 후 머리 4.9 ± 2.2 점, 목 5.6 ± 1.3 점이었으며, 머리보다는 목에서 냉각제 온도가 더욱 차가워지기를

Table 2. Subjective sensation of thermal comfort according to coolant location after exercise

	Exercise time	Coolant	Mean (SD)	F-value	
Degree of feeling hot	5 minutes	No coolant	5.0 (0.5)B	4.438*	
		Head coolant	3.8 (1.1)A		
		Neck coolant	3.8 (1.1)A		
	10 minutes	No coolant	5.9 (0.7)B		6.494**
		Head coolant	4.3 (1.3)A		
		Neck coolant	4.4 (1.2)A		
Degree of feeling wetness	5 minutes	No coolant	5.1 (0.9)B	3.586*	
		Head coolant	3.8 (1.2)A		
		Neck coolant	3.9 (1.4)A		
	10 minutes	No coolant	6.0 (0.9)B		3.096
		Head coolant	4.6 (1.6)A		
		Neck coolant	4.8 (1.4)AB		
Degree of feeling discomfort	5 minutes	No coolant	4.2 (0.9)B	9.839**	
		Head coolant	2.8 (0.8)A		
		Neck coolant	2.7 (0.8)A		
	10 minutes	No coolant	4.7 (1.1)B		5.957**
		Head coolant	3.5 (1.4)A		
		Neck coolant	3.0 (0.8)A		

1: Disagree; 4: Neutral; 7: Agree

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Duncan test results (A<B).

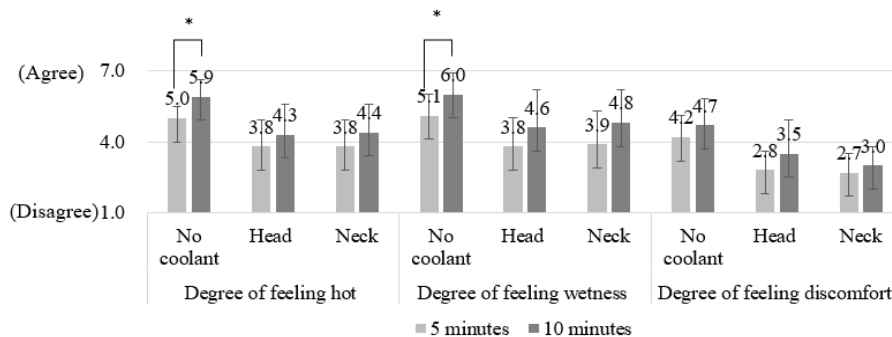


Fig. 3. Subjective sensation of thermal comfort according to coolant location and exercise time.

원했다. ‘냉각제 면적이 더 추가되면 좋은가’의 항목은 운동 5분 후 머리 5.5±1.6점, 목 5.7±1.4점으로 나타났고, 운동 10분 후 머리 5.7±1.3점, 목 5.9±1.4점이었다. ‘냉각제와 동시에 차가운 바람이 제공되면 더 좋은가’의 항목은 운동 5분 후 머리 5.7±1.7점, 목 6.0±1.5점으로 나타났으며, 운동 10분 후 머리 6.2±0.9점, 목 6.1±1.7점으로 응답하였다. 따라서 운동 시간이 경과

할수록 부위에 상관없이 냉각제의 온도가 더 낮아지고, 냉각제의 면적이 더 추가되면서 냉각제와 동시에 차가운 바람이 제공되기를 원하는 것을 확인하였다.

마지막으로 냉각제 착용 시 동작 용이성 관련 항목의 주관적 감각 평가는 <Fig. 5>에 제시하였고, 부위에 따른 유의차는 없었다. ‘냉각제가 동작에 방해가 되는가’의 항목에서 운동 5분 후 머리 3.0±1.3점, 목 2.1±1.6

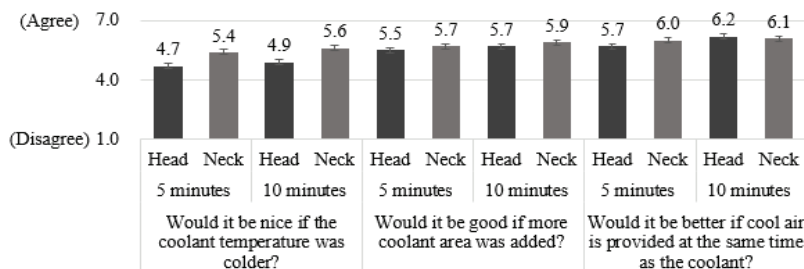


Fig. 4. Subjective sensation related to coolant condition after exercise.

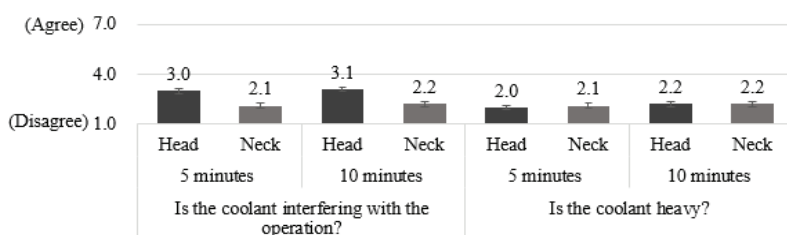


Fig. 5. Subjective sensation related to ease of movement after exercise.

점으로 나타났으며, 운동 10분 후 머리 3.1±1.7점, 목 2.2±1.5점이었다. 냉각제 착용 시 모든 부위에서 4점 이하로 방해가 되지는 않았지만, 머리 착용 시에만 3점대로 약간 응답 점수가 높았다. 선행연구에서 모자형 냉각제는 동작과 압박의 불편함을 언급했는데 (Jung et al., 2020), 본 연구에서도 다른 부위에 비해 약간 높은 점수이므로 머리는 냉각 효과가 있지만, 동작이 큰 작업일 경우, 착용감 측면에서 설계 시 주의가 필요한 요인임을 확인하였다. ‘냉각제의 무게가 어떠한가’의 항목에서 운동 5분 후 머리 2.0±1.5점, 목 2.1±1.6점이었고, 운동 10분 후에 머리 2.2±1.1점, 목 2.2±1.0점으로 본 연구에서 사용한 냉각제의 무게는 가벼운 것을 알 수 있었다.

2. 냉각 부위에 따른 냉각제 온도 변화

피험자가 냉각제를 착용하고, 운동 5분 후, 운동 10분 후 냉각제 온도의 변화는 <Fig. 6>에서 보는 바와 같이 머리 부위 냉각제는 운동 5분 후 25.3±0.4°C, 운동 10분 후 26.0±0.4°C로 0.7°C, 목 부위 냉각제는 운동 5분 후 25.0±0.5°C, 운동 10분 후 26.2±0.7°C로 1.2°C 증가하였다. 피험자가 착용하기 전에 3.5°C였던 냉각제는 피부와 접촉하면서 전도 열전달에 의해 운동 5분 후 온도가 25.0°C 이상으로 상승하였고, 운동 10분 후 약 1.0°C 정도 더 상승하는 것을 확인하였다. 이때, 피험자마다 온도 차이를 없애기 위해 피험자 시작 온도가 동일하도록 모든 데이터를 보정하였다.

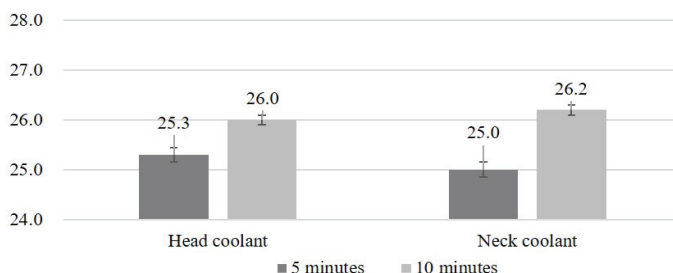


Fig. 6. Coolant temperature when wearing coolant on each body part after 5 and 10 minutes of exercise.

Table 3. Without coolant when wearing coolant on the head and neck clothing surface temperature after 5 and 10 minutes of exercise

	No coolant		Head coolant		Neck coolant		Unit (°C)
	Front	Back	Front	Back	Front	Back	
5 minutes after exercise							
10 minutes after exercise							

3. 냉각 부위에 따른 의복표면온도 변화

냉각 부위에 따른 운동 5분 후와 운동 10분 후 의복 표면온도는 피험자 1명을 예로 <Table 3>에 제시하였다. 의복표면온도 이미지를 살펴보면, 상체에 있는 냉각제는 하체에는 영향을 주지 않는 것을 알 수 있었다. 시각적으로 의복표면온도의 차이를 감지하는 것은 쉽지 않았지만, 피험자의 상체 뒤에서 냉각제가 없으면 의복표면온도가 전반적으로 높은 것은 확인할 수 있었다.

그래서 피험자의 앞·뒤 상체 부위(가로×세로=30.0×50.0cm)의 평균 의복표면온도를 계산하여 <Fig. 7>에 나타내었다. 피험자마다 온도 차이를 없애기 위해 앞서 냉각제 온도 변화 분석과 동일하게 초기 시작 온도의 모든 데이터를 보정하였고, 열화상 이미지의 최저 및 최고 온도 범위를 동일하게 하여 분석하였다. 냉

각제가 없을 때 평균 의복표면온도는 운동 5분 후 앞 31.7°C, 뒤 32.0°C, 10분 후 앞 32.6°C, 뒤 32.6°C였다. 머리 부위에 냉각제 착용 시 평균 의복표면온도는 운동 5분 후 앞 31.3°C, 뒤 31.6°C, 10분 후 앞 31.6°C, 뒤 31.9°C였으며, 목 부위에 냉각제 착용 시 평균 의복표면온도는 운동 5분 후 앞 31.2°C, 뒤 31.5°C, 10분 후 앞 31.7°C, 뒤 31.9°C였다. 그러므로 운동 5분 후에서 운동 10분 후에 의복표면온도 증가량(운동 10분 후 의복표면온도 - 운동 5분 후 의복표면온도)을 보면, 냉각제 없을 경우, 앞 0.9°C, 뒤 0.6°C로 나타났고, 머리 부위에 냉각제 착용 시 앞·뒤 동일하게 0.3°C로 나타났으며, 목 부위에 냉각제 착용 시 앞 0.5°C, 뒤 0.4°C였다. 즉, 시간이 지남에 따라 평균 의복표면온도는 상승하는 경향이 있는데, 냉각제가 없으면, 앞이 뒤보다 증가량이 다소 컸고, 냉각제가 있으면 앞과 뒤의 차이가 감소하였다.

한편, 냉각 없는 조건과 냉각제 착용 시 온도 변화량

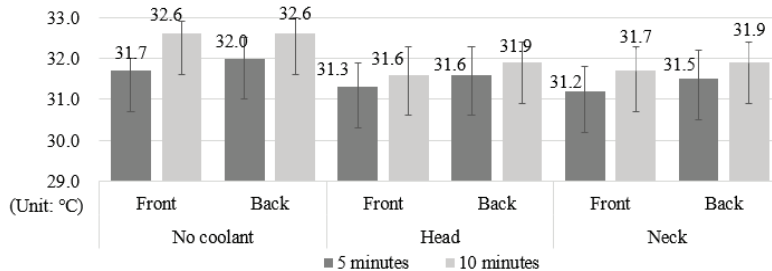


Fig. 7. Average clothing surface temperature according to cooling locations after 5 and 10 minutes of exercise.

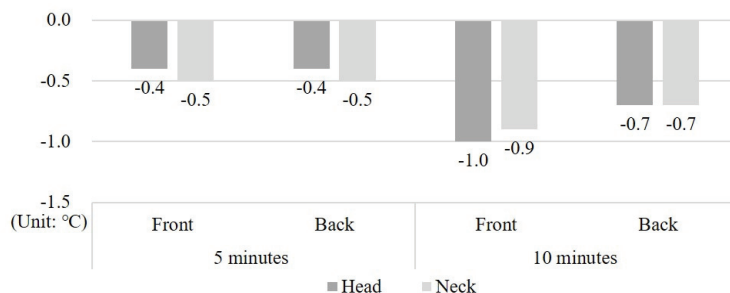


Fig. 8. Average clothing surface temperature changes according to cooling locations and time.

을 계산하여 <Fig. 8>에 제시하였다. 3.5°C의 냉각제를 머리, 목에 착용 시 냉각 조건이 없을 때보다 의복표면온도를 각각 운동 5분 후에 앞은 0.4, 0.5°C, 뒤는 0.4, 0.5°C 하강시켰다. 운동 10분 후에는 앞은 1.0, 0.9°C, 뒤는 0.7, 0.7°C 하강시켰다. 그러므로 목과 머리에 냉각제가 있는 것만으로도 의복표면온도가 약 0.4°C 하강되어 열적 쾌적성 상승과 밀접한 관련이 있음을 확인하였다. 뿐만 아니라, 얼굴과 목은 몸통에 비해 피부 온 변화가 적지만(Smith & Havenith, 2011), 이 부위의 체온 변화가 다른 부위의 온도 변화에 영향을 줄 수 있는 인자임을 알 수 있었다.

IV. 결 론

본 연구는 더운 환경에서 작업자의 효율을 높일 수 있는 열적 쾌적성 증대를 위한 머리와 얼굴에 집중하여 냉각제의 크기 및 형태가 통제된 조건에서 냉각제의 냉각 효과 비교하여 다음과 같은 기초 자료를 얻었다.

첫째, 냉각 부위에 따른 운동 후 주관적 감각 평가 결과, 운동 10분 후 냉각제가 없을 때에 비해 부위별 냉각제가 있을 때, ‘더운감을 느끼는 정도’가 머리 냉각제는 1.6점, 목 냉각제는 1.5점 하강하여 덜 덥다고 느꼈다. ‘습윤감을 느끼는 정도’는 머리 냉각제는 1.4점, 목 냉각제는 1.2점 하강하여 역시 덜 습하다고 응답하였다. ‘불쾌감을 느끼는 정도’는 머리 냉각제는 1.2점, 목 냉각제는 1.7점 하강하여 덜 불쾌하다는 것을 알 수 있었다. 따라서 냉각제는 확실히 더운감, 습윤감, 불쾌감에 영향을 주었고, 부위에 따른 더운감과 습윤감의 하강 정도는 유사하였으나, 불쾌감은 목의 냉각제가 상대적으로 더 효과가 있음을 확인하였다.

둘째, 냉각제 조건과 관련된 주관적 감각 평가 결과,

‘냉각제 온도가 더 차가워지면 좋은가’, ‘냉각제 면적이 더 추가되면 좋은가’, ‘냉각제와 동시에 차가운 바람이 제공되면 더 좋은가’의 항목 모두 약 5점대로 개선이 필요함을 알 수 있었다. 다시 말해, 운동 시간이 경과 할수록 냉각제의 온도가 더 낮아지고, 냉각제의 면적이 더 추가되기를 원하였으며, 냉각제와 동시에 차가운 바람이 제공되기를 원하였다. 그러나 동작 용이성 관련 항목의 평가 결과는 ‘냉각제가 동작에 방해가 되는가’는 부위에 상관없이 약 3점 이하로 나타났고, ‘냉각제의 무게가 어떠한가’도 모두 약 2점대로 응답하여 냉각제는 운동 시 방해가 되지 않았으면서 가벼운 것을 확인하였다. 그러므로 본 실험에 사용한 밴드는 머리와 목에 적합한 형태로 판단되며, 냉각면적 증대를 위해 개수 추가하거나 더 큰 것을 사용하는 것도 가능하다고 판단된다.

셋째, 의복표면온도를 분석한 결과, 운동 10분 후에는 운동 5분 후에 비해 냉각제 없을 경우, 앞 0.9°C, 뒤 0.6°C로 상승하였고, 머리 부위 냉각은 앞과 뒤 동일하게 0.3°C가 상승하였으며, 목 부위 냉각제는 앞 0.5°C, 뒤 0.4°C가 상승하였다. 그러나 냉각제가 있음에도 불구하고, 시간이 지남에 따라 의복표면온도는 점점 상승하였다. 하지만 냉각 없는 조건과 냉각제 착용 시 의복표면온도 차이를 통해 냉각제가 있으면 확실히 의복표면온도가 하강됨을 알 수 있었다.

종합하면, 냉각제가 없으면 주관적으로 확연하게 운동 후 더운감, 습윤감, 불쾌감이 높아지고, 의복표면온도도 증가하였다. 그러므로 머리카나 목에 냉각제를 위치시키는 것은 주관적 감각에 크게 반응하기 때문에 열적 쾌적성 향상에 보조 역할이 가능함을 알 수 있었다. 다만, 만약에 얼굴과 목의 움직임이 큰 작업자에게 지금의 냉각제 위치를 고수하기 위해서는 동작 용이성

을 위한 충분한 착용 실험을 함께 해야 할 것이다. 게다가, 본 실험에서 사용한 냉각제보다는 신체와의 접촉 면적의 증대가 필요하고, 초기 3.5°C의 냉각제가 체온과 열평형을 이루기 위해 지속적으로 상승되지 않도록 적절한 대안책이 마련되어야만 할 것이다. 또한, 동시에 냉각 대류가 추가되면 열적 쾌적성을 증대시킬 것으로 기대되므로 이에 대한 효과도 분석할 필요가 있다. 본 연구는 몸통 부위를 벗어나 열적 쾌적성과 연관성이 높다고 알려진 부위를 중심으로 실제 얼마만큼 어떤 효과가 있는지 집중하여 분석했다는 데 의의가 있다. 추후 기초 연구를 토대로 더 나아가 냉각제의 면적 증대, 냉각제의 종류, 냉각제의 형태 변형, 대류의 추가 등 냉각제의 조건을 보완하면서 작업복과 결합 시 쾌적성 증대 효율성을 심도 있게 분석하고자 한다.

1. 사사

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행됨(No. NRF-2022R1A2C2 006369).

2. 연구윤리

본 연구는 충남대학교 생명윤리위원회의 승인을 받음(승인번호 202205-SB-055-01).

3. 데이터 및 자료 가용성

본 연구에 사용된 데이터는 특허 진행 및 추후 후속 연구가 지속되고 있으므로 공개가 불가함. 하지만 합당한 요청이 있어 저자 소속기관이 승인하는 경우 교신저자가 제공 가능함.

4. 이해관계 상충

저자 YL은 2023년 4월부터 본 학술지의 편집부위원장이지만, 편집 과정에 전혀 참여하지 않아 이해관계 상충 문제가 없음.

5. 연구비 지원

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행됨(No. NRF-2022R1A2C2 006369).

6. 저자의 기여

모든 저자 SP와 YL은 실험설계 및 실험 진행 등 전반적인 사항을 함께 담당하였고, 결과분석에 대하여 논의하였음. 또한, 원고작성을 검토하였으며, 최종적으로 승인하였음.

7. 저자 정보

박소영 충남대학교 생활과학연구소, 전임연구원
이예진 충남대학교 의류학과, 교수

References

- Bang, C.-H. (2015). A study on effects of active cooling method on human body wearing firefighting protection equipment: Focusing on using Ice-vest. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 15(1), 207–213. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2015.15.1.207>
- Chan, A. P. C., Yang, Y., Wong, D. P., Lam, E. W. M., & Li, Y. (2013). Factors affecting horticultural and cleaning workers' preference on cooling vests. *Building and Environment*, 66, 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.021>
- Choi, J. W., & Hwang, K. S. (2001). Effectiveness of cooling vest in hot environment. *Journal of Korean Society of Clothing and Textiles*, 25(1), 83–90. <http://www.riss.kr/link?id=A19566716>
- Davey, S. L., Lee, B. J., Robbins, T., Randeva, H., & Thake, C. D. (2021). Heat stress and PPE during COVID-19: Impact on healthcare workers' performance, safety and well-being in NHS settings. *Journal of Hospital Infection*, 108, 185–188. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.11.027>
- Eom, R.-I., & Lee, Y. (2019). Analysis of the effects of vests with fan in summer environments. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 43(6), 856–865. <https://doi.org/10.5850/JKSCT.2019.43.6.856>
- Ertekin, M., Ertekin, G., & Marmaralı, A. (2018). Analysis of thermal comfort properties of fabrics for protective applications. *Journal of the Textile Institute*, 109(8), 1091–1098. <https://doi.org/10.1080/00405000.2017.1402425>
- Jung, J.-Y., Kang, J., Seol, S., & Lee, J.-Y. (2020). Developing liquid cooling garments to alleviate heat strain of workers in summer and exploring effective cooling temperature and body regions. *Fashion & Textile Research Journal*, 22(2), 250–260. <https://doi.org/10.5805/SFTI.2020.22.2.250>
- Keedwell, A. D., & Denes, J. (2015). *Latin squares and their applications*. North Holland Elsevier.
- Kim, D. H., Jung, J. Y., Kim, D.-H., & Lee, J.-Y. (2019). Effects of wearing nomex body cooling garment inside firefighting protective equipment on the efficiency of performance during simulated firefighters' tasks. *Journal of Korean Living Environment System*, 26(1), 9–24. <https://doi.org/10.21086/kles.2019.02.26.1.9>
- Lou, L., Zhou, Y., Yan, Y., Hong, Y., & Fan, J. (2022). Wearable cooling and dehumidifying system for personal protective equipment (PPE). *Energy and Buildings*, 276, 112510. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112510>
- Mao, Y., Zhu, Y., Guo, Z., Zheng, Z., Fang, Z., & Chen, X. (2022). Experimental investigation of the effects of personal protective equipment on thermal comfort in hot environments.

- Building and Environment*, 222, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109352>
- Nakamura, M., Yoda, T., Crawshaw, L. I., Kasuga, M., Uchida, Y., Tokizawa, K., Nagashima, K., & Kanosue, K. (2013). Relative importance of different surface regions for thermal comfort in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 113(1), 63–76. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2406-9>
- Nawist. (2024). *Coolant* [Photograph]. Nawist official store. <https://smartstore.naver.com/nawist/products/8496733964?NaPm=ct%3Dlu7pg254%7Cci%3D2d718536f04593517350343bb0b4b0dcc20a5112%7Ctr%3DsIsI%7Csn%3D5209324%7Chk%3Db5ad440f6d5ee50b4b6147b9045895b03c3a44ec>
- Smith, C. J., & Havenith, G. (2011). Body mapping of sweating patterns in male athletes in mild exercise-induced hyperthermia. *European Journal of Applied Physiology*, 111(7), 1391–1404. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1744-8>
- Smolander, J., Kuklane, K., Gavhed, D., Nilsson, H., & Holmer, I. (2004). Effectiveness of a light-weight ice-vest for body cooling while wearing fire fighter's protective clothing in the heat. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 10(2), 111–117. <https://doi.org/10.1080/10803548.2004.11076599v>
- Size Korea. (2021). 제8차 인체치수조사보고서 [8th Human dimension survey]. Korean Agency for Technology and Standards. <https://sizekorea.kr/human-info/meas-report?measDegree=8>
- Stevens, C. J., Taylor, L., & Dascombe, B. J. (2017). Cooling during exercise: An overlooked strategy for enhancing endurance performance in the heat. *Sports Medicine*, 47(5), 829–841. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0625-7>
- Tyler, C. J., Wild, P., & Sunderland, C. (2010). Practical neck cooling and time-trial running performance in a hot environment. *European Journal of Applied Physiology*, 110(5), 1063–74. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1567-7>
- Vidua, R. K., Chouksey, V. K., Bhargava, D. C., & Kumar, J. (2020). Problems arising from PPE when worn for long periods. *Medico-Legal Journal*, 88(1), 47–49. <https://doi.org/10.1177/0025817220935880>
- Xu, X., & Gonzalez, J. (2011). Determination of the cooling capacity for body ventilation system. *European Journal of Applied Physiology*, 111(21), 3155–3160. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1941-0>
- Zhang, Y., Jia, J., & Guo, Z. (2022). Numerical investigation of heat transfer in a garment convective cooling system. *Fashion and Textiles*, 9, 2. <https://doi.org/10.1186/s40691-021-00276-3>