

# 일회용 전신 보호복의 온열 스트레스 분석

박소영 · 이예진\*†

충남대학교 생활과학연구소, \*충남대학교 의류학과

## A Thermal Stress Analysis of Disposable Personal Protective Coveralls

Soyoung Park · Yejin Lee\*†

Research Institute of Human Ecology, Chungnam National University

\*Dept. of Clothing and Textiles, Chungnam National University

Received September 27, 2023; Revised October 20, 2023; Accepted October 27, 2023

### Abstract

This study aims to provide primary data regarding the thermal stress of disposable personal protective coveralls. Thermal stress and surface temperature measurements were taken among ten men wearing coveralls. The size of the ten men corresponds to a size eight in Size Korea. As a result of thermal stress, sensations of humidity and discomfort were higher when wearing Level C compared to Level D. Level D felt significant thermal stress in their upper body after exercise. However, they did not feel such stress in their lower body. Level C felt thermal stress in their upper and lower body after exercise. In addition, in Level C, the ratings of perceived exertion blood pressure and pulse rate after exercise were higher than those of Level D. Furthermore, the surface temperature of disposable personal protective coveralls among Level C was slightly higher than that of Level D.

**Key words:** Disposable personal protective coveralls, Thermal stress, Surface temperature, Discomfort; 일회용 전신 보호복, 온열 스트레스, 표면 온도, 불쾌감

## I. 서 론

바이러스와 함께하는 엔데믹의 새로운 일상이 시작되면서 전신 보호복은 일반인에게도 더 이상 낯선 아이템이 아니다. 신체 보호의 목적을 가지는 전신 보호복은 대부분 상·하의가 연결된 형태로 여러 산업 및 의료 현장에서 개인 안전을 위해 사용이 점점 증가하고 있고, 유해물질의 종류에 따라 다른 등급의 제품 착용이 결정된다(Moon & Jeon, 2016).

전신 보호복 관련 선행연구를 살펴보면, Moon and Jeon(2013a)은 한국인을 위한 일회용 전신 보호복 사

이즈 규격 설계를 위하여 한국인 남녀의 신체 치수 분포를 파악하고, 성별에 상관없는 공용 전신 보호복 표준 치수 규격 설정을 위한 개선 방안을 제시하였다. 또한, Moon and Jeon(2013b)은 농업근로자가 착용하는 일회용 전신 보호복의 사이즈 규격을 조사하고, 한국인의 체형에 적합하지 분석하기도 하였다. 게다가, 판매되고 있는 18종의 전신 보호복을 분해하여 패턴 형상을 유형화한 후 활용할 수 있는 기초정보도 제공하였다(Moon & Jeon, 2016). 그리고 Bang and Kwan (2020)은 소방 훈련 시 착용하는 화학 보호복에 대한 정·동적 동작에 따른 만족도 차이를 비교하였다.

한편, 전신 보호복 착용자의 안전을 위한 보호복 및 보호구 규정 제정에 필요한 자료를 수집하여 보고하

†Corresponding author  
E-mail: yejin@cnu.ac.kr

거나(Moon & Jeon, 2012), COVID-19 감염병 대응 의료진용 전신 보호복 착용 시 작업자의 온열 심리 반응을 분석하여 개인 보호복 착용 안전 지침이 발표되기도 하였다(Lee et al., 2021). 뿐만 아니라, 소방용 화학 보호복 착용 시 신체에 미치는 영향을 평균 피부온, 고막온, 심박수, 운동자각도 등의 생리적 반응으로 소방관의 안전을 위한 기초자료도 마련되었다(Bang & Kwon, 2015).

이외에 Ro et al.(2020)은 산업 및 소방용 보호복 소재 개발을 위해 원사 조성이 다른 12종을 제작하여 열적 성능을 평가하였고, Kim and Lee(2020)는 국내 시판되어 농업인이 실제 착용하고 있는 농약 방제복을 대상으로 보호 및 쾌적 성능을 평가하여 소재의 물리·화학적 성능 요구사항을 제안하였다. Hes et al.(2022)은 6종의 전신 보호복 소재에 대해 공기투과도, 수증기 투과도, 내수압성, 발수성을 젖은 상태에서 분석하여 ISO, ASTM, CEN, KS 규격에 맞는지 확인하였다. Bartkowiak et al.(2020)은 전신 보호복의 보호 성능을 높이기 위해 형상기억합금을 이용한 스마트 소재를 개발하고, 화염, 복사열, 용융성과 같은 열적 요인에 관한 결과를 제공하였다.

이와 같이 전신 보호복 관련 연구가 많지는 않지만, 의류학 분야별로 분류되어 진행되고 있음을 알 수 있었다. 다만, 유해물질 차단 등급이 높은 전신 보호복은 주로 의복 소재와 의복 환경학 측면에서 다루어지는 경향이 있었고, 차단 등급이 낮은 전신 보호복은 의복 설계 측면의 주제가 많은 편이었다. 그러나 최근, Vidua et al.(2020)의 설문조사에 따르면, 여름철에 일회용 전신 보호복을 착용하고 작업한 의료진의 다수가 이상증세를 호소하였다며, 온열 스트레스 문제점을 지적하였다. 현재 국내 의료진은 식품의약품 인준 일회용 D등급 또는 C등급의 전신 보호복을 주로 착용하고 있고(Lee et al., 2021), 다양한 직군의 작업자도 이와 유사한 전신 보호복(반도체 산업용 방진복, 기계공업 종사자용 작업복, 농약 살포용 방제복 등)을 이용하고 있다(Bang & Kwan, 2020; Kim & Suh, 2002; Kwon et al., 1996; You, 2004). 일회용 전신 보호복 착용자가 가장 많음에도 불구하고, 온열 스트레스에 대한 심각성은 다소 소홀하게 다루어지는 실정이었다고, 단순히 착용 안전 지침, 관련 규정 등의 공포만 이루어지고 있었다. 유해물질 차단 등급이 낮은 일회용 전신 보호복이라도 전신을 감싸는 형태로 외부 환경을 차단하여

신체를 보호하는 특성상 작업자는 동작의 어려움, 더움, 습함 등의 문제를 피할 수 없는 것이 현실이다.

개인의 건강 및 안전과 직결되는 일회용 전신 보호복에 대한 관심이 급증하는 시점에서 문제점으로 부각되고 있는 온열 스트레스의 정도를 파악하고, 점검하는 것은 추후 관련 연구가 나아가 방향을 정하는데 필수적이라고 할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 다양한 산업현장에서 가장 많이 착용되고 있는 일회용 전신 보호복 D와 C등급을 대상으로 온열 스트레스에 초점을 맞추어 현황을 분석하고자 하였다. 또한, 이러한 기초 데이터는 기업에 공유하여 글로벌 보호복 시장 점유율 향상을 위한 제품 개선 시 활용되기를 기대한다.

## II. 연구방법

### 1. 실험 의복 및 피험자 선정

전신 보호복은 US EPA(United states environmental protection agency), US Coast Guard(United states coast guard), OSHA(Occupational safety and health administration), NIOSH(National institute for occupational safety and health) 등이 정의한 국제표준기준에 따라 A, B, C, D등급으로 나누어진다(Lim et al., 2021). 일반적으로 국내 여러 산업군의 작업자는 낮은 위험도의 입자 매개 물질로부터 신체를 보호하는 D등급이나, 액체 매개 물질로부터 신체를 보호하는 C등급을 주로 착용하고 있다. 따라서 D와 C등급 착용 시 온열 스트레스가 차이가 있는지 확인하고자 현재 판매율이 높은 3M사의 D(MG1500)와 C등급(MG4000) L 사이즈를 실험 의복으로 선정하였다. D등급의 제품 치수는 가슴너비: 66.3cm, 허리너비: 42.7cm, 엉덩이 너비: 68.8cm, 소매길이 82.5cm, 총길이: 165.7cm였고, C등급은 가슴너비: 69.0cm, 허리너비: 48.7cm, 엉덩이 너비: 66.3cm, 소매길이 86.8cm, 총길이: 168.5cm로 D등급은 엉덩이 너비를 제외하고, C등급보다 약간 작았으나, 두 제품 사이의 수치 차이는 6.0cm이었다. 구매된 일회용 전신 보호복의 이미지와 소재 구조는 <Fig. 1>과 같았다. D등급의 봉제는 본봉과 오버룩으로 이루어졌고, 지퍼는 양방향 지퍼가 사용되었으며, 지퍼 보호 덮개는 심실링 테이프로 마무리되었다. 디자인은 상·하의가 연결된 커버롤 스타일의 일체형이었다. C등급의



**Fig. 1. Image and material structure of Levels C and D disposable personal protective coveralls.**  
 Reprinted from 3M protective clothing (2023).

<https://www.coupang.com/vp/products/6756368861?itemId=15819644660&vendorItemId=83031551633&q=mg4000+3m&itemsCount=25&searchId=4528865ab88a4e619863e20b3ebab9d2&rank=19&isAddedCart=>,  
<https://www.coupang.com/vp/products/6509123901?itemId=14369327679&vendorItemId=81613697998&q=3m+mg1500&itemsCount=36&searchId=215e33f1fdb4c90b842277604776f91&rank=1&isAddedCart=>

봉제는 본봉 후 모든 솔기에 심실링 테이프 처리가 되어 있었다. 지퍼는 한쪽 방향 지퍼로 안쪽과 겉쪽에 각각 한 개씩 두 개로 이루어졌고, 디자인은 D등급과 유사하였으나, 소매가 두 겹이었다. 소재는 D등급의 경우, 3층 구조로 겉쪽과 안쪽이 부직포였고, 그 사이에 멜트블로운 층으로 구성되었다. C등급도 3층 구조였는데, 겉쪽과 안쪽이 필름 층이고, 그 사이에 부직포로 구성되었으며, D등급의 소재 두께는 0.36mm, C등급은 0.40mm였다. D와 C등급의 마모저항(Abrasion resistance), 굴곡저항(Flex cracking resistance), 인열강도(Tear resistance), 인장강도(Tensile resistance)의 물리적 성능은 <Table 1>에 나타내었다. Class/6은 최대 6 수준인 성능시험에서 어느 수준에 해당하는지를 나타내는 것으로 EN Class의 기준을 의미한다. 즉, D와

C등급은 모두 일회용이지만, 디자인과 소재 두께를 제외하고, 소재 구성, 봉제, 솔기 처리법 등에서 차이가 있었다.

피험자는 웹사이트에서 제공되는 L 사이즈 착용에 적합한 신체 치수(가슴둘레: 92~100cm, 신장: 170~176cm)에 근거하여 20대 남성으로 선정하였다. 즉, 제 8차 사이즈코리아(Size Korea, 2021)에서 제공하는 20대 남성 평균±표준편차(키: 174.8±5.6cm, 머리둘레: 59.8±2.2cm, 머리길이: 24.1±1.0cm, 가슴둘레: 97.6±7.5cm, 허리둘레: 85.7±9.0cm, 엉덩이둘레: 97.1±6.1cm, 손목둘레: 16.6±0.9cm, 팔길이: 59.1±2.6cm, 발목둘레: 25.7±1.2cm, 다리길이: 107.1±4.4cm, 몸무게: 73.3±11.2kg)내 해당자 10명이었고(Table 2), 체질량 지수와 체지방률은 ㈜인바디(Inbodyco., Ltd.)를 이용하여 측

**Table 1. Physical performance of the Level C and D disposable protective coveralls**

Characteristics	Method	Level	Results	EN Class	
Abrasion resistance	EN 530	D	<10	Class 1/6	
		C	<2,000	Class 6/6	
Flex cracking resistance	EN ISO 7854	D	<15,000	Class 4/6	
		C	<40,000	Class 5/6	
Tear resistance	Machine direction	EN ISO 9073-4	D	22.6N	Class 2/6
		C	>60.0N	Class 3/6	
	Cross direction	EN ISO 9073-4	D	28.8N	Class 2/6
		C	>40.0N	Class 3/6	
Tensile resistance	Machine direction	EN ISO 13934-1	D	96.3N	Class 1/6
		C	>100.0N	Class 2/6	
	Cross direction	EN ISO 13934-1	D	58.7N	Class 1/6
		C	>60.0N	Class 2/6	

**Table 2. Body size of the participants and average Size Korea males in their 20s**

	Mean (SD)	
	Participants (n=10)	Size Korea in their 20s
Height (cm)	173.8 (2.2)	174.8 ( 5.6)
Head circumference (cm)	58.1 ( .4)	59.8 ( 2.2)
Head length (cm)	24.3 ( .8)	24.1 ( 1.0)
Chest circumference (cm)	95.4 (4.5)	97.6 ( 7.5)
Waist circumference (cm)	83.8 (3.7)	85.7 ( 9.0)
Hip circumference (cm)	95.2 (4.5)	97.1 ( 6.1)
Wrist circumference (cm)	16.4 ( .4)	16.6 ( .9)
Arm length (cm)	58.1 (1.9)	59.1 ( 2.6)
Ankle circumference (cm)	24.9 ( .6)	25.7 ( 1.2)
Leg length (cm)	106.3 (3.5)	107.1 ( 4.4)
Weight (kg)	70.6 (8.3)	73.3 (11.2)
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	24.6 (2.1)	-
Percent body fat (%)	20.2 (5.2)	-

정하였다. 본 연구는 생명윤리위원회 심의 IRB (20205-SB-055-01) 승인을 받았다.

**2. 일회용 전신 보호복의 온열 스트레스 평가**

일회용 전신 보호복 착용 시 온열 스트레스 평가는 다음과 같이 진행하였다. 피험자는 일회용 전신 보호복 D와 C등급을 착용하고, 운동 전· 후에 온열 스트레스와 관련된 측정 항목에 응답하였다. 운동 강도와 시간은 선행연구(Lee et al., 2022)를 참고하여 예비실험을 통해 전신 보호복을 착용하고, 움직임 후 땀이 나는 시점이 약 10분 정도여서 5km/h 15분 걷기로 설정하였다. 모든 항목은 운동 전· 후의 변화를 관찰하였다. 주관적 감각은 온열감, 습윤감, 불쾌감에 대해 머리, 목, 상의 뒤, 상의 옆, 상의 앞, 살, 엉덩이, 허벅지 앞, 허벅지 뒤, 무릎 앞, 무릎 뒤, 종아리 앞, 종아리 뒤, 손, 총 14 부위에서 응답하도록 하였다. 평가는 선행연구(Eom & Lee, 2020; Kang et al., 2012)에 근거하여 7점 리커트 척도(1점: 전혀 그렇지 않음~4점: 보통임~7점: 매우 그러함)로 응답하도록 하였다. 그리고 종합적으로 불쾌감이 높은 부위에 대해 순위를 정하도록 하였다. 또한, 전신 보호복 착용 시 얼마나 힘든지에 대한 자각도 (Ratings of perceived exertion; RPE)는 선행연구(Lee et al., 2021)에 근거하여 10점 리커트척도(0점: 전혀 힘들지 않음~5점: 힘들~10점: 매우 힘들)로 평가하였다.

한편, 혈압 및 맥박 수는 자동전자혈압계(HEM-7122 CP, OMRON Healthcare Korea Co., LTD.)를 사용하여 파악하였다. 실험 시 피험자는 전신 보호복 안쪽에 면 100% 반팔 상· 하의를 입었고, KF94 마스크, 방수 기능 있는 고무 소재의 라텍스 장갑을 착용하였으며, 신발은 피험자의 사이즈에 맞는 일반 운동화를 신었다.

피험자는 실험실에 도착한 후 10분 안정을 취하고, 신체 사이즈와 인바디를 측정하였다. 그리고 실험복을 착용한 후 운동 전· 후 온열 스트레스와 관련된 주관적 감각에 응답하고, 혈압과 맥박수를 Blood pressure manometer(HEM-7122 CP, Omron Co) 기기를 이용하여 측정하였다. 전신 보호복은 등급에 따른 순서 효과가 없도록 랜덤하게 착용시켰고, 첫 번째 실험이 끝난 후 1시간 동안 충분한 휴식을 주어 다음 실험에 서로 영향을 주지 않도록 하였다. 모든 실험은 표준 환경의 인공기후실(25.0±0.5°C, 50.0±5.0%RH, 0.2±0.1 m/s)에서 실시하였다.

**3. 일회용 전신 보호복의 표면온도 측정**

전신 보호복의 표면온도는 신체와 의복 내 미세기후의 영향에 의해 변화하는 인자이므로 운동 전· 후의 변화 정도를 관찰하였다. 측정은 온열 스트레스 평가 후 동일한 조건의 인공기후실에서 적외선 열화상 카메라(ThermaCAM P25, FLIR Systems, Inc.)로 열

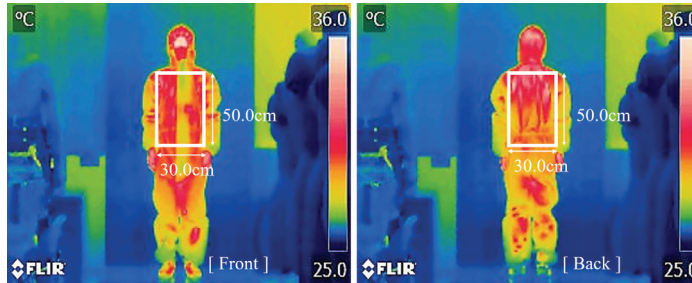


Fig. 2. Analysis areas for the surface temperature of the disposable personal protective coverall.

화상 이미지를 촬영하였다. 이때, 적외선 열화상 카메라와 피험자 사이 거리는 600.0cm였고, 앞·뒤에서 촬영하였다. 분석은 주관적으로 온열 스트레스 언급이 많았던 상체에서만 진행하였으며, 영역(ROI: Region of interest)은 팔을 제외하고, 가로×세로=30.0×50.0cm였다(Fig. 2).

#### 4. 자료 분석

모든 실험 결과 데이터는 IBM SPSS Statistics 24.0을 이용하여 평균값(Mean)과 표준편차(SD)를 산출하였으며, 등급에 따른 운동 전·후 차이를 보기 위해 대응표본 *t* 검정(Paired *t*-test)을 실시하였다. 이때, 유의차는  $p<.05$ ,  $p<.01$ ,  $p<.001$ 이었다. 종합적으로 불쾌감을 느끼는 부위의 순위는 빈도분석으로 알아보았다.

### III. 연구결과

#### 1. 일회용 전신 보호복 착용 시 온열 스트레스에 대한 주관적 평가

일회용 전신 보호복 D와 C등급은 착용 시 운동 전·후 온열 스트레스와 관련된 주관적 감각은 <Table 3>과 같았다.

먼저, D등급의 운동 전 온열감은 머리와 손을 제외하고, 모든 부위에서 4점 이하로 답지 않다고 응답하였다. 운동 후 온열감은 운동 전에 비해 모든 부위에서 전체적으로 증가하였으나, 허벅지 앞, 무릎 앞, 종아리 앞, 종아리 뒤는 여전히 4점 이하를 유지하였고, 5점 이상으로 더위를 느끼는 부위는 머리, 목, 상의 뒤, 상의 옆, 손이었다. 다음으로 운동 전 습윤감은 모든 부위에

서 2~3점대로 습하지 않다고 느꼈는데, 운동 후에 모든 부위에서 운동 전에 비해 습함이 1~2점 상승하였다. 그러나 하체 대부분 부위는 3점대로 습함을 크게 느끼지 않았다. 운동 후 5점 이상 습함을 느끼는 부위는 머리, 목, 상의 뒤, 손으로 더위를 크게 느끼는 부위와 거의 유사하였다. 마지막으로 불쾌감은 운동 전 모든 부위에서 3점 이하로 응답하였고, 운동 후에도 4점 이하를 유지하였다.

한편, C등급 착용 시 운동 전 온열감은 3~4점대였다가 운동 후 4~6점대로 상승하였다. 특히, 머리, 목, 상의 옆은 약 6점으로 더움을 크게 느꼈고, 상의 뒤, 상의 앞, 살, 허벅지 뒤, 무릎 앞, 무릎 뒤, 손도 약 5점대로 응답하였다. 다음으로 운동 전 습윤감은 머리와 상의 옆이 5점대, 나머지 부위는 3~4점대였으나, 운동 후 모든 부위에서 4~6점대로 보통 이상의 습함을 느꼈다. 약 6점으로 습함을 크게 느끼는 부위는 머리, 목, 상의 뒤, 상의 옆, 상의 앞으로 상체에서 문제가 발생하였다. 또한, 살, 허벅지 앞, 허벅지 뒤, 무릎 뒤도 5점대로 습하다고 언급하여 더운 감각과 함께 습한 감각을 느끼는 부위가 증가하였다. 반면, 운동 전 불쾌감은 머리, 상의 뒤, 손이 4점대였고, 나머지 부위는 2~3점대였으나, 운동 후 머리와 상의 뒤는 5점대로 불쾌감이 크게 상승하였다.

이번에는 D와 C등급 착용 시 각각 운동 전·후에 온열감에서 통계적으로 유의차가 나는 부위를 살펴보면 (Fig. 3), D등급은 상의 뒤, 상의 옆, 상의 앞으로 상의 뒤는 운동 전  $3.4\pm 1.8$ 점, 운동 후  $5.4\pm 1.0$ 점이었고, 상의 옆은 운동 전  $3.5\pm 1.9$ 점, 운동 후  $5.0\pm 1.1$ 점이었으며, 상의 앞은 운동 전  $3.1\pm 1.7$ 점, 운동 후  $4.5\pm 1.1$ 점이었다. C등급은 머리, 목, 상의 옆, 살, 허벅지 앞, 허벅지 뒤, 무릎 앞에서 유의차가 나타났다. 머리는 운동 전  $4.9\pm 1.0$ 점,

**Table 3. Comparison of the hot, humidity, and discomfort sensations before and after exercise when wearing Levels C and D disposable personal protective coveralls**

		Mean (SD)			
		Before exercise		After exercise	
		Level D	Level C	Level D	Level C
Hot sensation	Head	4.2 (1.9)	4.9 (1.0)	5.2 (1.2)	6.3 (1.1)
	Neck	3.9 (1.9)	4.7 (.9)	5.3 (1.0)	5.9 (1.0)
	Top back	3.4 (1.8)	3.8 (.9)	5.4 (1.0)	5.0 (1.3)
	Top side	3.5 (1.9)	4.1 (1.3)	5.0 (1.1)	5.9 (1.1)
	Top front	3.1 (1.7)	4.4 (1.2)	4.5 (1.1)	5.3 (1.4)
	Crotch	3.1 (1.9)	4.3 (.9)	4.3 (1.3)	5.6 (1.5)
	Hip	3.1 (1.4)	4.1 (1.1)	4.3 (1.3)	4.8 (1.9)
	Thigh front	3.0 (1.8)	3.5 (.7)	3.9 (1.2)	4.7 (1.4)
	Thigh back	3.2 (1.4)	3.8 (.9)	4.0 (0.9)	5.0 (1.3)
	Knee front	3.0 (1.6)	3.6 (.5)	3.5 (0.9)	4.9 (1.4)
	Knee back	2.9 (1.7)	4.2 (.9)	4.0 (1.4)	5.1 (1.4)
	Calf front	2.8 (1.9)	3.8 (.6)	3.3 (0.9)	4.3 (1.6)
	Calf back	3.1 (1.8)	4.1 (1.1)	3.6 (1.1)	4.3 (1.8)
	Hand	4.1 (1.8)	4.8 (1.1)	5.3 (1.1)	4.9 (1.8)
Humidity sensation	Head	3.2 (1.9)	5.2 (1.4)	5.2 (1.7)	6.5 (.7)
	Neck	3.0 (1.8)	4.4 (1.5)	5.4 (1.1)	5.8 (1.1)
	Top back	3.0 (1.3)	4.4 (1.5)	5.6 (1.2)	5.9 (1.1)
	Top side	3.8 (1.5)	5.1 (1.4)	4.8 (1.4)	6.8 (.9)
	Top front	3.4 (1.6)	4.4 (1.5)	4.4 (1.2)	5.9 (1.1)
	Crotch	3.5 (1.4)	4.4 (1.3)	4.3 (1.3)	5.3 (1.5)
	Hip	3.5 (1.6)	4.5 (1.3)	4.3 (1.1)	4.8 (1.7)
	Thigh front	3.1 (1.1)	3.7 (.8)	3.6 (1.3)	5.0 (1.3)
	Thigh back	3.3 (1.4)	4.1 (1.2)	3.8 (1.4)	5.2 (1.4)
	Knee front	2.7 (1.1)	3.7 (.8)	3.2 (.9)	4.8 (1.3)
	Knee back	2.9 (1.2)	4.3 (1.2)	4.0 (1.3)	5.3 (1.5)
	Calf front	2.7 (1.1)	3.5 (.8)	3.3 (1.1)	4.5 (1.4)
	Calf back	3.0 (1.2)	3.8 (1.2)	3.6 (1.3)	4.5 (1.6)
	Hand	3.8 (1.9)	4.1 (1.2)	5.5 (1.3)	4.6 (2.0)
Discomfort sensation	Head	3.2 (1.4)	4.4 (1.1)	3.6 (1.4)	5.4 (.5)
	Neck	2.9 (1.2)	3.7 (.8)	3.4 (1.0)	4.8 (1.3)
	Top back	2.6 (1.3)	4.7 (.9)	4.0 (1.2)	5.9 (1.0)
	Top side	2.3 (1.3)	3.3 (1.6)	3.8 (1.2)	4.7 (1.3)
	Top front	1.8 (1.4)	3.3 (1.5)	3.0 (1.2)	4.4 (1.6)
	Crotch	2.0 (1.2)	3.2 (1.2)	3.4 (1.3)	4.6 (1.3)
	Hip	2.5 (1.2)	2.9 (1.3)	3.0 (1.2)	4.1 (1.6)
	Thigh front	1.8 (1.4)	2.7 (1.2)	2.5 (1.0)	4.2 (.8)
	Thigh back	1.7 (1.5)	3.0 (1.2)	2.4 (.8)	4.5 (1.2)
	Knee front	1.6 (1.2)	2.8 (1.2)	2.0 (.9)	4.3 (.7)
	Knee back	1.9 (1.0)	2.8 (1.5)	2.2 (1.4)	4.5 (1.0)
	Calf front	1.7 (1.1)	2.6 (1.3)	1.8 (.8)	3.8 (1.2)
	Calf back	1.6 (1.3)	2.7 (1.4)	2.3 (.9)	3.9 (1.4)
	Hand	3.0 (1.9)	4.4 (1.4)	3.8 (1.5)	4.7 (1.1)

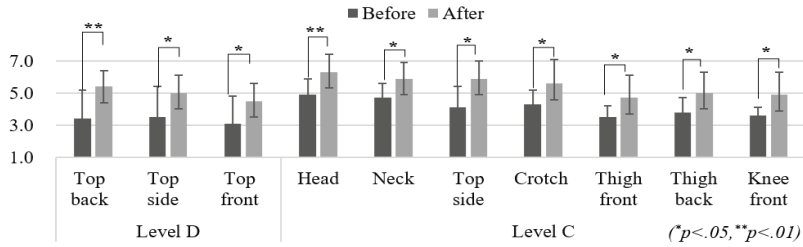


Fig. 3. Significant difference in the hot sensation before and after exercise when wearing Levels C and D disposable personal protective coveralls.

운동 후 6.3±1.1점, 목은 운동 전 4.7±0.9점, 운동 후 5.9±1.0점, 상의 옆은 운동 전 4.1±1.3점, 운동 후 5.9±1.1점, 살은 운동 전 4.3±0.9점, 운동 후 5.6±1.5점, 허벅지 앞은 운동 전 3.5±0.7점, 운동 후 4.7±1.4점, 허벅지 뒤는 운동 전 3.8±0.9점, 운동 후 5.0±1.3점, 무릎 앞은 운동 전 3.6±0.5점, 운동 후 4.9±1.4점이었다. D등급과 비교하여 보다 많은 부위에서 운동 전·후 더움에 대한 유의차가 발생하였다.

운동 전·후에 습윤감에서 통계적으로 유의차가 나는 부위는(Fig. 4), D등급의 경우, 머리, 목, 상의 뒤, 손으로 머리는 운동 전 3.2±1.9점, 운동 후 5.2±1.7점, 목은 운동 전 3.0±1.8점, 운동 후 5.4±1.1점이었고, 상의 뒤는 운동 전 3.0±1.3점, 운동 후 5.6±1.2점, 손은 운동

전 3.8±1.9점, 운동 후 5.5±1.3점으로 2점 이상의 상승폭이 나타났다. C등급은 머리, 목, 허벅지 앞, 무릎 앞에서 유의차가 있었고, 머리는 운동 전 5.2±1.4점, 운동 후 6.5±0.7점, 목은 운동 전 4.4±1.5점, 운동 후 5.8±1.1점, 허벅지 앞은 운동 전 3.7±0.8점, 운동 후 5.0±1.3점, 무릎 앞은 운동 전 3.7±0.8점, 운동 후 4.8±1.3점이었다.

운동 전·후에 불쾌감의 통계적 유의차가 나는 부위는(Fig. 5), D등급의 경우, 상의 뒤, 상의 옆, 살으로 상의 뒤는 운동 전 2.6±1.3점, 운동 후 4.0±1.2점이었고, 상의 옆은 운동 전 2.3±1.3점, 운동 후 3.8±1.2점이었으며, 상의 앞은 운동 전 1.8±1.4점, 운동 후 3.0±1.2점이었다. 그리고 살은 운동 전 2.0±1.2점, 운동 후 3.4±1.3점이었다. 이 부위들은 유의차는 있었으나,

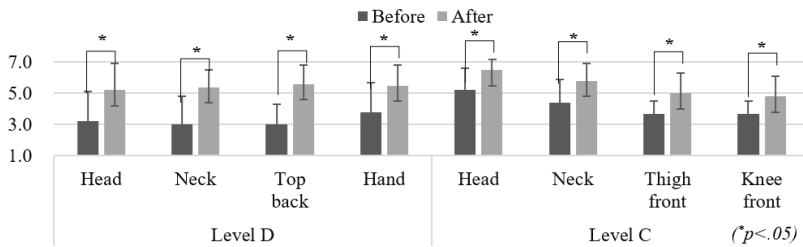


Fig. 4. Significant difference in the humidity sensation before and after exercise when wearing Levels C and D disposable personal protective coveralls.

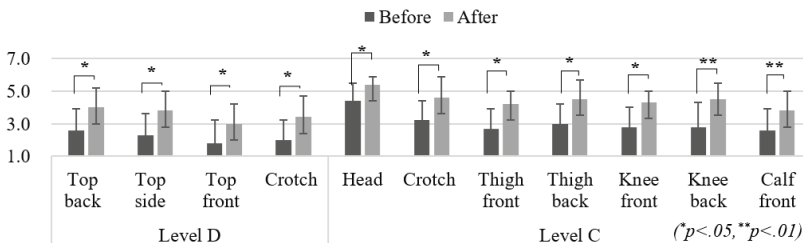


Fig. 5. Significant difference in the discomfort sensation before and after exercise when wearing Levels C and D disposable personal protective coveralls.

운동 후에도 불쾌하다고 느끼지는 않았다. C등급은 머리, 살, 허벅지 앞, 허벅지 뒤, 무릎 앞, 무릎 뒤, 종아리 앞에서 유의차가 있었다. 머리는 운동 전  $4.4 \pm 1.1$  점, 운동 후  $5.4 \pm 0.5$  점, 살은 운동 전  $3.2 \pm 1.2$  점, 운동 후  $4.6 \pm 1.3$  점, 허벅지 앞은 운동 전  $2.7 \pm 1.2$  점, 운동 후  $4.2 \pm 0.8$  점, 허벅지 뒤는 운동 전  $3.0 \pm 1.2$  점, 운동 후  $4.5 \pm 1.2$  점, 무릎 앞은 운동 전  $2.8 \pm 1.2$  점, 운동 후  $4.3 \pm 0.7$  점, 무릎 뒤는 운동 전  $2.8 \pm 1.5$  점, 운동 후  $4.5 \pm 1.0$  점, 종아리 앞은 운동 전  $2.6 \pm 1.3$  점, 운동 후  $3.8 \pm 1.2$  점이었다.

요약하면, D등급은 운동 전 착용 직전에는 보통 이하(4점 이하)의 더움, 습함, 불쾌감으로 응답하였다가 운동 후 땀이 나기 시작하면 머리, 목, 상의 뒤, 상의 옆, 상의 앞, 손에서 5점 이상으로 더움을 호소하였고, 머리, 목, 상위 뒤, 손은 동시에 5점 이상으로 습함도 언급하였다. 게다가, 상의 뒤, 상의 옆, 상의 앞은 운동 전·후 더움에 대한 유의차도 있었고, 이 중 상의 뒤가 더운 감각이 2.2점 상승하여 가장 변화가 컸다. 뿐만 아니라, 머리, 목, 상위 뒤, 손은 운동 전·후 습함에 대한 유의차가 있었고, 역시, 상의 뒤가 습한 감각이 2.5점이나 상승하였다. 반면, 불쾌감을 크게 언급한 부위가 운동 전·후 모두 없었다. 그러나 C등급은 운동 전 착용 직전부터 머리와 상의 옆에서 5점 이상으로 습함을 느끼는 것을 알 수 있었다. 그리고 운동 후 땀이 나기 시작하면 더움과 습함을 느끼는 부위가 매우 많이 증가하였다. 더움과 습함을 동시에 언급한 부위는 상체의 경우 모든 부위에서, 하체의 경우 살, 허벅지 앞, 무릎 뒤에서 나타났고, 이 부위 중 머리, 목, 허벅지 앞은 운동 전·후 유의차도 있었다. 또한, 머리와 상의 뒤는 불쾌감도 5점 이상으로 응답하였다. 이는 종합적으로 느끼는 불쾌감 순위와도 거의 유사한 경향이었다. 즉, D등급의 불쾌감 부위 순위는 운동 전 상의 머리(40.0%)>등, 손(20.0%)>목, 가슴(10.0%) 이었고, 운동 후 머리(60.0%)>등(20.0%)>손, 가슴(10.0%) 이었다. C등급의 불쾌감 부위 순위는 운동 전 머리(60.0%)>등(20.0%)>손, 가슴(10.0%) 이었고, 운동 후 머리(60.0%)>가슴(30.0%)> 등(10.0%) 으로 나타났다. 따라서 일회용 전신 보호복 D와 C등급 모두 운동 전·후에 머리가 가장 불쾌하였고, 상체가 하체에 비해 불쾌감이 높은 것을 알 수 있었다. 뿐만 아니라, 전신 보호복 D와 C등급 착용 시 힘들 정도에 대한 자각도(RPE)는 D등급이  $5.9 \pm 1.1$  점, C등급은  $8.1 \pm 1.7$  점으로 C등급이 착용할 때, 힘들다고 느끼는 정도가 매우 높은 편이었다. 실험 의복이었던 D와 C등급은 모두 일회용 전신 보호복으로 앞서 언급하였듯이 디자인과 치

수는 유사한 편이었으나, 온열 스트레스에 대한 주관적 감각은 차이가 있었다. C등급에서 온열 스트레스를 크게 느낀 것은 무엇보다 소재 두께가 D등급과 큰 차이는 없었지만, 3층 구조의 소재 중 겉쪽과 안쪽이 필름에 의해 덮여있으면서 술기에 심실링 테이프 처리가 크게 영향을 주었을 것으로 판단된다.

운동 전·후 피험자의 혈압과 맥박 수 측정 결과에서도 운동 후 D와 C등급 모두 최저 혈압, 최고 혈압, 맥박 수가 증가하였다. 운동 전에는 등급에 따른 차이가 없었으나, 운동 후 최저 혈압이 D등급  $74.4 \pm 2.6$ , C등급  $76.8 \pm 5.2$ 로 나타났고, 최고 혈압은 D등급  $125.4 \pm 5.3$ , C등급  $130.0 \pm 4.3$ 이었으며, 맥박 수는 D등급  $88.4 \pm 10.1$ , C등급  $91.7 \pm 8.9$ 이었다. Bang and Kwon(2015)은 A등급의 소방용 화학 보호복을 착용하고, 6 km/h 운동 5분 후 맥박 수가 약 150 정도로 급격히 증가했다고 보고하였는데, 본 연구에서는 D와 C등급을 착용하고, 4 km/h 운동 15분 후 약 90 정도여서 A등급에 비해 낮은 편이지만, 생리적 부담감은 발생할 수 있음을 확인하였다.

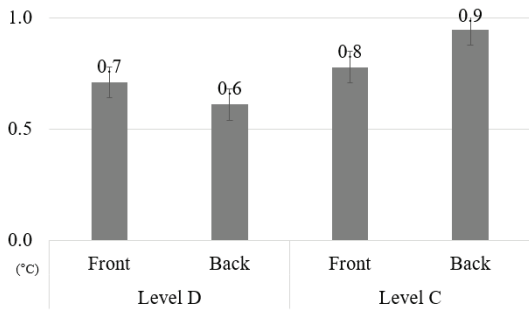
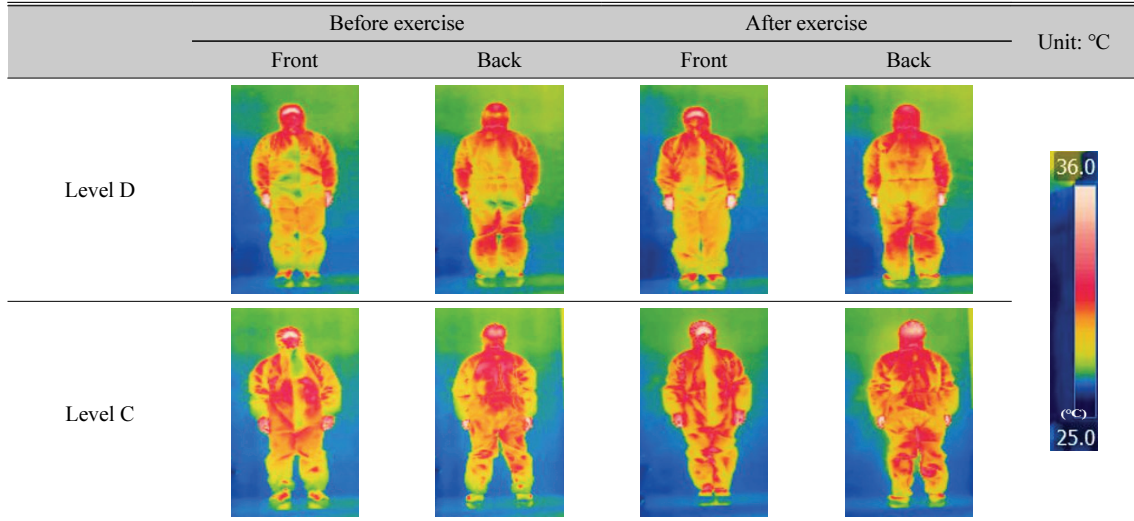
## 2. 일회용 전신 보호복의 표면온도 변화량

D와 C등급 일회용 전신 보호복 착용 시 운동 전·후 표면온도 양상을 피험자 1인을 예로 <Table 4>에 나타내었다.

전체적으로 D등급보다는 C등급의 표면온도가 높은 것을 알 수 있었고, 등급에 상관없이 운동 전에 상체 부위의 표면온도가 하체에 비해 높은 것도 확인할 수 있었다. 운동 후에는 운동 전보다 표면온도가 높은 부위의 면적이 증가하였는데, D등급은 뒤에 비해 앞에서 표면온도가 상승한 면적이 상대적으로 많았고, C등급은 앞과 뒤에서 전반적으로 표면온도 상승 면적이 증가하였다. 앞서 살펴본 주관적 감각에서 운동 전·후 덥거나 습함을 언급했던 부위와 표면온도가 높은 부위가 유사함을 확인할 수 있었다. 한편, D등급은 앞 평균 온도가 운동 전  $28.4 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 운동 후  $29.1 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 로, 운동 전·후의 유의미한 차이가 있었다( $p < .05$ ). 그러나 뒤 평균 온도는 운동 전  $28.1 \pm 0.7^\circ\text{C}$ , 운동 후  $28.7 \pm 0.6^\circ\text{C}$ 로 유의차는 나타나지 않았다. C등급은 앞 평균 온도가 운동 전  $28.6 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 운동 후  $29.4 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 였으며, 뒤 평균 온도가 운동 전  $29.2 \pm 0.9^\circ\text{C}$ , 운동 후  $30.1 \pm 0.6^\circ\text{C}$ 로 앞과 뒤에서 모두 유의차가 있었다( $p < .05$ ). 이러한 운동 전·후 표면온도 변화량은 <Fig. 6>에 도시



**Table 4. Image of the surface temperature before and after exercise when wearing Levels C and D disposable personal protective coveralls**



**Fig. 6. Increasing temperature rate before and after exercise according to the level of disposable personal protective coveralls.**

하였는데, D등급은 앞 0.7°C, 뒤 0.6°C, C등급은 앞 0.8°C, 뒤 0.9°C 상승하였다. 사실, 등급에 따라 운동 전·후 표면온도 변화량은 큰 차이는 없었지만, 신체는 이의 변화 정도를 감지하고, 주관적으로는 반응함을 알 수 있었다. 결과적으로 C등급 착용 시 D등급에 비해 운동 후의 온도가 약간 더 상승한 것은 신체에서의 방열량이 많아 전신 보호복 표면으로 열이 더 전달되고 있다고 생각할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구는 다양한 산업현장에서 작업자가 가장 많

이 착용하고 있는 일회용 전신 보호복 D와 C등급을 대상으로 건강과 직결되는 온열 스트레스에 초점을 맞추어 평가하고 다음과 같은 기초자료를 확보하였다.

첫째, D등급은 머리와 손에서 운동 전부터 상대적으로 더위를 감지하였고, 운동 후 머리, 목, 상의 뒤, 상의 옆, 손에서 더위감이 크게 상승하였으며, 하체는 크게 더움을 호소하지 않았다. 습한 감각은 운동 전에 크게 느끼지 못하다가 운동 후 머리, 목, 상의 뒤, 손에서 습하다고 응답하였다. 그러나 불쾌감은 크게 언급하지 않았다. 반면, C등급은 D등급에 비해 확실히 온열 스트레스와 관련된 감각에 높은 점수로 응답하였고, 특히, 운동 후 머리, 목, 상의 옆은 매우 덥다고 하였다. 물론, 상의 뒤, 상의 앞, 살, 허벅지 뒤, 무릎 앞, 무릎 뒤, 손도 더위를 호소하여, D등급과는 다르게 하체 부위에 대한 언급이 생기는 것을 알 수 있었다. 습함의 경우에도 운동 후 머리, 목, 상의 뒤, 상의 옆, 상의 앞에서 매우 습하다고 하였고, 살, 허벅지 앞, 허벅지 위, 무릎 뒤도 습함을 언급하였다. 그러나 불쾌감은 운동 후 머리와 상의 뒤에서만 언급되었다.

둘째, 전신 보호복 착용 후 운동 전·후의 표면온도 변화량을 살펴보면, C등급이 D등급의 변화량이 약간 크고, 착용 직후부터 D등급에 비해 표면온도가 높았다. C등급은 상체에서 운동 전·후 전신 보호복 표면 온도 변화량이 약 1°C 증가하였는데, 온열 스트레스를 관련 항목에 대한 주관적 응답은 운동 전·후 유의

차가 나는 부위가 많으면서, 힘들다고 느끼는 정도, 최저 혈압, 최고 혈압, 맥박 수의 증가도 있어 쾌적성 측면에서 이 정도의 표면온도 변화량은 중요할 수 있다고 판단된다. 일반적으로 뇌의 정보처리 과정은 자극이 주어져서 입력이 들어오면 즉각적으로 시작되어 어떻게 반응할지 결정하기 때문에 신체 전체를 감싸는 전신 보호복 착용 후 초기 감각이 작업하는 동안 영향을 줄 수 있으므로 차단 등급이 낮은 일회용 전신 보호복이라도 작업자의 효율성을 위해서 등급에 따른 적절한 쾌적성 측면의 대책 마련이 필요하다고 생각된다.

그러므로 D등급은 손을 포함하여 상체 부위에 집중하여 온열 스트레스에 대응할 수 있도록 하고, C등급은 상체와 함께 하체까지 함께 고려해야 할 것이다. 사실, 등급에 따른 전신 보호복의 온열 스트레스 차이는 소재 물성과 구조에서 발생하지만, 전신 보호복 사용 목적의 특성상 소재나 봉제법을 변화시키는 것은 한계가 있기 마련이다. 다시 말해, 전신 보호복이라는 밀폐된 공간 안에서 작업자가 동작 시 신체 열평형을 위해 발생시키는 발한과 증가되는 미세기후 온·습도 문제를 어떻게 해결하여 쾌적성 향상을 도모할지 모색해야만 한다. 즉, 발한의 흡수 및 건조, 열의 냉각(전도) 및 증발(대류) 등 전신 보호복 내 냉각제나 제습제 포함 환기팬을 이용하여 신체 부위별 상황에 따른 적절한 해결책이 적용되어야 할 것이다.

본 연구는 시대·환경적 변화로 관심이 집중되고 있는 전신 보호복 중 일부 제품만을 평가하였다는 한계점이 있으나, 착용 및 판매 빈도가 높은 D와 C등급 제품에 대해 다양한 쾌적성 측면을 분석하여 현재 상황을 점검하였다는데 의의가 있다. 나아가 전신 보호복 장시간 착용 후 열적 스트레스의 변화 양상을 분석하여 기초 데이터를 추가 확보하고, 쾌적성을 향상 방안에 초점을 맞춘 연구를 진행하고자 한다.

**1. 사사**

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

**2. 연구윤리**

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

**3. 데이터 및 자료 가용성**

본 연구에 사용된 데이터는 특허 진행 및 추후 후속 연구들이 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**

3M protective clothing. (2023). *3M protective clothing*. Coupang. <https://www.coupang.com/vp/products/6756368861?itemId=15819644660&vendorItemId=83031551633&q=mg4000+3m&itemsCount=25&searchId=4528865ab88a4e619863e20b3ebab9d2&rank=19&isAddedCart=>, <https://www.coupang.com/vp/products/6509123901?itemId=14369327679&vendorItemId=81613697998&q=3m+mg1500&itemsCount=36&searchId=215e33f1fdb4c90b842277604776f91&rank=1&isAddedCart=>

Bang, C., & Kwan, J. (2020). Wearing acceptability of chemical protective clothing during fire training. *Fire Science and Engineering*, 34(3), 110–115. <https://doi.org/10.7731/KIFSE.0d9e10a8>

Bang, C., & Kwon, J. (2015). A study on the physiological response wearing fire chemical protective clothing. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 15(1), 231–236. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2015.15.1.231>

Bartkowiak, G., Dąbrowska, A., & Greszta, A. (2020). Development of smart textile materials with shape memory alloys for application in protective clothing. *Materials*, 13(3), 689. <https://doi.org/10.3390/ma13030689>

- Eom, R. I., & Lee, Y. (2020). Comfort evaluation by wearing a gait-assistive rehabilitation robot. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 44(6), 1107–1119. <https://doi.org/10.5850/JKSCT.2020.44.6.1107>
- Hes, L., Paraska, O., Malik, H. M., & Akhtar, N. M. (2022). Selected barrier properties of some disposable protective coveralls in wet state. *Industria Textila*, 73(1), 12–18. <https://doi.org/10.35530/IT.073.01.202045>
- Kang, I., Park, H., & Lee, H. S. (2012). Assessment of wear comfort of water-vapor-permeable (WVP) garments. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 36(9), 928–939. <https://doi.org/10.5850/JKSCT.2012.36.9.928>
- Kim, D., & Lee, J. (2020). Protective and comfort performance of pesticide protective clothing: Physicochemical properties of materials and clothing ensemble. *Korean Journal Community Living Science*, 31(4), 559–573. <https://doi.org/10.7856/kjcls.2020.31.4.559>
- Kim, H., & Suh, M. (2002). A research of worker's uniform in the mechanical industry. *Journal of the Costume Culture*, 10(6), 718–734. <http://www.riss.kr/link?id=A30111090>
- Kwon, O. K., Kim, T. K., & Sung, S. K. (1996). The properties of thermal physiology of the cleanroom garment for semiconductor industry. *Journal of the Korean Society of Living Environmental System*, 3(2), 5–15. <http://www.riss.kr/link?id=A76197222>
- Lee, D.-S., Lim, G.-Y., Lee, H.-L., Chun, Y.-M., & Lee, J.-Y. (2021). Personal protective equipment for healthcare workers during the COVID19 pandemic: Improvement of thermal comfort and development of a mobility test protocol. *Journal of the Korean Society of Community Living Science*, 32(3), 363–379. <https://doi.org/10.7856/kjcls.2021.32.3.363>
- Lee, D.-S., Lim, G.-Y., Lee, H.-L., Chun, Y.-M., & Lee, J.-Y. (2021). Thermo-psychological responses while wearing personal protective equipment for COVID-19 healthcare workers: Effects of air temperature and protective level. *Journal of Korean Living Environment System*, 28(6), 561–575. <https://doi.org/10.21086/ksles.2021.12.28.6.561>
- Lee, O., Eom, R., Jung, H., Cho, K., & Lee, Y. (2022). Effect of ventilation on heat stress in the system of short-sleeve t-shirt-combat uniform-chemical, biological, and radioactive protective clothing. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 46(5), 836–847. <https://doi.org/10.5850/JKSCT.2022.46.5.836>
- Moon, J., & Jeon, E. (2012). Wearing conditions of protective clothing and protective gear for FMD prevention. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 36(1), 46–55. <https://doi.org/10.5850/JKSCT.2012.36.1.46>
- Moon, J., & Jeon, E. (2013a). An analysis of Korean anthropometric measurements for the development of a disposable protective coveralls sizing system. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 37(8), 1117–1129. <https://doi.org/10.5850/JKSCT.2013.37.8.1117>
- Moon, J., & Jeon, E. (2013b). Size analysis on disposable protective coveralls. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 37(5), 655–666. <https://doi.org/10.5850/JKSCT.2013.37.5.655>
- Moon, J., & Jeon, E. (2016). Analysis of pattern shape and types for non-woven protective coveralls on domestic market. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 40(2), 273–286. <https://dx.doi.org/10.5850/JKSCT.2016.40.2.273>
- Ro, H., Hong, H., Cho, J., & Park, M. (2020). Development of industrial and firefighter protective cloth of base fabric and comparison of fire retardant performance. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 20(6), 109–114. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2020.20.6.109>
- Size Korea. (2021). 제 8 차 인체 치수 조사 보고서 [8th Human dimension survey]. Korean Agency for Technology and Standards. <https://sizekorea.kr/human-info/meas-report?measDegree=8>
- 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>
- Yoo, K.-S. (2004). Current attitudes of pesticide use and protective clothing in smallholder farmers of Korea. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 28(10), 1292–1299.