

COVID-19 감염병 대응 의료진용 개인보호복의 동작성 및 생리적 부담 평가를 위해 개발된 모의 작업 프로토콜의 타당도

권주연¹⁾ · 조예성²⁾ · 이범휘³⁾ · 김민서²⁾ · 전영민⁴⁾ · 이주영^{1),2),5)†}

¹⁾서울대학교 생활과학대학 생활과학연구소

²⁾서울대학교 생활과학대학 의류학과

³⁾서울대학교 사회과학대학 인류학과

⁴⁾KOTITI 시험연구원

⁵⁾차세대융합기술연구원 그래핀융합기술연구센터

Validity of a Simulated Practical Performance Test to Evaluate the Mobility and Physiological Burden of COVID-19 Healthcare Workers Wearing Personal Protective Equipment

JuYoun Kwon¹⁾, Ye-Sung Cho²⁾, Beom Hui Lee³⁾, Min-Seo Kim²⁾, Youngmin Jun⁴⁾, and Joo-Young Lee^{1),2),5)†}

¹⁾Research Institute of Human Ecology, Seoul National University; Seoul, Korea

²⁾Dept. of Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University; Seoul, Korea

³⁾Dept. of Anthropology, Seoul National University; Seoul, Korea

⁴⁾KOTITI Testing & Research Institute; Seongnam, Korea

⁵⁾Graphene Research Center for Convergence Technology, Advanced Institute of Convergence Technology; Suwon, Korea

Abstract: This study evaluated the validity of a newly developed mobility protocol examining the comfort functions and requirements of personal protective equipment (PPE) for COVID-19 healthcare workers. Eight males (age: 24.7 ± 3.0 y, height: 173.4 ± 2.3 cm, and body weight 69.9 ± 3.7 kg) participated in the following three PPE conditions: (1) Plastic gown ensemble, (2) Level D ensemble, and (3) Powered air purifying respirator (PAPR) ensemble. The mobility protocol consisted of 10 different tasks in addition to donning and doffing. The 10 tasks were repeated twice at an air temperature of 25°C with 74% RH. The results showed significant differences among the three PPE conditions in mean skin temperature, local skin temperatures (the forehead, thigh, calf, and foot), clothing microclimate (the chest and back), thermal sensation, thermal comfort, and humidity sensation, while there were no significant differences in heart rate or total sweat rate. At rest, the subjects felt less warm and more comfortable in the PAPR than in the Level D condition ($P < 0.05$). However, subjective perceptions in the PAPR and Level D conditions became similar as the tasks progressed and mean skin and leg temperature became greater for the PAPR than the Level D condition ($P < 0.05$). An interview was conducted just after completing the mobility test protocol, and suggestions for improving each PPE item were obtained. To sum up, the mobility test protocol was valid for evaluating the comfort functions of PPE for healthcare workers and obtaining requirements for improving the mobility of each PPE item.

Key words: mobility (동작성), personal protective equipment (PPE, 개인보호구), comfort (쾌적성), visibility (가시성), evaluation parameter (평가 변수)

1. 서 론

2022년 중앙방역대책본부는 COVID-19(Coronavirus Disease-2019) 의료기관 감염예방관리 개정안을 발표하며 감염병 대응 의료진용 보호복 착용 지침을 명시했다(Korea Disease Control and Prevention Agency [KDCA], 2022). 본 지침은 질환별 또는 감염경로, 용도와 더불어 감염 노출 상황 및 행위에 적합한 개인보호구의 착용을 강조한다. 대한민국 질병관리본부에서 발행한 ‘보호구 선택과 착용의 방법에 관한 감염예방관

†Corresponding author: Joo-Young Lee

Tel. +82-2-880-8746

E-mail: leex3140@snu.ac.kr

©2022 Fashion and Textile Research Journal (FTRJ). This is an open access journal. Articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

리지침'에서는 미국 산업안전공단(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)의 기준을 바탕으로, 의료진용 개인보호구 등급 기준을 가장 높은 수준의 보호수준을 갖는 Level A부터 가장 낮은 수준의 보호구인 Level D까지로 분류한다(KDCA, 2020). 국내 COVID-19 감염병 대응 의료진들은 주로 Level C 또는 Level D에 해당하는 개인보호구를 착용하고 있으나, 대응 상황에 따라 Level C 또는 Level D의 커버롤과 N95 마스크, KF94 마스크, 전동식 공기정화 호흡기 보호구(Powered air-purifying respirator, PAPR), 안면보호구(Face Shield), 라텍스 속 장갑, 니트릴 걸 장갑 등을 조합하여 착용한다(Lim et al., 2021). 감염구역에서는 Level D 이상의 보호구 착용이 권장된다(KDCA, 2022).

개인보호구가 감염병 확산과 지역사회로의 감염전파를 막는 중추적인 역할을 함에도 불구하고, 전신 보호복 착용이 의료진들의 생리적 반응에 부정적인 영향을 미쳐 활동을 저해한다는 문제가 지속적으로 제기되고 있다. Vidua et al.(2020)의 설문조사에 따르면 여름철 실내 냉방장치가 없는 시설에서 작업한 의료진들의 다수가 메스꺼움, 어지럼증, 발한, 호흡 곤란, 질식, 탈수와 같은 이상증세를 호소하였고, 의사소통의 어려움, 후각 상실, 섬세한 손동작 방해, 고글 및 안면보호구에 끼는 수증기에 의한 시각 방해 등의 문제 또한 언급하였다. Alarfaj et al.(2021)도 37개 문항으로 구성된 질문지를 활용하여 개인보호구의 장기간 사용 영향을 조사하였는데, 그 결과 보호복 착용 시 두통 및 불안이 가중된다고 보고하였다. 일부 설문 참여자들은 개인보호구 내부의 환기, 맞음새, 보호구 자체의 하중 면에서 개선이 필요하다고 응답하였다. Lim et al.(2021)은 감염병 대응 의료진 16인을 대상으로 한 심층 인터뷰를 통해 보호구 솔기의 내구성, 소매 혹은 바지 기장의 맞음새, 보호구 총중량, 피부 자극, 촉각 저하 등의 문제점들을 발견하였고, 이를 바탕으로 감염병 대응 의료진용 개인보호구의 동작성 평가를 위한 프로토콜을 제안하였다.

현재 감염병 대응 의료진용 개인보호구를 착용하는 작업자들의 동작성을 평가한 연구는 거의 없으나, 소방복이나, 군복, 혹은 경찰 보호복 등을 대상으로 개발된 동작성 프로토콜은 종종 보고된다. 국내에서도 Kim and Lee(2016)는 소방관들의 작업 특성을 고려한 동작성 평가 프로토콜을 개발한 후, 이 프로토콜을 적용하여 소방용 개인보호구 착용에 따른 생리적 부담을 평가하였다. Kim et al.(2019)은 위 프로토콜을 개선한 후 소방관용 냉각복 착용이 생리적인 열부담 완화에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 소방용 보호 장갑의 기민성과 동작성을 평가하기 위해 손의 동작을 세분화한 프로토콜이 개발되기도 하였다(Kim et al., 2016). 기존 해군 함상복과 개선된 함상복의 동작 적합성을 비교하기 위해 함정 내 해군의 작업을 대표할 수 있는 모의 작업 프로토콜을 개발한 후 그 타당성을 평가한 연구도 발견된다(Lee et al., 2016). Schram et al.(2018)은 경찰 업무의 주요 세 가지 동작(인명구조, 차량탈출, 사격)을 모사한 동작들을 활용하여 개인보호구가 착용자의 작업 부하에 미치는 영향을 평

가하였고, Larsson et al.(2022)은 도시 지형의 모의전투에서 주요 임무(근접전, 목표물 접근, 공격, 장애물제거 등)로 구성된 프로토콜을 사용하여 생리적 반응 및 동작 특성을 분석하였다. 이처럼 개인보호구를 착용하는 작업자들이 실제 취하는 주요 작업 동작들을 반영하는 동작성 평가 프로토콜이 하나의 평가 도구로서 활용되고 있다는 점을 고려해 볼 때, 실제 감염병 대응 의료진들의 의료 활동을 반영한 모의 작업 프로토콜을 개발한 후 이 프로토콜의 활용가능성을 평가해 볼 필요가 있다.

COVID-19 대응 현장에서의 작업 효율을 높이면서, 여러 겹의 무거운 전신 보호복 착용으로 인해 야기될 수 있는 2차 위험을 피하기 위해 의료진들이 착용하는 보호복의 동작성 평가는 중요한 주제이다. 현재 호흡기 보호구(마스크)의 안면부 누설률 및 밀착도 평가를 위한 동작 프로토콜은 미국과 유럽 연구자들에 의해 이미 개발되어 있다. 안면부 누설률은 BS EN 13274-1(2001) 및 노동부 산업안전공단(KOSHA)의 기준에 따라 다음 다섯 가지 동작(2분 걷기 - 머리를 좌우로 2분간 움직이며 걷기 - 머리를 위아래로 2분간 움직이며 걷기 - 한글 문장을 2분간 큰 소리로 읽으며 걷기 - 2분 걷기)을 수행하는 동안 평가된다. 안면부 밀착도는 미국 산업안전공단에서 정한 여덟 가지 동작(보통 호흡 - 깊은 호흡 - 머리 좌우로 움직이기 - 머리 위아래로 움직이기 - 말하기 - 얼굴 찡그리기 - 허리 구부리기 - 보통 호흡)를 연속 수행하는 동안 마스크 밖과 안의 특정 입자 농도 차이를 이용해 환산된다. Luze et al.(2021)은 여섯 개의 표준 평가 항목(집중력, 수술 시 손동작, 팔 관절 굴절힘 등)을 활용하여 개인보호구와 냉각 의복을 동시에 착용했을 때가 개인보호구만 착용했을 때보다 의료진의 열부담을 완화할 수 있음을 보여 주었다. 그러나 아직 감염병 대응 의료진이 착용하는 개인보호복의 동작 적합성을 평가하기 위해 의료진용 동작프로토콜을 적용한 선행연구들은 거의 없다. 이에 본 연구에서는 Lim et al.(2021)이 개발하여 제안한 감염병 대응 의료진용 보호복 모의 동작 프로토콜을 기반으로, 실제 인체 착용 평가를 통해 동작 적합성 프로토콜의 타당성을 평가하였다. 개발된 모의 동작 프로토콜의 타당성은, 서로 다른 개인 보호복의 장단점이 객관적인 측정지표들에 의해 분별되는지, 개인보호복 착용으로 인해 야기된 불편사항이나 개선사항이 각 모의 동작에 따라 구체적으로 구별되는지로 평가되었다.

2. 연구 방법

2.1. 피험자

건강한 성인 남성 8인(나이 24.7±3.0세, 신장 173.4±2.3 cm, 체중 69.9±3.7 kg)이 동작성 평가 시험에 참여하였다. 피험자별 유사한 사이즈의 개인보호복을 사용하기 위해 평소 상의 L 사이즈를 착용하는 피험자들만 모집하였다. 모든 피험자들은 실험을 참여하기 전에 실험에 대하여 충분한 설명을 듣고 자발적으로 동의한 후에 참여하였다. 본 연구는 서울대학교 연구윤리 위원회의 승인을 받았다(IRB No. 2204/004-004).

Table 1. Characteristics of personal protective items and ensembles in the present study

Garment item	Condition 1	Condition 2	Condition 3
	Named 'Gown'	Named 'Level D'	Named 'PAPR'
Basic clothing (shorts + socks + slippers + scrubs shirts and pants)	○	○	○
Surgical gloves (nitrile)	○	○	○
Surgical gown (open back design, disposable plastic gown)	○		
Coverall with a hood (Level D)_DuPont Tyvek 400		○	
Coverall with a hood (Level C)_DuPont Tyvek 800J			○
Shoe cover (DuPont Tyvek, disposable)		○	○
Surgical face mask (disposable)	○		
KF94 disposable face mask		○	
PAPR (Powered Air Purifying Respirator, 3M, TR300, 1.13 kg)			○
Face shield		○	
Total PPE mass excluding slippers (g)	730	880	2,130

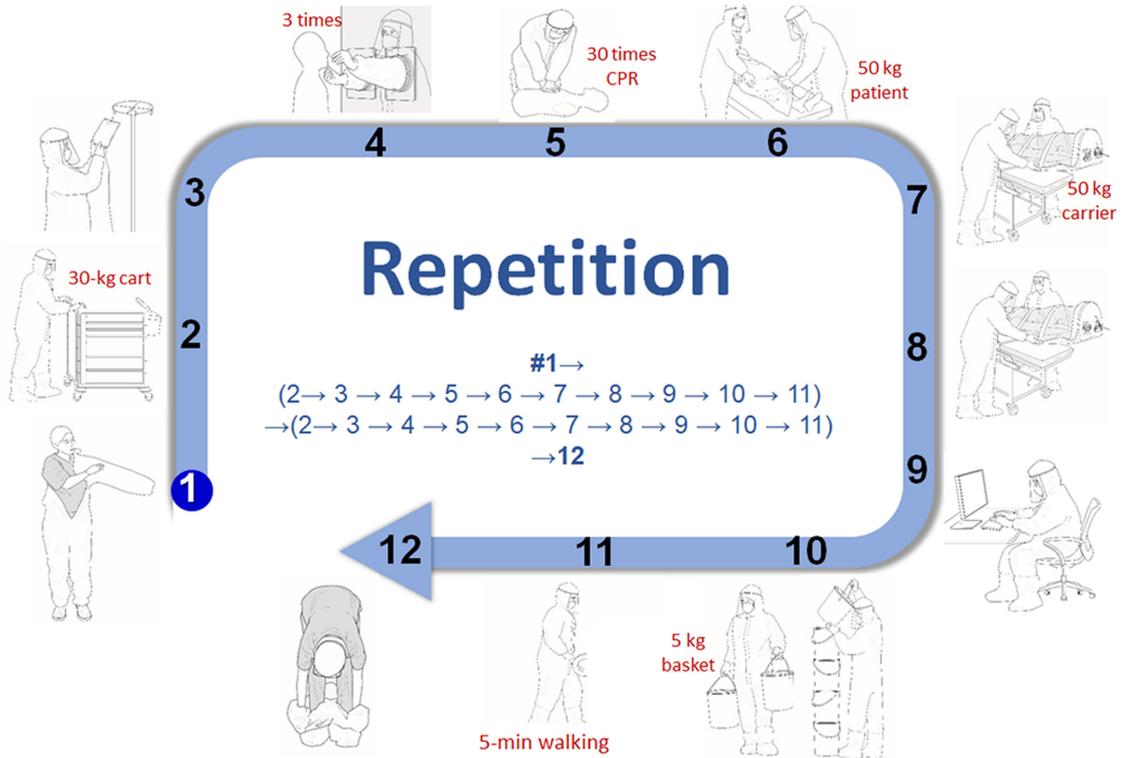


Fig. 1. Mobility test protocol of 10 simulated COVID-19 healthcare worker tasks. Donning and doffing protective equipment procedures were included with the 10 tasks (#1: Donning all PPE; #2: Moving a 30-kg cart (23 m distance); #3: Hanging an infusion bag on a stand; #4: Swabbing 3 times using a swabbing kit; #5: Doing CPR (cardio-pulmonary resuscitation) using an adult CPR training manikin; #6: Moving a patient from a bed to another bed (twice) with an assistant; #7: Moving a negative pressure carrier (50 kg) down from a hospital bed, and then putting the carrier on a bed again, with an assistant; #8: Moving the adjustable hospital bed with a negative pressure carrier (23 m distance), with an assistant; #9: Typing 5 sentences in Korean (77 words) on a chair; #10: Moving 5 baskets (5 kg for each) and stacking all the baskets in a row; #11: Walking 5 minutes; #12: Doffing all PPE).

2.2. 감염병 대응 의료진용 개인보호구 특성 및 실험 조건

Lee et al.(2021) 연구를 바탕으로 COVID-19 대응 의료진들이 주로 착용하는 개인보호복 양상별 3종을 선정하였다(Table 1): ① 보호 수준이 가장 낮은 비닐 가운 조건(일명 “가운 조건”, 보호복의 총중량 0.73 kg), ② Level D 수준의 커버롤을 착용한 조건(“Level D 조건”, 0.88 kg), ③ Level C 수준의 커버롤과 PAPR를 함께 착용한 조건(“PAPR 조건”, 2.13 kg). 커버롤은 모두 사이즈 L로 통일하였다. 세 조건에 공통적으로 포함된 아이템은 스커럽복 상하의, 속옷 팬티, 양말, 크로스 슬리퍼, 니트릴 소재의 수술용 장갑이었다. 모의 작업 수행을 통한 동작성 평가는 기온 $24.8 \pm 0.2^\circ\text{C}$, 습도 $74 \pm 4\%RH$ 의 실내($11.5\text{ m} \times 8\text{ m}$)에서 수행되었다. 모든 피험자는 1일 한 조건의 실험에만 참여하였으며, 다음 조건과의 시간은 최소 24시간 이상의 간격을 두었다. 참여 순서에 의한 영향을 최소화하기 위해 세 가지 실험 조건 참여 순서는 임의로 정하였다.

2.3. 모의 작업 동작성 평가 프로토콜

본 연구에서는 Lim et al.(2021)에서 개발한 모의 작업 동작성 평가 프로토콜을 수정하여 사용하였다. 수정된 동작성 평가 프로토콜은 COVID-19 대응 의료진들이 수행하는 업무와 유사한 활동 총 10개와 보호복 입고 벗기를 포함하여 총 12개 동작으로 구성되었다(Fig. 1): ① 개인보호구 착용 후, 의자에 앉은 자세로 10분 휴식(baseline phase), ② 30 kg 카트를 밀고 30 m 직선 걷기(15 m 왕복), ③ 수액 가방을 거치대에 걸기, ④ 유전자 검사(PCR)용 키트를 이용하여 swabbing 하기(3 회), ⑤ 심폐소생술(CPR) 훈련용 성인 남자 마네킹을 사용하여 CPR 30회 실시하기, ⑥ 병상에 누워 있는 사람(50 kg 여성)을 보조자와 함께 바로 옆에 위치한 동일한 디자인의 병상으로 옮긴 후 다시 원 위치 시키기, ⑦ 병원용 이동 병상 위에 놓인 약 50 kg의 모의 음압 텐트를 보조자와 함께 바닥에 내려놓은 뒤 다시 이동 병상 위에 올려 놓기, ⑧ 모의 음압 텐트가 올려진 병원용 이동 병상을 보조자와 함께 23 m 이동하기(약 5~6 m 길이로 직사각형 공간을 한 바퀴 돌아 원위치로 오기), ⑨ 의자에 앉은 자세로 5개의 한글 문장(총 77 단어)을 타이핑 하기, ⑩ 5 kg 양동이 다섯 개를 양손에 하나씩 들고 23 m 걸어 돌아온 후 하나씩 위로 쌓아 놓기(1라운드 양동이 두 개 이동, 2라운드 두 개 이동, 3라운드 1개 이동하여 총 69 m 걷기), ⑪ 5분 동안 바닥에 그려진 사각형 선을 따라 메트로놈 속도에 맞춰 걷기(약 4 km/h), ⑫ 개인보호구 탈의. 첫 번째는 탈의를 제외한 1번에서 11번까지 각 활동을 순서대로 수행하고, 두 번째 활동은 착의를 제외한 2번에서 12번까지 각 활동을 순서대로 수행하였다. 첫 번째와 두 번째 반복 간 휴식 없이 바로 이어 지도록 하였다. 각 작업 속도는 피험자가 자율적으로 조절하였다. 착의와 탈의 방법은 사전에 미리 연습하여 그 순서를 숙지하도록 하였으며, 실제 실험에서는 실험자의 도움 없이 피험자 스스로 착탈의를 실시하였다.

2.4. 측정항목

동작성 평가 프로토콜을 수행하는 동안 피부온도, 의복내 온도 및 습도, 심박수, 총발한량, 한서감, 온열쾌적감, 습윤감, 운동각각도(Rate of Perceived Exertion, RPE), 작업완료시간, 보호복 착탈의 시간을 측정하였으며, 매 실험을 종료한 후 보호복 아이템별 불편함에 대한 인터뷰를 실시하였다. 피부온도는 이마, 가슴, 아래팔, 손등, 넓적다리, 종아리, 발등의 일곱 부위에서 5초 간격으로 연속 기록하였다(LT-8A, Gram Corporation, Japan). 의복내 온도 및 습도는 가슴과 등 부위에서 5초 간격으로 연속 기록하였다(TR-72wb, T&D, Japan). 심박수는 가슴 벨트와 손목시계 형태의 기기를 이용하여 1초 간격으로 자동 기록하였다(HI10, Polar Electro, Finland). 총발한량은 실험 전과 후의 몸무게를 3회 반복 측정하여 그 차이로 추정하였다(F150S, Sartorius, Germany, resolution 1 g). 한서감, 온열쾌적감, 습윤감은 보호복 착용 후 휴식기, 작업 시작 직전, 작업 종료 직후 총 3회 수집하였다. RPE는 모의 작업 프로토콜을 종료한 직후 바로 응답하게 하였다. 주관적 감각의 척도 구성은 다음과 같다. 한서감은 9점 척도[-4 매우 춥다, -3 춥다, -2 서늘(시원)하다, -1 약간 서늘(시원)하다, 0 보통이다, 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], 습윤감은 7점 척도[-3 매우 건조하다, -2 건조하다, -1 약간 건조하다, 0 보통이다, 1 약간 습하다, 2 습하다, 3 매우 습하다], Borg가 1982년에 개발한 정신물리학 척도인 RPE는 15등급[6 전혀 힘들지 않다, 7-8 극도로 가볍다, 9 매우 쉽다, 11 쉽다, 12~13 약간 힘들다, 15 힘들다, 17 매우 힘들다, 19 극도로 힘들다, 20 참을 수 없을 정도로 힘들다]으로 구성되었다. 작업완료 시간은 착의 시간, 작업 수행 시간, 탈의 시간을 구별하여 초시계로 측정하였다.

2.5. 실험과정

피험자들의 탈수를 방지하기 위해 실험실에 도착하자마자 330 ml의 물을 미리 마시게 하였다. 음수 후 실험용 팬티, 양말과 센서 부착 준비용 가운으로 갈아 입고 몸무게를 측정하였다. 인체 일곱 부위(이마, 가슴, 아래팔, 손등, 넓적다리, 종아리, 발등)에 피부온 센서, 가슴과 등 부위에 의복내 온도 습도 센서, 가슴 중앙에 심박수 측정용 벨트를 부착한 후 스커럽복 상하의를 착용하였다. 실험이 시작되면, 당일 해당 조건의 개인보호구는 피험자 스스로 착용하게 하였다. 이후 등반이가 없는 의자에 앉은 자세로 10분 휴식을 취한 후, 약 25분 가량 소요되는 모의 작업 평가 프로토콜을 수행하였다. 처음 체중을 측정하였을 때 착의한 대로 다시 갈아입고 체중을 측정하였다. 모든 과정을 종료한 후, 피험자는 당일 모의 작업 프로토콜을 수행하는 동안 각 작업에서 느꼈던 동작의 불편함에 대한 설문을 작성하였다.

2.6. 결과 분석

평균피부온은 Hardy and Dubois(1938)의 7점법으로 산출하

었다(Eq. 1).

$$\begin{aligned} \text{Mean } T_{sk} = & 0.07T_{\text{forehead}} + 0.35T_{\text{chest}} + 0.14T_{\text{arm}} + 0.05T_{\text{hand}} + 0.19T_{\text{thigh}} \\ & + 0.13T_{\text{calf}} + 0.07T_{\text{foot}} \end{aligned} \quad (1)$$

실험 결과는 평균과 표준편차(Mean ± SD)로 제시하였고, SPSS 25.0으로 분석하였다. 휴식기(10분) 대푯값은 시작 초기 3분 동안의 평균값을 사용하였고, 휴식 종료 및 작업 종료는 마지막 3분 동안의 평균값을 사용하였다. 세 실험 조건 간의 차이는 반복측정 일원분산분석(RM ANOVA)을 사용하였고, 유의한 차이를 보이는 항목에 대하여 Duncan의 사후분석을 실시하였다. 범주형 척도를 이용한 비모수 항목들에 대하여는 세 실험 조건을 비교하기 위해서 Friedman 검정을 실시하였다. 통계적으로 유의한 수준은 $P < 0.05$ 로 설정하였다.

3. 결 과

3.1. 평균피부온도 및 부위별 피부온도

개인보호복을 착용하고 휴식하는 동안 평균피부온도는 세 조건 간 큰 차이 없이 평균 34°C 수준을 유지하였으나, 모의 작업 프로토콜 종료 마지막 시점에서 평균피부온도는 Level D와 PAPR 조건에서 각각 $34.0 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 와 $34.3 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 비닐 가운

조건 $33.6 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 에 비해 유의하게 높았다(Fig. 2, $P = 0.011$). 비닐 가운 조건의 경우 작업 종료 시점에서 평균피부온도는 휴식 시에 비해 $0.3 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 감소하였으나, Level D 조건에서는 $-0.0 \pm 0.4^\circ\text{C}$, PAPR 조건에서는 $0.3 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 증가하는 경향이 발견되었다($P = 0.023$).

부위별 피부온도는 휴식하는 동안에는 이마와 종아리에서만 세 보호복 조건 간 차이를 보여주어, 이마온은 Level D에서

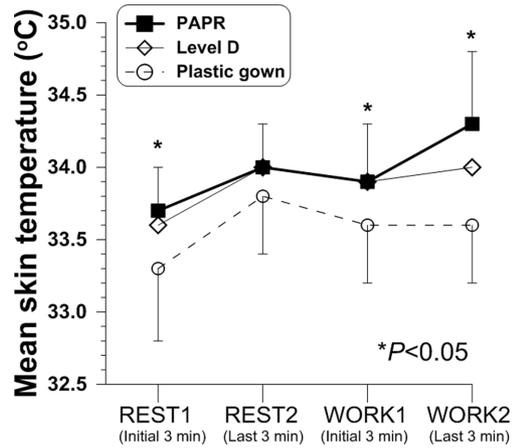


Fig. 2 Changes in mean skin temperature for the three experimental conditions.

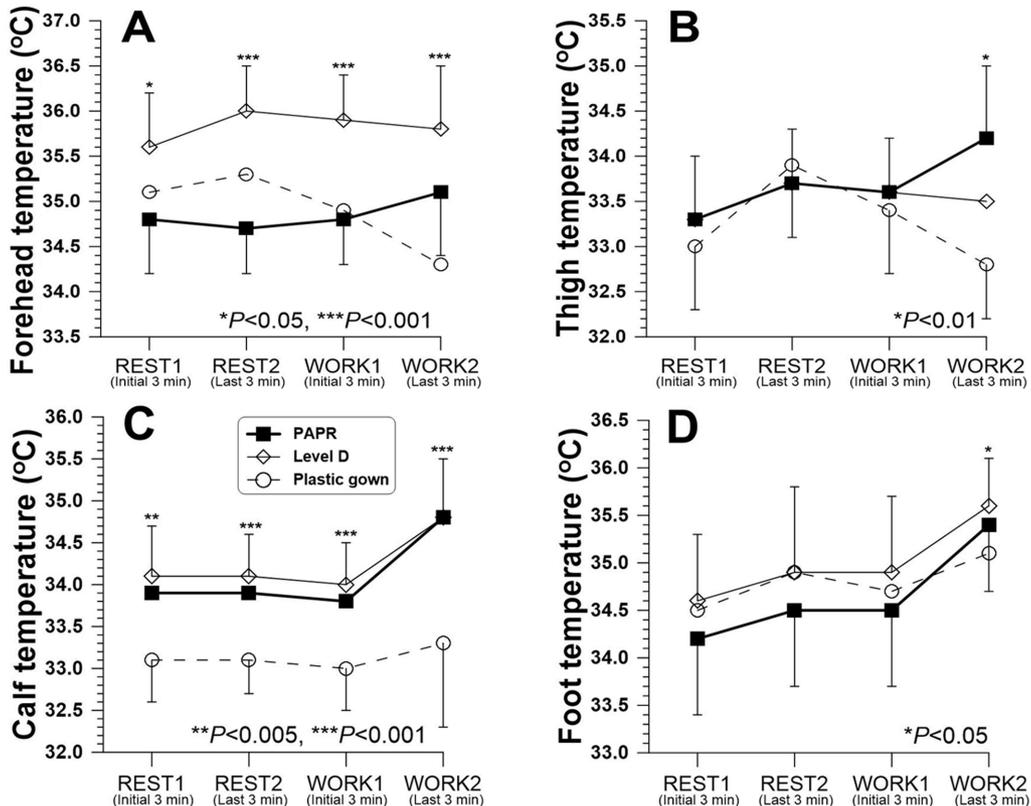


Fig. 3 Changes in body regional skin temperatures for the three experimental conditions.

35.6±0.3°C로 다른 두 조건에 비해 유의하게 높았고($P=0.008$, Fig. 3A), 종아리온은 비닐 가운 조건에서 33.1±0.5°C로 다른 두 조건에 비해 유의하게 낮았다($P=0.002$, Fig. 3C). 작업 종료 시점에서는 이마, 넓적다리, 종아리, 발등에서 세 보호복 조건 간 차이가 발견되었다. 이마온과 넓적다리온은 비닐 가운, Level D, PAPR 조건 각각 유의하게 차이를 보여, 이마온은 Level D 조건에서 가장 높았으며(Fig. 3A), 넓적다리온은 PAPR 조건에서 가장 높았다(Fig. 3B). 작업 종료 시점에서 Level D와 PAPR 조건에서 종아리온은 모두 각 34.8±0.7°C와 34.8±0.5°C로 비닐 가운 조건에 비해 평균 1.5°C 높았다($P<0.001$, Fig. 3C). 특히 이마온의 경우 작업 종료 시점에서 비닐 가운 조건에서는 1.1±0.3°C 감소, Level D 조건에서는 0.2±0.1°C 감소하였으나, PAPR 조건에서는 오히려 0.4±0.4°C 증가하였다($P<0.001$, Fig. 3A). 넓적다리를 작업 종료 시점에서 비교해 볼 때 비닐 가운 조건의 경우 휴식 시에 비해 1.2±0.9°C

감소, Level D 조건에서도 0.3±0.7°C 감소하였으나, PAPR 조건에서는 0.3±1.0°C 증가하였다($P=0.010$, Fig. 3B). 발등온은 세 보호복 조건의 모두 휴식 시에 비해 작업 종료 시점에서 상승한 값이 발견되었는데, 특히, PAPR 조건에서의 상승도가 1.0±0.7°C로 가장 높은 값을 보여 주었다($P=0.014$, Fig. 3D).

3.2. 의복내 온도 및 습도

가슴 부위 의복내 온도는 보호복을 착용하고 10분 휴식 시 비닐 가운 조건, Level D 조건, PAPR 조건 각각 통계적 유의 차 없이 32.8±0.5°C, 33.1±0.4°C, 33.3±1.2°C였다(Fig. 4A). 등 부위 의복내 온도는 세 보호복 조건 간 유의한 차이를 보여, 작업 시작 전 휴식하는 동안에도 비닐 가운 조건에 비해 Level D와 PAPR 조건에서 유의하게 높은 값이 관찰되었다(비닐 가운 32.8±0.5°C, Level D 34.0±0.4°C, PAPR 34.2±0.4°C;

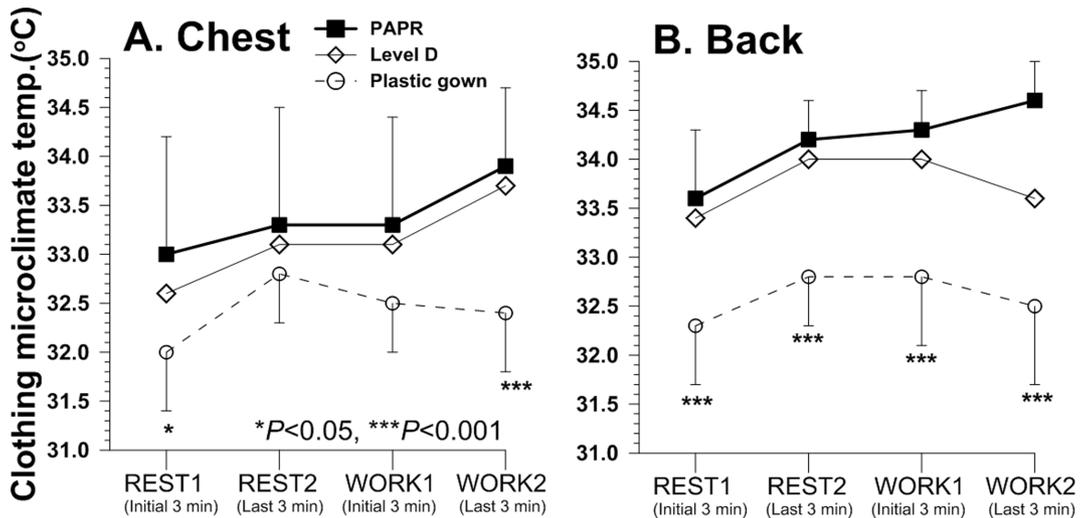


Fig. 4 Changes in clothing microclimate temperature on the chest and back for the three experimental conditions.

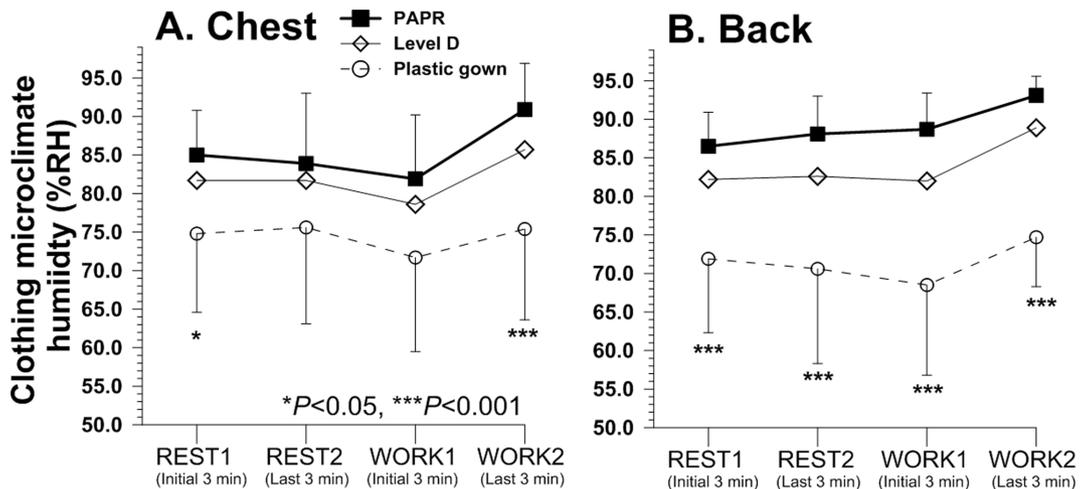


Fig. 5 Changes in clothing microclimate humidity on the chest and back for the three experimental conditions.

Fig. 4A, $P < 0.001$). 모의 작업을 종료한 시점에서의 가슴 부위 의복내 온도는 비닐 가운 조건에 비해 Level D와 PAPR 조건에서 유의하게 높은 값이 관찰되었으며($P = 0.001$), 등 부위 의복내 온도도 비닐 가운 조건에 비해 Level D와 PAPR 조건에서 유의하게 높은 값이 관찰되었다(비닐 가운 $32.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$, Level D $33.6 \pm 0.4^\circ\text{C}$, PAPR $34.6 \pm 0.4^\circ\text{C}$; Fig. 4B, $P < 0.001$).

가슴 부위 의복내 습도는 보호복을 착용하고 10분 휴식 시 비닐 가운 조건, Level D 조건, PAPR 조건 간 통계적 유의차 없이 각각 $76 \pm 13\%RH$, $82 \pm 10\%RH$, $84 \pm 9\%RH$ 였으나, 등 부위 의복내 습도는 세 보호복 조건 간 유의한 차이를 보여, 작업 시작 전 휴식하는 동안에도 비닐 가운 조건에 비해 Level D와 PAPR 조건에서 유의하게 높은 값이 관찰되었다(비닐 가운 $71 \pm 12\%RH$, Level D $83 \pm 12\%RH$, PAPR $88 \pm 5\%RH$; Fig. 5A, $P = 0.002$). 모의 작업을 종료한 시점에서의 가슴 부위 의복내 습도는 비닐 가운 조건에 비해 Level D와 PAPR 조건에서 유의하게 높은 값이 관찰되었으며($P = 0.006$), 등 부위 의복내 습도도 비닐 가운 조건에 비해 Level D와 PAPR 조건에서 유의하게 높은 값이 관찰되었다(비닐 가운 $75 \pm 6\%RH$, Level D $89 \pm 6\%RH$, PAPR $93 \pm 3\%RH$; Fig. 5B, $P < 0.001$).

3.3. 심박수 및 발한량

심박수는 세 보호복 조건 간 유의한 차이 없이, 휴식시 평균 $76 \sim 78$ bpm, 모의 작업 동작을 수행하는 동안은 평균 $90 \sim 91$ bpm이었다. 작업 중 최대심박수는 비닐 가운 조건에서 116 ± 9 bpm, Level D 조건에서 116 ± 6 bpm, PAPR 조건에서 115 ± 9 bpm으로 유사한 수준이 발견되었다. 총발한량의 경우, 비닐 가운 조건에서는 156 ± 41 g/trial, Level D 조건에서는 183 ± 48 g/trial, PAPR 조건에서는 207 ± 34 g/trial으로, 조건

간 유의차를 보여 비닐 가운 조건에 비해 PAPR 조건에서 유의하게 큰 값이 관찰되었다($P < 0.05$).

3.4. 작업완료 및 착탈의 시간

작업완료 시간은 비닐 가운 조건 23.9 ± 1.1 분, Level D 조건 24.8 ± 2.0 분, PAPR 조건 25.0 ± 1.5 분이었으나 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 착의 시간은 Level D 조건에서 5.5 ± 1.0 분이었으나, PAPR 조건에서는 6.2 ± 1.2 분으로 비닐 가운 조건에서 걸린 시간(3.1 ± 1.1 분)에 비해 유의하게 길었다($P < 0.001$). 작업을 모두 종료 한 후 탈의에 소요된 시간은 착의 시간의 약 50% 수준으로 짧았으며, 세 조건 간 차이도 유의하여 다른 두 조건에 비해 비닐 가운 조건에서 유의하게 짧았다($P = 0.005$)(비닐 가운 1.5 ± 0.5 분, Level D 2.8 ± 0.9 분, PAPR 3.2 ± 0.8 분).

3.5. 주관적 감각

한서감은 보호복 착용 시작 시점부터 유의한 차이를 보여, Level D 조건에서 유의하게 높은 점수(답다)가 발견되었으며($P = 0.013$), 비닐 가운 조건과 PAPR 조건에서의 한서감 점수는 동일했다(Table 2). 모의 작업을 완료한 직후 Level D 조건에서 가장 높은 한서감(평균 2.2점)이 얻어졌으나 세 보호복 조건 간 차이는 유의하지 않았다. 온열쾌적감의 경우 휴식 시와 모의 작업 완료 직후 모두 세 보호복 조건 간 차이는 유의하였는데, 휴식 시에는 Level D 조건에서 가장 불쾌하였고, 모의 작업 완료 직후에는 비닐 가운 조건에 비해 Level D와 PAPR 조건에서 더 불쾌하다는 응답이 얻어졌다(Table 2, $P < 0.05$). 세 조건 모두, 작업 시작 전 휴식 10분 착용 만으로도 온열 불쾌감 점수가 평균 약 1점 정도 상승하였다. 습윤감에서도 온열 쾌적감과 유사한 결과가 발견되었다(Table 2). 모의 작업 완

Table 2. Subjective perceptions at rest and at the end of tasks for the three experimental conditions

Subjective responses	Phase	Condition 1	Condition 2	Condition 3	P-value
		Named "Gown"	Named "Level D"	Named "PAPR"	
Thermal sensation : Score 0 (neutral), 1 (slightly warm), 2 (warm), 3 (hot)	Initial at rest (REST ₁)	0.1 (0.8)	1.6 (1.3)	0.1 (1.7)	0.013
	Last at rest (REST ₂)	0.7 (1.1)	1.8 (1.4)	0.5 (1.3)	0.005
	Last at work (WORK)	1.3 (1.3)	2.2 (1.8)	1.7 (1.6)	N.S.
	Difference between REST ₁ and WORK	1.3 (1.6)	0.6 (1.3)	1.3 (2.3)	N.S.
Thermal comfort : Score 1 (a little comfortable), 0 (neither), -1 (a little uncomfortable), -2 (uncomfortable)	Initial at rest (REST ₁)	0.3 (0.5)	-1.1 (0.9)	0.3 (1.1)	0.002
	Last at rest (REST ₂)	-0.3 (0.7)	-1.1 (0.8)	-0.2 (1.0)	0.001
	Last at work (WORK)	-0.8 (0.9)	-1.6 (1.2)	-1.6 (0.7)	0.031
	Difference between REST ₁ and WORK	-1.1 (1.2)	-0.6 (1.1)	-1.9 (0.9)	0.005
Humidity perception : Score 0 (neither), 1 (a little humid), 2 (humid), 3 (very humid)	Initial at rest (REST ₁)	0.5 (0.4)	1.3 (0.8)	0.4 (0.5)	0.003
	Last at rest (REST ₂)	0.9 (0.8)	1.6 (0.6)	0.7 (0.5)	0.002
	Last at work (WORK)	1.5 (0.8)	2.1 (0.8)	1.8 (0.9)	0.025
	Difference between REST ₁ and WORK	1.0 (0.6)	0.8 (0.6)	1.3 (0.8)	N.S.
Rate of perceived exertion (RPE) : Score 9 (very easy), 10 (easy), 12~13 (a little difficult)		10.7 (3.2)	11.8 (3.3)	11.6 (2.8)	N.S.

료 직후 인지적 힘들기(운동자각도)는 평균 11~12점 사이로 세 보호복 조건 간 유의한 차이는 발견되지 않았다(Table 2).

3.6. 보호복 아이템별 동작 시 불편사항

모든 조건에서 공통적으로 착용하는 스크럽복의 경우, 소재 신축성이 없어 입고 벗을 때, 몸을 굽히거나 팔을 뻗는 동작에서 불편하다는 의견이 가장 많았다. 특히 벗을 때 옷이 땀에 젖어 있어 더 불편했으며 하의보다 상의 탈의가 더 힘들다는 의견이 있었다. 피험자들은 스크럽복의 소재 신축성이 없어 제 사이즈보다 약간 작은 사이즈라는 느낌을 받았으며, 카트를 밀거나 의자에 앉아 타이핑을 할 때(상체를 앞으로 조금 숙이는 자세) 스크럽복 상의 뒷 부분이 등 피부 부위에 달라붙는 느낌을 받았다. 수액 가방을 거치대에 걸기 위해 두 팔을 위로 올리는 동작에서 스크럽복의 상의 소매 부분이 당겨져 불편했으며, 음압 캐리어를 침상에 올리고 내릴 때 스크럽복 바지 부분에 신축성이 없어 넓적다리의 힘을 효과적으로 사용하지 못했고, 캐리어를 바닥에 내려 놓을 때 스크럽복 바지의 엉덩이 부분과 무릎 부분에 충분한 여유가 없어 불편했다고 응답하였다. 특히 스크럽복의 넓적다리 부분이 땀에 의해 젖은 경우 캐리어를 올리는 과정 및 바닥에 놓인 양동이 두 개를 들어 올리는 동작에서 더 큰 불편함을 호소하였다.

일회용 비닐 수술 가운 조건에서, 비닐 가운 착용 시 앞과 뒤를 약간 흔들하였고 끈이 얇아 혼자 묶는데 다소 시간이 걸렸다. 카트를 밀 때 비닐 가운 때문에 보폭에 제한이 있었으며, 수액 가방을 걸기 위해 팔을 올린 자세에서 비닐 가운의 소매 부분이 수액 거치대에 걸리기도 하였다. CPR 시 무릎에 비닐 가운이 끼어 찢어질 위험이 있었으며, 허리를 굽힌 CPR 자세나 캐리어를 올리고 내리는 자세에서 비닐 가운의 허리 부분에 충분한 여유가 없어 불편함이 보고되었다. 특히, 음압 캐리어 이동 등 순간적인 힘을 발휘해야 하는 상황에서 옷 안이 갑자기 습해지고 땀이 차 비닐 가운 일부분이 피부에 달라 붙는다고 하였다. 몇몇 피험자의 경우 움직일 때 비닐 가운이 만들어 내는 바스락 소리가 신경 쓰인다고 응답하였다.

Level D 조건과 PAPR 조건에서 공통적으로 착용한 커버롤의 경우, 착탈 시 커버롤 앞의 지퍼를 올리고 내리기 어렵다는 불편과 함께, 지퍼가 너무 길게 있어 혼자 서서 입거나 벗는 게 다소 어렵다는 의견이 있었다. 수액 가방을 거치하거나 양동이를 높이 쌓아 올릴 때 커버롤의 등 부분이 당겨지는 느낌을 받았으며, 팔을 위로 올리거나 타이핑 작업 시 커버롤의 소매 부분이 종종 장갑에서 빠져나왔다(몇몇 피험자들은 커버롤의 소매 길이가 짧다고 느낌). 특히, 땀에 젖은 경우 팔을 위로 뻗는 동작을 더 불편하게 느꼈다. 음압 캐리어를 내리고 올리는 동작에서 커버롤의 무릎 부분 여유가 부족했으며 특히 무릎 부분에 땀이 차 있는 경우 더 불편했다. 커버롤에 붙은 후드의 경우 사이즈가 잘 맞지 않아 양동이를 위로 쌓을 때 후드가 당겨졌으며, 가끔 후드가 흘러내려 눈을 가리기도 하였고, 걸을 때 후드 턱 부분의 고무줄이 당겨져서 불편하였다. 또한, Level

D 조건과 PAPR 조건에서 공통적으로 착용한 슈 커버의 경우, 카트를 밀 때와 걸을 때 등 슈 커버가 발목 아래로 점점 흘러내리거나 발바닥에 밟혀 불편했으며 슈 커버 때문에 보폭을 넓게 하기 힘들다는 의견이 많았다. 심폐소생술을 위해 무릎을 꿇는 자세에서 슈 커버 때문에 다리를 고정하기 힘들었으며, 침대 이동 시 슈 커버가 침대 바퀴에 끼거나 바퀴 달린 의자에 앉는 경우에도 동일한 경우가 발생하였다. 슈 커버로 인해 침상 잠금 장치를 발로 조작하는 것이 어려웠으며, 의자에 앉거나 설 때 슈 커버가 의자에 걸리거나 발끼리 서로 밟히기도 하였다. 슬리퍼 위에 슈 커버를 신고 걷는 것에 대해 불편해했으며, 특히 땀이 나도 배출이 잘 안되어 발 부위에서 습하다고 응답하였다. 한편, 세 조건 중 Level D 조건에서만 착용한 페이스 쉴드의 경우, 내부에 찬 습기로 인해 거의 모든 동작에서 시야가 방해되었다. 페이스 쉴드 안에 착용한 개인 안경에도 습기가 찼으며, 마스크 안에도 습기가 많이 찼다. 수액 가방을 걸 때, PCR 면봉 검사 시, CPR 동작 시, 타이핑 작업, 양동이를 높이 쌓아 올리는 동작 등에서 페이스 쉴드로 인해 시야가 흐려져 작업이 방해되었다.

PAPR 조건에서 착용했던 PAPR의 경우, 전용 후드로 인해 고개를 위로 들기 불편했으며, 이마를 고정하는 후드 내 쿠션이 아래로 내려와 한쪽 눈이 살짝 눌리기도 하였고, 후드에 의해 시야가 좁아져 주변을 살피기 어려웠으며(예: 카트를 밀 때 충돌 위험 존재), 공기 순환기 작동 소음으로 인해 다른 사람과의 의사소통이 어려웠다는 의견들이 수집되었다. 특히, 수액 가방을 걸기 위해 팔을 위로 뻗을 때 PAPR 허리 벨트 부분과 후드에 연결된 호스 때문에 고개를 위로 함께 들기 힘들었으며, 고개를 숙이고자 할 때도 턱 부분이 걸려서 불편했고, CPR 동작을 하는 동안 허리를 구부리는 동작이 불편했다고 응답하였다. 타이핑을 치기 위해 의자에 앉는 것이 PAPR 허리 벨트 부분 때문에 불편했다는 응답도 얻어졌다.

4. 논 의

본 연구에서는 Lim et al.(2021)에서 제안된 감염병 대응 의료진용 모의 동작 프로토콜이 실제 개인보호복의 쾌적성이나 동작성, 불편사항 등을 판별하는데 타당한 평가도구인지 살펴 보았다. 개인보호구 착용 시 동작성 평가란 심리·생리학적인 측면에서 착용자의 쾌적성에 영향을 미칠 수 있는 생리 반응 및 이에 대한 주관적 반응 등을 특정 동작을 수행하는 동안 정량적·정성적으로 평가하는 것을 의미한다. 본 연구에서 서로 다른 보호 수준을 가지는 세 종류의 개인보호복에 본 모의 동작 프로토콜을 적용한 결과 착용자의 인체 생리 부담이나 주관적 반응에서 통계적으로 유의한 차이들이 도출되었을 뿐만 아니라, 모의 동작별, 보호복 아이템별 불편 사항들도 효과적으로 차별화되었다. 특히, PAPR 착용이 착용자의 동작성이나 쾌적성에 미치는 단점들 또한 모의 작업 프로토콜을 통해 명확하게 판별되었다. 즉, 국내 감염병 대응 의료진들이 주로 취하는 12

가지 동작(착탈의 포함)으로 구성된 본 모의 동작 프로토콜을 통해, 소재의 물리적 시험이나 완제품의 마네킹 시험법을 통해 얻을 수 없는 정량적·정성적 특성들이 도출되었으며, 구체적인 논의점은 아래와 같다.

첫째, 본 프로토콜 적용을 통해 PAPR 착용의 장단점이 명확히 도출되었다. 일회용 비닐 가운이나 Level D 수준의 커버를 착용한 조건에 비해 Level C 커버를 위에 PAPR을 착용한 조건에서, 모의 동작 수행 중 평균피부온도나 의복내 온습도가 더 높았고, 주관적으로도 더 덥고 더 불쾌하고 더 습하게 느꼈으며, PAPR로 인한 불편사항들도 각 모의 동작별로 다수 도출되었다. PAPR은 허리 벨트 쪽 카트리지에서 외부 공기를 빨아들여 정화한 뒤 카트리지에 수직으로 연결된 호스를 통해 정화된 공기를 후드 내부로 올려 보내는 구조로 되어 있다. 일반적인 상황에서 국내 의료진들은 N95 마스크를 착용하나, 인큐베이터 내 감염 환자 대응처럼 감염 위험이 매우 높은 공간에서는 PAPR 착용이 의무이다. 그 이유는 일반 반면형 일회용 마스크들은 얼굴에 완벽하게 밀착되지 않아 어느 정도 공기 중 병원체에 노출되나, PAPR은 착용 시 후드 내부로 정화된 공기가 지속 유입되면서 내부 양압 상태가 유지되어 외부 공기 유입이 거의 불가능하기 때문이다. 또한, 얼굴뿐만 아니라 머리 전체를 보호하기 때문에 반면형 마스크에 비해 더 높은 보호 수준이 제공된다. 실제 감염병 대응 의료진들을 대상으로 한 설문 조사에서도 인큐베이터 환자들을 케어하는 경우 N95 마스크 만을 착용하는 것보다 PAPR을 착용하는 것이 더 안전하게 느껴진다고 응답하였다(Lee et al., 2021).

2019년 이후 COVID-19에 대응해 온 전 세계 수많은 의료진들이 N95 마스크의 장시간 착용으로 인한 두통을 호소하였고, 이의 반사 효과로서 PAPR 착용이 더 권장되었다. Bharatendu et al.(2020)은 N95 마스크 착용이 뇌의 혈액 흐름을 방해하여 호기 가스의 이산화탄소를 증가시키고 두통을 유발시킬 수 있는 반면, PAPR 사용 시에는 이러한 부작용들이 완화되기 때문에 장시간 작업을 수행하는 경우 PAPR 사용을 권장하였다. 또한, PAPR 착용 시 후드 내 생성된 양압 공기 순환이 착용자의 얼굴 부위를 보다 쾌적하게 한다는 연구(Martyny et al., 2002)나 PAPR 착용 시 N95 마스크 착용에 비해 호흡이 보다 수월했다는 연구(Powell et al., 2017), 혹은 N95 마스크의 경우 착용자 전원이 불쾌감을 호소한 반면 PAPR 착용자들의 약 30%만이 불쾌감을 느꼈다는 연구(Chughtai et al., 2018) 등을 바탕으로, AGDHCD(2019)는 의료진들이 실내에서 한 시간 이상 있어야 하는 경우 착용자의 쾌적 유지와 가시성 확보를 위해 PAPR을 사용하라고 권장하였다. 이러한 장점들에도 불구하고 PAPR 착용 시 동작성(mobility) (Schumacher et al., 2009), 기민성(dexterity) (Schumacher et al., 2020), 청각성(audibility) (Schumacher et al., 2013), 의사소통(ease of communication) (Radonovich and Bender, 2010)의 측면에서 낮게 평가되었다.

그러나 이상에서 언급한 선행연구들 대부분 설문조사 및 인터뷰를 통해 얻어졌거나(Schumacher et al., 2020; Schumacher

et al., 2013; Schumacher et al., 2009), 트레드밀 위에서 걷는 동작 수행 시 얻어진 결과(Powell et al., 2017)로, 의료진용 모의 동작 프로토콜을 적용하여 평가한 연구는 없다. 본 연구 결과 다른 두 조건에 비해 PAPR 조건에서 측정된 피부온도가 가장 높았고, 주관적으로도 가장 덥고, 가장 불쾌하며, 가장 습하다는 응답이 얻어졌으나, 이를 Powell et al.(2017)의 연구 결과와 직접 비교할 수는 없다. Powell et al.(2017)는 의료진용 개인보호복이 아닌 일상복을 착용한 조건에서 호흡기 보호구만 다른 종류를 착용하게 한 후 그 반응을 비교했기 때문에 전체 개인보호복(상하의) 종류의 영향을 반영하지 않는다. 그러나 본 연구에서는 호흡기 보호구만이 아닌, 앙상블로서 KF94 마스크 조건(Level D 커버를 착용)과 PAPR 조건(Level C 커버를 착용)을 비교했기 때문에, KF94 마스크나 PAPR의 단일 영향이 아닌, 보호복 앙상블의 복합 효과로 간주해야 한다.

둘째, 모의 작업을 마친 직후 각 동작별 불편사항 인터뷰를 통해 개인보호복을 구성하는 아이템별 차이점이 정성적으로도 구체화되었다는 점이 본 모의 동작 프로토콜의 장점 중 하나라고 볼 수 있다. Lim et al.(2021)에서 의료진을 대상으로 한 인터뷰 결과와 본 인터뷰 결과 유사한 점들이 다수 발견되었으나, 본 연구에서는 당초 보호복의 사이즈에 맞춰 피험자들(상의 Size L)을 모집하였기 때문에 보호복 사이즈에 대한 불만사항은 거의 없었다. 스크립복 상하의가 비신축성 소재로 제작되어 관절을 굽히는 여러 동작 및 탈의 시 불편했으며, 특히 땀이 나는 경우 옷이 피부에 달라붙어 더 불편하다는 의견이나, 커버롤의 살 부분 여유분이 부족하여 음압캐리어 등을 침대에 올리거나 내리는 자세에서 불편하다는 의견, 커버롤 후드의 사이즈가 얼굴에 잘 안 맞는다는 의견, 페이스 쉴드 내 찬 습기로 인해 가시성이 현저히 떨어진다는 의견, 걸을 때 슈 커버가 벗겨지거나 끈이 밟혀 위험하다는 의견 등이 본 모의 작업 프로토콜 직후 기록되었다. 피험자들은 전반적으로 팔을 올리는 동작과 허리 및 무릎을 구부리는 동작에서 비신축성 소재 및 여유분의 부족으로 인해 불편함이 있다고 하였다. 이러한 결과를 바탕으로 보호복 디자이너 및 공급사들에게 디자인 개선의견을 제안할 수 있을 것이다(예: 스크립복 및 커버롤의 무릎이나 어깨, 살 부분에 아코디언 주름을 넣기. 슈 커버의 바닥 부분인 솔과 종아리 부분의 패딩을 분리하고 종아리 부위는 다양한 종아리 굽기에 맞출 수 있도록 스모크 밴딩 형태로 설계하기 등).

셋째, 본 연구에서 선정된 정량적 생리·심리 반응 측정 항목들은 주로 ISO 9886(2004)와 ISO 10551(2019)에서 제시한 인체 열 부담 평가 항목들을 기준으로, 일곱 부위 피부온, 두부위 의복내 온습도, 심박수, 총발한량, 한서감, 온열 쾌적감, 습윤감, 운동 자각도 등이었다. 온열 쾌적성을 평가할 수 있는 평균피부온은 PAPR 조건에서 휴식 시에는 Level D 조건과 유사하여 33.7°C였지만 모의 동작이 진행될수록 점점 증가하여 Level D 조건보다 PAPR 조건에서 가장 많이 상승하여 34.3°C에 달하였다. 부위별 피부온의 차이도 유의하여, 특히

Level D 조건과 PAPR 조건에서는 모의 동작 종료 시점에서 넓적다리는 각각 33.5°C 및 34.2°C였고, 종아리 부위는 두 조건 모두 34.8°C로 온도 증가가 매우 현저하였다. 따라서, 넓적다리와 종아리 부위의 불편감이 컸을 것이라고 해석할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 25°C의 환경에서 30분 운동 시 발한량을 고려하여 부위별 의복내 습도도 측정항목으로 추가하였으며, 의복내 습도에서도 3종 보호복의 차이가 발견되었다. 착용한 보호복으로 인하여 땀의 증발이 효과적으로 일어나지 않아 의복내 습도가 높았을 것이다. 심박수는 개인보호복 착용에 의한 심혈관계 부담을 평가하기 위한 지표로 활용될 수 있다. 세 조건 모두에서 심박수 평균 90~91 bpm으로 착용자가 감지하는 노동 강도는 평균적으로 '매우 가벼운' 정도였고, 수행 완료 시간 또한 평균 24~25분으로 착용한 개인보호복에 따라 유의한 차이가 없었다. 총발한량은 고온 환경에서 모의 동작 프로토콜을 수행하는 경우 중요한 평가지표가 될 수 있으나, 본 연구는 중성은 환경에서 단시간 가벼운 강도의 운동을 수행한 연구였기 때문에 총발한량에서 개인보호복 세 조건 간 유의한 차이는 발견되지 않았다. 후속 연구자들은 본 연구에서 측정된 생리심리 반응 평가지표들을 바탕으로 각 실험의 목적에 맞게 다양한 측정항목들을 평가지표로 구성 가능하다.

5. 결 론

본 연구에서는 우리나라 COVID-19 대응 의료진들이 수행하는 업무를 모사한 동작성 평가 프로토콜의 타당도를 평가하기 위해 의료진들이 대표적으로 착용하는 개인보호복 이상복 3종을 선택한 후, 각 보호복을 착용하고 동작 프로토콜을 수행하는 동안 착용자의 인체 생리 반응 및 주관감에서 보호복 종류에 따른 차이가 관찰되는지를 분석하였다. 본 동작 프로토콜을 통해 개인보호복 3종 간 유의한 차이가 피부온, 의복내 온습도, 발한량, 한서감, 온열 쾌적감, 습윤감 등에서 발견되었으며, 특정 동작 시 각 보호복 아이템별 불편 사항도 효과적으로 수집되었다. 특히, PAPR을 착용한 조건에서, 초기 휴식 시 내부 공기 순환으로 인해 얼굴 부위의 온도가 낮아졌고, 보호 수준이 한 단계 낮은 Level D 조건에 비해 덜 덥고 덜 불쾌하다는 의견을 얻었으나, 동작을 수행하면서 이러한 장점은 사라졌고, Level D 조건에서보다 높은 평균피부온과 의복내 온습도, Level D 조건과 유사한 주관감이 발견되어 얼굴 부위 공기 순환을 통한 인체 냉각 효과는 발견되지 않았다. 후드 안면창 김서림으로 인한 시야 방해나 소음으로 인한 의사소통 방해, 고개나 팔을 드는 작업에서의 동작 방해와 같은 불편사항들도 구체적으로 도출되었다. PAPR 뿐만 아니라 커버콜과 스크립복의 비신축성 소재 특성으로 인한 인체 부위별 불편함도 구체적으로 발견되었다. 따라서 본 모의 동작 프로토콜을 통해 다양한 종류의 감염병 대응 의료진용 보호복의 생리적 부담 뿐만 아니라 주관적인 불편사항들도 함께 도출될 수 있으며, 이러한 결과를 바탕으로 보호복의 디자인과 성능이 효과적으로 개선될

수 있다. 본 연구에서 사용된 생리적, 주관적 평가지표들 뿐만 아니라 추후 평가 목적에 맞는 새로운 지표들을 추가한다면, 새롭게 개발되는 의료진용 보호복들의 동작성을 정량적으로 평가하고 각 아이템별 디자인을 개선하는데 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2022년도 산업통상자원부 국가기술표준원 국가표준기술력향상사업 (#20017330)의 지원을 받아 수행되었습니다. 본 연구의 행정적 지원을 맡은 허윤정, 오지영과 영문 교정을 담당한 Andrew Gorski에게 감사를 표합니다.

References

- Alarfaj, M. A., Foula, M. S., Alshammary, S., Nwesar, F. A., Eldamati, A. M., Alomar, A., Abdulmomen, A. A., Alarfaj, L., Almulhim, A., Alarfaj, O., & Zakaria, H. M. (2021). Impact of wearing personal protective equipment on the performance and decision making of surgeons during the COVID-19 pandemic - An observational cross-sectional study. *Medicine*, 100(37), e27240. doi:10.1097/MD.00000000000027240
- Australian Government Department of Health. Coronavirus Disease [AGDHCD] 2019 (COVID-19) - CDNA national guidelines for public health units. Canberra: Australian Government Department of Health; 11 January 2021. [Retrieved January 18, 2021, from] [https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/7A8654A8CB144F5FCA2584F8001F91E2/\\$File/COVID-19-SoNG-v4.1.pdf](https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/7A8654A8CB144F5FCA2584F8001F91E2/$File/COVID-19-SoNG-v4.1.pdf)
- Bharatendu, C., Ong, J. J., Goh, Y., Tan, B. Y., Chan, A. C., Tang, J. Z., ... & Sharma, V. K.. (2020). Powered air purifying respirator (PAPR) restores the N95 face mask induced cerebral hemodynamic alterations among healthcare workers during COVID-19 outbreak. *Journal of the Neurological Sciences*, 417, 117078. doi:10.1016/j.jns.2020.117078
- BS EN 13274-1. (2001). Respiratory protective devices-Methods of test-Part 1: Determination of inward leakage and total inward leakage (BS EN 13274-1). London, UK: *BSI British Standards*. 2001
- Chughtai, A. A., Chen, X., & Macintyre, C. R. (2018). Risk of self-contamination during doffing of personal protective equipment. *American Journal of Infection Control*, 46(12), 1329-1334. doi:10.1016/j.ajic.2018.06.003
- Hardy, J. D. & DuBois, E. F. (1938). The technic of measuring radiation and convection. *Journal of Nutrition*, 15, 461-475. doi:10.1093/jn/15.5.461
- ISO 9886. (2004). Ergonomics-evaluation of thermal strain by physiological measurements. *International Standard Organization*.
- ISO 10551. (2019). Ergonomics of the physical environment - Subjective judgement scales for assessing physical environments. *International Standard Organization*.
- Korea Disease Control and Prevention Agency. (2022). COVID-19 prevention and management of infection in medical institutions.

- Korean Disease Control and Prevention Agency Retrieved July 21, 2022, from https://kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20507020000&bid=0019&act=view&list_no=718936
- 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. *The Korean Society of Living Environmental System*, 26(1), 9-24.
- Kim, D. M., Lee, I. S., & Lee, J. Y. (2016). Mobility evaluation of popular firefighting protective gloves in domestic and foreign countries-Don-doff test, dexterity test, and torque test. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 40(5), 921-935.
- Kim, S. Y., & Lee, J. Y. (2016). Development of firefighting performance test drills while wearing personal protective equipment. *Fire Science and Engineering*, 30(1), 138-148. doi:10.7731/KIFSE.2016.30.1.138
- Larsson, J., Olsson, M. C., Bremander, A., & Dencker, M. (2022). Physiological demands and characteristics of movement during simulated combat. *Military Medicine (in press)*. doi:10.1093/milmed/usac163
- Lee, E., Shabeeb, R. Q. A., Shatanofy, M. E., Mulcahy, C. F., Benjenk, I., Yamane, D., Sherman, M., & Heinz, E. (2021). A comparison study of powered air purifying respirator (PAPR) and N95 among healthcare providers during incubations on COVID-19 patients. The George Washington University.
- Lee, H. H., Shin, S. R., Kim, Y. B., Park, S. J., & Lee, J. Y. (2016). Evaluation of mobility and physiological performance while wearing the present Korean navy summer uniform and prototype. *Journal of Korean Society of Living and Environmental System*, 23, 853-867. doi: 10.21086/ksles.2016.12.23.6.853
- Lim, G. Y., Lee, H. R., Chun, Y. M., & Lee, J. Y. (2021). Personal protective equipment for healthcare workers during the COVID-19 pandemic: improvement of thermal comfort and development of a mobility test protocol. *The Journal of the Korean Society of Community Living Science*, 32(3), 363-379. doi.org/10.7856/kjcls.2021.32.3.363
- Luze, H., Nischwitz, S. P., Kotzbeck, P., Fink, J., Holzer, J. C., Popp, D., & Kamolz, L. P. (2021). Personal protective equipment in the COVID-19 pandemic and the use of cooling-wear as alleviator of thermal stress. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 133(7), 312-320. doi: 10.1007/s00508-020-01775-x
- Martyny, J., Glazer, C. S., & Newman, L. S. (2002). Respiratory protection. *New England Journal of Medicine*, 347(11), 824-830. doi:10.1056/NEJMra012670
- Ministry of Health and Welfare. (2020). COVID-19 infection prevention and management -Method of selecting and detaching protective equipment. Retrieved July 21, 2022 from http://ncov.mohw.go.kr/upload/ncov/file/202005/158872_9811310_20200506105011.pdf
- Ministry of Health and Welfare. (2022). Guidelines for operation of residential treatment centers for COVID-19 response. Retrieved July 21, 2022, from <http://ncov.mohw.go.kr/shBoardView.do?brdId=2&brdGubun=28&ncvContSeq=4627>
- Powell, J. B., Kim, J. H., & Roberge, R. J. (2017). Powered air-purifying respirator use in healthcare - Effects on thermal sensations and comfort. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 14(12), 947-954. doi:10.1080/15459624.2017.1358817
- Radonovich, L. J., & Bender, B. S. (2010). Surgical masks were noninferior to N95 respirators for preventing influenza in health care providers. *Annals of Internal Medicine*, 152(12), JC3-2. doi:10.7326/0003-4819-152-6-201003160-02002
- Schumacher, J., Arlidge, J., Dudley, D., Sicinski, M., & Ahmad, I. (2020). The impact of respiratory protective equipment on difficult airway management - A randomised, crossover, simulation study. *Anaesthesia*, 75(10), 1301-1306. doi:10.1111/anae.15102
- Schumacher, J., Gray, S. A., Michel, S., Alcock, R., & Brinker, A. (2013). Respiratory protection during simulated emergency pediatric life support - A randomized, controlled, crossover study. *Prehospital and Disaster Medicine*, 28(1), 33-38. doi:10.1017/S1049023X12001525
- Schumacher, J., Gray, S. A., Weidelt, L., Brinker, A., Prior, K., & Stratling, W. M. (2009). Comparison of powered and conventional air-purifying respirators during simulated resuscitation of casualties contaminated with hazardous substances. *Emergency Medicine Journal*, 26(7), 501-505. doi:10.1136/emj.2008.061531
- Schram, B., Hinton, B., Orr, R., Pope, R., & Norris, G. (2018). The perceived effects and comfort of various body armour systems on police officers while performing occupational tasks. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, 30(1), 110. doi:10.1186/s40557-018-0228-x
- 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_suppl), 47-49. doi:10.1177/0025817220935880

Received August 16, 2022; 1st Revised September 1, 2022;
2nd Revised September 20, 2022; 3rd Revised October 27, 2022;
Accepted October 31, 2022