



ISSN 1229-8565 (print) ISSN 2287-5190 (on-line)
한국지역사회생활과학회지 32(3): 363~379, 2021
Korean J Community Living Sci 32(3): 363~379, 2021
<http://doi.org/10.7856/kjcls.2021.32.3.363>

COVID-19 감염병 대응 의료진의 개인보호구 개선사항 분석 및 동작 프로토콜 개발 - 동작적합성과 쾌적성을 중심으로 -

임 가 영 · 이 혜 린 · 전 영 민¹⁾ · 이 주 영^{†2)}

서울대학교 의류학과 석사과정 · KOTITI 시험연구원 책임연구원¹⁾ ·
서울대학교 의류학과 부교수, 서울대학교 생활과학연구소 겸무연구원,
차세대융합기술연구원 그래핀융합기술연구센터 부센터장²⁾

Personal Protective Equipment for Healthcare Workers During the COVID-19 Pandemic: Improvement of Thermal Comfort and Development of a Mobility Test Protocol Ga-Young Lim · Hye-Lin Lee · Young-Min Chun¹⁾ · Joo-Young Lee^{†2)}

Master's Student, Dept. Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University, Seoul, Korea
Principal Researcher, KOTITI Testing & Research Institute, Gyeonggi-do, Korea¹⁾
Associate Professor, Dept. Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University, Seoul, Korea,
Adjunct researcher, Research Institute for Human Ecology, Seoul National University, Seoul, Korea,
Deputy Center Director, Graphene Research Center for Convergence Technology, Advanced Institute of
Convergence Technology Suwon, Korea²⁾

ABSTRACT

The purpose of the present study was to improve the comfort of COVID-19 encapsulated personal protective equipment (PPE) and develop a test protocol to evaluate the mobility characteristics and performance of the PPE. We interviewed 16 healthcare workers (2 males and 14 females; 30.6 ± 6.8 y in age) who had experience in COVID-19 screening and testing stations or patient facilities in hospitals (Seoul and Daegu). A 43-question questionnaire was used in all interviews. The interviews showed that healthcare workers were concerned about the following: the seams around the coverall crotch were easily torn; the hoods of the coveralls did not fit their heads; the sleeves were too long or

This study was supported by the Korean Agency for technology and Standards, Ministry of Trade, Industry and Energy (2021 Research Project on National Standards and Technology)

Received: 5 August, 2021 Revised: 13 August, 2021 Accepted: 27 August, 2021

[†]Corresponding Author: Joo-Young Lee 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.

short; the powered air-purifying respirator (PAPR) was heavy, bulky and noisy; the N95 masks induced face pressure and skin irritation; the goggles (or face shields) often fogged up; double or triple-layered rubber gloves caused tactile insensitivity; the strings of disposable shoe covers were too long. We examined their postures and tasks as well. Based on the interviews, we developed a new set of mobility and performance test protocols, which consisted of a postural test (18 postures), a simulated performance test (12 tasks), and visibility/language delivery/tactile sensitivity tests. The mobility test protocols can be included in the national guidelines to reduce motion discomfort and improve the performance of COVID-19 healthcare workers who have to wear encapsulated personal protective equipment.

Key words: COVID-19, healthcare workers, mobility, test protocol, Personal Protective Equipment (PPE)

I. 서론

COVID-19 감염병 대응을 위해 현장에 투입되는 의료진들은 전신을 덮는 개인보호구(Personal Protective Equipment, PPE)를 착용한 상태에서 검체 채취, 의료 폐기물 처리, 환자 이송, 중환자 간호 등 다양한 업무를 수행한다. 현재 우리나라 의료진들이 착용하는 개인보호구는 KF94 마스크와 미국 N95 마스크, 고글이나 페이스 실드, 헤어캡, 비닐 혹은 부직포로 제작된 수술가운(또는 앞치마), 부직포 커버 롤(Level D 또는 Level C), 2~3겹의 라텍스 장갑, 부직포 신발 커버, Powered Air Purifying Respirator(PAPR) 등으로 구성되는데, 더운 여름철 이러한 전신보호복의 착용은 인체에서 환경으로의 방열을 방해하여 서열 부담 증가의 가장 큰 원인이 된다. 또한 면 수술복(스크럽복) 위에 보호복과 여러 겹의 라텍스 장갑, 신발 커버 등을 겹쳐 착용하게 되므로 특정 자세나 미세한 동작들이 방해되고, 고글이나 페이스 실드의 안면창 김서림으로 시야가 방해되어, 의료진의 안전을 위협하는 2차 위험 상황들이 초래된다.

이와 같은 2차 위험 요인들이 산재해 있음에도 불구하고, 여름철 전신보호복을 착용해야만 하는 감염병 대응 의료진들의 불쾌감 감소와 동작성 향

상을 위한 정부 지침이나 국내외 표준 시험법은 거의 없다. 2020년 3월 WHO에서는 의료진들을 코로나 바이러스로부터 보호하기 위해 개인보호구 사용 가이드를 배포한 바 있으나 서열 부담 예방이나 겹쳐 입기 등으로 인한 동작성 저하에 대해서는 다루지 않았다(WHO 2020). 미국 CDC에서도 의료진들 스스로 적절한 보호복을 선택하여 착용할 수 있도록 지침을 제공하고 있으나, 보호복의 각 구성요소(아이템)들이 갖춰야 할 최소 보호 성능을 주로 언급하고 있으며, 이외 오염 방지를 위한 착탈의 방법, 착용 및 폐기 지침을 담고 있을 뿐 동작성 향상 등에 대한 내용은 다루고 있지 않다(CDC 2021). 한편, 개별 연구자들은 COVID-19 범유행 동안 개인보호구 착용에 의한 서열 부담 증가와 동작성 저하에 대한 의료인들의 의견을 수렴한 연구 결과들을 보고하고 있다. Davey et al. (2021)은 영국 감염병 대응 의료진 224명을 대상으로 실시한 설문조사를 통해 대부분의 의료진들이 보호복 착용으로 인해 열 스트레스, 탈수, 두통, 피로, 질식, 이산화탄소 증가, 목구멍 건조, 의사소통 방해, 김서림 등과 같은 부정적 증상을 경험하고 있다고 보고하였다. Lee et al.(2020)은 인도와 싱가포르 COVID-19 감염병 대응 의료진 총 165명을 대상으로 개인보호구가 상당한 열스트레스로 작용

하고 있음을 보고하였는데, 조사 당시 싱가포르의 습구 혹구 온도(WBGT)는 평균 22°C로 인도의 WBGT (평균 30°C)에 비해 8°C나 낮았음에도 불구하고 환경은 차이와 큰 상관없이 의료진 모두 열 스트레스에 대해 큰 부담을 느끼고 있었다는 점이 공통점으로 기록되었다(총응답자의 88%가 땀을 매우 많이 흘린다고 응답함).

국내에서는 COVID-19 범유행 기간 동안 개인 보호구 착용에 의한 부담이나 동작 적합성을 다룬 연구보다는 마스크 착용 시의 불편감이나 호흡 부담 연구들이 이루어져 왔다. Kwon et al.(2020)은 COVID-19 초기 유행 동안 성인과 고등학생의 마스크 착용 행동을 비교하면서 장시간 마스크 착용에 의해 두통이나 피부 질환이 발생함을 보고하였고, 또한 일반인(성인) 응답자의 약 55%가 보건용 마스크를 1회 착용 후 폐기하는 것이 아니라 2~3일 연속 착용 후 폐기한다고 응답하여 일회용 마스크임에도 재사용 비율이 매우 높다고 보고하였다. 이러한 설문 조사를 바탕으로 Jung and Lee(2021)는 마스크 재사용에 따른 마스크 성능 변화를 실험적으로 평가한 후 살균 및 가열의 재처리를 하더라도 3일 이상 연속 착용은 흡기저항을 높여 호흡을 방해할 수 있음을 보고하였다. 특별히, Jung et al.(2020)은 건강한 성인이 마스크를 착용하고 고강도의 운동을 수행하는 경우 마스크 착용에 의해 호흡 환기량이 증가될 수도 있음을 실험적으로 증명하였다.

이처럼 감염병 대응 의료진들이 착용하는 개인 보호구의 열 불편감이나 동작성 개선을 위한 국내 연구들은 아직 활발히 이루어지고 있지는 않으나, 유사한 목적의 연구들이 소방관이나 군인들을 대상으로 수행되어 왔다. 특히 Lee et al.(2016)는 대한민국 합상 내 해군들의 대표 동작들을 모사한 동작성 프로토콜을 개발한 후 신형과 구형 합상복

의 동작 적합성을 정량적으로 평가하였다. Kim and Lee(2016)는 여덟 개의 대표적인 소방 동작을 추출한 후 이 동작들을 연결하여 총 3회 반복하게 하는 동작성 프로토콜을 국내에서 최초 개발하였다. 본 프로토콜을 소방관들에게 적용한 결과 소방관들의 직장온이 약 30분 안에 평균 1.1°C 증가해 심부온 상승 프로토콜로도 사용될 수 있음을 확인하였다. 한편, 화재진압 시 연기로 인한 가시성 저하도 소방작업의 큰 문제로 지적되어 왔는데, 화재진압 작업 중 소방복의 가시성 향상을 위해 반사 테이프의 위치 조정과 같은 디자인 개선이 시도되어 왔다. 그러나 디자인이 개선되더라도 개선된 소방복의 가시성을 평가할 수 있는 시험법이 국내에는 아직 없었기 때문에, Kim et al.(2019)은 소방복에 부착된 반사 테이프의 반사 성능을 측정하는 과정에서, 특정 자세·동작 프로토콜(정지 자세 3종, 움직이는 동작 2종)을 시험적으로 적용한 바 있다.

해외에서는 에볼라 바이러스 감염병을 경험한 이후 감염병 대응 의료진용 개인보호구 관련 연구들이 활발하게 전개되어 왔다. 에볼라 바이러스병이 유행할 당시 보호복 탈의 과정에서 의료진이 감염된 사례가 다수 보고되었기에 대부분의 연구는 개인보호구의 보호 성능 및 오염물질 전파 과정을 추적하는 평가법 개발 위주로 수행되었다. Bell et al.(2015)은 형광물질을 이용하여 개인보호구 착탈의 과정에서 이루어지는 감염 가능성을 확인하는 평가법을 제안하였다. Casanova et al.(2016)은 구조화된 탈의 프로토콜을 활용하여 속장갑에 감지된 오염물질을 파악하고 탈의 과정에서 일어나는 자기 감염(self-contamination)을 평가하였으며, Garibaldi et al.(2019)은 쾌적성, 동작성, 안정성에 대한 인식의 측면에서 개인보호구를 평가하고 새로운 디자인의 개인보호구를 제

안 하였다. 그러나 동작 프로토콜 구성이 네 가지 동작(허리 구부리기, 팔을 들어 올리기, 앉았다 일어나기, 걷기)으로 한정되어 실제 업무 상황을 반영한 동작 평가법 개발의 필요성을 보여 주었다. 이처럼 대부분의 감염병 대응 개인보호구 연구는 보호 성능을 중심으로 이루어져, 현재 의료진들이 가장 어려움을 느끼고 있다고 답한 쾌적성과 동작성을 평가할 수 있는 방법은 미비하며 특히 세부적인 동작 프로토콜 개발에 관한 연구는 이루어진 바가 거의 없다고 할 수 있다.

소방복을 착용한 소방관의 전신 동작성이나 가시성 시험뿐만 아니라, 소방장갑의 기민성 시험법에 대한 일련의 평가들도 보고되었다. Kim et al. (2016)은 국내외 시판 중인 소방용 보호장갑 13종으로 착탈 시험(Don-doff test)을 시행하여 우수한 4종의 보호장갑을 선정하고, 기민성(ASM dexterity test, Minnesota dexterity test)과 수공구 시험(Bennett hand tool test), 회전력 시험(ASM torque test)을 통하여 장갑의 동작 편의성을 평가하였다. 이를 통하여 당시 소방산업기술원(KFI) 성능 기준을 보다 세분화하여 각 시험에 대해 세 단계의 등급으로 평가하고 장갑의 착용 성능을 종합적으로 평가할 수 있도록 제안하였다. 이 연구를 바탕으로, 장갑의 기민성을 종합적으로 평가할 수 있는 착용 시험장치도 제안되었다(Bae et al. 2017). Baek et al.(2019)의 설문조사에 따르면, 현직 소방관들은 소방용 개인보호구 중 가장 개선이 필요한 구성요소를 소방장갑이라 응답하였다(응답자의 32%). 이처럼 소방복이나 군복 착용 시 전신의 동작성이나 장갑의 기민성을 평가하기 위해 보고된 시험법 연구들을 바탕으로 감염병 대응 의료진들의 개인보호구 시험법이 개발될 수 있을 것이다.

장차 감염병 범유행 사태가 전 세계적으로 다시

발생할 수도 있다고 예상해 볼 때, 착용 시 쾌적이나 동작 적합성 시험법은 타당도 검증을 거쳐 국내 지침 혹은 국제 표준으로 발전시킬 필요가 있다. 그러나 ISO나 EN, ASTM 등 표준 기관의 지침들을 살펴보면 아직 감염병 대응 의료진들이 착용하는 개인보호구의 동작성 평가를 다루는 표준은 거의 없다. ISO 16603(2004), ISO 22609(2004), 또는 ISO 22612(2005)와 같은 표준들은 의료용 보호복 완제품이 아닌 보호복 소재의 침투 저항성 측정법을 다루고 있다. ISO/PAS 45005(2020)에서는 COVID-19 범유행 시 안전한 작업을 위한 일반적인 지침을 제공하나, 의료인의 열 쾌적이나 동작성 평가를 다루지는 않는다. 이에 본 연구는 고온 다습한 환경에서 감염병 대응 의료진이 착용하는 개인보호구의 불쾌감을 줄이기 위한 디자인 개선사항을 도출하고 동작성을 정량적으로 평가할 수 있는 프로토콜 개발을 목표로 하였다. 이를 위해 실제 COVID-19 대응 의료 현장 근무 경험이 있는 의료진들을 대상으로 심층 인터뷰를 실시하였다. 본 연구 결과는 의료진들의 동작성과 쾌적성 개선을 위한 정부 지침 제정에 활용될 수 있으며, 궁극적으로 개인보호구를 착용하고 다양한 동작을 수행하면서 발생할 수 있는 2차 위험 요인들을 줄이는데 기여할 수 있을 것이다.

II. 연구방법

1. 심층 면담 및 응답자 특성

본 연구에서는 현재 COVID-19 대응 업무를 하고 있는 의료진과 심층 면담을 실시하여 의료진용 개인보호구의 착용 실태와 개선 사항을 조사했다. 이를 바탕으로 호흡기 감염병 대응 개인보호구에 적용할 수 있는 동작성 평가 프로토콜을 제안하였다. 심층 면담은 실제 현장에서 전신 개인보호구를 착용하고 COVID-19 업무를 수행한 경험이

있는 의료진 16인을 대상으로 실시되었다. 2021년 1월 29일에 진행된 1인의 면담을 제외하고 15인의 면담은 2021년 7월 23일 ~ 8월 11일에 실시되었다. 면담 방식은 1:1 심층 면담(In Depth Interview; IDI), 두 명의 연구대상자가 동시에 면담을 진행하는 1:2 심층 면담(Paired Depth Interview; PDI), 온라인 면담 등을 다양하게 활용하여 각 면담마다 1시간 30분 ~ 2시간이 소요되었다. 연구대상자가 압박을 느끼지 않고 가장 편안한 상태로 면담에 참여할 수 있도록 면담 방식을 직접 선택할 수 있도록 하였다. 총 16인의 연구대상자 중 7인은 대면 면담을 실시했으며, 이외 9인은 COVID-19 상황과 근무 시간으로 인해 온라인 면담에 참여하였다. 면담에 참여한 의료진의 성별은 여성 14인과 남성 2인이었으며 연령은 만 30.6 ± 6.8세였다. 기본적으로는 눈덩이 표집법(Snowball Sampling)으로 연구대상자를 선정했으나, 감염병

대응 업무를 하는 의료진은 업무 유형과 근무지역 등 근무환경에 따라 개인보호구 착용 실태가 다를 수 있기 때문에 연구대상자를 선정하는 과정에서 이러한 요인들을 고려하여 다양하게 구성하였다. 업무유형별로는 COVID-19 중증환자를 응대하는 중환자실 근무자, 수술실 근무자, 야외 검사소 근무자와 응급환자 치료를 병행하는 응급의료센터 근무자, COVID-19 경증환자를 응대하는 일반병동 및 생활치료센터 근무자, 보건소의 야외 선별 진료소 근무자가 연구대상에 포함되었다. 업무 특성상 개인보호구를 장시간 착용하고 환자와 밀접하게 접촉하는 간호사들이 연구대상의 대부분을 차지하였다. 근무지역별로 구분하면, 2021년 7월 발생 확진자 수가 가장 많은 서울과 비수도권 지역 중 7월 확진자 수가 가장 많았던 부산 지역, 그리고 비수도권 지역 중 누적확진자 수가 가장 많은 대구 지역 근무자를 선정했다. 이외 전국에서 상대적

Table 1. Demographic characteristics of healthcare workers in the t study

ID	Occupation	Age	Region	Place of work	Months of COVID-19 experience
A	Nurse	25	Seoul	Operating Room	17 months
B	Nurse	29	Seoul, Daegu	DICU	12 months (2 weeks of dispatch in Daegu)
C	Nurse	24	Seoul	DICU	10 months
D	Nurse	24	Seoul	DICU	10 months
E	Nurse	31	Seoul	DICU	12 months
F	Nurse	26	Seoul	DICU	10 months
G	Nurse	25	Seoul	DICU	10 months
H	Nurse	26	Seoul	DICU	10 months
I	Nurse	30	Seoul	DICU	7 months
J	Nurse	36	Seoul	Emergency Room	17 months
K	Nurse	42	Seoul	Emergency Room	17 months
L	Nurse	30	Gwangyang	Public Health Center	14 months
M	Nurse	33	Gwangyang	Public Health Center	14 months
N	Nurse	31	Busan	DICU	17 months
O	Nurse	29	Gwangju, Daegu	DICU, General Ward, Residential Treatment Center	12 months (2 weeks of dispatch in Daegu)
P	Doctor	49	Daegu	Division of Pulmonology	17 months

Abbreviation: DICU = Disaster Intensive Care Unit for COVID-19 patients

으로 적은 확진자 수를 보유한 광주 및 전남 지역
근무자도 연구대상자에 포함하였다(Table 1).

2. 심층 면담 질문지 구성

질문지는 크게 다음 여섯 가지 영역, 총 43 문

Table 2. Contents of the questionnaire used in the study

Section	No.	Question
Demographic information	1	Age
	2	Sex
Work experience	3	Years of healthcare experience
	4	Years of COVID-19 experience
Wearing behavior (General)	5	What items of PPE do you wear and what level of protection do each of these items have? Explain PPE ensembles you wear.
	6	How many hours do you wear PPE per shift?
	7	Do you wear different PPE depending on exposure risk level? If you do, explain what you wear at each exposure risk level.
	8	Is there any guidance provided by government/hospital?
	9	If there is guidance, do you follow them strictly or is there some variation?
	10	Do doctors and nurses wear different PPE?
	11	Do you wear different types and items of PPE depending on weather or season?
	12	What type of masks do you wear?
Wearing behavior (Mask & PAPR)	13	What do you think about the impact of wearing [the name of each mask] on your comfort, breathing and fatigue?
	14	In what situations do you wear PAPR? How many hours do you wear it?
Donning & doffing	15	How many times do you don and doff PPE per shift?
	16	Under what circumstances do you use new PPE? Is there any guidance for this?
	17	If your PPE gets damaged while working, how do you respond?
	18	How long does it take to don and doff all your PPE?
	19	Do you don and doff PPE by yourself or with the help of someone else?
Work practice	20	Have you received sufficient education concerning donning and doffing PPE?
	21	Explain your work practice in detail.
Size & supply	22	What kinds of postures or motions do you make during your shift?
	23	How satisfied are you with the size and fit of your PPE? If you are not satisfied, explain why in detail.
	24	Have you adjusted or modified the size/ design of your PPE?
PPE for respiratory infections	25	Are you provided with PPE of the proper size?
	26	Have you experienced any shortage of PPE at your hospital?
	27	Are there any special characteristics or precautions for PPE used to protect against respiratory tract infections?
	28	Do you think PPE causes discomfort or disturbs your work practice?
	29	If you do, explain how each item of PPE affects your work practice in detail.
	30	Have you experienced any physical side effects of using PPE? If you have, explain the side effects in detail.
	31	If you have experienced skin irritation from using PPE such as masks, goggles or face shields, explain how you respond.
Discomfort & side effect	32	What do you think about the difficulty of going to restroom while wearing PPE?
	33	Have you experienced any physical or psychological impact from this?
	34	What do you think about heat strain from wearing PPE?
	35	How do you respond to the heat strain caused by PPE?
	36	What do you think about physical exhaustion from wearing PPE?
	37	How do you respond to the physical exhaustion caused by PPE?
	38	Do you experience any emotional impact from wearing PPE?
	39	How satisfied are you with the material of PPE? If you are not satisfied, explain why in detail.
Preference & suggestion	40	Do you have any particular preferences concerning your PPE?
	41	Can you offer any feedback for improvement of the material/design/comfort/safety of PPE?
	42	Is there any PPE you would like to be developed in the future?
	43	Can you offer any feedback concerning PPE test methods?

향으로 구성되었다: 인구통계학적 특성 및 경력(4 문항), 개인보호구 착용 실태(16문항), 개인보호구 착용 시 수행하는 동작 및 업무(2문항), 사이즈/공급/특성(5문항), 개인보호구 착용에 따른 불편함 및 부작용(12문항), 개인보호구 선호 및 개선사항(4문항)(Table 2). 모든 면담에서 미리 제작된 질문지로 구조화된 면담을 진행했다.

3. 동작 평가법 개발

서론에 전술한 바와 같이 감염병 대응 의료진들이 착용하는 개인보호구의 동작 적합성 평가법이 국내에서는 연구된 적이 거의 없기 때문에, 본 연구에서는 소방복과 해군 함상복의 동작 적합성 프로토콜 개발 연구(Kim & Lee 2016; Lee et al. 2016)에서 사용한 단계별 개발 과정을 참고했다. 즉, 의료진들을 대상으로 주로 취하는 자세와 동작에 대한 심층면담을 수행한 후(1단계), 의료진들의 업무를 대표하는 자세와 동작은 본 연구에서 실시한 심층 면담 결과를 바탕으로 설계하여 현장 의료진들이 공통적으로 취하는 자세와 동작을 추출하였다. 3인의 심층면담 뒤에 동작 프로토콜을 일차적으로 완성하였고, 이후 진행된 심층 면담 대상자 전원에게 1차 완성된 프로토콜을 보여 주고 방법과 내용에 대한 의견을 받았다. 매 면담이 끝날 때마다 의견을 반영하여 동작 평가법을 수정하고 정교화하는 과정을 가졌다. 최종 수정한 동작 평가법 프로토콜은 종합병원과 보건소 근무 경험이 모두 있는, A시 보건소 보건행정과 감염병 대응팀 총괄 책임자가 검토하였다.

III. 결과 및 논의

1. 개인보호구 구성요소별 불만 및 개선사항

본 절에서는 연구대상자들이 업무 시 개인보호구 착용으로 인해 느끼는 불편함과 개선을 희망한

점을 정리하고 이를 바탕으로 디자인 개선사항을 제시하였다. 본문에 인용된 사례들은 심층 면담에서 80% 이상의 응답자들(15인 중 12명 이상)이 공통적으로 응답한 의견으로 이중 대표적인 문장들을 정리하여 제시하였다.

1) 커버 롤

대부분의 응답자들이 커버 롤의 바짓가랑이 부분 봉제선이 찢어지기 쉽고 이로 인해 동작성이 저해된다고 지적하였다(사례 1). 이를 해결하기 위해 가랑이 부분의 솔기를 좀 더 강화할 필요가 있다. 일반적으로 일회용 보호복의 솔기는 보호 등급에 따라 serged(or stitched), bound, stitched & taped, double stitched and taped로 나누어진다. 레벨 D 수준의 커버 롤은 솔기 전체에 serged (or stitched) 솔기가 적용되지만 잘 찢어지는 가랑이 부분의 솔기에 좀 더 강력한 bound나 stitched & taped 타입의 솔기를 적용해 볼 수 있다. 두 번째 문제점은 부직포 커버 롤의 후드가 너무 크거나 고무줄이 맞지 않는다는 점으로, 의료진들은 이를 해결하기 위해 고무줄 부분을 일정 간격으로 잘라 탄성을 없애거나 아예 후드를 쓰지 않고 헤어캡을 쓴다고 말하였다(사례 2). 이러한 불편 사항을 해결하기 위해 커버 롤의 후드 부분 고무줄에 스톱퍼를 추가할 수 있다. 세 번째, 여성 의료진의 경우 공급받은 커버 롤이 몸에 크다는 의견이 많았다. 이는 남녀 구분없이 L, XL, 2XL 사이즈의 커버 롤을 공급받기 때문인 것으로 사료된다(사례 3). 커버 롤 제조사 중 DUPONT의 사용설명서에 따르면, 신장 162-170 cm, 가슴너비 84- 92 cm의 착용자들은 사이즈 S를 권고하고 있으며, 신장 168-176 cm, 가슴너비 92-100 cm의 착용자들은 사이즈 M을 권고하고 있다. 그러나 본 인터뷰에 참여한 의료진들에 따르면, 신장

162- 170 cm의 여성들도 사이즈 L을 공급받아 착용하였다. 올바른 사이즈 선정을 통한 적절한 보호 수준을 보장받기 위해서는 L 이하의 사이즈 공급도 충분하게 이루어져야 할 것이다. 네 번째, 모든 응답자는 커버 롤의 소매가 손목 아래까지 내려와 업무가 방해되기 때문에 이를 방지하기 위해 손목 부분에 가위로 구멍을 내어 엄지 손가락을 구멍 사이로 넣고 고정시키는 경우가 많다고 하였다(사례 4). 그러나 위 응답처럼 보호복에 가위로 구멍을 내는 것은 작업 중 구멍의 사이즈가 커지거나 보호복이 찢어질 우려가 있어 안전성의 문제를 유발할 수 있다. 이를 해결하기 위해 커버 롤의 손목 부분에 개인마다의 팔 길이를 고려해 최소한의 구멍을 낼 수 있도록 고안하거나, 손가락 걸이 고리의 사이즈를 조절할 수 있도록 개선된다면 많은 응답자들이 불편을 호소하였던 점에 대한 해결책이 될 수 있을 것이다.

“업무를 하다 보면 의료기기를 설치하거나 환자를 간호할 때 쪼그려 앉을 일이 많아요. 그때마다 바짓가랑이 부분이 당겨서 찢어진 적도 있고 찢어질까 봐 불안해요.” (사례 1)

“전신보호복의 후드는 너무 커서 얼굴을 덮거나 고정이 잘 안 돼요. 고무줄이 있지만 오히려 방해가 되어서 후드를 잘라버리고 헤어캡을 대신 쓸 때도 있어요.” (사례 2)

“보호복 사이즈는 다 커요. 팔, 다리가 너무 길기도 하고 무엇보다 폭이 지나치게 커서 움직임이 확실히 둔해져요. 몸에 잘 맞는 보호복이 있으면 동작성이 개선될 수 있을 것 같아요.” (사례 3)

“손목 부분에 가위로 구멍 내는 건 착의할 때 항상 하는 작업이에요. 엄지손가락을 고정해서 손의 움직임을 편하게 하기 위해서 반드시 필요한

부분이지만, 임의로 자르는 것이다 보니 업무 중에 구멍이 찢어질까 봐 무섭기도 해요.” (사례 4)

2) 부직포 가운

면담 참여자 중 COVID-19 중증환자 치료 병실에서 근무하는 의료진들은 레벨 D 커버 롤 대신 부직포 가운 두 개를 입는 경우도 많다고 응답하였다. 부직포 가운의 큰 문제점은 매듭 혹은 벨크로로 뒤를 고정하기 때문에 착용 후 움직이는 과정에서 가운이 벌어질 수 있다는 점이었다(사례 5). 응답자들은 지퍼 형태의 부직포 가운을 제작하면 해당 문제점을 해결할 수 있을 것이라 응답하였다. 이는 비단 부직포 가운에만 국한된 것이 아니라 비닐 가운에도 적용될 수 있으며, 이를 통해 활동 시 발생할 수 있는 등 부분 노출을 막아 보호 성능 향상에 기여할 수 있을 뿐만 아니라 의료진들의 불안감도 감소시킬 수 있을 것이다.

“가운 형태가 커버 롤보다 편하긴 하지만, 등 부분이 풀릴까 봐 불안해요. 실제로 작업 중에 동작을 크게 하면 뒤가 벌어져서 등이 노출되기도 해요. 매듭이 아닌 지퍼로 뒤를 잠그면 안심될 것 같아요.” (사례 5)

3) 전동식 호흡보호구(PAPR)

전동식 호흡보호구(PAPR) 착용 시 불편사항과 이의 개선사항들은 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 첫째, PAPR 착용자들이 공통적으로 호소하는 어려움은 PAPR 무게로 인한 목 및 허리 부위 부담과 통증이었다(사례 6과 7). 장시간 허리에 착용된 약 2 kg 내외의 기기는 허리에 부담을 줌과 동시에 후드가 호스로 허리 부위 기기와 연결되어 목에도 부담이 가해진다. 또한 PAPR은 후드, 호스, 허리 부착 기기로 구성되어 착의가 힘들 뿐만

아니라 업무 중 주변 기기나 사람들과 부딪히는 경우가 발생하기 때문에(사례 8) 이러한 점을 고려하여 디자인이 개선될 필요가 있다. 둘째, 보편적인 형태의 PAPR은 벨트를 이용해 허리에 착용하는 형태인데, 고정이 잘 되지 않아 몸을 움직일 때마다 위아래로 기기가 흔들리는 문제가 발생한다(사례 9와 10). 상대적으로 체구가 작은 한국인의 사이즈에 맞지 않는 문제도 있다. 고정용 벨트의 디자인과 소재를 개선할 필요가 있다. 셋째, PAPR 착용 시 내부 공기 순환 시 발생하는 소음으로 인해 정신적인 스트레스, 말하기와 듣기가 원활하게 이루어지지 않아 생기는 불편함과 업무 효율 저하 등이 언급되었다(사례 11). 즉, PAPR 작동 시 발생하는 내부 소음을 감소시키는 기술 적용이 필요하며, 외부와의 의사소통을 원활하게 이루어질 수 있는 방안이 필요하다.

“PAPR을 착용하면 N95 마스크보다 호흡에는 덜 부담이 되지만, 목과 허리가 많이 아파요. 이것 때문에 병원을 다니는 동료들도 많고 디스크로 입원한 동료도 있어요.” (사례 6)

“오래 착용하다 보니 이제는 허리에 무리가 심하게 가서 가슴에 착용하는 동료도 있어요.” (사례 7)

“후드와 호스, 기기가 다 크다 보니 일하다가 동료와 종종 부딪혀요. 허리 기기를 잘못 건드린 적도 있어요. 그래서 PAPR을 착용할 때는 몸의 가동 범위에 신경 쓰면서 조심히 움직여야 해요.” (사례 8)

“벨트를 끝까지 조여도 여전히 커서 기기가 계속 흘러내려요.” (사례 9)

“벨트의 소재 때문에 커버 롤 위에서 미끄러져요. 고정이 잘 안되다 보니 걸을 때마다 기기가 위아래로 흔들려서 불편해요. 벨트를 끝까지

조여도 여전히 커서 기기가 계속 흘러내리는 동료들도 많아요.” (사례 10)

“PAPR을 착용하면 상대방 목소리가 정말 안 들려요. 특히 업무 중에는 병동에서 전화로 소통할 때가 많아요. 그때 PAPR 후드를 쓴 상태로 전화기를 사용해야 하니까 제 말도 상대방한테 안 들리고 상대방 말도 안 들려요. 환자와 소통하는 것도 더 어려워지죠.” (사례 11)

4) 보건용 마스크

의료진들은 노출 상황에 맞게 KF94 혹은 N95 마스크를 착용하나, 특히 N95 마스크에 대한 불만 사항이 두드러졌었다. 심층 면담에서 모든 응답자들이 마스크 종류에 따른 호흡 부담이 다르게 느껴진다고 하였고 N95 컵형 마스크를 착용하고 업무를 할 때 가장 숨을 쉬기 힘들어 쾌적성이 떨어진다고 하였다. N95 마스크 중 컵형 디자인 마스크는 피부와 맞닿는 부분이 당기게 되어 압력이 느껴지고, 장시간 착용 시 피부 트러블이 나타나며 완벽하게 밀착되지 않는 경우도 있다고 하였다. 이는 마스크의 성능보다는 디자인에 따른 문제이기 때문인데, Korean Nurses Association [KNA] (2020)는 여러 가지 디자인 모양의 N95 마스크 등 밀착도 시험(Fit check)을 통해 자신의 얼굴형에 잘 맞는 디자인의 마스크를 착용하도록 권고하고 있다. 또한, Jung et al.(2020)의 연구에서 언급된 컵형 KF99의 마스크의 경우, 얼굴 피부가 닿는 부위에 seal이 있어 호흡이 새지 않으면서 마스크와 피부 간 압력을 분산시켜 주는 효과를 나타냈다고 하므로 seal이 추가된 마스크를 착용하면 앞서 언급된 문제점들을 개선할 수 있을 것이다.

5) 고글 및 페이스 실드

고글 혹은 페이스 실드에 대한 불편사항은 안면

창에 생기는 김 서림이었다(사례 12). 인터뷰 응답자들은 고글이나 페이스 실드를 착용한 채로 업무를 하다 보면 김 서림이 나타나 업무에 지장을 준다고 말하였다(사례 12). 이에 고글과 페이스 실드는 제작 시 김 서림을 완화할 수 있는 소재를 적용하여 가시성 저하 문제를 개선해야 할 것이다.

“보호구를 착용할 때 김 서림 방지제를 뿌려 주는데도 김 서림 문제는 해결되지 않더군요. 저는 안경을 끼는데, 안경 안에도 김이 서려서 앞이 정말 안 보여요. 그렇다고 업무 중에 보호구를 벗고 내부를 닦을 수도 없으니까 앞이 안 보이는 채로 업무를 해야 하니 방해가 되죠.” (사례 12)

6) 부직포 슈 커버

슈커버는 발 사이즈에 따라서 보행 시 슈 커버가 매우 잘 돌아가기도 하고, 다리에서 점점 내려오는 문제점이 있었다. 이는 시판 슈 커버의 사이즈가 하나로 통일되어 있기 때문으로, 슈 커버 제작 시 커버롤과 같이 사이즈 별로 제작될 필요가 있다. 또한, 슈 커버를 고정시키기 위한 끈이 과도하게 길어 끈이 밟히거나, 바퀴 달린 물체를 옮기는 과정에서 끈이 말려 들어가는 현상이 발생하는 문제점도 있었다(사례 13과 14). 끈을 여러 번 감아서 풀리지 않도록 할 수도 있으나, 슈 커버가 흘러내리는 점을 생각했을 때, 다리를 감싸는 부분의 위, 아래 두 군데에 적당한 길이의 끈을 달게 된다면 현재의 불편함으로 인해 슈 커버를 신지 않는 상황을 개선할 수 있을 것이다.

“슈 커버를 고정시키기 위해 묶는 끈이 너무 길어서 불편하고 잘 풀려요. 걷다가 다른 발로 끈을 밟아서 넘어질 뻔한 적도 있어요.” (사례 13)
“기기의 바퀴에 슈 커버 끈이 걸려서 다칠 뻔했

던 일이 있어요.” (사례 14)

7) 장갑

응답자들은 라텍스 혹은 니트릴 고무 소재의 위생 장갑을 2-3겹 겹쳐 착용한다고 응답하였다. 이로 인해 촉감이 둔해지고, 장갑 표면의 미끄러움으로 주사(injection) 활동, 드레싱, 타이핑 작업 등 섬세함을 요구하는 작업의 능률과 속도가 떨어지게 된다(사례 15와 16). 장갑의 말단 부위에 지문과 같은 패턴이 존재한다면, 미끄러움을 해소하고 작업 효율을 높여 원활한 의료업무를 진행할 수 있을 것이다.

“속 장갑과 겉 장갑, 멸균 장갑까지 세 겹을 꺼야할 때도 있는데 그때는 손가락 관절도 아프고 손이 하는 역할을 잘 못해요. 드레싱을 뜯는 다거나 혈관을 찾아 주사를 놓는 작업이 가장 힘들어요. 기기들을 비닐에서 뜯는 것도 장갑이 미끄러워서 어려움이 많아요.” (사례 15)
“응급환자가 발생해서 빠르게 처치를 해야 하는데 장갑 때문에 손동작이 느리고 둔해질 수밖에 없어요.” (사례 16)

8) 기타

이상, 1)에서 7)항에서는 개인보호복의 각 구성요소별 불만 및 개선방안을 실제 해당 보호복을 착용하는 의료진의 입장에서 정리하였다. 추후, 의복 패턴이나 디자인 분야에 종사하는 현업 전문가들의 의견을 수렴한다면 보다 현실적인 개선방안 도출이 가능할 것이다. 또한 사이즈와 관련된 문제들 중 몇몇 문제는 디자인 개선보다 보호복 지원 부서의 보급 방식과 관련되므로, 지원 부서 예산 및 공급 체계 계획 시 이상과 같은 문제점들을 미리 고려할 필요가 있다.

2. 감염병 대응 의료진의 개인보호구 동작 평가법 개발

이상 서술한 불편사항들 뿐만 아니라 현장 의료진과의 심층 면담을 통해 작업 시 주로 취하는 자세와 동작들을 선정했으며, 이를 바탕으로 감염병 대응 의료진이 착용하는 개인보호구의 동작 적합성 평가법을 다음 세 가지로 구성하였다. 첫 번째는 자세 평가로 사지 부위 관절 움직임을 고려한 기본 자세를 취했을 때 불편한 부위를 평가하는 것이다. 두 번째는 감염병 대응 의료진들이 빈번히 취하는 작업에서 대표적인 동작들을 반영한 모의 작업 평가이다. 세 번째는 소리의 전달력, 안면창의 가시성과 장갑의 민감도 평가이다. 이상 세 가지 평가법은 국내 COVID-19 감염병 대응 의료진들이 착용하고 있는 개인보호구를 대상으로 한다. 개인보호구의 종류는 다음과 같다: 레벨 C 혹은 D에 해당하는 커버롤, 혹은 가운, 헤어캡, 페이스실드 혹은 고글, 슈 커버, N95/KF94/덴탈 마스크 혹은 전동식 호흡보호구(PAPR), 라텍스 속 장갑과 니트릴 겉 장갑. 보호복 조합은 업무에 따라, 혹은 기관에 따라 상이하나 대체로 Fig. 1에 예시한 6종의 조합 중 하나의 조합을 선택하여 시험을

실시한다. 각각의 시험법을 구체적으로 설명하면 아래와 같다.

1) 자세 평가(Postural test)

피험자는 해당 보호복을 모두 착용한 채로 Table 3에 설명된 자세를 각각 취한 후, 자세별로 불편한 인체 부위와 해당 부위의 불편한 정도 및 불편한 점에 대해 응답한다. 본 연구에서 개발한 자세는 심층 면담 결과를 바탕으로 의료진의 업무 동작과 불편함을 호소한 부위를 반영한 것이다. 예컨대, 커버롤을 착용하는 경우 팔을 뻗을 때 겨드랑이 부분이 당겨 찢어지는 경우가 있다는 응답을 반영하여 팔을 뻗는 동작을 포함하였다. 이외에도 환자가 병상에 누워 있기 때문에 업무 동작의 대부분이 허리를 숙이는 자세임을 고려하여 허리 부위를 포함하였고 커버롤의 후드가 고개를 자유롭게 움직이지 못하게 한다는 응답에 착안하여 머리와 목 부위 동작을 설계하였다. 따라서 의료진의 실제 업무상황을 반영하기 위해 본 연구에서 제안하는 자세 평가 프로토콜은 팔, 허리, 다리, 머리와 목 부위로 구성되었다. 피험자는 각 자세를 수행한 뒤에 인체 각 부위별 불편함을 5점 척도(1 점

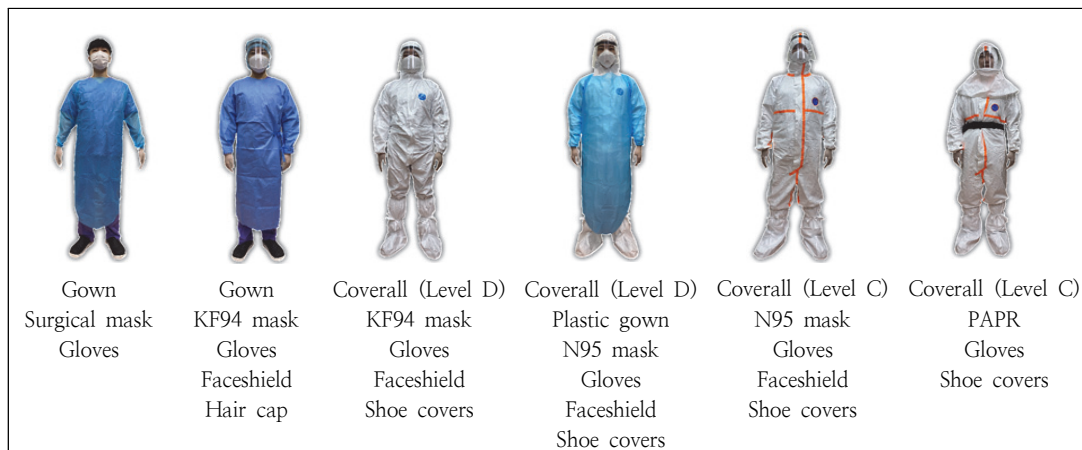




















Fig. 1. Types of personal protective equipment for respiratory infectious diseases (Scrub shirts and pants are worn as basic clothing for all the combinations)

Table 3. Postural test protocol

Body parts	Posture	Remarks		Body parts	Posture	Remarks	
Arm	① Extending arms up over your head and bending them down toward your back	-		Leg	⑪ Squatting down and getting up	Repeating 3 times	
	② Raising forearms to your chest, extending them out, and bending toward the body	-			⑫ Squatting down	Holding 5 seconds	
	③ Stretching arms forth at shoulder level, bending toward the body	-			⑬ Raising each leg to waist level	-	
	④ Stretching arms down alongside your body, bending toward the body	-			⑭ Lunging forward one leg at a time		
	⑤ Stretching arms forth at shoulder level, crossing them	-			⑮ Rolling the neck	-	
Waist	⑥ Twisting the waist from side to side	Holding 5 seconds		Head & Neck	⑯ Bending the head down	Holding 5 seconds	
	⑦ Bending the waist from side to side	Holding 5 seconds			⑰ Stretch the neck back	Holding 5 seconds	
	⑧ Bending the torso forward	Holding 5 seconds			⑱ Turning the head left and right	Holding 5 seconds	
	⑨ Bending the torso backward	Holding 5 seconds					
	⑩ Touching the ground and standing up straight	-					

혀 불편하지 않다, 2 불편하지 않다, 3 보통이다, 4 불편하다, 5 매우 불편하다)를 사용하여 평가하고 불편한 점에 대해서는 별도의 형식 없이 자유 응답하도록 설계하였다.

2) 모의 작업 평가(Simulated Performance Test)


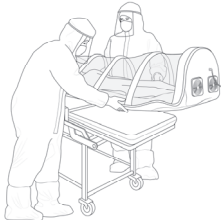









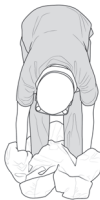
모의 작업 평가는 의료진의 실제 업무상황과 유사하게 구성하여, 개인보호구의 동작 적합성 및 개인보호구로 인한 체력적 피로도를 평가하는 목적으로 설계되었다. 기존의 소방 방화복 및 군복에서 사용되는 동작 프로토콜과 달리, 외부 물질 차단이 중요한 감염병 대응 개인보호구는 착의와 탈의 과정까지 프로토콜에 포함하였다. 본 연구에서 개발한 프로토콜은 총 12개의 동작으로 이루어져 있으며, 연구방법에서 서술한 바와 같이 심층면담의 응답을 바탕으로 구성하고 수정 과정을 거쳐 전문가에게 최종 검토를 받아 확정하였다(Table 4). 각 단계는 다음과 같다: ① 질병관리청 가이드라인을 준수하여 개인보호구 착의하기, ② 30 kg 카트를 밀면서 30 m 걷기, ③ 수액 가방을 거치대에 걸고 마네킹의 아래팔에 주사 바늘 꽂기, ④ 심폐소생술 마네킹을 이용하여 30회 가슴 압박하기, ⑤ 병상에 누워있는 50 kg 마네킹을 옆으로 돌려 눕힌 뒤 다시 정자세로 눕히기(2인 1조), 50 kg 마네킹을 기존 병상에서 음압 텐트가 놓인 다른 병상으로 옮긴 후, 음압 텐트의 지퍼 닫기, ⑦ 위 음압 텐트 병상을 15 m 이동하기(2인 1조), ⑧ 의자에 앉아서 주어진 시간(30초) 내에 5개의 문장 타이핑 하기, ⑨ 5 kg의 버킷을 각각 한 손에 들고 30 m 걷기, ⑩ 각각의 버킷을 4개의 버킷이 쌓인 더미의 맨 위에 올려놓기, ⑪ $4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 의 속도로 트레드밀 5분 걷기, ⑫ 개인보호구 탈의하기.

이상 12개의 동작 모두 연속 수행되는 것을 기본시험으로 하나, 시험 상황에 따라 선택적으로 시

행될 수 있다. 피험자에게 모든 동작을 수행할 때 빠르되, 뛰지 않는 속도를 유지하도록 요청하며, 수행 전 프로토콜을 충분히 숙지하게 한 후, 예행 연습을 실시함으로써 프로토콜에 대한 숙지 부족으로 인해 소요시간이 길어지거나 중단되는 상황이 발생하지 않도록 한다. 본 프로토콜은 감염병 대응 의료진의 작업 특성을 충분히 반영한 개인보호구의 동작 적합성 평가로, 감염병 간호 및 치료 상황, 보호복, 마스크, 장갑을 비롯한 모든 개인보호구의 착용, 착의와 탈의 과정, 동작 적합성 및 체력적 피로도 평가항목 등을 포함하였다.

제시된 프로토콜로 모의 작업 평가를 실시할 때, 각 동작별 불편함을 5점 척도(1 전혀 불편하지 않다, 2 불편하지 않다, 3 보통이다, 4 불편하다, 5 매우 불편하다)로 기록하게 하며 구체적인 불편 사항은 자유 응답의 형식으로 기록한다. 이를 통해 실제 의료진이 업무 중 느끼는 개인보호구의 불편함을 파악하는 것뿐만 아니라 보호복 조합별 동작 적합성을 등급화할 수 있다. 추가적으로 의복 내 최내층 기후, 심박수, 심부온, 피부온 등을 측정하면 정량화된 인체 생리 부담 데이터를 확보할 수 있다. 나아가 고온다습한 여름철과 혹한의 겨울철 기후를 반영하여 실험 환경을 설정하면 극한 환경에서의 열적 쾌적성을 평가할 수 있을 것이다. 예컨대 33°C , 상대습도 70% 환경에서 모의 작업 평가를 실시하고 심부온과 심박수를 측정하면, 생리적 부담 지수(Physiological Strain Index; PSI)를 계산하여 폭염 환경에서 야외 선별 진료소 근무자 등이 느끼는 생리적 부담의 수준을 정량화하여 나타낼 수 있다(Moran et al. 1998).

Table 4. Simulated performance test protocol

No.	Image	Details	No.	Image	Details
1		Donning PPE based on the national guidelines	7		Moving the 50 kg manikin from bed to a gurney with a negative pressure tent on and closing the tent (2 participants working together)
2		Walking 30 m while pushing a 30 kg cart	8		Walking 15 m while moving the gurney (2 participants working together)
3		Hanging a fluid bag on a pole and inserting a needle in a manikin's forearm	9		Typing while sitting on a chair : Typing five given sentences within the time limit
4		Conducting nasopharyngeal specimen collection by inserting a swab through the nostril	10		Carrying & Disposing medical waste #8-1 Walking 30 m with a 5 kg bucket in each hand #8-2 Putting each bucket on top of a stack of 4 buckets
5		Conducting 30 chest compressions using a cardiopulmonary resuscitation (CPR) manikin	11		Walking on a treadmill at a speed of 4 km · h-1 for 5 minutes
6		Patient positioning : Changing a 50 kg manikin's position from supine to right lateral on bed and repositioning it into supine(2 participants working together)	12		Doffing PPE based on the national guidelines

3) 소리 전달력, 가시성, 장갑의 촉감 평가

심층면담 결과, 대부분의 의료진들은 개인보호구를 착용하면 소리의 전달력이 떨어져 업무 중 소통이 힘들다고 호소하였다. 마스크를 착용하면 입 모양이 보이지 않고 페이스 실드, 전신보호복의 후드, PAPR 후드에 의해 청음이 일부 차단되기 때문이다. 그러나 감염병 대응에 있어서 응급상황이 발생했을 때 즉각적인 처치를 하거나 환자를 치료할 때 치료법에 대해 의논하는 등 의료진 간의 소통과 의료진과 환자와의 소통은 매우 중요하다. 따라서 개인보호구를 착용한 상태에서도 전달력은 반드시 확보되어야 하는 부분이며 이에 전달력 평가법을 제안한다(Table 5).

의료진이 사용하는 페이스 실드/고글/PAPR 후드는 착용자의 호흡과 내외부 온도차 등으로 인해 종종 전면부에 김서림이 발생한다. 그러나 감염병 대응 업무는 정확한 치료 약물을 찾거나 환자에게 약을 투여하기 위해 혈관을 찾는 등 미세한 것을 봐야 하는 경우가 많으므로 개인보호구의 가시성이 중요하다. 따라서 Table 5에 제시한 방법을 활용하여 개인보호구의 가시성을 평가하고 부족한 점이 있다면 개선하는 것이 필요하다.

감염병 대응 업무 시 착용하는 장갑은 속 장갑과 겉 장갑 두 가지로 이루어져 있다. 두 겹의 장갑을 착용하면 촉각 민감도가 떨어져 혈관을 찾고 주사를 쏘는 등의 업무에서 어려움이 발생한다. 의료용 장

갑의 민감도를 평가하는 방법은 이미 연구가 이루어진 바 있으며 최근에는 ‘Bumps’ test와 ‘Princess and the Pea’ (P&P) test가 제시되었다(Mylon et al. 2017). 두 방법 모두 라텍스/니트릴 소재의 장갑을 위한 인체 착용 평가법이며 의료용 장갑에 적용 가능한 것으로 연구를 통해 증명되었다.

IV. 결론

본 연구에서는 감염병 대응 개인보호구의 디자인 및 성능 개선을 위한 방안을 도출하고, 나아가 쾌적과 동작 적합성을 평가하기 위한 체계적인 시험 프로토콜을 개발하였다. 커버 롤, 가운, PAPR, 마스크, 고글, 페이스 실드, 장갑, 슈 커버 등 구성 요소별 불만사항을 바탕으로 보호복 디자인 개선 사항을 도출하였다. 개인보호구 착용 시 이러한 불편사항들로 인한 동작성 저하를 최소화하기 위해 이를 평가할 수 있는 평가 프로토콜을 개발하였다. 기본자세 평가와 의료진들의 대표작업을 반영한 모의 작업 프로토콜, 그리고 의사소통, 가시성, 장갑의 민감도 등을 평가할 수 있는 시험법을 제안하였다. 본 연구는 중환자실, 응급실, 수술실, 생활치료센터 등 실내 병동뿐만 아니라 야외 선별 진료소 근무자를 비롯하여 실제 현장에서 COVID-19 의료업무를 담당하고 있는 의료진들의 의견을 반영했다는 점에서 의의가 크다. 비서울 지역 근무자

Table 5. Protocol for testing the ability of language delivery and visibility while wearing face shield, goggles and powered air-purifying respirator (PAPR)

Test	No.	Protocol	Details
Language delivery	1	Speaking and listening to another person who does not wear a PPE	5 sentences
	2	Speaking and listening to another person who wears a PPE	5 sentences
	3	Speaking and listening on the phone	5 sentences
Visibility	1	Reading three letter/number combinations from the front	Distance of 5 meters
	2	Turning 90 degrees from the front to the right or left side, and read three-letter/number combinations	Distance of 5 meters

의 표본 수가 충분하지 않았다는 점과 업무유형별로 균일한 표본 수가 확보되지 않은 점에서 한계를 가지지만 이는 후속 연구로 보완될 수 있는 것으로 보인다. 제한한 평가법으로 인체 착용 실험이 아직 이루어지지 않은 점도 본 연구의 한계이나 추후 실험 설계 시 기초자료로 활용될 수 있다. 대체로 인체 착용 실험에서는 트레드밀 운동이나 사이클 운동과 같이 단일 종류의 운동으로 작업활동을 대신하는데 본 동작 평가법은 의료진이 실제로 수행하는 동작들을 반영했다는 점에서 더욱 정교한 실험 설계가 가능하다. 본 연구 결과는 의료진용 개인보호구 디자인 개선에 활용될 수 있으며, 의료진용 감염병 대응 개인보호구의 동작 적합성을 객관적으로 평가하여 특정 상황에서 착용되는 보호복 조합의 동작 적합성을 등급화할 수 있어, 궁극적으로 개인보호구 착용으로 인한 동작 불편감을 감소하고 작업수행능력 향상에 기여할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 2021년도 산업통상자원부 국가기술 표준원 국가표준기술력향상사업의 지원을 받아 수행되었습니다. 인터뷰 조사에 응해준 의료진 및 행정적 지원을 제공한 허윤정, 오지영, 영문 교정을 도와준 Andrew Gorski에게도 감사의 말씀을 전합니다.

References

Bae GT, Kim DH, Syn HY, Lee JY(2017) Integrated test method by the evaluation of Don-doff and mobility of old and newly-developed firefighting protective gloves. *J Korean Soc Clothing and Textiles* 41(5), 950-965

Baek YJ, Kim DH, Bang SH, Lee JY (2019) Korean firefighter questionnaire to improve the test

methods of firefighting personal protective equipment. *Korean Soc Living Environ System* 26(3), 332-344

Bell T, Smoot J, Patterson J, Smalligan R, Jordan R(2014) Ebola virus disease: the use of fluorescents as markers of contamination for personal protective equipment. *IDCases* 2(1), 27-30

Casanova L, Teal L, Sickbert-Bennett E, Anderson D, Sexton D, Rutala W, Weber D(2016) Assessment of Self-Contamination During Removal of Personal Protective Equipment for Ebola Patient Care. *Infection Control Hospital Epidemiol* 37(10), 1156-1161

CDC(2014) Protecting Healthcare Personnel. Available from <https://www.cdc.gov/hai/prevent/ppe.html> [cited 2021 June 30]

Davey SL, Lee BJ, Robbins T, Randeve H, Thake CD(2021) Heat stress and PPE during COVID-19: impact on healthcare workers' performance, safety and well-being in NHS settings. *J Hospital Infection* 108, 185-188

Garibaldi BT, Ruparelia C, Shaw-Saliba K, Sauer LM, Maragakis LL, Glancey M, Subah M, Nelson AR, Wilkason C, Scavo L, Litwin L, Osei P, Yazdi Y(2019) A novel personal protective equipment coverall was rated higher than standard Ebola virus personal protective equipment in terms of comfort, mobility and perception of safety when tested by health care workers in Liberia and in a United States biocontainment unit. *Am J Infection Control* 47(3), 298-304

ISO(2004) Clothing for protection against contact with blood and body fluids - Determination of the resistance of protective clothing materials to penetration by blood and body fluids - Test method using synthetic blood, ISO 16603:2004, Int Organ for Standardization, Geneva

ISO(2004) Clothing for protection against infectious agents - Medical face masks - Test method for resistance against penetration by synthetic blood (fixed volume, horizontally projected), ISO 22609:2004, Intl Organization for Standardization, Geneva

ISO(2005) Clothing for protection against infectious agents - Test method for resistance to dry microbial penetration, ISO 22612:2005, Int

- Organization for Standardization, Geneva
- ISO/PAS(2020) Occupational health and safety management — General guidelines for safe working during the COVID-19 pandemic, ISO/PAS 45005:2020, Int Organ Standardization, Geneva
- Jung JY, Kang CH, Seong U, Jang SH, Lee JY(2020) Effects of Wearing COVID-19 Protective Face Masks on Respiratory, Cardiovascular Responses and Wear Comfort During Rest and Exercise. Fashion Text Res J 22(6), 862-872
- Kim D, Jung JY, Lee JY(2019) Evaluation of Firefighter Turnout Gear Visibility in Smoke Obscuration and Flame Damage. Korean Soc Living Environ System 26(3), 358-373
- Kim D, Kim D, Lee JY (2017) Wear Comfort of Firefighters Protective Gloves in Dry and Wet Conditions at 70 Air Temperature with Radiant Heat. Korean Soc Living Environ System 24(1), 95-106
- Kim D, Lee I, Lee JY(2016) Mobility Evaluation of Popular Firefighting Protective Gloves in Domestic and Foreign Countries -Don-Doff Test, Dexterity Test, and Torque Test-. J Korean Soc Clothing Textiles 40(5), 921-935
- 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. Korean Soc Living Environ System 26(1), 9-24
- Kim S, Lee JY (2016) Development of Firefighting Performance Test Drills while Wearing Personal Protective Equipment. Korean Inst Fire Sci Engineering 30(1), 138-148
- Korean Nurses Association(2020) COVID-19 Response Nurses Guide, Available from <http://www.kagh.co.kr/NewsSite/View/Covid19/18788/.nm> [cited 2021 June 30]
- Lee HH, Shin S, Kim Y, Park S, Lee JY(2016) Evaluation of Mobility and Physiological Performance while Wearing the Present Korean Navy Summer Uniform and Prototype. Korean Soc Living Environ System 23(6), 853-867
- Lee J, Venugopal V, Latha PK, Alhadad SB, Leow C, Goh NY, Tan E, Kjellstrom T, Morabito M, Lee J(2020) Heat Stress and Thermal Perception amongst Healthcare Workers during the COVID-19 Pandemic in India and Singapore. Int J Environ Res Public Health 17(21), 8100
- Moran DS, Shitzer A, Pandolf KB(1998) A physiological strain index to evaluate heat stress. Am J Physiology 275(1), R129-R134
- Mylon P, Carr MJ, Martin N, Lewis R(2017) How do gloves affect cutaneous sensibility in medical practice? Two new applied tests. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: J Engineering in Medicine 231(1), 28-39
- WHO(2020) Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease 2019 (COVID-19). Available from [https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:N9F4tGS6-NIJ:scholar.google.com/+Rational+use+of+personal+protective+equipment+\(PPE\)+for+coronavirus+disease+\(COVID-19\)&hl=ko&as_sdt=0,5&as_vis=1](https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:N9F4tGS6-NIJ:scholar.google.com/+Rational+use+of+personal+protective+equipment+(PPE)+for+coronavirus+disease+(COVID-19)&hl=ko&as_sdt=0,5&as_vis=1) [cited 2021 June 30]