

# 다양한 개인 보호구 사용 방법에 따른 오염 발생 비교를 위한 시뮬레이션 실험 결과

<sup>1</sup>서울대학교 간호대학, <sup>2</sup>서울대학교 간호과학연구소

강자현<sup>1,2</sup>

## Simulation Results for Contamination Comparisons by Various Use Protocols of Personal Protective Equipment

JaHyun Kang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>College of Nursing, Seoul National University, Seoul; <sup>2</sup>Research Institute of Nursing Science, Seoul National University, Seoul, Korea

**Background/Aims:** Due to a lack of scientific evidence and unstandardized protocols, the correct use of personal protective equipment (PPE) is not always easy for healthcare personnel (HCP). This study aimed to generate experimental evidence to reduce contaminations during PPE doffing.

**Methods:** With institutional review board approval, 4 standardized HCP were recruited to examine selected PPE protocols based on consultations with 10 invited Korean infection control leaders. Using fluorescent powder and ultraviolet light, each PPE protocol was evaluated for contaminations by comparing methods or steps. Pictures of contaminated areas and videos of HCP practice were evaluated for case analysis by linking all collected data using assigned study experiment codes.

**Results:** A total of 38 simulation experiments were conducted during December 14-20, 2016. No significant difference was found among minor variations in PPE protocols. Rather, after an intensive, 1-minute patient care simulation (e.g., physical assessment), severe powder contaminations on the front and under the sleeves of coveralls were found. Even after the outer-glove surface was wiped clean, partial contaminations still remained, especially between fingers and on fingertips. Moreover, after cleaning glove surface contaminations using wipes, each doffing step caused different contaminations. Among different types of N95 respirators, the foldable N95 type was the most stable during doffing processes, with less possibility of contamination.

**Conclusions:** Based on this study's findings with visual evidence of contaminations during PPE doffing processes, some meaningful recommendations were feasible, such as the use of disposable long-sleeve aprons over coveralls. Further study is necessary to evaluate these recommendations. (Korean J Med 2018;93:41-49)

**Keywords:** Personal protective equipment; Health personnel; Equipment contamination; Infection control

Received: 2017. 9. 29

Accepted: 2017. 10. 10

Correspondence to JaHyun Kang, Ph.D., MPH.

College of Nursing, Seoul National University, 103 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 03080, Korea

Tel: +82-2-740-8825, Fax: +82-2-765-4103, E-mail: jahyunkang@gmail.com

Copyright © 2018 The Korean Association of Internal Medicine

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 noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서 론

감염성 질환의 전파 예방을 위한 격리주의(표준주의, 접촉주의, 비말주의, 공기주의 등) 중 적절한 개인 보호구 사용은 의료행위 중 환자의 혈액, 체액, 배설물, 분비물 등의 노출로부터 의료인을 보호하는 일차적이고 물리적인 방어 수단이다. 다제내성균 보균자와 접촉할 때 사용하는 장갑, 1회용 가운이나 앞치마, 1회용 마스크, N95 마스크 등 기본적인 개인 보호구는 물론이고, 사스(severe acute respiratory syndrome), 에볼라바이러스병(Ebola virus disease), 메르스(Middle East respiratory syndrome) 등의 같은 신종 감염병의 유행 시에는 전신 보호복, 안면 보호구, 고글, 신발 덮개, 전동식 공기정화 호흡기(powered air purifying respirator, PAPR) 등 평소 사용하지 않는 종류의 낯설고 복잡한 개인 보호구가 필요하므로, 이의 올바른 사용을 위해서 의료인들의 반복적인 훈련이 필요하다.

2014년 미국의 에볼라바이러스병 유입으로 첫 에볼라바이러스병 격리 환자를 간호하던 달라스병원의 간호사가 전신 보호구를 착용하고도 에볼라바이러스병에 감염된 사건을 두고, 근본적인 원인이 무엇이었는지(간호사 개인 부주의 혹은 프로토콜 자체의 결함)에 대한 미국 사회의 논란[1]은 의료인 개인 보호구 사용에 있어 지침과 실제의 취약점을 모두 확인한 사례로 볼 수 있다. 미국 질병관리본부(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)에서는 의료행위 중 손목 노출을 예방하기 위해 장갑과 전신 보호복 손목 부분의 테이핑을 권고하는 반면[2], 세계보건기구(World Health Organization, WHO) 지침에서는 테이프 제거시 찢어지는 경우 감염원에 노출될 가능성을 우려하여 테이핑에 반대하는 권고를 하는[3] 경우와 같이, 권위 있는 기관의 지침도 서로 상충되기도 한다. 이렇게 상충되는 권고안을 근거로, 각자 병원 현실에 맞는 프로토콜을 개발하여 적용하기에는 실제적으로 많은 어려움이 있기에, 미국 감염관리역학전문가협회(Association for Professionals in Infection Control and Epidemiology)가 병원 감염 관리 전담자들을 대상으로 2014년 10월에 시행한 'Ebola Readiness Poll' 조사에서도, CDC 지침과 각 병원의 실제 프로토콜과의 차이점으로 인한 혼돈을 최소화할 수 있도록, 에볼라바이러스병 환자 격리를 위한 정확한 개인 보호구 사용 프로토콜이 필요하다고 요구한 바 있다[4]. 의료인의 고감염성 질환 노출 예방을 위한 개인 보호구 사용을 주제로 코크란 리뷰 그룹의 체계적 문헌 고찰 연구 결과, 해당하는 개인 보호구 관련 연구 수가 적고

(n = 9) 질적 수준도 대부분 낮은 것으로 보고된 바와 같이[5], 개인 보호구 사용 프로토콜 개발에 필요한 과학적인 근거가 매우 부족한 실정이다.

한편, 미국 피츠버그대학에서 진행한 의료인의 개인 보호구 사용에 대한 시뮬레이션 실험에서, 65명의 참가자가 각각 기본 개인 보호구 세트와 전신 보호구 세트로 2회 시행한 130번의 시뮬레이션 결과, 79.2%의 오염 발생(기본 세트 92.3%, 전신 세트 66.2%)을 보고하여, 참가자가 비디오 촬영 사실을 알고 더 주의를 기울였을 호손 효과(Hawthorne effect) 가능성에도 불구하고 많은 경우의 오염 발생을 확인한 바 있다[6]. 또한, 이 실험 참가자 중 11명에게 오염 행위에 대한 피드백을 제공하고 동일한 시뮬레이션을 시행한 후속 실험에서도 82%에서 오염이 여전히 발생하였으며, 오염의 수준은 다소 감소하였지만 이전 오염 행위를 피하려다 다른 오염 행위가 나타나는 경향이 발견되어, 의료인이 제대로 개인 보호구를 착용하는 것이 쉽지 않음이 실험으로 확인되었다[6]. 한편, 2015년 우리나라 메르스 유행 발생 이후 의료인 개인 보호구 교육을 수차례 진행한 국내 주요 병원의 감염관리팀장 7명과의 포커스 그룹 면담 결과에 의하면, 교육 과정에서 확인한 개인 보호구 사용의 주요 어려움으로서, 잘 맞지 않는 개인 보호구, 불안감, 표준화되지 않은 프로토콜로 인한 혼돈, 개인 보호구 품질과 효과성에 대한 의심, 여러 가지 개인 보호구를 동시에 사용함으로 인한 복잡성 등이 확인되었다[7].

본 연구는 피츠버그대학의 의료인 개인 보호구 사용에 대한 시뮬레이션 실험 연구[6]의 후속 연구로서, 전문가 간 이견이 있을 수 있고 의료인이 혼돈하기 쉬울 수 있는 개인 보호구 착용의 프로토콜 간 차이 항목을 확인하고 그 오염 여부와 정도를 비교하여, 어떤 프로토콜이 오염 발생 예방에 가장 효과적인지 실험을 통해 확인하고자 시행되었다.

## 대상 및 방법

서울대학교 생명윤리위원회 승인(SNU 16-10-012) 하에, 자발적인 참여 의사를 밝힌 주요 병원의 감염관리팀장급 10명을 자문위원으로 초빙하여, 자료 공유에 동의한 일부 자문위원의 보호구 사용 프로토콜을 제공받아 물품 종류와 방법을 확인하였다. 이를 토대로 2차례의 자문회의에서 우리나라 메르스 유행 당시 의료인 교육 중 근거 부족으로 개인 보호구 프로토콜 개발이 어려웠던 부분과 실제 의료인이 개인 보

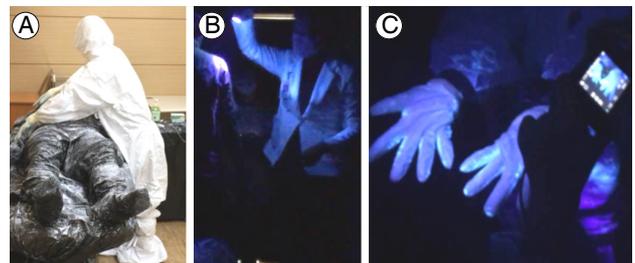
호구를 사용하는 과정에서 혼돈하기 쉬웠던 부분에 대해 논의를 하여 시뮬레이션을 통해 확인이 필요한 몇 가지 주요 프로토콜 간 차이 항목(예, N95 마스크 종류별[컵형, 접이형] 탈의시, 윗끈 먼저 탈의 vs. 아래끈 먼저 탈의 vs. 마스크 옆부분을 잡고 앞으로 당겨 두 끈 모두 한꺼번에 탈의)을 결정하였다.

시뮬레이션을 통하여 실험 대상 프로토콜을 직접 시험해 볼 실험자로는 많은 사람이 개입되었을 경우 나타날 수 있는 개인 간의 차이가 결과에 미치는 영향을 최소화할 수 있도록 소수의 시뮬레이션 표준 의료인(standardized healthcare personnel)으로 하였다. 표준 의료인의 선정 기준은 간호사 면허 소유, 충분한 임상 경험(현직에 있거나 이전 임상 경력 만 2년 이상 경력자 포함, 임상 현장을 떠난 지 만 1년 이상 경과된 경우는 제외), 개인 보호구 사용 경험(격리 환자 병실 근무, 메르스 대응 개인 보호구 교육 이수 경험 등), 시뮬레이션 참여 경험(선호됨)으로, 서울대학교 간호대학 대학원생 중 연구 목적을 이해하고 착탈의 전과정에 대한 비디오 촬영에 동의한 4인의 자발적 참여자로 선발하였다.

개인 보호구 프로토콜 차이를 비교하기 위한 시뮬레이션 실험 방법은, 선행 연구인 피츠버그대학 의료인 개인 보호구 시뮬레이션 방법을 똑같이 도입하여[6], 서울대학교 간호대학 연구동에 마련된 객관적-구조화 임상시험(Objective Structured Clinical Examination, OSCE) 센터에서 2016년 12월 14일부터 20일까지의 기간에 4인의 표준 의료인 일정에 맞춰 5일간(4인 중 1인은 2일 참가) 진행하였다. 실험을 위해 OSCE 센터 1개의 실습실은 개인 보호구를 착용할 수 있는 준비실로, 다른 1개의 실습실은 전동 침대 위에 놓여진 성인 환자 모형(Emergency Care Simulator, Medical Education Technologies Inc. Sarasota, FL, USA)을 갖춘 격리 병실로 준비하였다. 개인 보호구는 선행 연구 방법대로 기본 세트(simple sets; 1회용 앞치마, 1회용 수술용 마스크, 1회용 나이트릴 장갑 등 일상적으로 격리 병실 입실시 사용물품), 전신 세트(full-body sets; 메르스 환자 격리 등에 사용된 레벨 D 세트와 같이 전신 보호복, 안면 보호구, 호흡 장치 등 강화된 개인 보호구 세트 물품)를 기본으로 하였다. 또한, 국내 대형병원에서 많이 사용하는 개인 보호구 물품을 확인하여 레벨 C 세트 등을 구매하였고, 추가로 일부 자문위원들로부터 병원에서 메르스 유행 발생시 실제 사용한 보호구 샘플 일부(예, 질병관리본부 제공 레벨 D 세트 중 남은 것)를 지원받아 시뮬레이션 실험에 필요한 개인 보호구 구성을 준비하였다.

오염의 측정은 개인 보호구 실험에 적합한 것으로 권고된 형광 파우더(Glo Germ Powder; Glo Germ Company, Moab, UT, USA)를 사용하였으며, 격리 환자 병실로 마련된 실험실에서 형광 파우더가 충분히 뿌려진 시뮬레이터 환자 모형을 대상으로 1분 이상 직접적인 접촉이 필요한 간호 행위(예, 활력 징후 측정 및 신체 사정)를 하게 한 후, 개인 보호구 탈의 단계마다 실험실 소등으로 암실 환경을 조성하여, 자외선 손전등(UV light; Glo Germ Company)으로 형광 파우더 오염 여부를 확인하고, 오염 부위는 훈련된 1인의 연구보조원이 디지털 카메라로 사진을 촬영하고, 실험 기록을 남기도록 하였다(Fig. 1). 표준 의료인의 모든 개인 보호구 착의와 탈의 과정은 태블릿 컴퓨터(iPad-pro)로 녹화하였다. 표준 의료인은 실험이 진행되는 동안, 평소 근무할 때와 마찬가지로 자신의 복장과 신발을 착용하되, 형광 파우더 오염이 잘 확인될 수 있도록 가급적 진한 색의 옷을 입고 참여하도록 하였다. 표준 의료인이 여러 가지 종류의 개인 보호구로 착탈의법을 시행하여 반복 시뮬레이션을 해야 하므로, 남은 파우더 오염 때문에 다음 실험에 영향이 없도록, 오염된 부위를 물과 비누 등으로 씻어 파우더를 제거하고, 자외선 손전등으로 완전한 오염 제거를 확인한 후 다음 실험을 진행하게 하였다. 개인 보호구 교육에 흔히 사용하는 형광 로션[7,8]과 기타 형광 제품(동일 회사제품의 미스트, 노란색 파우더, 오렌지색 오일)도 추가로 실험하여, 측정 제품 형태에 따른 오염 정도의 차이를 확인하였다.

오염 결과 분석은 선행 연구[6]에서 사용된 4가지 오염 분류 기준(소수의 파우더가 묻어 잘 살펴봐야만 확인 가능한 정도의 ‘미미한 수준의 오염[negligible]’, 파우더가 눈에 띄는 ‘확인 가능 수준의 오염[noticeable]’, 쉽게 눈에 띄거나 여러



**Figure 1.** Simulation experiments using fluorescent powder and ultraviolet light. (A) Close-contact patient care (e.g., a physical examination), (B) a principal investigator checking for contamination using an ultraviolet light. (C) Photographing contaminated areas.

군데에 해당하는 ‘분명한 수준의 오염[apparent]’, 많은 양의 ‘심각한 수준의 오염[severe]’을 적용하여, 사진에 찍힌 부위별 오염 정도를 판단하였다. 촬영된 사진에서 발견된 오염 부위와 오염 정도를 파악 후 녹화된 표준 의료인의 개인 보호구 착탈의 과정을 모니터링하여, 해당 오염 발생이 일어난 경위를 확인하였다. 훈련된 연구보조원이 사진의 오염 정도와 비디오 모니터링을 통한 오염 발생 경위를 1차 확인한 후, 책임 연구자가 2차로 확인하여 결과를 최종 판정하였다. 4인의 표준 의료인이 여러 가지로 상이한 프로토콜을 진행하여 각 사용 방법에 따른 결과를 비교하기에는 충분한 관찰 수가 부족하기에, 통계적 기법을 적용하지 못하고 개별 실험 사례를 각각 분석하였다. 각 표준 의료인의 개인정보를 보호하기 위해, 오염 부위 사진과 녹화 파일 및 실험 기록은 고유 연구 실험 번호(예, S01#5, 첫 번째 참가자의 5번째 실험)를 부여하여 분석시 연동하여 확인하였다.

## 결 과

표준 의료인으로 선발된 4인이 연구 기간 동안 진행한 시뮬레이션 횟수는 총 38회로, 기본 세트 22회와 전신 세트 15회로 실험이 진행되었으며, 나머지 1회는 테이블에 따른 장갑 손상 실험이었다. 선행 연구 방법 적용에 따른 결과 비교를 위하여, 평소 방식대로 4인이 각각 첫 번과 두 번째 순서로 기본 세트와 전신 세트 착탈의 실험을 진행한 결과, 총 8회 중 7회에서 오염이 발생하였다(87.5%). 선행 연구 방법을 그대로 도입하여 파우더가 뿌려진 환자 모형을 대상으로 1분 이상의 간호 행위를 시뮬레이션하여 실험한 7회 모두에서는 오염이 발생한 것과는 대조적으로, 유일하게 오염이 발생하지 않은 1회에서는 기본 세트를 착용한 상태에서 장갑

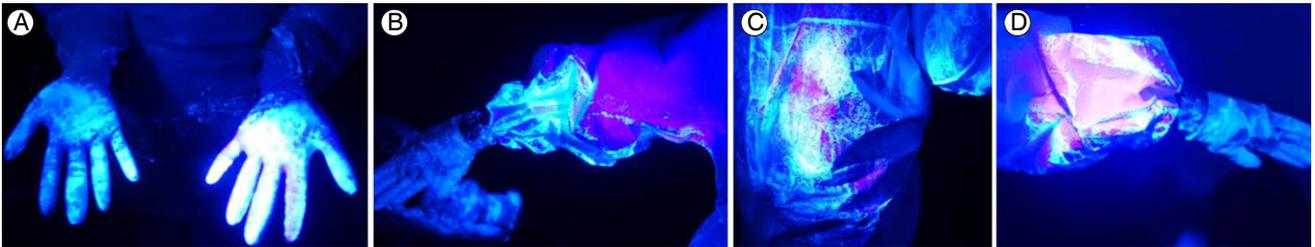
과 1회용 앞치마 앞쪽에 로션 타입의 형광 물질을 가볍게 묻힌 다음 탈의한 경우였다.

일반 격리 병실에서 흔히 사용하는 기본 세트(1회용 가운이나 앞치마, 1회용 마스크, 장갑 등) 실험에서는 가려지지 않는 부위(신발, 상의 뒷부분 등)에서 오염이 확인되었고, 혈압측정 과정에서 오염된 청진기가 직접 닿은 귀, 머리카락, 목, 상의 앞부분 등에서 오염이 발생하였으며, 1회용 비닐 앞치마를 허리끈부터 제거 후 한꺼번에 벗는 과정에서 오염된 앞치마 겉면이 몸쪽에 닿거나, 쓰레기통에 넣기 전까지 부피를 줄여 벗는 동안 겉면과 안면이 구분되지 않아 오염된 겉면이 팔이나 손에 닿으면서 오염을 유발하였다(Fig. 2). 장갑을 뒤집어 벗는 과정에서는 오염된 장갑 외부에 맨손이 닿아 오염이 발생하였고, 장갑을 먼저 벗고 가운을 벗는 경우에는 맨손이 오염된 가운 겉면에 닿아 오염이 발생하는 것이 확인되었다. 1회용 비닐 앞치마 탈의 시에, 목 부분을 들어 올려 머리 위로 벗을 때 머리카락에 닿아 오염이 발생하였고, 목 부분을 앞에서 잡아 당겨 벗을 때 찢겨진 부분의 오염된 겉면이 옷에 닿아 오염이 발생하기도 하였다. 1회용 비닐 앞치마의 어깨 부위를 잡고 잡아당겨 목 부분부터 찢어서 벗고 나서 허리끈 부분을 찢어 앞으로 조심스럽게 모아 겉면이 옷이나 팔 부위에 닿지 않도록 주의 깊게 손목 부위까지 앞치마를 내린 후, 장갑과 함께 한꺼번에 탈의하는 경우가 오염 발생이 적거나 없었다.

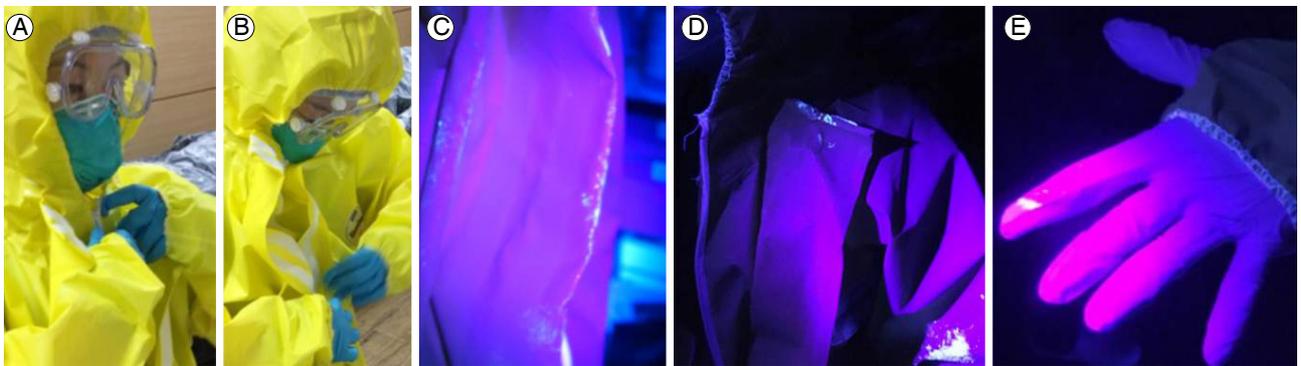
환자 모형과 1분 이상의 직접적인 접촉이 요구되는 간호 행위를 한 결과, 걸장갑과 보호복 앞면뿐만 아니라, 보호복 양쪽 소매 아래쪽과 옆구리 부분에 심한 파우더 오염이 관찰되었다(Fig. 3). 전신 세트 실험시 발생한 대부분의 오염은 보호복에 부착된 후드가 완전히 뒤집히지 않은 채 탈의 과정에서 오염된 후드가 상의 목 뒤, 등 부분에 접촉되거나, 앞지퍼



**Figure 2.** Consecutive steps of a contamination-inducing personal protective equipment (disposable apron) removal process. First five photographs: steps in apron removal. Right-most photograph: contamination on the right arm after apron removal.



**Figure 3.** Fluorescent powder contamination immediately after simulating close patient contact. (A) Both palms of gloved hands. (B) The left lower sleeve. (C) The front of the coverall. (D) The right lower sleeve.



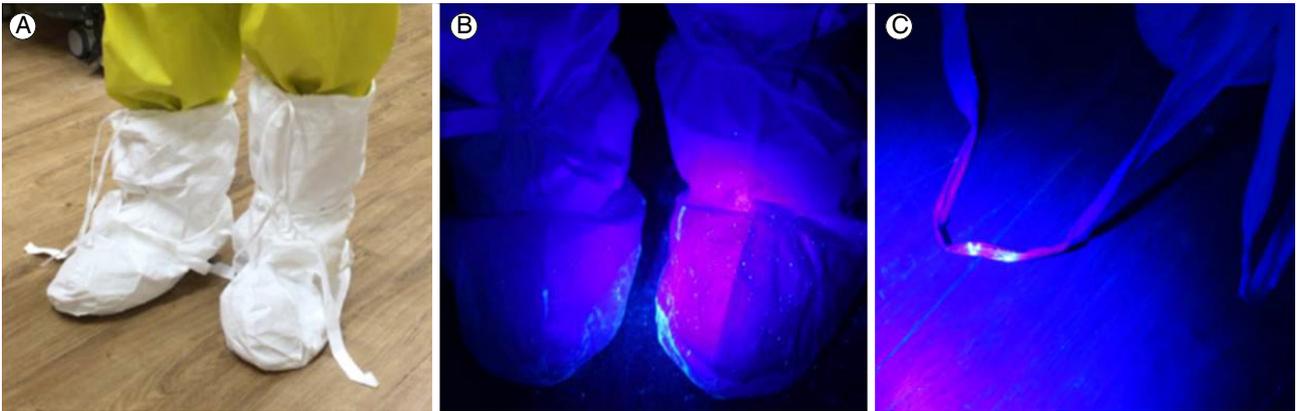
**Figure 4.** Consecutive scenes of contaminations during a level C personal protective equipment set. (A) Finding the zipper that must be undone to remove the coverall. (B) Pulling the zipper down. (C) A front placket contaminated during unzipping. (D) A contaminated upper placket. (E) An inner glove contaminated after unzipping the coverall.

를 연 채로 숙이거나 벗는 과정에서 오염된 앞쪽 여밈 부분의 겉면이 닿아 발생하였다. 겹장갑을 벗고 속장갑을 낀 채로 벨크로를 떼느라 여밈 부분을 잡고 보호복 지퍼를 여는 과정에서, 또는 보호복 소매를 뒤집어 빼서 벗거나 보호복을 말면서 벗어 내리는 과정에서 보호복 여밈 부분이나 겉면으로부터 오염된 속장갑이 접촉하는 부위마다 오염이 발생하였다(Fig. 4). 보호복을 벗는 방법에 있어서는, 보호복 후드를 벗고 지퍼를 내린 다음 어깨를 돌려 어깨 부위에서 보호복이 벗겨지도록 하는 경우(A병원 프로토콜)에 있어서도 오염된 보호복 지퍼 여밈 부분이 닿아 오염이 발생하기도 하였다. 또한, 마지막에 보호복으로부터 발을 빼는 과정에서 신발이 걸려 속장갑이 오염되거나, 뺀 발을 뒤로 뺀어 바닥에 착지하여 보호복에서 빠져 나오는 경우(A병원 프로토콜)에도 탈의된 보호복이 팔려와, 바닥에서 오염된 보호복 표면으로부터 신발 및 바지 가랑이를 오염시키는 경우도 확인되었다. 질병관리본부 레벨 D 탈의법 권고사항에 따라 겹장갑을 소독한 후 신발 덮개 끈을 먼저 풀고 진행하였음에도, 신발 덮개 끈이 정강이와 발목 부분에 각각 부착된 형태인 경우에는, 신발끈을 풀고 난 후에도 신발끈이 여전히 부착되어 있

기 때문에 오염된 채로 바닥에 끌려다니면서 추가 오염을 유발하였다(Fig. 5).

각 탈의 단계마다 소독 티슈로 장갑 겉면을 닦도록 하여, 각 단계 전후에 사진을 찍어 장갑 표면의 오염 변화 경과를 확인하는 과정에서, 파우더가 완벽하게 제거되지 않는 것이 관찰되었으며, 특히, 손가락 사이와 마디, 손끝, 손등 부위에 오염이 남는 것으로 확인되었다(Fig. 6). 또한, 탈의 단계마다 속장갑 표면을 소독 티슈로 닦아가며 진행함으로써, 다음 단계 보호구 탈의 과정마다 속장갑 표면의 오염 부위가 새롭게 달라지는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 7).

고글 탈의 과정에서는 오염이 발생하는 경우가 거의 없어, 탈의 방법에 따른 차이가 확인되지 않았으나, 고글 뒷부분의 끈을 잡는 경우에 잡은 끈 표면에서 오염이 발견되었다. 마스크와 고글 사이 노출되어 있는 피부에 오염이 발생한 것을 확인하였으며, 마스크 윗부분이 코 모양에 따라 밀착되지 않고 헐렁하게 착용된 경우, 코 주변에서 파우더가 발견되었다. 마스크 종류 및 탈의 방법에 따른 오염 발생 가능성에는 약간의 차이를 보였으나, 마스크를 머리 위로 벗어 올리거나 N95 마스크 옆쪽을 양손으로 당겨 한 번에 벗을 때, 귀와 머



**Figure 5.** A contaminated shoe cover. (A) Strings of a shoe cover lying on the floor. (B) The contaminated sole of a shoe cover. (C) The contaminated string of a shoe cover after untying with outer gloves.



**Figure 6.** Two photographs of contamination remaining on outer gloves after cleaning with wipes.

리 묶은 부분에 걸려 머리카락에 미미한 수준의 오염이 발생되었다. 1회용 수술용 마스크 탈의 시에는 윗끈을 먼저 풀었을 때 아랫끈을 푸는 동안 마스크 겉면이 상의에 닿는 것이 목격되어, 아랫끈을 먼저 풀고 윗끈을 풀어 벗는 것이 오염 가능성이 적은 것으로 나타났다. N95 마스크 컵형은 끈 벗는 순서와 상관없이 끈의 탄력성 때문에 마스크가 튕겨지는 경향과 관련된 오염 발생 가능성이 확인되었고, N95 마스크 접이형이 위아래 어느 쪽 끈을 먼저 벗든 별차이 없이 안정적인 탈의가 가능한 것으로 관찰되었다.

1회의 손목 부위 테이핑에 따른 손상 실험에서는 장갑이나 보호복 손상이 확인되지는 않았으나, 다른 실험 도중 보호복 지퍼를 내리는 과정에서 지퍼에 장갑이 끼는 경우가 목격되었고, 의자에 앉아 보호복을 벗을 때 우연히 장갑이 찢어지는 경우가 있었다. 의자에 앉아 신발덮개 끈을 푸는 경우, 오염된 의자 표면으로부터 보호복 허벅지 뒷부분이 오염되는 것을 확인하였다. 탈의 과정에서 폐기물 상자에 손이 닿거나, 서서 보호복 발 부분을 벗느라 숙이는 과정에서 머리카락이 폐기물 상자에 닿아 오염이 발생하기도 하였다. 큰 사이즈의 보호복 착용 시에는, 하얀색의 얇은 탄력밴드로 만

들어져 손목에 부착하도록 되어 있는 손가락 고리보다, 보호복 손목 안쪽에 표준 의료인이 가위로 적당한 크기의 구멍을 내고 엄지손가락을 끼어 안정적으로 착용하는 방법(핑거링)이 손목 노출의 위험성이 적은 것으로 확인되었다.

## 고 찰

형광 파우더를 이용하여 개인 보호구 탈의 과정에서의 오염을 방법과 단계별로 시뮬레이션 실험을 통해서 가시적으로 확인한 결과, 권고안 및 프로토콜을 비교적 잘 준수하는 경우에는, 권고안 사이의 다소 상이한 착탈의 방법(예, 마스크 위아래 끈 탈의의 순서, 착탈의 방법을 옆에서 인도하고 점검해주는 의료 인력 유무, 전신 거울 유무 등)에 따라 오염 발생에 있어서는 큰 차이가 확인되지 않았다. 청진기, 쓰레기통, 의자, 손소독제 펌프 사용과 관련하여 발생하는 오염, 1회용 앞치마를 벗으면서 부피를 줄이느라 손으로 잡아 뭉치는 과정에서 겉면과 안쪽 면의 구분이 어려워 오염된 겉면에 접촉함으로써 발생하는 오염, 전신 보호복 지퍼를 내리는 도중 발생하는 오염, 기타 무의식 중에 장갑 낀 손이나 맨손으로 접촉함으로써 교차 발생하는 오염 등이 확인되어, 피츠버그대학 선행 연구 결과[6]와 일치하였다.

한편, 본 연구의 강점은 방법별 비교뿐만 아니라 단계별 오염 경과를 일일이 가시적으로 확인함으로써 기존 어느 연구에서도 보고된 바 없는 근거를 마련하였다는 것이며, 이에 본 연구 결과를 바탕으로 에볼라바이러스병 등 신종 감염병 환자를 대상으로 개인 보호구 사용시 오염을 최소화할 수 있는 다음의 몇 가지 개인 보호구 사용 권고사항을 제안할 수



**Figure 7.** Consecutive scenes of newly found contaminations after doffing each item with wipes cleaning per doffing step. (A) Cleaning outer gloves with a wipe. (B) Remaining contaminations after cleaning with a wipe. (C) Doffing the right outer glove with the left inner gloved hand. (D) Contamination found on the left inner glove after doffing outer gloves. (E) Rolling down a doffed disposable apron. (F) Newly contaminated areas after doffing disposable apron.

있게 되었다. 첫째, 신체 사정과 같이 광범위하고 직접적 접촉이 유발되는 의료 행위에서는 보호복 앞 부분과 양쪽 소매 아랫 부분이 오염되어 탈의시 교차오염 가능성이 높아지므로, 보호복 세트에 추가로 1회용 긴팔 앞치마 사용이 권고된다. 이는 환자와 직접 접촉 과정에서 발생하는 보호복 앞면과 소매부분 오염을 1회용 긴팔 앞치마 탈의를 통해 초기에 제거함으로써, 이후 속장갑을 낀 채로 보호복을 탈의할 때 여밈 부분과 소매로부터 교차 오염되는 것을 최소화하는 효과가 있을 것으로 기대되기 때문이다. 둘째, 탈의 단계마다 소독 티슈로 장갑 표면의 오염 제거를 하였음에도 손끝과 손가락 사이 등에서 오염이 남아 있는 것이 확인되었기에, 전신 보호복을 벗은 후 얼굴 부위의 보호구(마스크, 고글 등)를 탈의하기 전에, 오염이 남아 있을 수 있는 속장갑을 벗어 버리고, 새장갑을 착용하는 것이 눈가 점막 등 얼굴 부위 오염 가능성을 최소화할 수 있을 것으로 사료된다. 셋째, 머리카락이 풀어 헤쳐져 있는 경우 머리카락이 보호구 걸면을 스치며 오염될 가능성이 확인되었기에 끈이나 핀으로 단단히 고정하는 것이 권고된다. 또한, 끈으로 묶은 머리에 마스크 끈이 자주 걸려, 끈을 잡아 빼는 과정에서 오염될 가능성이 확인되었고, 오염된 속장갑으로 고글이나 마스크 끈을 집을 때 머리카락에 닿을 수 있으므로, 머리를 전체적으로 감싸는 1겹의 보호막을 형성하도록, 마스크와 고글 착용 전에 1회용 모자의 착용이 권고된다. 넷째, 1회용 앞치마는 오염된 걸면이 속으로 들어가도록 앞치마를 말면서 벗어 오염된 걸면에 닿지 않도록 주의를 기울이고, 전신 보호복인 경우 오염 가능성이 높은 여밈 부분이 닿지 않도록 여밈 부분부터 주의 깊게 걸면을 바깥쪽 방향으로 말아 내리며, 걸면과 속장갑 모두가 보호복 안쪽에 착용한 옷과 접촉되지 않도록 주의를

기울이는 것이 필요하다. 다섯째, 부피가 큰 신발은 보호복 탈의 마지막 과정에서 걸리기 쉽고, 슬리퍼와 같이 고정 끈이 없는 신발은 함께 벗겨지기 쉬우므로, 발에 밀착되기 쉽고 표면 소독도 가능한 고무 재질의 얇은 실내화 착용(B병원 프로토콜)이 권고된다. 여섯째, 신발 뒷개에 부착된 끈 형태가 조작 횟수 및 오염 가능성을 증가시키므로, 끈 대신 간편하게 조여지도록 고무줄이 박혀있는 신발 뒷개를 사용하는 것이 오염을 줄일 것으로 추정된다. 일곱째, 전신 보호복 후드, 마스크, 고글을 착용한 경우에도 볼 옆 윗부분과 같이 일부 얼굴 표면이 노출되므로, PAPR과 같이 머리 부분을 한꺼번에 보호하는 보호구 착용이 가장 바람직할 것으로 보이며, 차선책으로는 전신 보호복 후드를 대체하거나 혹은 추가로 별도의 후드를 착용하고, 마스크 위에서 폭넓게 얼굴을 감싸 줄 수 있도록 시야가 넓은 고글 제품을 선택하여 착용하는 것이 바람직하겠다. 여덟째, N95 마스크의 여러 형태 중에서는 끈 탈의 순서에 무관하게 텅김 없이 안정적으로 탈의가 가능한 접이형 사용이 권고된다. 마지막으로, 의료인이 자신의 신체 사이즈에 맞는 전신 보호복을 선택하여 착용할 수 있도록 다양한 사이즈의 전신 보호복 구비가 권고된다. 이 밖에도, 보호복 소매와 장갑 사이가 벌어져 노출되는 것을 예방하기 위해서는 테이핑보다는, 소매 부분에 엄지 손가락이 들어갈 정도의 구멍을 만들어 안정감 있게 고정되도록 핑거링을 시행하는 것이 권고된다. 이렇게 제안된 권고사항이 병원 현장에서 적용 가능하도록 하려면, 추가물품 구입 및 비치를 위한 각 병원의 비용 투자와 개인 보호구 생산 및 유통업체의 긴밀한 협조도 매우 필요하겠다.

이 연구의 가장 큰 제한점으로는 가시적 오염 측정 방법으로 사용한 형광 파우더가 실제로 의료인 개인 보호구 사용

에 있어서 병원성 미생물의 오염 여부를 재현할 수 있는가에 대하여 검증된 바가 없고, 파우더 사용량에 대한 기준이 없다는 점이다. 그러나 현존하는 형광 물질 제형 중 파우더 형태가 개인 보호구 오염 측정에 가장 적합하다는 생산업체 대표의 권고를 따른 피츠버그대학 선행 연구를 통해 파우더 제품의 오염 확인 유용성을 확인할 수 있었다[6]. 파우더 제형의 장점에도 불구하고, 탈의 방법별 단계별로 오염 발생 여부를 가시적으로 쉽게 비교하고, 오염을 최소화하는 방법을 찾고자 하는 목적에 부합하도록, 시뮬레이터 모형 위에 눈에 쉽게 보일 만큼의 많은 파우더를 도포하여 진행한 본 연구 결과는 최악의 경우에서 최대로 오염된 상황을 가정한 실험 결과임을 감안하여 해석할 필요가 있다. 그러므로, 이 실험 결과를 병원성 미생물 노출시 발생하는 오염과 동일시하여, 격리실에서 근무하는 의료인들에게 불필요한 두려움이나 불안은 초래하는 일이 없도록 주의해야 할 것이다.

많은 양의 파우더를 사용한 결과, 실험 시간이 지날수록 파우더가 공기 중에 떠다니거나 때로는 가라앉으면서 미미한 수준의 오염을 유발할 가능성이 확인되었고, 녹화된 비디오 판정에서 뚜렷한 오염 경위가 목격되지 않은 불명확한 오염인 경우에는 분석에서 제외하였다. 파우더 제형의 이러한 제한점에도 불구하고, 주로 장갑끼 손과 보호구 앞면에 소량을 묻혀 탈의 중 오염을 확인함으로써 의료인 개인 보호구 착용의 교육 과정에서 즉각적이고 효과적인 피드백 방법으로 흔히 쓰이는 형광 로션[7,8]이나 다른 제형(오일, 미스트 등)에 비해, 시뮬레이터 모형 위에 형광 파우더를 뿌려 환자 접촉 행위를 재현함으로써 실제 의료 행위 중 오염 가능성을 반영하는 파우더 형태가 더욱 의미 있는 결과를 제공하는 것으로 사료된다.

또한, 자문 병원 프로토콜 비교와 자문 회의를 통해 몇 가지 확인이 필요한 프로토콜 차이 항목을 결정하였음에도, 개인 보호구 물품 조합으로 인해 다양한 경우의 수가 발생하고 소요 시간도 달라지기 때문에, 프로토콜 비교 시뮬레이션 시행 전에 조합에 따른 비교 프로토콜의 개수를 확정하여 진행 하기는 불가능하였다. 각기 상이한 조합에서 대부분 일회성으로 프로토콜 차이 항목을 실험하였기에 각각에 대한 충분한 관찰수가 부족함에 따라, 프로토콜 간 어떤 오염 유형과 차이가 있는지 일목요연하게 정리하여 분석하거나 통계기법을 적용하지 못한 한계점이 있었다. 이에 개별 실험 사례를 분석하면서 확인된 결과를 종합하여 제시할 수밖에 없었으나, 어느 프로토콜이 오염 발생 예방에 있어 효과적인지를

확인하려는 본 연구의 목적은 어느 정도 충분히 달성한 것으로 여겨진다.

시뮬레이션을 위해 선발된 소수 간호사 중심의 표준 의료인으로 실험한 본 연구 결과를 일반화하여 적용하기에는 어려움이 있으므로 실제 격리실 상근 근무자 등 다양한 의료인을 대상으로 한 후속 연구가 필요하다. 또한, 이 연구 결과를 바탕으로 제안된 권고사항을 실제로 적용하였을 때, 얼마만큼의 오염 예방 효과가 있는지에 대한 평가 연구 등을 통해, 앞으로 개인 보호구 사용 프로토콜이 보다 체계적이고 지속적으로 재정비될 수 있기를 기대한다.

## 요 약

**목적:** 과학적 근거 부족과 비표준화된 프로토콜로 인하여, 의료인이 개인 보호구를 정확하게 사용하는 것이 쉽지 않다. 개인 보호구 탈의 과정에서 발생하는 오염을 줄이기 위한 실험적 근거를 마련하기 위하여 본 시뮬레이션 연구를 진행하였다.

**대상 및 방법:** 서울대학교 생명윤리위원회 승인 하에 10명의 감염관리팀장급 실무자에게 자문을 구하여 확인이 필요한 개인 보호구 사용 프로토콜 차이 항목을 결정한 후, 4명의 표준화된 의료인을 선발하여 시뮬레이션을 통해 방법과 단계별 개인 보호구 사용에 있어 오염 정도와 경위를 확인하였다. 개인 보호구 사용상의 오염 확인은 형광 파우더가 뿌려진 환자모형을 상대로, 1분 이상의 직접적인 접촉이 요구되는 간호 행위를 하게 한 후, 각 탈의 단계마다 소등 후 자외선 전등으로 확인하였다. 형광 파우더로 오염된 부위는 디지털 카메라로 사진을 찍고, 모든 개인 보호구 착용의 과정은 태블릿 컴퓨터로 녹화하였다. 수집된 모든 데이터는 부여된 고유한 연구실험번호로 연동하여 각 사례 분석을 실시하였다.

**결과:** 2016년 12월 14-20일 동안 4명의 표준의료인이 총 38개의 시뮬레이션 실험을 실시한 결과, 프로토콜 간의 상이한 착용의 방법에 따른 오염 발생 결과에 큰 차이는 없었다. 대신, 신체 사정과 같이 1분 이상 환자 모형과 직접적인 접촉을 하게 한 직후, 보호복 앞면과 소매 아랫 부분이 심하게 오염된 것을 확인하였다. 또한, 소독 티슈로 걸장갑을 닦은 후에도 오염이 완전하게 제거되지 않았으며, 손가락 사이, 마디, 끝 부분 등에 주로 오염이 남아 있었다. 여러 N95 마스크 종류 중에서는, 접이형 N95 마스크가 벗는 끈 순서와 관

계없이 안정적인 제거가 가능하여 오염 가능성이 가장 적은 것으로 나타났다.

**결론:** 개인 보호구 착탈의시 오염 발생에 대한 시각적 증거를 제공한 본 연구 결과에 근거하여, 전신 보호복 위에 1회용 긴팔 앞치마 사용을 권고하는 등 몇 가지 지침의 제시가 가능해졌다. 이러한 권고사항에 대한 후속 연구가 필요하다.

**중심 단어:** 개인 보호구; 의료인; 보호구 오염; 감염관리

### 감사의 글

이 연구는 서울대학교 ‘차세대 우수학자 초빙사업(SNU Invitation Program for Distinguished Scholar)’의 지원으로 진행되었고, 도움 주신 여러분들께 감사의 뜻을 전한다.

### REFERENCES

1. Steenhuisen J. U.S. CDC head criticized for blaming 'protocol breach' as nurse gets Ebola. Chicago (IL): Reuters, c2014 [cited 2014 Oct 27]. Available from: <http://www.reuters.com/article/2014/10/13/us-health-ebola-usa-nurse-idUSKCN0I206820141013>.
2. Centers for Disease Control and prevention (CDC). Guidance on Personal Protective Equipment To Be Used by Healthcare Workers During Management of Patients with Ebola Virus Disease in U.S. Hospitals, Including Procedures for Putting On (Donning) and Removing (Doffing). Atlanta (GA): CDC, c2014 [cited 2014 Oct 27]. Available from: <http://www.cdc.gov/vhf/ebola/hcp/procedures-for-ppe.html?mobile=>.
3. World Health Organization (WHO). Personal Protective Equipment in the Context of Filovirus Disease Outbreak Response: Rapid advice guideline. Geneva: WHO, c2014 [cited 2014 Nov 5]. Available from: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/137410/1/WHO\\_EVD\\_Guidance\\_PPE\\_14.1\\_eng.pdf?ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/137410/1/WHO_EVD_Guidance_PPE_14.1_eng.pdf?ua=1).
4. Association for Professionals in Infection Control and Epidemiology (APIC). APIC Ebola Readiness Poll: Results of an online poll of infection preventionists. Washington, DC (WA): APIC, c2014 [cited 2014 Nov 5]. Available from: [http://www.apic.org/Resource\\_/TinyMceFileManager/Topic-specific/Ebola\\_Readiness\\_Poll\\_Results\\_FINAL.pdf](http://www.apic.org/Resource_/TinyMceFileManager/Topic-specific/Ebola_Readiness_Poll_Results_FINAL.pdf).
5. Verbeek JH, Ijaz S, Mischke C, et al. Personal protective equipment for preventing highly infectious diseases due to exposure to contaminated body fluids in healthcare staff. *Cochrane Database Syst Rev* 2016;4:CD011621.
6. Kang J, O'Donnell JM, Colaienne B, Bircher N, Ren D, Smith KJ. Use of personal protective equipment among health care personnel: results of clinical observations and simulations. *Am J Infect Control* 2017;45:17-23.
7. Kang J, Kim EJ, Choi JH, et al. Difficulties in using personal protective equipment: Training experiences with the 2015 outbreak of Middle East respiratory syndrome in Korea. *Am J Infect Control* 2017 Oct 16 [Epub]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajic.2017.08.041>.
8. Tomas ME, Kundrapu S, Thota P, et al. Contamination of health care personnel during removal of personal protective equipment. *JAMA intern Med* 2015;175:1904-1910.