

의료종사자의 안전한 개인보호장비 탈의를 위한 공간 설계에 관한 연구

Using Design to Make Doffing of Personal Protective Equipment Safer for Healthcare Workers

마틱 조라나* Matic, Zorana | 오예인** Oh, Yeinn | 임리사*** Lim, Lisa

Abstract

Purpose: This paper presents research evidence that the environmental design of the doffing area in a biocontainment unit (BCU) can have a measurable impact on increasing the safety of frontline healthcare workers (HCW) during doffing of high-level personal protective equipment (PPE), and proposes optimized biocontainment unit design. **Methods:** From 2016 to 2019, The SimTigrate Design Lab conducted 3 consecutive studies, focusing on ways in which the built environment may support or hinder safe doffing. In the first study, to identify the risky behaviors, we observed 56 simulation exercises with HCWs in 4 BCUs and 1 high-fidelity BCU mockup. In the second study, we tested the effectiveness of a redesigned doffing area on improving the HCWs performance and used simulation, observation, and rapid prototyping in 1 high-fidelity mockup of a doffing area. In a follow-up study, we used simulation and co-design with HCWs to optimize the design of a safer doffing area in a full-size pediatric BCU mock-up. **Results:** We identified 11 specific risky behaviors potentially leading to occupational injury, or contamination of the PPE, or of the environment. We developed design strategies to create a space for safer doffing. In the second study, in a redesigned doffing area, the overall performance of HCW improved, and we observed a significant decrease in the number of risky behaviors; some risky behaviors were eliminated. There was a significant decrease in physical and cognitive load for the HCWs. Finally, we propose an optimized layout of a BCU for a safer process of PPE doffing. **Implications:** The proposed BCU design supports better staff communication, efficiency, and automates safer behaviors. Our findings can be used to develop design guidelines for spaces where patients with other highly infectious diseases are treated when the safety of the patient-facing HCWs is of critical importance.

주제어: 근거기반디자인, 격리병실, 바이오 격리병실, 감염 관리, 개인보호장비(PPE)

Keywords: Evidence-Based Design, Isolation Unit, Biocontainment Unit, Infection Control, Personal Protective Equipment(PPE)

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

코로나바이러스감염증-19(COVID-19)가 전세계에 영향을 미치면서 일선에서 감염병에 대응하고 있는 의료종사자들의 안전

에 대한 우려가 커지고 있다. 2020년 6월 현재, 전세계적으로 약 1000만명에 가까운 확진자가 발생하였고, 더 나아가 중국에서는 2020년 3월 기준, 3300명이 넘는 의료종사자가, 이탈리아에서는 약 20%에 달하는 의료종사자가 감염되었다(Remuzzi, et al., 2020; The Lancet, 2020). 미국에서는 확진자의 약 20%가 의료종사자로 보고되었고, 그 중 679명의 최전방 의료종사자들이 감염자들을 치료하는 과정에서 감염되고 사망하였다(Kaiser Health News, 2020).

2014년, 미국에서 에볼라가 발생했을 때 미국 병원에서 가장

* 회원, 연구원, SimTigrate Design Lab/건축학과, 조지아공과대학교 (주저자: zorana.matic@gatech.edu)

** 회원, 연구원, SimTigrate Design Lab/건축학과, 조지아공과대학교 (yeinnoh@gatech.edu)

*** 회원, 조교수, 건축학과, 텍사스공과대학교 (교신저자: lisa.lim@ttu.edu)

큰 문제로 대두되었던 것이 바로 환자를 대면하는 의료종사자의 안전에 대한 위협이었다. 특히, 개인보호장비(PPE) 탈의과정에서 바이러스가 피부에 접촉할 수 있어 자기 오염(self-contamination)에 대한 위협이 높다는 연구 결과가 보고되었다(Fischer, et al., 2015; Tomas, et al., 2015). 자기 오염은 PPE탈의과정이 잠재적 주 오염경로로 탈의과정에서의 실수에 의해 발생한다는 보고가 있었다(Dubost et al., 2015; Tomas et al., 2015). 이에 많은 선행 연구들이 PPE 성능 개선과 착탈의 과정 개선에 집중하였지만(Beam, et al., 2011; Casanova, et al., 2008; Tomas, et al., 2016), 물리적 환경 개선에 관한 연구는 많은 관심을 받지 못하였다. 최근 들어 바이오 봉쇄병실(Biocontainment Unit, BCU) 디자인 연구에서 물리적 환경 디자인 개선이 탈의 시 안전과 효율을 증가시킨다는 보고가 늘어나고 있지만(Hallihan, et al., 2015a; Hallihan, et al., 2015b; Herlihey, et al., 2017), 탈의 공간의 레이아웃과 인체공학적인 디자인 원칙에 대해서는 제한적인 연구만이 이루어졌다.

이에 본 연구는 의료시설에서, 특히 바이오 봉쇄병실에서의 탈의 공간 환경 디자인이 의료종사자의 행동 및 안전에 미치는 영향을 연구하고 의료종사자들에게 안전한 환경을 제공하고자 탈의공간 설계 원칙을 수립하였다. 마지막으로 이러한 설계 원칙이 적용된 환경이 PPE 탈의 시 안전을 높인다는 것을 확인하였다. 본 논문의 목적은 이러한 연구 결과 및 설계 전략을 제공하는 것이다. 본 연구는 에볼라의 치료 및 관련 시설을 기준으로 연구가 이루어졌지만, 본 연구 결과 및 설계 전략은 COVID-19 및 고위험 감염병을 치료하는 의료시설 환경에, 또한 기타 다른 시설을 의료시설로 전환하기 위한 설계 전략의 일부로 도움이 될 수 있다. 이러한 에볼라 사태를 기반으로 한 연구 결과 및 설계 전략을 통해 COVID-19 및 고위험 감염병을 치료하고 대응하는 의료종사자들에게 더욱 안전한 의료시설 환경을 제공할 수 있길 기대하는 바이다.

1.2 연구 방법

2014년 에볼라 사태 이후 조지아 공과대학교 SimTigrate

Design Lab은 2015년 9월에 에모리 대학교, 조지아 주립대학교와 함께 질병관리본부(Centers for Disease Control and Prevention)가 지원하는 융합학문 연구 프로그램인 에모리 및 애틀랜타 컨소시엄 병원 감염 방지본부(Prevention Epicenter of Emory and Atlanta Consortium Hospitals, PEACH)를 시작으로, 지난 4년 간 세 단계에 걸쳐 바이오 봉쇄병실(BCU)의 설계에 관한 연구를 진행해왔다. 각 연구의 연구 디자인, 방법, 환경 및 주요 결과는 [표 1]에 요약되었다.

첫 번째 연구는 조지아 주의 실제 BCU 환경과 목업(mock-up) 환경에서 에볼라 수준 PPE를 순서에 따라 연습 탈의하는 것을 관찰하는 실험을 통해 의료종사자와 환경 간의 상호작용을 중심으로 업무상 부상, PPE 오염 및 환경 오염을 초래할 수 있는 위험 행동의 범주를 파악했다. 또한 이러한 관찰 실험 결과를 바탕으로 탈의 영역에 대한 5가지 주요 설계 원칙을 정의하였다 (DuBose, et al., 2018; Zimring, et al., 2018).

후속 연구에서는 첫 번째 연구에서 정의된 설계 원칙의 효과를 파악하기 위해 이를 적용하여 탈의 공간을 재설계하고, 그 안에서 PPE 탈의과정을 시뮬레이션하여 이전 결과와 비교 분석하였다. 그 결과 의료종사자가 탈의과정에서 보이는 위험 행동의 횟수가 유의미하게 감소하고 일회용 신발 커버를 제거할 때 물리적 부담이 유의미하게 감소하는 것을 확인하였다 (Wong, et al., 2019).

세 번째 연구에서는 연구 결과 및 설계 원칙들의 적용성을 높이기 위한 BCU 설계 예시 분석 및 최적화된 환경 구축을 목적으로, 의료종사자의 시뮬레이션 및 공동설계 과정을 통해 안전한 탈의 공간 설계 예시를 제안하였다(Matić, et al., 2020).

2. 바이오 봉쇄병실 설계전략

2.1 바이오 봉쇄병실의 필요성

고위험 감염병에 감염된 환자를 치료하기 위해서는 특수한 설계사항이 고려된 환자실을 필요로 한다. 이러한 환자실을 미국에서는 바이오 봉쇄병실(Biocontainment Unit, BCU) 혹은 특

[표 1] 세 단계의 BCU 디자인 연구 프로젝트 연구설계, 방법, 환경, 및 주요 결과

연구	목적	연구설계 및 방법	실험환경	주요 결과
연구 1: 의료종사자의 안전을 증진시키기 위한 설계전략 수립 (2016년 10월 - 2017년 7월)	BCU 내의 환경이 PPE의 안전한 탈의를 지원하거나 방해할 수 있는지 확인함	기존 BCU에서 41번의 모의 탈의과정을 관찰함 실험 참여자들이 에볼라 수준의 PPE를 탈의함	의료종사자 41명과 훈련된 관찰자 15명; 조지아 주 지정 BCU 4곳, 실 크기의 BCU 모형 1곳	의료종사자의 위험 행동 정의; 탈의공간을 위한 다섯 가지 설계원칙 수립
연구 2: 정의된 설계전략 적용 및 평가 (2018년 2월 - 7월)	탈의공간의 재설계가 의료종사자의 육체적, 정신적 피로와 위험 행동 발생에 어떤 영향을 미치는지 확인함	실험 참여자들이 에볼라 수준의 PPE를 탈의함. 연습 탈의를 비디오 촬영하여 연구 1에서 정의된 위험 행동이 일어나는지 관찰함	대학원생 38명과 의료종사자 10명; 실 크기로 제작된 BCU 모형 1곳	수정된 설계에서는 전반적인 성능이 개선됨: 위험 행동 수와 육체적 부담이 현저하게 감소함
연구 3: 시뮬레이션과 공동 설계를 통한 BCU설계 (2019년 2월 - 8월)	특수 치료 병상(SCU) 탈의 공간의 설계를 검토함	연습 탈의과정 관찰; 의료종사자와의 공동 설계 세션	특수 치료 병상(SCU) 의료종사자; SCU 탈의공간 실 사이즈 모형	최적화된 탈의 공간 설계 및 레이아웃 제안

수 치료 병실(Special Care Unit, SCU), 중증 감염병 병실(Serious Communicable Diseases Unit, SCDU), 특수 격리 병실(Special Isolation Unit, SIU)로 명명하고 있다. 한국에서는 고도 격리병상 및 고도음압격리병실 등으로 불리기도 한다. 본 논문에서는 이러한 고위험 감염병 환자를 치료하는 특수 환자실을 바이오 봉쇄병실이라 일컫는다.

바이오 봉쇄병실에는 의료종사자의 안전을 보장하고 오염을 억제하기 위한 고도의 개인 보호 조치 및 절차가 마련되어 있다(Smith, et al., 2006). 2018년 7월 기준, 미국에서는 에볼라 바이러스에 대비하고 에볼라 감염 환자를 치료하기 위해 국가 차원에서 69개 에볼라 바이러스 치료센터(이 중 10개소는 에볼라 및 특수 병원체 지역 치료센터로 지정됨)를 지정하였다(U.S. Department of Health and Human Services, 2018).

2.2 개인보호장비 탈의과정에서의 위험성

잠재적으로 오염된 개인보호장비(PPE)의 안전한 탈의는 코로나바이러스감염증-19 등 고도 감염병에 감염된 환자를 치료하는 가장 어려운 단계 중 하나이다. 이 과정은 특히 몇 시간의 진료 후 바쁘고 피로한 의료종사자에게 고도의 집중력을 요구하는 작업으로, 자칫 벌어진 실수나 위험 행동이 치명적인 병원균 감염으로 이어질 수 있어 상당히 까다롭다(Casanova, et al., 2008; Casanova, et al., 2016; Tomas, et al., 2015).

이러한 위험성은 바이러스의 감염경로에 기반하고 있다. 에볼라 바이러스는 감염자와 직접 접촉하거나 감염자의 체액에 접촉하여 사람 대 사람의 전염을 통해 전파되지만 오염된 표면 및 물질과의 접촉(예: 의료 장비 또는 PPE)을 통해서도 간접적으로 전파된다(World Health Organization, 2018). 코로나바이러스감염증-19의 경우, 감염자에게서 배출된 비말을 통해 전파되거나 건강한 사람이 오염된 표면을 접촉한 손으로 눈, 코, 입을 만지는 것을 통해서 전파된다고 알려져 있다(Centers for Disease Control and Prevention, 2020a). 비록 코로나바이러스감염증-19의 전파 방식은 에볼라 바이러스와 차이가 있지만 대응 방법과 PPE를 사용한다는 점, 그리고 두 바이러스 모두 의료종사자가 고위험 바이러스 감염자와 대면하여 치료한다는 점에서 서로 유사하다. 오염된 가래, 혈청, 혈액, 그리고 호흡기 비말이 PPE의 표면에 묻어 있을 가능성이 높고(Centers for Disease Control and Prevention, 2020b), 이러한 PPE 표면이 주요 감염 경로가 되는 것이다.

PPE 탈의과정은 의료종사자의 맨 피부가 잠재적으로 오염된 PPE의 표면에 닿아 치명적인 병원균과 접촉할 가능성이 있어 의료종사자에게 몹시 위험한 작업이다(Fischer, et al., 2015; Tomas, et al., 2015). 선행 연구들은 PPE 유형(예: 가운, 장갑)에 따라 46%~90%의 높은 비율로 자기 오염이 발생하였음을 보고하여 탈의과정의 위험성을 보여주고 있다(Baloh, et al., 2019; Casanova, et al., 2016; Kang, et al., 2017; Kwon, et al., 2017). 한 연구에서는 전체 탈의 사례의 24%에서 잠재적으로 오염된 PPE의 외부 표면이 환자 보호자의 맨 살에 닿는 등 높은 위험

행동이 관찰되었다(Doll, et al., 2017). 특히, 모의 탈의실험에 참여한 80%의 의료종사자가 자신이 안전하게 탈의하였다고 생각하였는데, 그 중에는 잠재적으로 감염된 사람 또한 포함되어 있었다는 점에서 그 위험성이 대두된다(Doll, et al., 2017).

이러한 위험성은 한국 내에서 COVID-19에 의한 의료종사자의 감염에 의해 다시 한번 조명되었다. 최근 명지병원에서 COVID-19에 확진된 간호사들이 방호복 탈의 과정에서 감염된 것으로 의심되면서, 이와 관련하여 정은경 질병관리본부장은 개인보호장비 탈의과정을 확진자를 치료하는 의료종사자들에게 가장 위험한 단계로 생각한다고 말한 바 있다(전익진, et al., 2020).

2.3 전반적인 BCU 디자인 설계전략

BCU 디자인과 관련해서는 선행연구 및 미국 질병관리본부(CDC)에서 제공하는 전반적인 설계전략들이 있다(표 2). 선행 연구에 따르면, BCU 설계는 공기 중으로 전염되는 질병 감염자 치료를 위해서는 바이오 봉쇄병실과 다른 병동부를 이중 인트록 시스템으로 분리해야 하며, 병실 내의 독립적인 공기 정화 시스템과 음압 시스템을 갖추고 있어야 한다고 명시하고 있다(Smith, et al., 2006). 또한 표면 세척이 용이한 연결부가 없는 표면으로 이루어져 있어야 하고, 양방향으로 통하는 오토클레이브가 설치되어 있어야 한다고 설명한다(Smith, et al., 2006).

또한, 미국 질병관리본부(CDC)는 2014년 에볼라 사태에 대응하여 PPE 관련 지침(PPE 착용 및 탈의과정 포함)을 새로 발표하였다. 의료종사자의 자기 오염과 교차 오염을 줄이기 위하여 BCU 설계 시 PPE 탈의를 위한 과정을 따로 마련할 것을 강조하였다(Centers for Disease Control and Prevention, 2014). 새로 발표된 2014년 CDC 지침은 PPE 착용 구역과 탈의 구역은 환자 치료 구역(환자 병실)에서 분리해야 하며, 전체 레이아웃에서 청결 구역과 오염 구역을 명확히 구분하는 등 이전 문서보다 더 구체적인 설계 지침을 제공하였다. 의료종사자와 장비는 청결 구역에서 오염 구역으로 한 방향으로만 이동해야 하며, 이를 바닥에 표시하는 등 이를 위한 명확한 시각적 지표가 존재해야 하고, 탈의 공간은 탈의 중 의료종사자의 이동이 자유롭고 모든 필수 장비(예: 폐기물 용기, 알코올 손세정제(ABHR) 디스펜서 및 의료 장갑)를 수용할 수 있을 만큼 충분히 커야 하고, 훈련된 관찰자(Trained observer, TO)가 PPE 착용 및 탈의과정의 모든 단계를 시각적으로 관찰할 수 있어야 한다고 명시한다(Centers for Disease Control and Prevention, 2014).

허나, 이러한 전반적인 설계전략들은 주로 환자가 거하는 공간에 대한 환자의 안전을 위한 설계전략들로 의료종사자들의 PPE 탈의과정에서의 안전에 대한 고려는 부족한 실정이다. 특히 PPE 착탈의 공간에 대한 설계전략은 공간을 제공한다는 것 외에 설계전략을 제공하고 있지 않다. 이에 본 연구는 바이오 봉쇄병실 및 고위험 감염환자를 치료하는 환자실의 의료종사자들의 PPE 착탈의 공간에 대한 세부적인 설계전략을 제공하는데 그 목적이 있다.

[표 2] 전반적인 BCU 설계 고려사항
(Centers for Disease Control and Prevention, 2014)

전반적인 설계 고려사항
BCU 및 격리실을 일반 병동과 격리할 것
인터록 이중문 구조로 의료 시설 내의 다른 공간들과 분리할 것
환자를 개인 치료실에 격리할 것
독립된 환풍 시스템을 사용할 것
공기로 전염되는 감염을 막기 위해, 음압 시스템을 갖출 것
의료종사자와 장비들은 청결구역에서 오염구역으로 한 방향으로만 이동할 것
연결부 없는 세척 가능한 재질을 사용할 것
PPE 착용 및 탈의 전용 공간을 지정하여 제공할 것(되도록이면 환자 병실 외부에 설치하는 것이 추천됨)

3. 의료종사자의 안전을 증진시키기 위한 설계 전략 수립(연구 1)

3.1 탈의과정의 위험 행동 파악 및 정의

안전한 탈의공간을 위한 설계전략을 수립하기 위한 첫 번째 단계로는, 탈의 과정에서 발생하는 위험한 행동들을 파악하는 것이다. 이에, 첫 번째 연구에서는 에볼라 치료를 위해 제안된 CDC 지침을 기반으로 한 41회의 모의 탈의 연습을 관찰 및 분석하였다. 본 연구에서 활용된 PPE 종류는 2중 장갑, 방수 신발 커버, 1회용 방수가운 혹은 전신보호복, N95 마스크 혹은 전동식호흡장치, 안면보호구, 목과 머리를 가리는 수술용 후드, 앞치마로, PPE 조립은 관찰을 실행한 BCU 장소에 따라 차이가 있었다. 예를 들어, N95 마스크를 주된 호흡기관 보호 장치로 활용한 경우, 안면보호구가 부착되어 있지 않은 후드와 1회용 안면보호구가 사용되는 사례가 있었고, 전동식호흡장치를 활용한 경우에는 안면보호구가 부착되어 있는 후드를 활용하였다.

본 연구에서 관찰한 PPE 탈의 순서는, 활용된 PPE 조합에 따라 약간의 차이가 있었지만, 기본적으로 오염도의 위험이 높은 장비를 우선적으로 탈의하는 것으로 진행되었다. 예를 들어, 전동식호흡장치를 활용한 한 BCU에서는 앞치마 탈의, 신발 커버 탈의 및 화학 매트에 위치, 걸장갑 소독, 걸장갑 탈의, 속장갑 소독, 테이프 제거, 속장갑 소독, 전신보호복 탈의, 속장갑 소독, 준비실로 이동, 전동식호흡장치 후드 탈의, 속장갑 소독, 속장갑 탈의, 손 세척, 벨트/배터리/모터 탈의의 순으로 PPE를 탈의하는 프로토콜을 활용하였다(Casanova, et al., 2018).

총 41회의 모의 탈의 과정 관찰 결과, 부상, PPE 오염, 주변환경 오염으로 이어질 수 있는 11가지 행동을 위험 행동(risky behaviors)이라고 정의하였다(표 3). 많은 경우의 위험 행동이 의료종사자와 물리적 환경의 관계(예를 들어, 의료종사자와 기구, 의자, 보조장치, 쓰레기통 등의 거리 및 위치)에 의해 발생함을 볼 수 있다. 이는 이러한 위험 행동을 탈의 공간 물리적 환경의 효과적인 디자인으로 예방하고 안전성을 높일 수 있음을 의미한다.

[표 3] 관찰결과 정의된 위험의 종류 및 위험 행동
(Wong, et al., 2019, p. S243)

위험 행동	위험의 종류		
	부상	PPE 오염	주변 환경 오염
균형을 잡기 위해 기구를 향해 팔 뻗기	X		
일회용 신발 커버 제거 중 앉기		X	X
과제 수행 중 혹은 이동 중 보조장치 이동시키기	X		X
신발 커버 제거 중에 본인 앞으로 다리 꼬기		X	
신발 커버 제거 후 화학 매트를 밟지 않기		X	
일어설 때 어려움을 겪거나 불안정한 자세 취하기	X		
일어서기 위해 손을 사용하거나 두 손으로 보조장치 잡기			X
두 손으로 제거된 일회용 신발 커버를 만지기		X	
쓰레기통에 폐기물을 던지거나 손 뻗기	X		X
폐기물을 버릴 때 쓰레기통의 뚜껑을 놓치기			X
주변 환경에 부딪히기	X		X

3.2 탈의과정 안전화를 위한 탈의 공간 설계전략 수립

탈의 공간의 물리적 환경 디자인을 통해 의료종사자의 안전을 높이기 위한 연구로 PPE 탈의 과정에서 정의된 위험 행동을 유발하는 물리적 환경과 의료종사자의 상호작용의 관찰 분석, 문헌검토, 인터뷰, 레이아웃 분석 등의 방법을 진행하였고, 그 결과 위험 행동을 예방할 수 있는 5가지의 핵심 설계전략을 수립하였다(DuBose, et al., 2018).

1) 의료종사자와 훈련된 관찰자(Trained Observer, TO)

사이의 의사소통을 원활히 할 것

PPE 탈의 과정에서 훈련된 관찰자(TO)는 의료종사자의 PPE 탈의 과정을 모니터링하고 가이드해주는 중요한 역할을 수행한다. 이에 PPE 과정에서 의료종사자와 TO 사이의 명확한 의사소통은 의료종사자의 감염을 줄이기 위한 중요한 요소이다. PPE 탈의공간은 의료종사자와 TO가 서로 볼 수 있고, 서로의 주의를 쉽게 끌 수 있으며, 의료종사자가 PPE를 입은 상태에서도 복잡한 의사소통이 가능하도록 설계해야 한다. 의사소통을 원활하게 하기 위해 의료종사자의 전신이 보이는 창과 헤드셋 및 인터콤을 사용하며, 오디오시스템이 작동하지 않을 경우를 대비해 화이트보드 등을 구비 및 설치하는 것이 좋다.

2) PPE 탈의 순서를 정형화할 것

PPE 탈의 순서는 몇 시간의 진료 후 바쁘고 피로한 의료종사자에게 고도의 집중력을 요구하는 작업으로, 그 과정에서 실수가 발생할 위험이 높다(Casanova, et al., 2008; Casanova, et al., 2016; Tomas, et al., 2015). 이에 (TO의 도움이 없더라도) 의료종사자가 PPE 탈의 순서를 실수하지 않고 직관적으로 따를 수 있도록 탈의공간을 디자인하는 것이 필요하다. 이를 위해, PPE

착의와 탈의를 위한 공간을 따로 두고, 청결에서 오염으로 일방적으로만 진행할 수 있도록 디자인해야 한다. 특히 청결구역과 오염구역을 색깔 등을 사용해 시각적으로 구분하고, 사용 장비들에 라벨을 부착하거나, TO가 의료종사자를 확인할 수 있는 시야 내에 탈의 지침 체크리스트를 붙이는 것이 좋다.

3) PPE 탈의 시 의료종사자가 균형을 잘 잡을 수 있도록 디자인할 것

탈의 과정 중 의료종사자가 신발 커버를 제거할 때 가장 균형을 잃기 쉽다는 보고가 있었다. 이는 의료종사자의 부상, PPE 및 주변환경의 감염으로 이를 수 있는 위험이 있는데, 이러한 위험을 예방하고 의료종사자가 균형을 잘 잡을 수 있도록 돕는 발판, 스텐, 손잡이 등을 설치해야 한다. 이때 의자를 사용하면 의료종사자에게 쓸 수 있는 공간을 제공하지만, 신발 커버를 제거하기 어려울 뿐 아니라 더 많은 면적을 세척해야 하고 앉아서 작업할 때 접촉으로 인한 오염 위험이 발생하기에 의자보다는 고정된 손잡이 등을 설치하는 것을 추천하는 바이다. 특히 손잡이의 위치는 의료종사자의 위험 행동을 고려한 적절한 곳에, TO와 의료종사자가 서로를 볼 수 있는 방향으로 설치해야 한다.

4) 가장 안전한 선택을 할 수 있도록 디자인으로 유도할 것

다양한 설계전략을 통해 의료종사자가 안전하게 행동하도록 유도할 수 있다. 탈의 공간을 적절한 크기로 설계하여 필요한 장비들에 의료종사자의 손이 닿도록 하되 의료종사자의 행동을 제한하지는 않도록 한다. 의료종사자는 탈의과정 중 대부분의 시간 동안 서 있어야 하므로 벽면 공간을 세심히 설계하는 것이 필요하다.

5) 상황 주의력을 높일 것

PPE 탈의 및 탈의 준비 과정에서 의료종사자와 TO에게 높은 주의력과 사전지식, 그리고 상황에 대한 인지가 요구된다. 먼저, 의료종사자는 각 장비 위치가 어디인지, 재료들은 충분한지 인지하고 있어야 하는데, 이러한 장비, 재료, 자신의 상태, TO의 상태, 주변 상황에 대해 인지할 수 있도록 의료종사자의 탈의가 이루어지는 장소에서 의료종사자가 시각적으로 이들을 쉽게 접근할 수 있도록 하는 것이 필요하다. 특히 의료종사자가 자신의 전신을 거울로 확인할 수 있는 전신거울과 타이머 설치의 의료종사자와 TO 모두의 상황인지를 높이는 데 도움이 된다.

4. 정의된 설계전략 적용 및 평가(연구 2)

후속 연구에서는 3장에서 수립된 설계전략의 효과를 평가하기 위한 시뮬레이션을 진행하였다. 먼저, 설계전략을 적용하여 새로운 BCU 내 PPE 탈의공간 레이아웃을 제안하였는데, 다음과 같은 고려사항들이 반영되었다. 우선 의료종사자와 TO 간의 의사소통 촉진과 탈의 순서를 정형화하기 위해 (전략 1, 2) 탈의 공간과 평행하게 두 개의 창문을 설치하여 TO가 의료종사자의 탈의과정 전체를 관찰할 수 있도록 하였다. 또한 탈의 순서를 정형화하고 안전한 선택을 유도하며 상황 주의력을 촉진하기

위해 (전략 2, 4, 5) 의료종사자가 서 있을 수 있는 위치를 제한하고 위험 수준에 따라 적색(오염), 황색(오염 가능성), 녹색(청결) 세 가지로 구역을 구분하고, 탈의 공간은 환자 병실에서 시작하여 오염 구역에서 청결한 구역으로 한 방향으로만 이동하도록 명시하였다. 또한, 같은 전략을 위해(전략 2, 4, 5) 쓰레기통이나 화학매트 등 중요한 물품의 위치와 탈의 시 각 단계 의료종사자의 위치와 향해야 할 방향 또한 바닥에 표시하였다. 특히 쓰레기통 및 균형 보조장치는 화학매트의 반대편에 위치하도록 하여 한 손으로 지지대를 잡고 다른 한 손으로 신발 커버를 제거할 수 있도록 하였는데, 이는 주변 환경 오염 또한 방지하기 위함이다. 의료종사자의 균형 보조 및 안전한 선택을 유도하기 위하여 (전략 3, 4) 탈의 중 의료종사자가 서 있어야 할 위치를 나타내는 탈의지점을 표시하여 손이 닿는 위치에 균형 보조장치를 설치하고, 안전한 선택을 유도하기 위해 (전략 4) 모든 물품(균형 보조를 위한 수평 지지대와 주 손세정제 및 보조 손세정제, 그리고 세척 티슈)이 의료종사자의 손이 닿을 수 있도록 탈의 공간의 크기 및 위치를 지정하였다. 마지막으로, 상황 주의력 촉진을 위해 (전략 5) 자기 모니터링 및 점검을 위한 의료종사자 바로 앞에 거울을 설치하였다. 이는 특히 신발 커버를 제거하는 동안 올바른 자세를 취하며 자기 모습을 점검할 수 있게 하기 위함이다. 또한, 물품의 위치가 계속해서 변하는 것을 막음으로써 의료종사자의 인지적 부담을 줄였다(Wong, et al., 2019). 이러한 고려사항이 적용된 새로운 BCU 탈의공간의 모습은 [그림 1]에서 볼 수 있다.



[그림 1] 핵심 설계전략이 적용된 새로운 BCU 탈의공간 디자인과 의료종사자의 PPE 탈의과정 시뮬레이션 과정

이렇게 새롭게 제안된 레이아웃은 목업으로 제작되어 실제 의료종사자의 탈의과정 시뮬레이션을 수행하였고, 그 과정을 현재 의료시설에서 설치되어 있는 BCU에서의 탈의과정과 비교 분석하였다. 시뮬레이션 분석 결과, 새롭게 제안된 레이아웃에서 의료종사자의 육체 및 정신적 피로도가 감소하고 위험행동의 횟수 또한 유의미하게 감소한다는 것을 확인하였고, 어떤 위험행동은 완전히 사라지는 것을 확인하였다(Wong, et al., 2019). 예를 들어, 이전 레이아웃에서 다양한 횟수로 보고된 일회용 신발 커버 제거 중 앉기(3회), 과제 수행 중 혹은 이동 중 보조장치 이동시키기(6회), 쓰레기통에 폐기물을 던지거나 손뻐기(21회), 폐기물을 버릴 때 쓰레기통의 뚜껑을 놓치기(5회), 주변 환경에 부딪히기(5회)와 같은 위험행동들이 새로운 레이아웃에서 진행된 시뮬레이션에서는 전혀 발생하지 않았다(Wong, et al., 2019). 이 연구는 인체공학적 원리와 경험적 지침에 기초한 설계와 레이아웃이 PPE 탈의 시 의료종사자의 위험도를 유의미하게 낮춘다는 것을 증명하였다(Wong, et al., 2019).

5. 시뮬레이션과 공동 설계(co-design)를 통한 BCU 설계(연구 3)

이전 연구들을 바탕으로 후속 연구에서는 조지아 주 애틀랜타에 지어질 소아병원의 BCU 디자인을 평가 및 설계하였다(연구 3). 이 소아병동은 중증급성호흡기증후군(SARS), 천연두, 야토병, 페스트, 바이러스성 출혈열(예: 에볼라), 그리고 약물 내성 질병과 같은 고도 감염병에 감염된 소아를 치료할 목적으로 2025년에 개원할 예정이다.

이를 위해 먼저 실 사이즈로 제작된 SCU 병실에서 시뮬레이션 진행 시 의료종사자와 환경과의 상호작용을 관찰하였다. 또한 공동 설계(co-design)세션을 통하여 의료종사자와 사용자의 탈의 공간에 대한 예상 사용 방법을 이해하고 공간이 환자 치료 과정 및 의료종사자의 필요에 적합한지 확인하였다. 의료종사자와 함께 레이아웃을 검토하고, 그들의 프로토콜에 최적화된 탈의 공간 디자인을 위한 해결책을 함께 모색하였다.

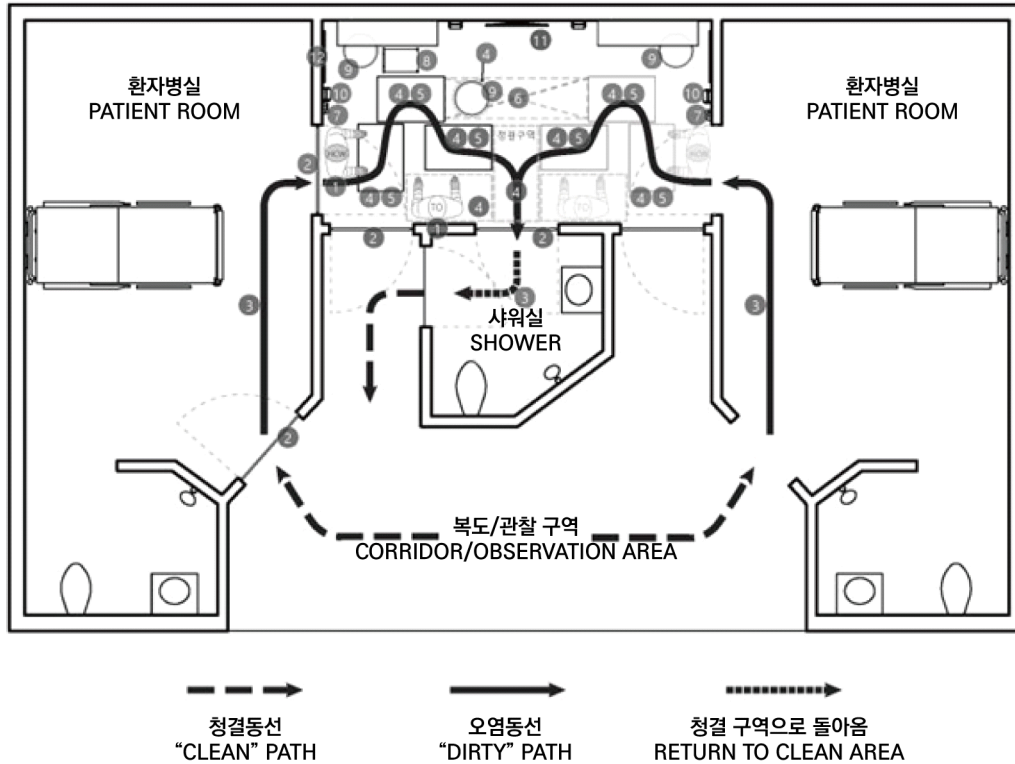
이러한 과정을 통해, 또한 2014년도에 발표된 CDC 가이드라인(Centers for Disease Control and Prevention, 2014) 및 이전 연구에서 수립한 핵심 설계전략을 바탕으로(DuBose, et al., 2018) 새로운 BCU 레이아웃을 설계하였다(그림 2). 새롭게 제안된 유닛은 감염환자들의 치료만을 목적으로 한 환자병실로 활용되거나, 감염환자들의 발생 우려가 없는 경우에는 중환자실로 활용되다가, 필요한 경우 감염환자 치료를 목적으로 하는 BCU로 활용될 수 있다. 특히나 이 BCU 레이아웃은 비말, 공기, 접촉의 경로로 감염되는 감염환자를 치료하는 데 적절하게 활용될 수 있다. 이 레이아웃의 의료시설 내에서의 위치로는 외부에서의 신속하게 이동하면서도 다른 환자 및 의료시설과의 접촉을 줄일 수 있도록 1층의 출입구 근처에 설치하거나 고층에 설치하는 경우 전용 엘리베이터를 확보하고 엘리베이터 출입구 근처에 설치하는 것을 추천하는 바이다.

특히 제안된 유닛은 BCU 내의 탈의공간 뿐만 아니라, 탈의공간과 환자병실 및 복도가 어떻게 연결되었는지 보여주는데, 본 유닛은 두 개의 환자병실과 그 둘을 잇는 중간의 탈의 공간으로 구성하여 탈의 공간과 환자 치료 공간이 분리될 수 있도록 하였다. 또한, 한 방향으로만 동선이 흘러 의료종사자가 청결 구역에서 오염 구역으로만 이동할 수 있도록 하였다. 각 환자 병실의 내부 창문은 병실에 내장된 커뮤니케이션 시스템과 더불어 환자의 상태 관찰, 의료종사자 간 소통, 그리고 격리된 환자와 가족과의 소통을 용이하게 한다. 탈의 공간과 환자 병실 사이를 잇는 창문과 복도로 이어지는 창문은 TO가 의료종사자의 PPE 탈의가 잘 이루어지고 있는지 모니터링할 수 있도록 한다.

또한, 제안된 BCU 유닛은 음압시설로 의료시설 내 다른 공간들로부터 독립적인 공조시스템을 설치해야 한다. 제안된 유닛 내에서의 공기의 흐름은 항상 청결 공간에서 오염 공간으로 향하도록 오염 가능성이 높을수록 더욱 높은 음압정도를 가지도록 디자인되어야 한다. 그 음압 정도가 높아지는 순으로 나열하자면, 복도/관찰구역공간, 샤워실, 탈의공간, 환자병실의 순으로, 공기의 흐름이 복도에서 환자병실로, 탈의공간에서 환자병실로, 샤워실에서 탈의공간으로, 복도에서 샤워실로 통하도록 해야 한다.

본 장에서 제안하는 BCU 설계는 단독 병실 및 두개의 병실에 모두 적용 가능하다. 두 병실을 활용한 유닛이 한 병실에 비해 공간 활용이 더 효율적이고, TO가 왼쪽 병실과 오른쪽 병실에서 나오는 의료종사자를 모두 관찰할 수 있으므로(한 번에 두 병실을 관찰하는 것이 아니라, 시간 차이를 두고 번갈아 하는 것을 권장함) TO의 부담을 줄일 수 있다는 이점이 있다. 이는 코로나바이러스감염증-19의 상황과 같이 의료종사자의 감염 등으로 의료종사자의 수가 부족할 때 특히 유용하게 활용될 수 있다. 제안된 유닛이 단독 병실에 활용되는 경우에는 탈의공간의 면적을 약 80 제곱피트(7.4 제곱미터), 두개의 병실에 적용되는 경우에는 약 130 제곱피트(12 제곱미터)이 되도록 하여 의료종사자가 PPE를 탈의하는 데 있어 너무 좁지도(좁은 경우 접촉에 의한 감염도가 높아짐), 너무 넓지도(넓은 경우 필요한 기기 및 장비에 도달하기 힘들어짐) 않도록 디자인해야 한다.

또한, 제안된 레이아웃의 적절한 활용을 위해서는, 그 사용 인원에 대해서도 제한을 두어야 한다. 탈의 공간 내에는 항상 한 명의 의료종사자와 한 명의 훈련된 관찰자가 위치해야 하고, 이들을 관찰할 수 있는 또 다른 의료종사자가 탈의 공간 외부에 위치하여(외부에 위치한 의료종사자는 PPE를 착용하지 않아도 됨) 위급 상황등과 같이 필요한 경우 이에 대처할 수 있도록 해야 한다. 다시 말해, 두개의 병실을 위해 탈의공간이 활용되는 경우에도, 탈의공간은 한 명의 의료종사자와 이를 관찰하는 관찰자를 위해 활용해야 하는 것이다.



핵심 설계전략

디자인 적용 고려사항	의료종사자와 TO 간의 의사소통 촉진	PPE 탈의 순서 정형화	PPE 탈의 시 의료종사자의 균형 보조	안전한 선택 유도	상황 주의력 촉진
① 의료종사자와 TO 가 탈의공간에 함께 있음	*				*
② 탈의과정 모니터링 및 의사소통을 위한 창문 설치	*				*
③ 의료종사자의 전체 탈의과정에서 다른 색으로 구분된 단방향 흐름 설정		*		*	*
④ 의료종사자의 샤워실(Shower)로의 경로 및 방향, TO 구역 및 장비 배치를 나타내는 바닥 경계 설정		*		*	*
⑤ 의료종사자가 작업 중 밟을 수 있는 화학 매트 배치의 배치를 나타내는 바닥 경계 설정		*		*	
⑥ 다양한 위치에 손이 닿을 수 있도록 유도하는 쓰레기통 위치 지정		*		*	
⑦ 균형 보조기구를 쉽고 빠르게 사용할 수 있도록 함			*	*	
⑧ 고정된 균형 보조기구를 안정 장치(예: 벽에 설치된 손잡이)와 이동식 장치(예: L형 스톨)로 사용함		*	*	*	
⑨ 의료진의 손이 닿는 곳에 위험물질 폐기물 용기를 설치하여 빠르고 쉽게 접근하여 PPE를 안전하게 폐기할 수 있도록 함				*	
⑩ 의료진의 손이 닿는 곳에 손세정제 및 세척 티슈를 설치하여 빠르고 쉽게 접근할 수 있도록 함				*	
⑪ 탈의 지점에서 보이는 위치에 디지털 시계를 설치하여 손세정제 사용 시간을 확인할 수 있도록 함					*
⑫ 탈의 지점에서 보이는 위치에 거울을 설치하여 의료진이 본인의 탈의과정을 확인할 수 있도록 함					*

[그림 2] 가이드라인, 핵심 설계전략, 레이아웃 분석을 바탕으로 제안하는 BCU 디자인과 디자인 고려사항

또한, 의료종사자 및 훈련된 관찰자는 다음과 같은 순서로 탈의공간을 활용하는 것을 추천하는 바이다. 먼저, 훈련된 관찰자는 다음 의료종사자를 위해 탈의공간을 소독하고 관련 장비를 준비하면, 의료종사자가 탈의공간으로 입장한 후, 의료종사자와 훈련된 관찰자는 탈의과정을 시행하기 전에 따라야 하는 프로토콜에 대해 브리핑한다. 감염병 종류에 따라 활용하는 PPE 종류는 다를 수 있지만, 의료종사자는 지정된 장소에서 가장 오염도의 위험이 높은 순으로 PPE를 탈의한다. PPE 탈의 완료 후 의료종사자는 샤워실로 이동하여 샤워를 시행하고, 훈련된 관찰자는 다음 의료종사자를 위해 탈의공간을 소독 및 준비한다. 훈련된 관찰자가 다음 의료종사자를 위해 탈의공간을 준비할 수 있도록 두 의료종사자의 탈의공간 활용 사이에 충분한 시간을 할애하는 것이 필요하다.

제한된 탈의공간에는 다음과 같은 주요기기 및 장비를 필요로 한다. 먼저, 의료종사자 및 훈련된 관찰자 각자가 활용할 수 있는 전용 손소독제가 설치되어야 하고(의료종사자 및 관찰자가 같은 손소독제를 활용하지 않도록 해야 함), 의료종사자가 PPE 탈의 시 서있을 수 있는 화학매트와 서 있을 때 균형을 잡도록 도와주는 보조기구를 설치해야 한다. 또한, 의료종사자가 PPE 탈의 시 자신의 모습을 확인할 수 있는 거울과, 탈의 순서를 명시해놓은 체크리스트, 손 세정 시간 등을 확인할 수 있는 시계, 벽에 설치해놓은 장갑 디스펜서가 필요하다. 폐기물을 버릴 수 있는 쓰레기통과 전동식호흡장치, 배터리 등과 같이 다시 활용하는 장비를 활용하는 경우 이를 수집하기 위한 재활용통이 필요하다. 마지막으로 탈의공간을 떠나지 않고도 탈의과정 및 소독을 마칠 수 있도록 여분의 PPE, 손소독제, 쓰레기봉투, 물티슈 등을 보관할 수 있는 스토리지가 필요하다.

6. 결론

에볼라 및 COVID-19등의 고위험 바이러스 감염병은 많은 환자들을 위험에 빠트릴 뿐만 아니라 이를 치료하는 의료종사자 또한 위험에 처하게 한다. 의료종사자의 감염은 2차 감염으로 이루어질 수 있다는 점과 기존 환자의 치료에 차질이 생길 수 있다는 점에서 그 위험성이 대두되는데, PPE 탈의과정은 감염 환자들을 치료하는 의료종사자를 위험에 빠뜨리는 큰 요소이다.

의료시설의 물리적 환경은 추가적인 조치없이 스스로 감염원을 없앨 수는 없지만, 의료종사자 및 다른 사용자들의 행동을 유도하여 위험행동을 줄이거나 없애는 데 기여할 수 있다. 본 논문에서 소개된 연구들은 PPE 탈의공간 디자인에 있어 효과적인 설계전략을 주의 깊게 적용하면 의료종사자의 위험 행동을 줄이거나 없앨 수 있고, 그들의 정신적, 육체적 피로도 또한 줄일 수 있음을 보고한다. 이러한 결과는 환자진료 및 치료를 위해 PPE가 필요한 BCU, 음압실, 격리실 등의 환자치료공간의 디자인에 있어 본 논문에서 제안한 설계전략의 적용이 필요함을 강조한다.

본 논문에서 소개된 설계전략 및 BCU 디자인 사례의 적용에 있어서 주의할 점은, 실제 디자인 대상의 의료시설에서 활용하

는 환자진료 및 PPE 착탈의 과정 등의 특정 프로토콜에 적합하게 적용되어야 한다는 점이다. 물리적 환경과 프로토콜이 함께 디자인되지 않고, 프로토콜을 지원하지 않을 경우에는 물리적 환경의 역할을 기대하기 힘들다. 이에 디자인 대상의 의료시설의 환자진료 시스템 및 프로토콜의 이해를 기반으로 적용하는 것이 필요하다.

마지막으로 본 논문에서 소개된 설계전략 및 디자인 사례의 장점은 그중 많은 부분이 저비용으로 단기간에 적용가능하다는 점이다. 새로운 환자병실을 디자인할 때 뿐만 아니라, 현재 활용하는 감염환자 치료실에 신속하고 용이하게 적용하여 의료종사자의 안전을 높일 수 있다. 본 논문은 BCU환경을 중심으로 이루어진 연구로, 본 연구의 결론은 감염환자를 치료하는 다양한 의료시설에 적용 가능하지만, 의료시설뿐만 아니라, 공항 및 검역시설, 기존 다른 시설을 의료시설로 전환하거나 하는 등 다양한 시설에서 활용할 수 있도록 그 적용성을 높이는 연구가 추후 이루어지는 것이 필요하다. 이를 통해 의료종사자뿐만 아니라 고위험 감염병에 대응하는 다양한 종사자들의 안전을 높일 수 있기를 기대하는 바이다.

사사: 본 연구는 미국 질병관리본부와 감염 예방 프로그램(Prevention Epicenters Program) (grant no. U54CK000164), 에모리 대학교, 애틀랜타 아동 의료센터의 지원을 받아 진행되었음. 에모리 대학병원의 연구 참여는 미국 국립보건원의 국립중개연구진흥원(National Center for Advancing Transitional Science)의 지원을 받음. 저자 일동은 Jennifer Dubose, Dr. Craig Zimring, Maria F. Wong, Benton Humphreys 및 조지아 공과대학교의 SimTigrate Design Lab 연구진에게 감사를 포함. 또한 연구에 참여한 병원 및 의료종사자, 사무직원, 애틀랜타 컨소시엄 병원의 감염 방지 위원회(Prevention Epicenter)에 감사를 표하는 바임.

참고문헌

- 전익진, & 채혜선., 2020, 명지병원 간호사 2명 확진...“방호복 착탈 과정에서 감염 의심”, <https://news.joins.com/article/23763183>, 중앙일보, 2020.06.20.
- Baloh, J., Reisinger, H. S., Dukes, K., da Silva, J. P., Salehi, H. P., Ward, M., . . . Herwaldt, L., 2019, “Healthcare workers’ strategies for doffing personal protective equipment”, *Clinical Infectious Diseases*, 69(Supplement_3), S192-S198.
- Beam, E. L., Gibbs, S. G., Boulter, K. C., Beckerdite, M. E., & Smith, P. W., 2011, “A method for evaluating health care workers’ personal protective equipment technique”, *American journal of infection control*, 39(5), pp. 415-420.
- Casanova, L., Alfano-Sobsey, E., Rutala, W. A., Weber, D. J., & Sobsey, M., 2008, “Virus transfer from personal protective equipment to healthcare employees’ skin and clothing”, *Emerging infectious diseases*, 14(8), pp. 1291.

- Casanova, L. M., Erukunuakpor, K., Kraft, C. S., Mumma, J. M., Durso, F. T., Ferguson, A. N., ... & Jacob, J. T., 2018, "Assessing viral transfer during doffing of Ebola-level personal protective equipment in a biocontainment unit", *Clinical Infectious Diseases*, 66(6), pp. 945-949.
- Casanova, L. M., Teal, L. J., Sickbert-Bennett, E. E., Anderson, D. J., Sexton, D. J., Rutala, W. A., & Weber, D. J., 2016, "Assessment of Self-Contamination During Removal of Personal Protective Equipment for Ebola Patient Care", *Infection Control And Hospital Epidemiology*, 37(10), pp. 1156-1161. doi:10.1017/ice.2016.169
- Centers for Disease Control and Prevention., 2014, "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. <https://www.cdc.gov/vhf/ebola/healthcare-us/ppe/guidance.html>, 2019.12.12.
- Centers for Disease Control and Prevention., 2020a, "How COVID-19 Spreads", <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/how-covid-spreads.html>, 2020.5.20.
- Centers for Disease Control and Prevention., 2020b, "What healthcare personnel should know about caring for patients with confirmed or possible coronavirus disease 2019 (COVID-19)", <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/caring-for-patients-H.pdf>, 2020.4.18
- Doll, M., Feldman, M., Hartigan, S., Sanogo, K., Stevens, M., McReynolds, M., . . . Bearman, G., 2017, "Acceptability and Necessity of Training for Optimal Personal Protective Equipment Use", *Infect Control Hosp Epidemiol*, 38(2), 226-229. doi:10.1017/ice.2016.252
- DuBose, J. R., Matić, Z., Sala, M. F. W., Mumma, J. M., Kraft, C. S., Casanova, L. M., . . . Jacob, J. T., 2018, "Design Strategies to Improve Healthcare Worker Safety in Biocontainment Units: Learning from Ebola Preparedness", *Infection Control & Hospital Epidemiology*, pp. 1-7.
- Dubost, C., Pasquier, P., Kearns, K., Ficko, C., Rapp, C., Wolff, M., . . . Merat, S., 2015, "Preparation of an intensive care unit in France for the reception of a confirmed case of Ebola virus infection", *Anaesth Crit Care Pain Med*, 34(6), pp. 349-355. doi:10.1016/j.accpm.2015.10.002
- Fischer, W. A., 2nd, Weber, D. J., & Wohl, D. A., 2015, "Personal Protective Equipment: Protecting Health Care Providers in an Ebola Outbreak", *Clinical Therapeutics*, 37(11), pp. 2402-2410. doi:10.1016/j.clinthera.2015.07.007
- Hallihan, G., Baers, J., Wiley, K., Davies, J., Kaufman, J., Conley, J., & Caird, J., 2015a, "Human factors evaluation of simulated Ebola virus disease patient scenarios: System factors associated with donning and doffing during triage, treatment and transport", Alberta Health Services, University of Calgary, 21.
- Hallihan, G., Baers, J., Wiley, K., Davies, J., Kaufman, J., Conly, J., & Caird, J., 2015b, "Human Factors Evaluation to Identify Systems Factors to Improve Safety During Donning and Doffing Personal Protective Equipment (PPE) in Ebola Virus Disease Management Scenarios", Paper presented at the Open Forum Infectious Diseases.
- Herlihey, T. A., Gelmi, S., Cafazzo, J. A., & Hall, T. N. T., 2017, "The Impact of Environmental Design on Doffing Personal Protective Equipment in a Healthcare Environment: A Formative Human Factors Trial", *Infect Control Hosp Epidemiol*, pp. 1-6. doi:10.1017/ice.2017.68
- Kaiser Health News, T. G., 2020, "Lost On The Frontline", <https://khn.org/news/lost-on-the-frontline-health-care-worker-death-toll-covid19-coronavirus/>, 2020.6.23.
- Kang, J., O'Donnell, J. M., Colaianne, B., Bircher, N., Ren, D., & Smith, K. J., 2017, "Use of personal protective equipment among health care personnel: Results of clinical observations and simulations", *Am J Infect Control*, 45(1), pp. 17-23. doi:10.1016/j.ajic.2016.08.011
- Kwon, J. H., Burnham, C.-A. D., Reske, K. A., Liang, S. Y., Hink, T., Wallace, M. A., . . . Fraser, V. J., 2017, "Assessment of healthcare worker protocol deviations and self-contamination during personal protective equipment donning and doffing", *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 38(9), pp. 1077-1083.
- Matić, Z., Humphreys, B., & DuBose, J., 2020, "Design Strategies for Biocontainment Units: Creating Safer Environments", White Paper.
- Remuzzi, A., & Remuzzi, G., 2020, "COVID-19 and Italy: what next?" *The Lancet*.
- Smith, P. W., Anderson, A. O., Christopher, G. W., Cieslak, T. J., Devreede, G. J., Fosdick, G. A., . . . Warfield, K. L., 2006, "Designing a biocontainment unit to care for patients with serious communicable diseases: a consensus statement", *Biosecurity and Bioterrorism*, 4(4), pp. 351-365. doi:10.1089/bsp.2006.4.351
- The Lancet, 2020, "COVID-19: protecting health-care workers", *Lancet* (London, England), 395(10228), 922.
- Tomas, M. E., Cadnum, J. L., Mana, T. S., Jencson, A. L., & Donskey, C. J., 2016, "Seamless Suits: Reducing Personnel Contamination Through Improved Personal Protective Equipment Design", *Infect Control Hosp Epidemiol*, 37(6), pp. 742-744. doi:10.1017/ice.2016.79
- Tomas, M. E., Kundrapu, S., Thota, P., Sunkesula, V. C., Cadnum, J. L., Mana, T. S., . . . Donskey, C. J., 2015, "Contamination of Health Care Personnel During Removal of Personal Protective Equipment", *JAMA Intern Med*, 175(12), pp. 1904-1910. doi:10.1001/jamainternmed.2015.4535
- U.S. Department of Health and Human Services., 2018, "HPP Funds Regional Treatment Network for Ebola and Other Special Pathogens"
- Wong, M. F., Matić, Z., Campiglia, G. C., Zimring, C. M., Mumma, J. M., Kraft, C. S., . . . & Dubose, J. R., 2019, "Design Strategies for Biocontainment Units to Reduce Risk During Doffing of High-level Personal Protective Equipment", *Clinical Infectious Diseases*, 69(Supplement_3), S241-S247. doi:10.1093/cid/ciz617
- World Health Organization., 2018, "Ebola virus disease", <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ebola-virus-disease>, 2020.2.23.
- Zimring, C. M., Matić, Z., Sala, M. F. W., Mumma, J. M., Kraft, C. S., Casanova, L. M., . . . Dubose, J. R., 2018, "Making the invisible visible: Why does design matter for safe doffing of personal protection equipment?", *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 39(11), pp. 1375-1377.

접수 : 2020년 07월 13일
1차 심사완료 : 2020년 07월 31일
게재확정일자 : 2020년 08월 21일
3인 익명 심사 필