

안전한 환경을 제공하기 위한 바이오 봉쇄병실 설계 전략

Design Strategies for Biocontainment Units: Creating Safer Environments

마티크 조라나 Matić, Zorana (조지아 공과대학교)
 험프리스 벤턴 Humphreys, Benton (조지아 공과대학교)
 오예인 Oh, Yeinn (조지아 공과대학교)
 임리사 Lim, Lisa (텍사스 공과대학교)
 드보스 제니퍼 DuBose, Jennifer (조지아 공과대학교)

조지아 공과대학교(Georgia Institute of Technology) 의 SimTigrate Design Lab은 지난 몇 년간 의료진의 안전 확보와 환자 경험 증진의 차원에서 격리병실의 한 종류인 바이오 봉쇄병실(Bio-containment Unit, BCU) 디자인에 대한 연구를 진행해왔다. 2014년의 에볼라 사태 이후 고위험 감염병 환자 치료에 대한 연구 필요성에 대응하여 조지아 공과대학교와 에모리 대학교(Emory University), 그리고 조지아 주립대학교(Georgia State University) 가 연합하여 CDC(미국 질병관리본부)에서 지원하는 융합연구 프로젝트 PEACH(Prevention Epicenter of Emory and Atlanta Consortium Hospitals)에 참여하게 되었다. 이 프로젝트에서는 환자 치료 시 환자와 의료진의 안전 증진을 위한 새로운 전략을 세우는 데에 집중하였다. SimTigrate 연구진은 그 중에서도 BCU 안에서 개인보호장비(Personal Protective Equipment, PPE) 탈의 시 물리적 공간환경이 어떠한 방향으로 도움이 되거나 방해가 될 수 있는지에 대한 연구를 진행하였다.

본 논설은 지난 4년간 바이오 봉쇄병실(Bio-containment Unit, BCU) 설계에 대해 연구해온 결과를 요약한 것이다.¹⁾ 본 논설을 통해 디자이너들(건축가와 실내 건축가) 과 시설관리자, 그리고 설계 연구자들에게 보다 안전하고 효율적인 BCU을 디자인하기 위한 전략을 제공하고자 한다. 여기에서 제공되는 설계 전략들이 현재 그리고 미래의 BCU 디자인에 반영되길 적극 권장하는 바이다.

1) 자세한 연구 방법 및 설계 권장 사항에 대해서는, 저희 연구진의 다음의 논문을 참고하시기 바랍니다. DuBose, J. R., Z. Matić, M. F. W. Sala, J. M. Mumma, C. S. Kraft, L. M. Casanova, K. Erukunakpor, F. T. Durso, V. L. Walsh, P. Shah, C. M. Zimring and J. T. Jacob (2018). Design Strategies to Improve Healthcare Worker Safety in Biocontainment Units: Learning from Ebola Preparedness. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 1-7.; Zimring, C. M., Z. Matić, M. F. W. Sala, J. M. Mumma, C. S. Kraft, L. M. Casanova, K. Erukunakpor, F. T. Durso, V. L. Walsh, P. Shah, J. T. Jacob and J. R. DuBose (2018). Making the Invisible Visible: Why Does Design Matter for Safe Doffing of Personal Protection Equipment? *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 39(11): 1375-1377.; Wong, M. F., Z. Matić, G. C. Campiglia, C. M. Zimring, J. M. Mumma, C. S. Kraft, L. M. Casanova, F. T. Durso, V. L. Walsh, P. Y. Shah, A. L. Shane, J. T. Jacob and J. R. DuBose (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.

1. BCU 설계 일반 고려사항

에볼라 바이러스는 직접 접촉이나 감염된 사람의 체액 접촉, 오염된 표면이나 도구(예: 의료장비)를 통한 간접 접촉을 통해 인간 대 인간으로 전염이 이루어진다.²⁾ PPE 탈의는 의료진의 맨 피부에 오염된 장비가 닿지 않도록 조심하며 진행해야하기 때문에 고위험 활동으로 간주된다. 의료진이 장시간의 환자 대면 후 지친 상태에서 이 과정을 진행하는 것은 특히 어려울 수 있으며, 이는 의료진의 실수나 위험 행동, 그리고 고위험 병원체 접촉까지 이어질 수 있다.³⁾



[그림 1] BCU 설계 시 일반적인 고려사항 (Design Strategies for Biocontainment Units: Creating Safer Environments. Matic, Humphreys, & DuBose, 2020, p.2)

일반 설계요건에 따르면 BCU는 일반병동과 인터록 이중문 구조로 분리되어 있어야 하며, 독립된 환풍시스템과 음압 시스템을 갖춰야 하고, 연결부가 없는 세척 가능한 표면으로 이루어져 있고, 외부로 통하는 오토클레이브가 설치되어 있어야 한다.⁴⁾ 2014년 에볼라 사태에 대응하여 CDC에서는 PPE 관련 가이드라인을 재구축하였는데, 이 가이드라인에서는 BCU 디자인의 중요성을 강조하고 있는데, 의료진 본인의 감염과 교차감염 위험을 방지하기 위한 PPE 착용/탈의를 위한 전용 공간에 대한 필요성을 강조하였다.⁵⁾ CDC 가이드라인은 PPE 착용/탈의공간이 환자 치료공간(병실)과 분리되어 있어야 하고, 오염

2) World Health Organization. (2018). Ebola virus disease. Retrieved 03/28/2019, 2019, from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ebola-virus-disease>.

3) 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), 1291.; Tomas, M. E., S. Kundrapu, P. Thota, V. C. Sunkesula, J. L. Cadnum, T. S. Mana, A. Jencson, M. O'Donnell, T. F. Zabarsky, M. T. Hecker, A. J. Ray, B. M. Wilson and C. J. Donskey (2015). Contamination of Health Care Personnel During Removal of Personal Protective Equipment *JAMA Internal Medicine*, 175(12): 1904-1910.; 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 & Hospital Epidemiology*, 37(10), 1156-1161. doi:10.1017/ice.2016.169

4) Smith, P. W., A. O. Anderson, G. W. Christopher, T. J. Cieslak, G. J. Devreede, G. A. Fosdick, C. B. Greiner, J. M. Hauser, S. H. Hinrichs, K. D. Huebner, P. C. Iwen, D. R. Jourdan, M. G. Kortepeter, V. P. Landon, P. A. Lenaghan, R. E. Leopold, L. A. Marklund, J. W. Martin, S. J. Medcalf, R. J. Mussack, R. H. Neal, B. S. Ribner, J. Y. Richmond, C. Rogge, L. A. Daly, G. A. Roselle, M. E. Rupp, A. R. Sambol, J. E. Schaefer, J. Sibley, A. J. Streifel, S. G. Essen and K. L. Warfield (2006). Designing a Biocontainment Unit to Care for Patients with Serious Communicable Diseases: A Consensus Statement. *Biosecurity and Bioterrorism*, 4(4): 351-365.

5) Centers for Disease Control and Prevention. (2014). Guidance on Personal Protective Equipment To Be

구역과 청결구역을 확실히 나누어야 함을 명시하고 있다. 의료진과 장비들은 청결구역에서 오염구역으로의 한 방향으로만 이동하도록 시각적 장치(예: 바닥에 색깔 표시)를 활용하여야 한다. BCU 내의 탈의 공간은 의료진이 자유롭게 움직일 수 있고, 필요한 장비들을 구비할 수 있도록 충분한 공간을 확보하여야 한다. 또한 모든 PPE 착용과 탈의는 훈련된 관찰자 (Trained Observer, TO)가 그 과정을 관찰할 수 있도록 해야 한다.

2. BCU 내 탈의공간 특수 설계 요구사항

SimTigrate 연구진은 그간 여러 연구과제에서 BCU, 특히 탈의공간의 올바른 디자인을 통해 의료진의 감염 위험을 줄일 수 있음을 확인하였다. 의료진의 안전행동을 돕는 탈의공간의 다섯 가지 디자인 수칙을 다음과 같이 소개한다.⁶⁾

- (1) 의료진과 훈련된 관찰자(TO) 간의 의사소통을 증진시킬 것;
- (2) PPE 탈의 순서를 시각화할 것;
- (3) 탈의 시 의료진을 위한 (균형을 잡기 위한) 보조대를 설치할 것;
- (4) 가장 안전한 선택을 할 수 있도록 물리적으로 유도 및 자동화할 것;
- (5) 상황을 인지하기 쉽도록 할 것.

위 전략들을 적용한, 새롭게 설계된 탈의공간에서는 의료진의 육체적, 인지적 부하를 감소시킬 뿐 아니라 위험행동의 빈도까지 감소하는 것을 확인하였다.⁷⁾ 우리의 연구에 따르면 인체공학적 원리와 경험적 가이드라인을 기반으로 한 최적화된 디자인 및 레이아웃이 PPE 탈의 시 의료진 감염 위험을 상당한 수준으로 감소시킨다는 것을 확인하였다.

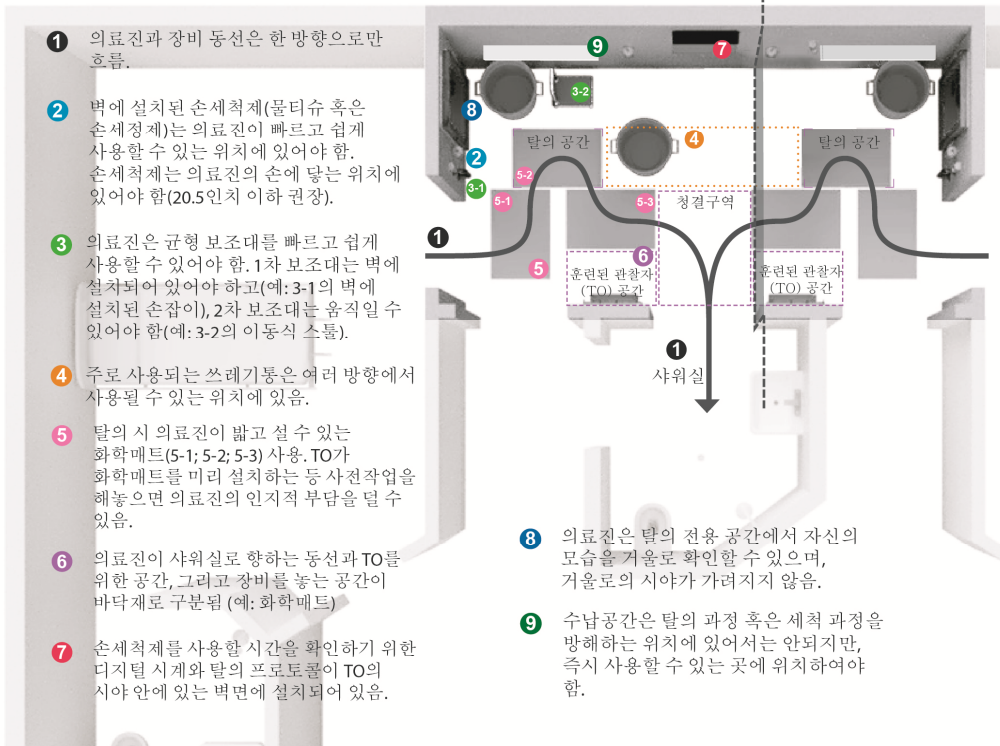
3. 연구 결과 및 설계 고려사항을 반영한 최적화된 BCU 디자인 제안

우리는 다양한 BCU 디자인에 대한 반복된 실험과 평가에 대한 결과로 다음과 같은 최적화된 BCU 디자인을 제안한다. 우리가 제안하는 BCU 유닛은 가운데의 커다란 탈의공간으로 연결된 두 개의 환자 병실로 구성된다. 각 환자병실에는 외부 공간을 향하는 창문, 탈의공간을 향하는 창문, 복도로 통하는 창문이 설치되는데, 이는 내장된 통신 시스템과 더불어, 환자를 관찰하고, 의료진의 대화를 용이하게 하고, 격리된 환자와 가족들의 대화를 가능하게 한다[그림 2].

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). Retrieved from <http://prx.library.gatech.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cin20&AN=103924056&site=ehost-live>

- 6) DuBose, J. R., Z. Matić, M. F. W. Sala, J. M. Mumma, C. S. Kraft, L. M. Casanova, K. Erukunuakpor, F. T. Durso, V. L. Walsh, P. Shah, C. M. Zimring and J. T. Jacob (2018). Design Strategies to Improve Healthcare Worker Safety in Biocontainment Units: Learning from Ebola Preparedness. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 39(8):961-967.; Zimring, C. M., Z. Matić, M. F. W. Sala, J. M. Mumma, C. S. Kraft, L. M. Casanova, K. Erukunuakpor, F. T. Durso, V. L. Walsh, P. Shah, J. T. Jacob and J. R. DuBose (2018). Making the Invisible Visible: Why Does Design Matter for Safe Doffing of Personal Protection Equipment? *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 39(11): 1375-1377.
- 7) Wong, M. F., Z. Matić, G. C. Campiglia, C. M. Zimring, J. M. Mumma, C. S. Kraft, L. M. Casanova, F. T. Durso, V. L. Walsh, P. Y. Shah, A. L. Shane, J. T. Jacob and J. R. DuBose (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.

한 병실을 위한 탈의 공간



[그림 2] BCU 내 필요 장비들이 구분된 탈의 공간 레이아웃

제한된 유닛은 의료진이 청결구역에서 오염구역으로만 일방통행으로 이동하도록 설계되었다. 본 레이아웃은 하나 혹은 두 개의 환자병실에 적용 가능하다. 두 개의 병실에 하나의 탈의공간을 두는 것은 공간을 효율적으로 사용하도록 할 뿐 아니라, TO가 양 병실에서 나오는 의료진의 탈의 과정을 확인할 수 있기에 TO의 작업부담도 줄일 수 있다 (탈의 과정은 동시에 하는 대신 번갈아 가며 두 시간의 간격을 두고 하는 것이 추천된다). 한 병실에 하나의 탈의 공간을 설치할 경우, 본 레이아웃에서 [그림 2]의 점선이 표시된 곳에 벽을 설치하여 활용하는 것을 추천하는 바이다.

본 논설에서는 지난 4년간 SimTigrate 연구진이 연구한 바이오 봉쇄병실(BCU) 관련 연구를 바탕으로 BCU 설계전략, 특히 BCU 내 탈의공간의 설계전략에 대해 논의하였다. 이 논설에서 제공하는 설계전략의 적용을 통해 현재 및 미래의 BCU 환경에서 감염환자를 치료하는 의료진들에게 더욱 안전한 환경을 제공하길 기대하는 바이다. 이 논설은 BCU 디자인에 집중하고 있지만, 이 논설에서 제공한 디자인 수칙은 BCU 환경뿐만 아니라 감염환자들을 치료하는 다른 의료 시설에서 그 의료진을 보호하기 위한 설계 전략으로 활용될 수 있다. 또한, 전염병 대응의 급증을 해결하기 위해 호텔이나 기숙사와 같은 비전통적인 공간을 대체 의료시설로 개조할 때도 적용되어, 의료진을 보호하고 환자들에게 더 나은 서비스를 제공할 수 있길 기대하는 바이다.

감사의 말

본 논설은 미국 질병관리본부(Centers for Disease Control)와 감염 예방 프로그램(Prevention Epicenters Program), 에모리 대학교와 애틀랜타 아동 의료센터(Children's Healthcare of Atlanta)의 지원을 받은 연구(grant no. U54CK000164) 내용을 차용하였다. 저자 일동은 참여 병원과 의료진, 관리 부서, 그리고 에모리 및 애틀랜타 병원 연합의 감염 예방 부서에게 감사를 표한다.

또한, 지난 몇 년간 본 연구에 기여한 다음의 SimTigrate의 연구진에게 감사를 표하는 바이다: Craig M. Zimring; Jennifer R. DuBose; Zorana Matić; Benton Humphreys; Maria Fernanda Wong Sala; Gabrielle C. Campiglia; Alexandra M. Nguyen; Sofia Mendoza Lomeli; Rachel A. Dekom; Nicholas

Pizzolato; Chelsey Kamson; Megan Denham.

특히 SimTigrate Design Lab과 협력한 다음의 외부 PEACH 팀에게 감사의 말을 전하는 바이다: Jesse T. Jacob, MD, MSc, MBA (PI), Lisa M. Casanova, Ph.D., Francis T. Durso, Ph.D., Amanda Grindle, MSN, RN, CNL, Kimberly Erukunuakpor, MPH, Colleen S. Kraft, MD, Jill Morgan, RN, Joel M. Mumma, Ph.D., Puja Shah, MPH, CLSSGB, Andi Shane, MD, MPH, MSc, Victoria L. Walsh, MPH.

본 논설은 SimTigrate Design Lab에서 출간한 영문 논설(Design Strategies for Biocontainment Units: Creating Safer Environments. Matić, Humphreys, & DuBose, 2020) 한글로 번역하고 수정한 것입니다.