

공기살균 성능의 향상을 위한 대형 챔버 내 UV램프 배치에 관한 연구

Study on standardizing UV placement in large chambers to improve air sterilization performance

○김 동 하* 서 장 후**
Kim, Dong-Ha Seo, Janghoo

Abstract

The purpose of this study was to provide guidance on the UV method, which is one of the methods of cleaning the inside of the chamber required in the testing process using a large chamber, in a situation where there are no clear standards. In this way, we hope to investigate the UV irradiation range of two types of UV lamps that are commonly used generally and visualize it to help with the installation of UV lamps in the chamber in the future. Direct placement requires complex calculations based on the superposition principle when multiple lamps are installed, so additional research taking this into account is considered necessary.

키워드 : UV, 대형 챔버, 시각화, 표준화

Keywords : UV, Large chamber, Visualization, Standardization

1. 서론

대형 챔버는 가구, 건축 자재, 마감재 등에서 방출되는 휘발성 유기화합물(VOCs), 포름알데히드 등의 오염물질을 측정하고 공기청정기의 부유바이러스 저감 성능을 시험하는 데 사용되며, 이러한 오염물질이 실내 공기질에 미치는 영향을 평가하는 데 사용된다. 또한, 대형 챔버를 활용한 살균 효율 테스트는 공공장소, 의료시설, 식품가공업체 등에서 사용되는 살균 기술의 효과를 검증하는 데 중요하다. 특히 COVID-19와 같은 팬데믹 등의 전염병 확산 방지와 같은 공중 보건 위기 상황에서 이러한 테스트는 더욱 중요하다. 대형 챔버 시험 전후에는 내부의 오염을 제거하는 방법이 요구되는데 이를 효과적으로 수행할 수 있는 방법 중 하나는 UV 램프의 사용이다. ISO 16000-36의 내용에서 확인할 수 있듯이, 대형 챔버에서 시험을 진행 전과 후로 챔버 내부의 오염을 제거하고 무균상태를 유지할 수 있는 챔버 내부 청정화 작업이 요구된다. 챔버 내부를 청정화

하기 위하여 에탄올 70% 및 UV 램프를 이용 또는 다른 적절한 청정화 방법을 선택하여 챔버 내부를 청정화하고 명시되어 있다. 그러나 UV 램프를 이용한 대형챔버 내부 청정화에 대한 명확한 조사량 기준이나 배치에 대한 가이드는 있지 않은 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 상용적으로 많이 사용되는 UV 램프들에 대해 각 램프가 갖는 유효 살균 범위를 조사하였다. 또한, 조사한 유효 살균 범위를 시각화하여 공기 살균 성능의 향상을 위한 대형 챔버 내 UV 램프 배치 표준화 방법을 검토한다.

2. 대형 챔버 내 UV 램프 배치 표준화

2.1 실험 및 시뮬레이션 해석 방법

DIALux는 일반적으로 조도 시뮬레이션으로 사용되지만, UV 소독 장치의 설계에도 적합한 것으로 알려져 있다(Arines, 2021). 본 연구에서는 이를 UV 시뮬레이션으로 사용하기 위해 UV 조사량 측정실험을 진행하고 시뮬레이션 값과 비교하였다. 본 실험에서는 스테인리스 내부 재질의 항온항습과 충분한 기밀성을 갖춘 8m³ 크기의 챔버에서 수행되었다(박성우 et al., 2022). 설치된 UV 램프는 Philips 사의 TUV 30W/G30T8이며, Lutron 사의 UVC-254SD를 통해 측정하였다. 시뮬레이션은 DIALux를 통해 실험에서

* 국민대학교 대학원 석사과정

** 국민대학교 건축학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architecture, Kookmin University, seojh@kookmin.ac.kr)

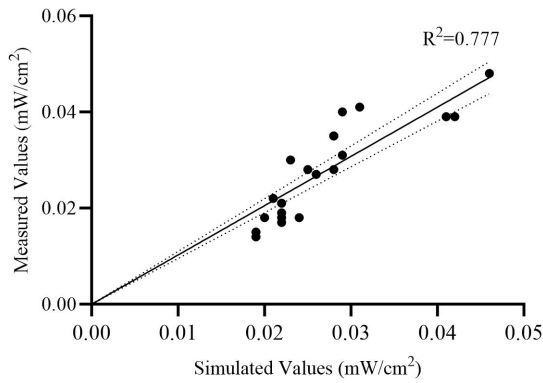


그림1. 실측값과 시뮬레이션 값의 비교

사용된 챔버와 같은 8m³ 크기에 스테인리스 내부 재질을 설정하고, 실험에서 사용된 램프의 IES(Illuminating Engineering Society) 파일을 적용하여 같은 조건에서 수행한 뒤 결과값을 비교하였다. 또한, 시뮬레이션을 통해 얻은 20W, 30W UV 램프의 UV 조사량을 Python을 활용하여 UV 선량으로 변환하고 히트맵 이미지를 생성하였다. UV 선량은 노출 시간(초)과 UV 조사량(mW/cm²)의 곱으로 정의되며, 단위는 mJ/cm² 혹은 mW/cm²이다.

2.2 UV 램프의 선량 및 유효 살균 범위

실험과 시뮬레이션을 통해 얻어진 UV 조사량을 비교했을 때, 두 값의 결정계수(R²)가 0.777의 값이 얻어지므로 실제 측정값과 시뮬레이션 값을 비교할 때 그 값이 타당한 것으로 판단된다.(그림1)

그림2는 UV 램프의 높이별 UV 선량 히트맵을 나타낸다. 공기 살균을 목적으로하는 UV 램프의 유효 살균 범위의 3D 시각화를 진행하기 위해서는 목표 UV 선량의 결정이 요구된다. 따라서, UV 손상에 대해 저항이 높은 *Bacillus Subtilis*를 사멸시키기 위해 요구되는 약 30mJ/cm²을 벤치마크로 사용하였다 (Nicholson et al., 2003). 해당 선량을 갖는 유효 살균 범위를 앞서 작성한 높이별 히트맵을 보간하여 그림3과 같이 3D 시각화 작업을 수행하였다. 대형챔버법 수행에 있어 시험편을 설치하는 위치는 약 1.2-1.5m 높이에서 수행되기 때문에 대형 챔버의 실내 높이가 1.9-2.4m 정도인 것을 고려하면 조사한 20, 30W 램프 모두 해당 조건을 만족하는 것으로 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 대형 챔버 내부 청정화 작업을 위해 설치되는 UV 램프의 사용 효율을 최적화하기 위한 노력으로 상용적으로 사용되는 제원의 UV 램프들의 UV 조사량 및 선량에 대해 조사하고 이를 시각화하였다. 챔버 내부 전체를 청정화하기 위해서는 챔버 공간 전체를 아우르는 UV 조사가 필요하므로 하나 이상의 램프 설치가 요구될 수 있다. 그러한 경우 본 연구에서 사용한 방법 및 범위를 사용하여 대형 챔버 설계를 진행할 수 있겠으나, UV 광선의 중첩원리 등을 고려해야 하므로 이를 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

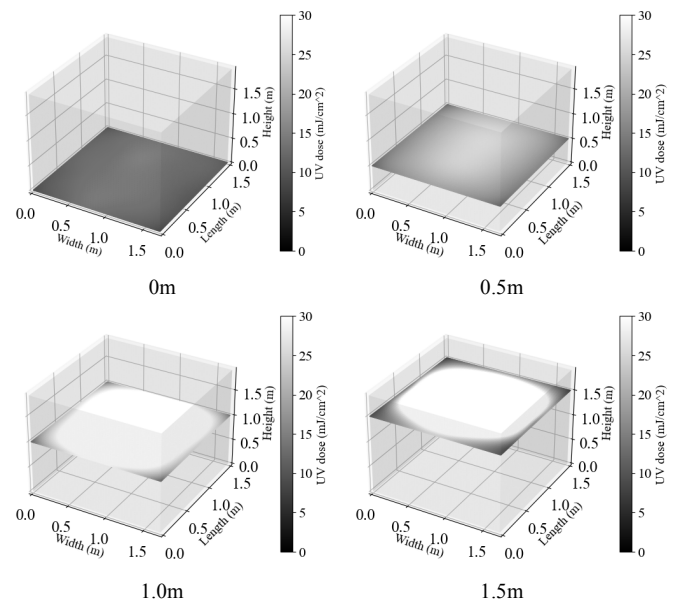


그림2. 30W 램프의 높이별 UV 선량 히트맵

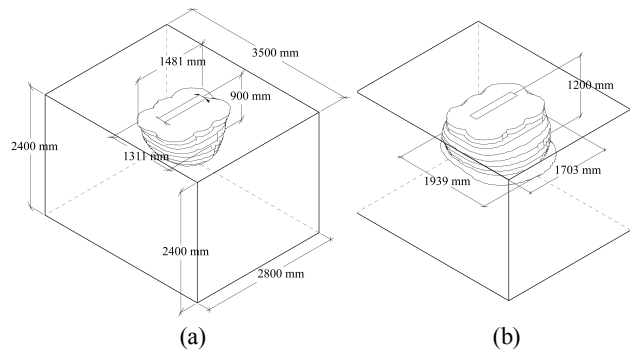


그림3. (a)20W, (b)30W UV 램프의 유효 살균 범위

참고문헌

1. ISO, 16000-36: 2018, Indoor air – Part36: Standard method for assessing the reduction rate of culturable airborne bacteria by air purifiers using a test chamber.
2. Arines, J. (2021). Suitability of DIALux for designing UVC disinfection cabins. *Applied Optics* (2004), 60(7), 1821-1826.
3. 박성우, 박성현, 서장후. BLE Beacon 을 활용한 사용자 위치기반 스마트 공기청정 시스템 성능 검토. 한국건축 친환경설비학회 논문집 16.6 (2022): 569-580.
4. Nicholson, W. L., & Galeano, B. (2003). UV resistance of *Bacillus anthracis* spores revisited: validation of *Bacillus subtilis* spores as UV surrogates for spores of *B. anthracis* Sterne. *Applied and environmental microbiology*, 69(2), 1327-1330.