

스마트팜 시설이용 UV-C LED를 이용한 공기살균시스템에 관한 연구

송제호*, 유태수**

*전북대학교 융합기술공학부(IT응용시스템공학)

**전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:tablecup.wizard@gmail.com

A Study of an Air Purification System using UV-C LED in Smart Farm

Je-Ho Song*, Tas-Soo Yu**

*Dept. of Convergence Technology Engineering(IT Applied System Engineering), Chonbuk National University

**Dept. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University

요약

최근 공기 오염 및 변화되는 기온 문제와 공기 중의 바이러스 확산에 따른 식물관련 병원균에 대한 경각심이 높아지고 있다. 특히 상주하는 중대형 스마트팜시설에서는 공기정화시스템이 필수가 되는 추세이다. 본 논문에서는 스마트팜을 운영하는 시설 내에서 발생하는 부유 바이러스와 부유 세균을 살균하여 정화할 수 있는 공기살균시스템 설계를 제안한다. 제안하는 공기살균시스템은 UV-C LED와 공기 안에 섞인 바이러스를 살균하기위한 시간을 만들기 위해 유동을 지연시키는 내부 구조로 공기 정화와 살균을 한다. 또한, 스마트기기를 이용하여 스마트 디바이스 상에서 시스템의 무선 제어가 가능하다. 실험 결과, 부유 바이러스 저감률이 83.3%, 부유 세균저감률이 84.2%로 나타나 제안한 공기 중 바이러스 살균정화 시스템의 성능을 확인할 수 있었다. 제안 시스템은 중대형 스마트팜시설에서 설치가 용이한 벽면 벽걸이형 및 천장형 시스템으로 외부 공기에 따른 바이러스 확산의 저감 대책으로 활용될 것으로 기대한다.

1. 서론

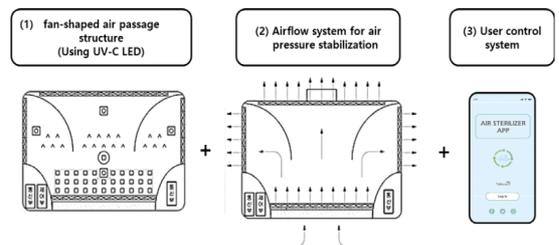
최근 스마트팜을 운영하는 농업에서도 미세먼지에 대한 경각심이 높아짐에 따라 실외뿐만 아니라 밀폐된 실내 공간의 초미세먼지 및 유해공기에 대한 관심도 증가하고 있다.[1,2] 이러한 이유로 사람이 많이 활동하는 사무실이나 건물 내에서 공기청정기를 쉽게 찾아볼 수 있다.[3] 공기청정기는 미세먼지를 저감시키는 효과가 있으나 관리 방법에 따라 오히려 공기 중 바이러스의 확산 원인이 될 수 있다.[4,5]

최근에는 공기정화 기능에 살균 기술을 도입한 다양한 기능성 제품이 연구되고 있다. 대표적인 기술로는 해파(HAPA)나 집진필터를 이용하여 인체에 해로운 유해물질을 제거하거나 세라믹 필터에 광촉매 물질을 도포하고 자외선이나 가시광선을 조사하여 살균 처리하는 방법 등이 쓰이고 있다.[6]

2. 본론

본 논문에서는 기기 내부를 3면 배기 부채꼴 구조로 제작

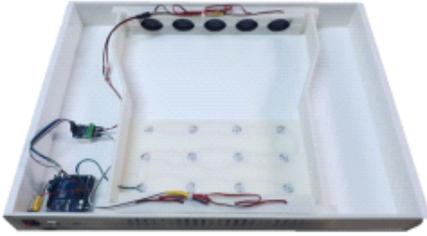
하여 공기청정기의 구조적 문제를 해결하고 UV-C LED를 이용하여 공기정화 및 살균기능이 있는 공기살균시스템을 구현한다. 사용자는 안드로이드 OS 기반의 어플리케이션을 이용하여 시스템의 동작 제어와 함께 실시간으로 공기 흐름의 양을 모니터링하여 [그림 1]처럼 제품의 정비와 수리시기를 확인할 수 있다.



[그림 1] 공기살균시스템 개요도

먼저, [그림 2],[그림 3]과 같이 초기 공기 유입과 살균을 목적으로 장비를 제작한 뒤 구조적인 내용을 파악한 후, 공기의 병목현상을 만들기 위한 방법으로 아래공기흡입, 상부 및 좌우면 공기배출을 위한 부채꼴 형태의 공기 흐름 시스템 내부를 설계한다. 다음으로 내부 UV-C LED의 공기 흐름 시간을

높혀, 공기압의 안정화를 위한 내부 공기흐름 제어 시스템을 설계한다. 마지막으로 스마트 기기를 이용하여 공기살균시스템을 스마트기기와 연동하여 제어가 가능하도록 구현한다.

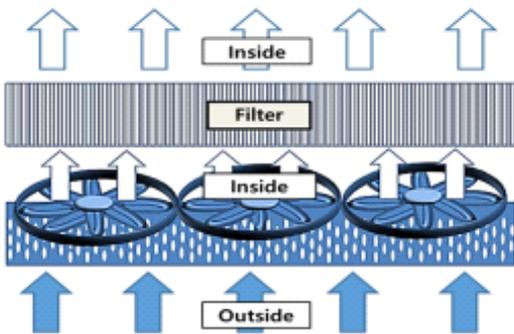


[그림 2] 초기 공기유입 구성방식

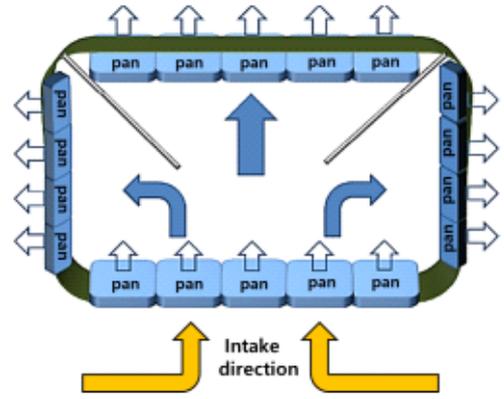


[그림 3] 초기 공기살균장비 테스트

최근 바이러스나 유해 물질의 살균을 위한 방법으로 UV-C LED를 사용한 연구가 많이 진행되고 있다. UV-C 254~278nm 대역대의 파장을 이용하면 미생물의 활성화를 줄이거나 공기층의 소독이 가능하며 내구성이 좋아 장기간 사용이 가능하다.[7] H13등급 HEPA필터는 공기 중에 있는 0.3μm 크기의 미세먼지 입자를 99.75% 이상 제거가 가능하여 미세먼지 여과 기능이 우수하여 공기정화시스템에 많이 사용된다.[7] 제안하는 공기정화시스템은 여과되는 공기의 질을 높이고자 내부 흡기구에 HEPA필터를 장착하여 공기를 일차적으로 정화한 후, 이차적으로 UV-C LED를 이용하여 내부로 순환하는 공기를 살균시킨다. 이러한 과정을 [그림 4]에 도식화하여 나타내었다.

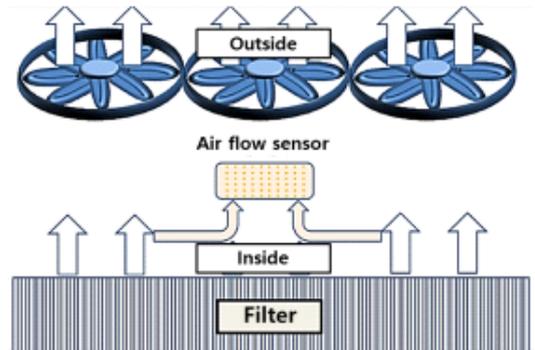


[그림 4] 공기유입 구성방식



[그림 5] 내외부공기 흡배기 방식

[그림 6]에서 스마트팜에 생성되어 흡입된 공기는 그림 4와 같이 내부 흡기구에 HEPA필터를 거치며 2차로 UV-C LED를 통해 살균이 된 후 기기의 내부를 통과하게 된다. 기기 내부의 필터 앞에는 공기 흐름을 제어하기 위해 공기량 측정 센서가 부착되어있다. 공기가 필터를 통과하면 공기량 측정 센서를 이용하여 공기량을 측정한 후 필터의 정화 능력을 확인하여 교체시기를 파악할 수 있다.



[그림 6] 공기유입감지센서 운영구조

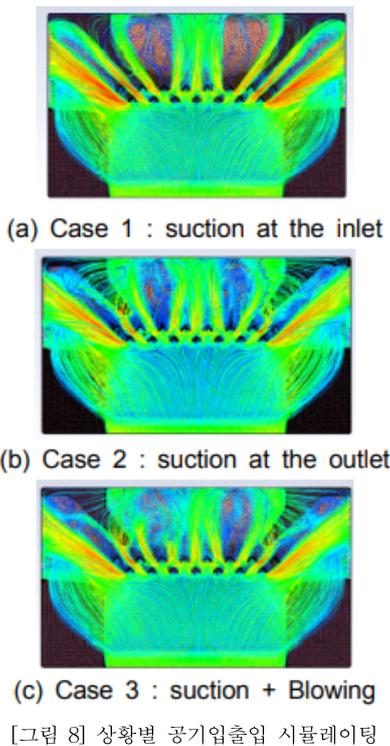
그림 5와 6에 3D로 출력한 공기정화시스템 시제품의 내부 사진과 회로도를 나타내었다. 스마트팜 내부에서 운영되기에, 공기의 흡입과정에서 내부 부채모양구조와 공기살균정화를 위한 필터를 확인할 수 있으며 왼쪽 하단에 공기량 측정 및 기기 제어를 위한 메인보드가 내장되어 있다.



[그림 7] 공기살균시스템 운영 어플리케이션

그림 7은 제작한 공기살균시스템을 운영하고 모니터링하는 어플리케이션을 제작하였으며, 센서의 정보를 수치화로 표현하기 위해 메인운영보드와 C언어를 사용하였다. 메인보드에는 팬 제어를 위한 모터와 미세먼지 측정 센서, 공기량 측정 센서, UV-C LED가 연결되어 있으며, 시스템의 무선 제어를 위하여 Wi-Fi 모듈을 함께 사용한다. 메인운영보드를 제어하기 위해 C언어를 사용하여 펌웨어를 구현하였다.

그림 8의 내용은 실험에 시각화를 위한 시뮬레이팅 사진이며, 그림 9에서 공기 흡배기 실험 결과내용을 확인하며 필터의 지난 유속을 1m/s로 가정했을 때 팬의 위치에 따라 UV-C LED를 지나는 유속의 차이는 거의 없음을 알 수 있었다. 또한 공기의 흡입과 배기가 같이 움직여야 내부 공기의 양이 늘어나며, 병목현상이 생기는 공간에서도 최소한으로 공기를 순환시켜 배출되도록 만들 수 있다. 따라서, 입구에서 흡기를 하는 것에 비해 입·출구에서 배기 및 흡기를 하는 것이 보다 바람직한 유동 패턴을 보임을 확인할 수 있었다.



Measurement part	Case 1	Case 2	Case 3
v_uv_front (ms)	0.70	0.70	0.70
v_uv_middle (ms)	0.72	0.71	0.72
v_uv_back (ms)	0.70	0.68	0.68

[그림 9] 내부공기 유속 데이터

제안하는 공기정화시스템의 부유 바이러스와 부유 세균 저감률 실험 결과를 표 1에 나타내었다.

공기 중 부유 바이러스 (Phi-X174)에 대한 저감률을 확인하고자 온도 23±2, 습도 50±5% R.H의 환경에서 30분간 시험

을 진행하였다. 테스트 결과, 부유 바이러스 저감률이 83.3%로 확인되었다. 공기 중 부유 세균(S.epidermidis) 저감률은 부유 바이러스 저감 실험과 같은 조건인 온도 23±2, 습도 50±5% R.H의 환경에서 1시간 동안 시험을 진행하였다. 테스트 결과, 부유 세균의 저감률은 84.2%로 확인되었다.

[표 1] 부유 바이러스 및 부유 세균 저감 실험 데이터

Result	Proposed system
Airborne virus reduction rate	83.3%
Airborne bacteria reduction rate	84.2%

3. 결론

본 논문에서 제안한 시스템은 스마트팜 내에서 외부로부터 유입되는 공기를 살균하는 목적으로, 공기 배기의 흐름을 삼분할 하여 공기 순환의 활성을 높이고 UV-C LED를 내장하여 공기살균정화가 가능한 시스템이다. 시스템 내부에 메인컨트롤러 와 모터, 센서 부품이 설치되어 있으며 이를 통해 UV-C LED 및 공기의 흐름을 제어한다. 또한, 스마트 기기를 이용하여 사용자가 무선으로 기기를 작동시킬 수 있다.

성능 실험은 부유 바이러스 저감률이 83.3%, 부유 세균 저감률이 84.2%로 나타났으며, 제안된 시스템의 유효성을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안하는 공기살균시스템의 구조는 하부 흡입과 3면배기 부채꼴 형태의 상단 배출방식 구조로 되어 있어 크기와 용도에 구애받지 않아 공간의 활용도를 높이기 위해 벽걸이 형태로 설계하였다.

또한 간단한 내부 구조와 부품을 사용하여 저렴한 금액으로 간편하게 설치할 수 있어 비용을 절감할 수 있는 장점이 있다. 이를 통해 가정 및 사무실뿐만 아니라 사람이 많이 출입하거나 공간이 넓은 건물 로비나 지하철 등에 적용이 가능하다.

향후 연구로는 세균과 바이러스 살균율을 90% 이상으로 높이고 센싱한 정보를 실시간 데이터로 수집·빅데이터화하여 중앙모니터링과 중앙제어시스템 구축에 활용하고자 한다.

참고문헌

- [1] T. Y. Kim, M. R. Moon, and C. H. Park, "Research on Enhancing the Effectiveness of Domestic Particulate Matter R&D Policy: From the Perspective of Evidence-based Policymaking," *Journal of Climate Change Research*, vol. 13, no. 4, pp. 231-242, Apr. 2022. DOI:10.15531/KSCCR.2022.13.2.231.
- [2] T. Y. Kim, "Design of Fine Dust Monitoring System based on the Internet of Things," *Journal of Korea*

- institute of information, electronics, and communication technology, vol.15, no.1, pp. 14-26, Apr. 2021. DOI:10.17661/jkiiect.2022.15.1.14.
- [3] National Air Emission Inventory and Research Center, seasonal management system [Internet]. Available:<https://www.air.go.kr/contents/view.do?contentsId=12&menuId=44>
- [4] S. Y. Han, S. M. Kang, "A study on the photocatalyst filter design using UV-C," Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology, vol. 29, no. 6, pp. 276-282, Dec. 2019. DOI : 10.6111/JKCGCT.2019.29.6.276.
- [5] S. H. Ham, "Prevention of exposure to and spread of COVID-19 using air purifiers: challenges and concerns," Epidemiology and Health, vol. 42, pp. 1-3, Apr. 2020. DOI : 10.4178/epih.e2020027.
- [6] S. B. Yoon, Y. J. Hwang, and S. C. Kim, "Development of air-sterilization purification system of fusion and composite structure using broadband-to-active photocatalyst," Journal of the Korea Convergence Society, vol. 10, no. 4, pp. 147-151, Apr. 2019. DOI: 10.15207/JKCS.2019.10.4.147.
- [7] Y. W. Song, "Evaluation of Particulate Matter Removal Rate according to Filter Type and Thickness of Total Heat Exchanger in Apartment Houses," LHI journal of land, housing, and urban affairs, vol. 11, no. 4, pp. 93-98, Sep.2020, DOI : 10.5804/LHIJ.2020.11.4.93.