

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.2.109>
JIIBC 2022-2-16

스마트 자율주행 공기청정기 시스템 개발

Development of the Smart Autonomous Moving Air Purifier System

임아연*, 신효진*, 정의훈**

Ah-Yeon Lim*, Hyo-Jin Shin*, Eui-Hoon Jeong**

요약 최근 미세먼지가 심각한 사회문제로 대두되며 이에 대한 대책으로 공기청정기가 각광을 받고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 스마트 자율주행 공기청정기 시스템에 관한 연구 개발을 진행하였다. 개발된 스마트 자율주행 공기청정기는 기존 공기청정기의 표준사용면적의 한계를 개선하고 효율적으로 공기 정화 기능을 수행할 수 있다. 또한 스마트 자율주행 공기청정기 사용의 편의성을 위해 모바일 앱(App)과 웹(Web)기반 프로그램을 같이 개발하였다. 앱을 통해 3가지 공기 정화 모드를 간편하게 조작할 수 있고, 웹을 통해 어디서나 공기오염도에 대한 통계 수치를 모니터링할 수 있다. 그리고 시험을 통해 제안된 스마트 자율주행 공기청정기가 기존의 공기청정기보다 더 효율적임을 보였다.

Abstract Recently, since fine dust has become a serious social problem, air purifiers are in the spotlight as a countermeasure against this. Therefore, in this paper, we conducted R&D on the Smart Autonomous Moving Air Purifier System. The developed Smart Autonomous Moving Air Purifier can improve the limitations of the standard used area of existing air purifiers and perform an air purification function efficiently. In addition, we developed App and Web-based programs together for convenient use of Smart Autonomous Moving Air Purifier. Easily operate three air purification modes (Selection mode, Autonomous highest zone mode, Autonomous instant purification mode) through the App and conveniently monitor statistical values (Recent data, Total data, Warning) anywhere through the Web. And, we showed through test that the proposed Smart Autonomous Moving Air Purifier is more efficient than existing air purifiers.

Key Words : Air Purifier, App, Autonomous Moving, Fine dust, Web

*준회원, 한국공학대학교 컴퓨터공학부 학부생
**정회원, 한국공학대학교 컴퓨터공학부 교수
접수일자 2022년 2월 24일, 수정완료 2022년 3월 24일
게재확정일자 2022년 4월 8일

Received: 24 February, 2022 / Revised: 24 March, 2022 /
Accepted: 8 April, 2022

*Corresponding Author: limay9812@gmail.com
Dept. of Computer Engineering, Tech University of Korea,
Korea

I. 서 론

최근 미세먼지가 심각한 사회문제로 대두되면서 국민들의 미세먼지에 대한 의식도 높아지고 있다.^{[1][2]} 실제로 미세먼지는 호흡기계 질환뿐만 아니라, 장기적으로 노출될 경우 만성 폐쇄성 폐 질환과 폐암을 유발한다.^[3] 또한 초미세먼지는 혈액을 순환하며 심혈관계 질환의 위험성을 높인다.^{[3][4]} 최근 연구에 따르면 미세먼지는 코로나 확산에도 영향성이 있는 것으로 보고되고 있다.^[5]

이러한 미세먼지 문제의 대책으로 공기청정기의 중요성이 높아지고 있는 상황이다.^[6] 하지만, 기존 공기청정기의 경우 정해진 위치에 설치되어 운영되므로 공기 오염 요소의 발생 위치와 시간에 대한 고려가 부족하여 공기청정 효율성 측면에서 개선의 여지가 매우 많은 상황이다.^[7]

본 논문에서는 자율주행 동작을 기반으로 공기 오염도 측정 및 공기 정화 기능을 수행할 수 있는 스마트 자율주행 공기청정기를 개발한다.^[8] 이를 통해 공기청정기의 표준사용면적 성능을 개선하고자 한다. 표준사용면적은 0.3 μm 미세먼지의 제거성능을 면적으로 환산하여 실내 오염도를 50% 수준으로 낮출 수 있는 면적을 의미한다.^[7] 개발된 시스템은 청정 대상 공간을 자동으로 인식하고 공간 내부의 구간별 미세먼지 농도를 측정하며 공기청정 알고리즘에 따른 자율주행과 공기청정을 통해 오염된 공기가 공간 전체로 퍼지기 전에 효과적으로 공기정화를 진행한다. 그리고 앱과 웹을 통해 집 안에서는 물론, 외부에서도 공기청정기를 자유롭게 제어하고 집 안의 공기 상태를 확인할 수 있는 서비스를 제공한다.

본 논문의 구성은 2장에서 개발된 공기청정기 시스템의 세부 설계내용에 대해서 설명한다. 3장에서는 실험 결과를 보여주고 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 세부 설계 및 구현

1. 개발 환경

하드웨어 및 소프트웨어 개발 환경은 아래 표1과 표2에 각각 제시하였다. 스마트 자율주행 공기청정기의 자율주행 및 장애물 회피 기능은 LiDAR 센서를 기반으로 OpenSLAM에서 공개된 SLAM의 한 종류인 Gmapping 방식을 활용하였다.^[9] 스마트 자율주행 공기청정기의 앱을 통해 사용자는 원하는 공기 정화 모드를 간편하게 조

작할 수 있고, 웹을 통해 공기 정화 관련 통계 수치에 대한 모니터링이 가능하다.

표 1. 하드웨어 개발 환경

Table 1. Hardware Development Environment

하드웨어 부품			
	Raspberry Pi 4 ^[10]		DYNAMIXEL XL430-W250-T
	OpenCR 1.0 ^[11]		PMS7003 Laser Dust Sensor ^[13]
	LDS-01 ^[12]		DHT11-Temperature and Humidity Sensor ^[14]

표 2. 소프트웨어 개발 환경

Table 2. Software Development Environment

스마트 자율주행 공기청정기	Ubuntu 16.04.7
	ROS Kinetic
데이터베이스	MySQL
앱 프로그램	Android Studio
	XAMPP
웹 프로그램	Amazon EC2 Linux
	Apache Tomcat 9
	Oracle JDK 11.0.1

2. 동작 모드

스마트 자율주행 공기청정기는 총 3가지의 공기 정화 모드(Selection mode, Autonomous highest zone mode, Autonomous instant purification mode)를 제공한다. 아래 표3은 각 모드에서 대한 설명이다.

표 3. 공기 정화 모드별 동작 설명

Table 3. Purification mode and function

정화 모드	동작
Selection mode	사용자의 선택에 따라 희망하는 zone으로 이동하며 공기 정화한다.
Autonomous highest zone mode	모든 zone을 자율주행하며 미세먼지 농도를 측정하여 최고 zone으로 자율주행하여 정화한다.
Autonomous instant purification mode	모든 zone을 자율주행하는 도중에 각 zone에 도착했을 때, 미세먼지 농도 값이 미세먼지 PM ¹⁰ (ug/m ³)을 기준으로 0~30으로 좋음 상태일 때는 0분, 31~80으로 보통 상태일 때는 15분, 81~150으로 나쁨 상태일 때는 30분, 150이상으로 매우 나쁨 상태일 때는 60분 즉시 정화한다.[15]

3. 앱(App)

앱의 첫 화면은 모드 선택화면으로 자율주행 공기청정기의 외관 모습을 보여주는 이미지 뷰와 모드 이름의 버튼 3개, 데이터베이스(MySQL) 연결에 대한 결과를 보여주는 텍스트 뷰로 구성된다.

앱을 통해 사용자는 공기 정화 모드를 선택할 수 있다. 각 버튼을 클릭 시 php와 apache 서버를 통해 MySQL과 연동하여 해당 모드의 값 (Selection mode=1, Autonomous highest zone mode=2, Autonomous instant purification mode=3)을 MySQL에 저장한다. MySQL에 값이 성공적으로 저장되면 텍스트 뷰에 add mode (해당 모드의 값)라는 문구가 뜨고, 실패하면 오류 사항을 표시해 준다.

Selection mode는 예외적으로 모드의 값과 zone의 값이 필요하여 해당 모드 실행 시 zone 선택화면으로 전환된다. zone 선택화면은 공간의 지도 사진을 보여주는 이미지 뷰와 zone 버튼 4개, 데이터베이스 연결에 대한 결과를 보여주는 텍스트 뷰로 구성된다. zone 선택화면에서 각 zone 버튼을 누르면 해당 모드의 값과 zone의 값이 MySQL에 저장된다. MySQL에 값이 성공적으로 저장되면 텍스트 뷰에 add mode (해당 모드의 값) zone (zone의 값)라는 문구가 뜨고, 실패하면 오류 사항을 표시해 준다.



그림 1. 앱
 Fig. 1. App

4. 웹(Web)

웹을 통한 모니터링 화면은 최근 데이터 페이지(RECENT DATA Page)와 총 데이터 페이지(TOTAL DATA Page), 경고 페이지(WARNING Page)로 구성된다.

다.

웹 페이지에서 사용자는 공기청정기가 측정한 미세먼지 농도 데이터를 조회할 수 있다. 데이터는 ROS 통신을 통해 공기청정기에서 원격 PC로 전달된다. 원격 PC는 zone과 미세먼지 농도를 DB에 저장한다. 각 레코드는 ID (기본 키)와 미세먼지 농도를 나타내는 PMSDATA, zone 위치를 나타내는 ZONE, 농도 측정시간을 나타내는 TIME 이라는 4가지 속성을 갖는다.

웹 서버는 DB에 접근하여 query문으로 각 메뉴에 필요한 데이터를 추출한다. 그 후 추출된 데이터는 highchart를 이용하여 그래프로 시각화한다. 최근 데이터 페이지에서는 각 zone의 최근 미세먼지 농도 및 평균 농도를 막대그래프와 표로 나타낸다. 총 데이터 페이지에서는 일주일간 각 zone의 미세먼지 농도를 평균을 내어 짚은 선 그래프로 나타낸다, 경고 페이지에서는 미세먼지 농도가 '매우 나쁨'인 경우에 경고 횟수를 부여하여 각 zone의 경고 횟수를 원그래프로 나타낸다.

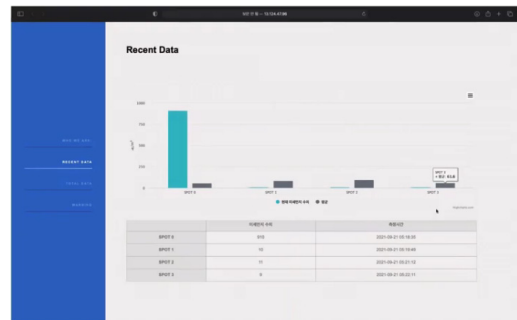


그림 2. 최근 데이터 페이지
 Fig. 2. Recent data on the Web

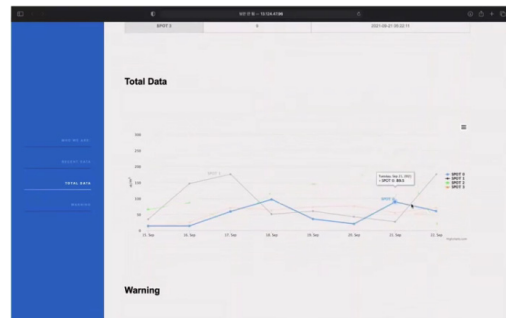


그림 3. 총 데이터 페이지
 Fig. 3. Total data on the Web

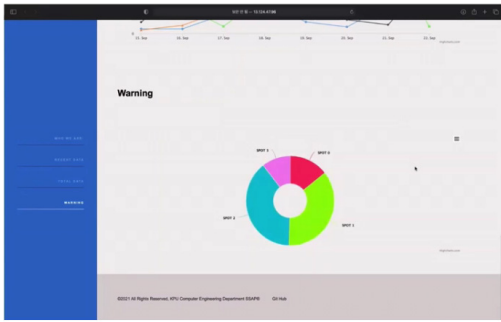


그림 4. 경고 페이지
Fig. 4. Warning on the Web

III. 시험 및 결과

자율주행 공기청정기는 최근 개발이 계속되고 있으나 정화 효율에 대한 객관적인 정보는 부족하다. 따라서 자율주행 공기청정기와 고정형 공기청정기의 성능을 비교하는 시험을 진행하였다.

1. 시험 환경

다음 그림5 는 가로 210cm, 세로 140cm, 높이 35cm 프레임에 투명한 비닐을 씌운 시험 환경을 보여준다.

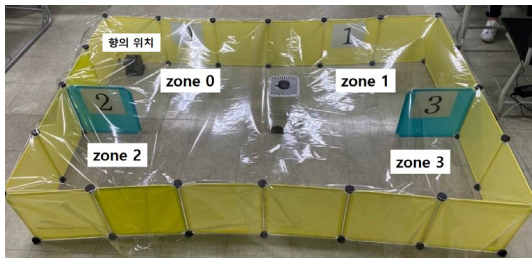


그림 5. 시험 환경
Fig. 5. Test environment

2. 시험 방법

H13 등급 트루 HEPA 필터를 사용하여 정화를 진행한다. 미세먼지 농도는 연간 평균치 15ug/m³, 24시간 평균치 35ug/m³를 초과하지 않는 입자의 크기가 10μm 이하인 먼지인 PM¹⁰(ug/m³)을 기준으로 측정한다.^[16] zone 0 구석에 화분을 설치하고 화분에 향을 세워 흡으로 고정한 뒤 불을 붙여 향에서 나오는 연기로 미세먼지를 유발하도록 하였다.

첫 번째로 기존 실내공기를 측정한다. 기존 실내공기는 향을 피우지 않은 상태에서 미세먼지 센서(PMS7003)를 이용하여 1분간 미세먼지 농도를 측정한다. 두 번째 향을 피우는 중 실내공기 측정은 10분간 향을 피우며 공기를 오염시키는 과정에서 마지막 1분간 미세먼지 농도를 측정한다. 10분 후 화분을 제거하여 향을 끈다. 기존 실내공기에서의 미세먼지 수치와 향을 피우고 난 후의 미세먼지 수치를 비교해보면 향을 피우고 난 후 측정된 미세먼지 수치가 더 높음을 볼 수 있다. 이를 통해 향에서 나온 연기가 미세먼지 수치값을 높이기 위해 적합함을 보인다. 마지막으로 정화 중 실내공기 측정은 10분간 정화를 진행하며 미세먼지 농도를 측정한다.

해당 시험은 고정형 공기청정기와 자율주행 공기청정기 각각 총 2번 진행한다. 고정형의 경우, 중앙에 정지 상태로 정화를 진행하고, 자율주행의 경우에는 Autonomous highest zone mode를 실행시켜 모든 zone을 이동하며 미세먼지 농도를 측정 후 공기 오염도가 가장 높은 zone 0 부근에서 집중 정화되도록 한다.

이 시험을 통해 같은 미세먼지 농도의 환경에서 같은 시간동안 고정형과 자율주행 각각 방법으로 정화해 측정된 미세먼지를 비교하여 고정형 공기청정기의 정화 방법보다 자율주행 공기청정기의 정화 방법이 더 효율적임을 보여준다.

3. 시험 결과

그림 6은 1분간의 기존 실내공기 농도이다. 고정형의 경우, 평균 약 1.7167 ug/m³이다. 자율주행의 경우, 평균 2.1 ug/m³으로 비슷한 조건에서 시험을 진행하였다.

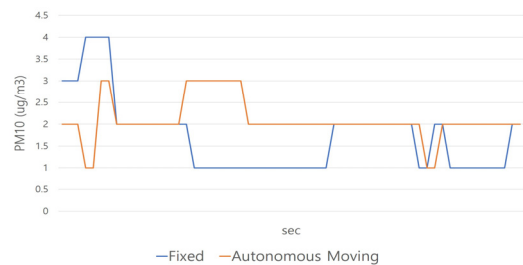


그림 6. 기존 실내공기
Fig. 6. Existing indoor air

그림7은 10분간 향을 피우는 중 마지막 1분을 측정한 데이터로서 공기의 오염상태를 보여준다. 고정형의 경우, 평균 약 790.2346 ug/m³이다. 자율주행의 경우, 평균 약 788.0247 ug/m³으로 유사한 상태이다.

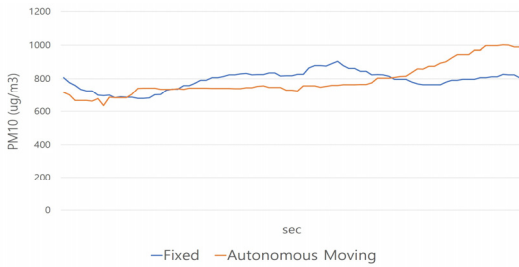


그림 7. 향 피우는 중 실내공기
 Fig. 7. Indoor air during burning incense

그림8은 10분의 정화 시간 동안의 실내공기를 측정할 결과를 보여준다. 정화 과정에서 마지막 1분간 미세먼지 농도의 평균으로 정화 후 실내공기 농도를 계산하였다. 고정형의 경우, 평균 약 64.7 ug/m³이고 자율주행의 경우 8.1 ug/m³으로 자율주행 공기청정기가 더 빠른 속도로 정화되는 것을 확인하였다. 또한 자율주행 공기청정기의 경우, 향을 피운 zone 0 부근에서 미세먼지 농도가 높게 측정된 것을 볼 수 있다.

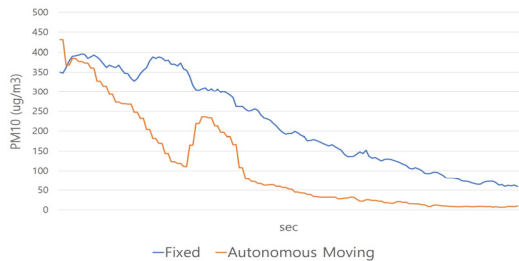


그림 8. 정화 중 실내공기
 Fig. 8. Indoor air during purifying

향을 피우는 중 실내공기의 평균값 대비 10분 정화 이 후 미세먼지가 얼마나 줄어들었는지를 비교하는 정화 효율을 다음 식 1과 같이 계산하였다.

$$E = 100 - (P/I) * 100 \quad (1)$$

- E : 정화 효율
- P : 정화 후 실내공기 농도
- I : 향을 피우는 중 실내공기 평균

계산 결과에 따르면 고정형의 경우 약 91.81%, 자율주행 경우는 약 98.97%로 자율주행 공기청정기의 정화 효율이 우수함을 보여준다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기존 공기청정기의 단점을 보완하는 스마트 자율주행 공기청정기 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 자율주행하며 표준사용면적보다 넓은 공간을 효율적으로 정화할 수 있고 앱과 웹을 통해 편리하게 공기청정 기능을 제어 및 모니터링 하는 것이 가능하다. 또한 공기 정화 실험을 통해 자율주행 공기청정기가 고정형 공기청정기보다 약 7.16%의 공기 정화 효율을 개선하는 것을 보였다. 향후 정화 시간 제어에 따른 정화 효율 개선에 대한 실험이 추가적으로 필요하며 이를 통해 최적의 정화 시간을 도출하여 정화 효율을 더욱 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Jung-woo Nam, Young-hee Kim, "Influences of SNS word-of-mouth information on behavioral intention for air purifier purchase and reword-of-mouth", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 21, No. 11, pp109-124, Nov 2020. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.11.109>
- [2] Kyu-Ho Kim, Jong-Oh Kim, Yong-Hwan Lee, Young-Hyung Kim, "IoT Air Purifier with Humidification Function Capable of Removing PM1.0 Ultra-fine Dust", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 19, No. 6, pp49-55, Jun 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2021.19.6.49>
- [3] Jun-pyo Myong, "Health Effects of Particulate Matter", The Korean Journal of Medicine, Vol. 91, No. 2, pp106-113, Oct 2016. DOI: <https://doi.org/10.3904/kjm.2016.91.2.106>
- [4] Jong-kyu Choi, In-soon Choi, Kwang-keun Cho, Seung-ho Lee, "Harmfulness of Particulate Matter in Disease Progression", Journal of Life Science, Vol. 30, No. 2, pp191-201, Feb 2020. DOI: <https://doi.org/10.5352/JLS.2020.30.2.191>
- [5] M. Travaglio, Y. Yu, R. Popovic, L. Selley, N. Lea, L. M. Martins, "Links between air pollution and COVID-19 in England", Jour. of Environmental Pollution, Vol. 268, Jan 2021. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.11.109>
- [6] Jang-seok Kim, "Emotion Evaluation Analysis on the Design of Air purifier for home", Journal of Korea Design Forum, Vol. 52, pp157-168, Jul 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.21326/ksdt.2016.52.014>
- [7] Korean Consumer Agency, "『Air Purifier』The Results of quality examination", Korean Consumer Agency, Nov 2019.

- [8] Hyo-jin Shin, Ah-yeon Lim, Seong-hee Lee, Ji-hui Yun, "Smart Autonomous Moving Air Purifier", Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference, Vol. 28, No. 2, pp1239-1241, Oct 2021.
DOI: <https://doi.org/10.3745/PKIPS.y2021m11a.1239>
- [9] B. L. E. A. Balasuriya, B.A.H. Chathuranga, B.H.M.D. Jayasundara, N.R.A.C. Napagoda, S.P. Kumarawadu, D.P. Chandima, A.G.B.P. Jayasekara, "Outdoor robot navigation using Gmapping based SLAM algorithm", 2016 Moratuwa Engineering Research Conference, pp403-408, May 2016.
DOI: 10.1109/MERCon.2016.7480175
- [10] Raspberry Pi 4
<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- [11] OpenCR 1.0
<https://emanual.robotis.com/docs/en/parts/controller/opencr10/>
- [12] LDS-01
https://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/appendix_lds_01/
- [13] PMS7003 Laser Dust Sensor Y. Zhou, Digital universal particle concentration sensor:PMS7003 series data manual, 2th ed. China, CN: Plantower, 2017.
- [14] DHT11-Temperature and Humidity Sensor
<https://learn.adafruit.com/dht>
- [15] Forecast grade by fine dust concentration, Ministry of Environment
<http://www.me.go.kr/mamo/web/index.do?menuId=16201>
- [16] PM¹⁰
https://elaw.klri.re.kr/kor_service/lawView.do?hseq=49956&lang=ENG

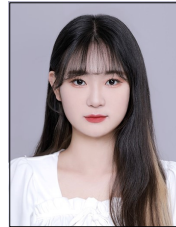
저 자 소 개

임 아 연(준회원)



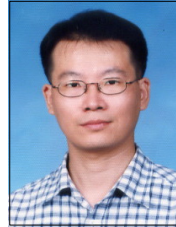
- 한국공학대학교 학부생

신 효 진(준회원)



- 한국공학대학교 학부생

정 의 훈(정회원)



- 경북대학교 컴퓨터공학과 학사
- 한국과학기술원 전산학과 석사
- 한국과학기술원 전산학과 박사
- 한국공학대학교 컴퓨터공학부 교수