Regular paper | Journal of the KIECS. pp. 183-190, vol. 16, no. 1, Feb. 28. 2021, t. 105, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2021.16.1.183

선형엑츄에이터를 이용한 실내 공기질 개선 시스템에 대한 연구

서도원* · 윤근영**

A Study on Indoor Air-quality Improvement System Using Actuator

Do-Won Seo* · Keun-Young Yoon**

요 약

본 논문은 실내 공기질 개선을 위한 스마트 공기청정 시스템 구현 및 구동에 관한 연구이다. 최근 다양한 환경적 요인으로 인해 실내 공기질 오염에 따른 문제가 심각해지고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 실내 공기질 오염의 문제점을 개선하기 위해, IoT 센서를 활용한 스마트 공기청정 시스템을 구현하고자 한다. 특히 공기질 오염도를 실시간으로 측정하고, 오염도에 따라 서로 다른 공기 정화 경로를 가변시켜 줄 수 있는 시스템을 제안하였다. 이를 통해 효율적인 공기질 개선 및 필터의 수명 연장, 시스템 에너지 저감 등을 검토하였다. 또한 실내 공기질 개선 시스템에 대한 기능을 구현하기 위해 주요 부품을 선정하였고, 시제품을 제작하여 동작성을 확인하였다. 최종적으로 선형엑츄에이터를 활용한 실내 공기질 개선 시스템의 구현을 통해, 공기질 개선에 대한 효용성을 검토하였다.

ABSTRACT

This study is a study on the implementation and operation of smart air cleaning system to improve indoor air quality. Recently, the problem of indoor air quality is getting serious due to various environmental factors. In this study, to improve the problems of indoor air quality, we implement an air cleaning system using IoT sensor. In particular, we proposed a system that can measure air pollution in real time and change different air flow paths according to pollution level. Through this, we examined efficient air quality improvement, extension of filter life, and system energy reduction. In addition, the main functions of the indoor air quality improvement system were constructed and prototypes were manufactured to confirm the operability. Finally, the utility of fine dust resolution through the implementation of the indoor air quality improvement system was examined.

키워드

Actuator, Air-quality, Arduino, Dust, IoT sensor, Linear motor, Pollutants
엑츄에이터, 공기질, 아두이노, 먼지, IoT 센서, 선형 모터, 오염물

* 호남대학교 전기공학과(tjehdnjs456@naver.com)
** 교신저자 : 호남대학교 전기공학
· 접 수 일 : 2021. 01. 28
· 수정완료일 : 2021. 02. 07
· 게재확정일 : 2021. 02. 17
· Received : Jan. 28. 2021, Revised : Feb. 07, 2021, Accepted : Feb. 17, 2021
· Corresponding Author : Keun-Young Yoon
Dept. Electrical Engineering, Honam University,
Email : ky.yoon@honam.ac.kr

Ⅰ. 서 론

전 세계적으로 미세먼지는 항상 사회적 문제로 대두되고 있다. 특히 중국 발 미세먼지는 국내의 대기오염에 상당한 비중을 차지하고 있는데, 중국 발 미세먼지에는 중금속이 다량 함유되어있어 인체의 건강에 악영향을 미치게 된다. 일반 먼지와 달리 미세먼지는 인체의 기관에서 걸러지지 않고 체내로 축적이 되고 있으며, 인체에 축적된 중금속으로 인하여 폐암과 여러 가지 기관지 질병을 유발하는 원인이 된다 [1-2]. 특히 초미세먼지의 경우에는 혈관을 통해 전신으로 퍼져서 심혈관질환을 유발하기도 하며, 그 외에 아토피나 알레르기 반응 등 피부 질환까지 유발한다. 이러한 이유로는 초미세먼지가 적혈구 1개가 지나가기 힘들 정도로 작은 모세혈관을 통과할 수 있으며, 혈관으로 투입된 초미세먼지는 혈전과 함께 모세혈관을 막아 혈액에 의해 공급되는 산소와 영양을 체세포, 장기 등에 공급이 되지 않도록 만들기 때문이다. 이로 인해 초미세먼지는 치매를 포함한 뇌질환, 심장질환 등의 가장 큰 원인이 되는 1급 발암물질로 지정이 되어있어, 보건상의 위험성이 존재한다. 더욱이 미세먼지는 건물 외부뿐만 아니라 우리가 생활하는 내부 공간에서도 지속적으로 문제를 유발시키고 있다. 즉 질병뿐만 아니라 주거환경 및 사회적으로도 악영향을 유발시키고 있는 것이다. 인간에게는 질병 발생을 막기 위하여 항상 마스크를 착용하고 다녀야 한다는 불편함과 함께 외부활동의 자제가 권고되어 여러 지역에서는 관광 수입이 하락하게 되어 지역 사회에 문제를 일으키고 있다. 또한 미세먼지로 인한 지구온난화로 인하여 생태계가 파괴되고 있어 무고한 동식물들이 사라져가는 환경문제에도 직결되고 있다 [3].

자동차 같은 경우에는 매연을 많이 발생시키는 경유차들이 장기적으로 퇴출되는 대책들이 마련이 되고 있다. 이와 같이 우리는 실내외 공기질에 포함된 다양한 오염 물질로부터 여러 피해들을 받고 있다. 이러한 피해를 줄이기 위해 가전 및 산업용 공기청정기는 필수품이 되고 있으며, IoT 및 스마트기술 시대에 맞게 다양한 기능을 추가한 공기청정기들이 출시가 되고 있다. 이로 인하여 공기청정기에 대한 수요와 관심이 증가되고 있으며 개선된 스마트 공기청정 시스템을 필요로 하고 있다 [4-5].

본 연구에서 실내 공기질 개선을 위해서 스마트 공기청정 시스템 구현 및 구동에 관한 내용을 수행하였다. 특히 실내 공기질을 실시간으로 측정, 분석하고 오염도에 따라 공기질 개선 경로를 차별화함으로써 실내 공기에 포함된 오염물을 효율적으로 제거하는 기능을 제안하였다. 1장에서는 실내 공기질 오염에 따른 다양한 문제를 개선하고자 IoT 센서를 활용한 개선 시스템을 제안하였고, 2장에서는 제안된 방식의 프로세스 및 주요 부품 선정에 대해 기술하였다. 3장에서는 시스템 구현에 대해 기술하였고, 4장에서는 시스템의 시험 및 시스템 내부에 저장되는 공기질 정보를 통한 분석을 나타내었다. 최종적으로 5장에서는 본 제안 시스템의 효용성에 대해서 검토하였다.

Ⅱ. 실내 공기질 개선 시스템의 구동 시스템

공기청정기의 기본적인 작동원리는 흡입된 공기가 필터를 통과하여 먼지나 세균 등을 제거하는 방식이다. 필터는 보통 프리필터, 헤파필터, 탈취필터 3가지 종류로 구분되며, 필터의 성능이 공기청정기의 성능을 좌우하게 된다. 또한 기존의 공기청정기와는 다르게 필터의 수명을 늘릴 수 있는 시스템 구현 및 구동 방식을 검토하였다. 즉 본 연구에서는 미세먼지 센서를 2단계로 구성을 하여 실내 공기질 오염도를 측정한 후에 1단계 시에는 먼지망과 미세먼지 필터를 1개로 구성하여 오염물을 제거하고, 실내 공기질 오염도 2단계 시에는 오염 농도 증가에 따라 1차와 2차 필터쪽을 모두 자동 개폐하는 구조를 제안하고자 한다. 그림 1은 미세먼지 제거를 위한 스마트 공기청정 시스템의 주요 구성개념도를 나타낸다.

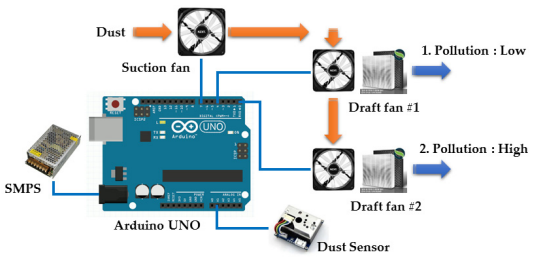


그림 1. 실내 공기질 개선 시스템의 구성 개념도
Fig. 1 Concept of indoor air-quality improvement system

제안 시스템의 주요 구동원으로는 선형엑츄에이터를 활용하여 기능을 검토하였는데, 선형엑츄에이터는 모터와 기구적 연결구조물을 일체화한 구조로 회전운동을 직선 운동으로 변환하여 부하를 이동시키는 구조이며 [6-7], 정밀한 직선 운동이 가능하고 정밀속도, 고토크 및 위치 제어가 가능하다 [8-12].

시스템에 전원을 공급하는 방식은 Switching mode power supply (SMPS)를 구비해 내부 전원을 공급하거나, AC 어댑터를 이용한 충전기능을 추가하여 무선으로도 사용이 가능하도록 하였으며, 공기청정기 스스로 가동 및 정지 제어를 위하여 미세먼지 센서와 아두이노를 이용하여 자동 제어가 가능하도록 소스코드를 구현하였다. 실내 공기질 청정기능을 구현하기 위하여 오염도를 포함하고 있는 실내공기를 흡입하기 위한 흡입팬과 오염물질을 제거한 공기를 실내로 공급하는 송부팬과 전환 시켜줄 필터로 구성하였다. 또한 주요 핵심 부품은 시스템의 구현성을 위해서 적합한 사양을 검토한 후 선정하였다. 그림 2는 스마트 공기청정 시스템에 대한 동작 프로세스를 나타낸다. 그림 2에서 왼쪽 프로세스는 공기청정기의 작동원리가 기준이며, 오른쪽 프로세스는 미세먼지 필터링을 기준으로 분류한 것이다.

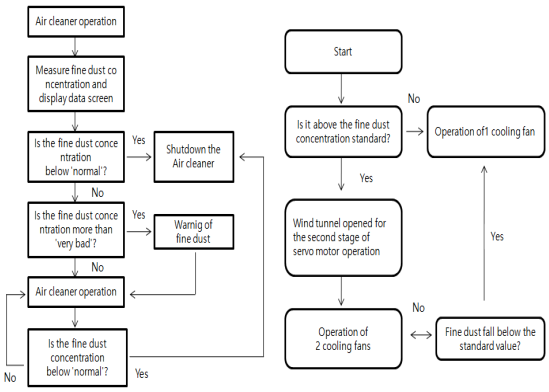
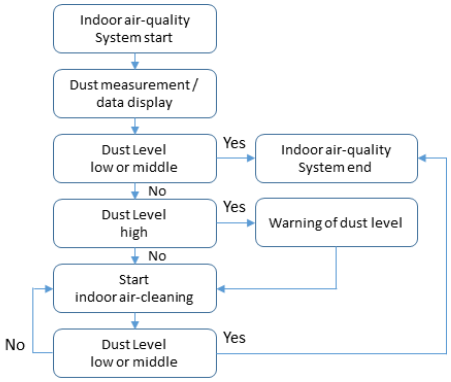
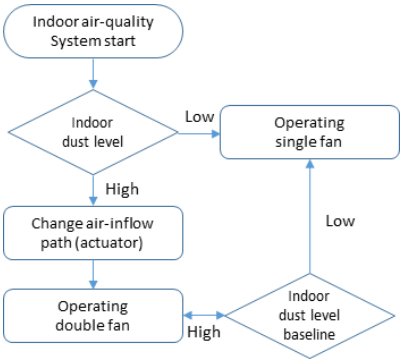


그림 2. 실내 공기질 개선 동작 프로세스
Fig. 2 Operation process of air-quality improvement system

주요 동작프로세스는 실시간으로 실내 공간에서의 공기질 오염도를 측정한 후에 실내 공기질의 오염도에 따라 공기질 개선 시스템의 내부 경로를 다르게 동작시켜 효율적으로 실내 공기질을 개선하는 것이다. 우선 측정된 실내 공기질 오염도가 기준치 이하인 경우 내부 흡입팬 1개만 작동시키고 1개의 먼지필터만을 경유시켜 오염물질을 제거하게 된다. 기준치 이상일 경우에는 흡입팬 2개가 모두 작동을 시켜 미세먼지를 필터링 하는 방식이다. 이때 오염된 실내 공기는 2개의 필터를 경유하게 되므로 신속하게 오염물질을 제거할 수 있다. 공기오염도에 따라 2단 시스템으로 구성을 함으로써, 효율적인 시스템 동작을 할 수 있으며, 특히 고가의 필터 교체 주기를 연장할 수 있어 사용자의 편의성을 증대할 수 있다. 그림 3은 실내 공기질 오염도에 따른 동작프로세스를 나타낸다.



(a) 실내 공기질 오염도 측정 및 동작
(a) Operating and measuring indoor air-quality



(b) 실내 공기질 오염도에 따른 2단 동작
(b) A two-stage operation according to indoor air-quality pollution level

그림 3. 실내 공기질 오염도에 따른 동작 프로세스
Fig. 3 Operation process according to indoor air-quality pollution level

그림 3 a)는 시스템 동작이후에 실시간으로 실내 공기질을 측정하고 오염도가 심할 경우 외부에 알람 경고와 함께 오염도가 중간 또는 하위단계가 될 때까지 개선 시스템이 동작되게 된다. 그림 3 b)는 공기질의 오염도가 높으면, 액츄에이터의 동작을 통해 공기 흐름 경로를 변경하고, 2개의 팬을 구동하여 최단시간에 공기질을 개선하는 프로세스를 나타낸다. 만약 공기질의 오염도가 낮으면 1개의 팬만을 구동하므로 상대적으로 필터 및 시스템 사용에너지를 저감할 수 있다. 이와 같은 동작을 구현하기 위해서는 전원 및 미세먼지 센서와 Arduino 연결 구성으로 크게 나뉠 수 있으며 목표 동작 구현을 위해 각각의 동작 특성에 대해서 검토하였다.

2.1 전원 공급부(AC Adapter)

전원 공급장치인 AC Adapter는 교류전원에서 낮은 전압의 직류를 만들어 낼 수 있는 장치를 의미하며, 이와 같이 전류를 직류로 변환하는 것을 정류라고 한다. 교류를 정류하려면 정류회로를 필요로 하며, 정류회로에는 다이오드나 수은정류기가 사용된다. 이들은 모두 전류를 한 방향으로만 흘리고 반대방향으로 흘리지 않는 성질을 가지고 있다. 정류회로의 기본구성으로는 교류 220V가 인가되면 트랜스포머를 이용하여 필요 전압으로 조정을 하며, 트랜스포머에서 나온 교류전압을 브리지 다이오드를 이용하여 전파정류하며, 전파 정류된 전압을 좀 더 매끄럽게 해주기 위하여 콘덴서를 이용한 평활회로를 구성하고 좀 더 안정된 전압을 유지하기 위하여 정전압 회로를 구성한다. 그림 4는 AC Adapter의 정류 파형 변화를 나타낸다.

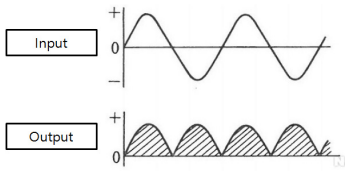


그림 4. AC Adapter의 파형변화
Fig. 4 Waveform change of AC adapter

2.2 미세먼지 센서

실내 공기질 개선 시스템의 경우 상시적으로 측정되는 실내 공기질 오염도를 판정한 후에 오염도에 따라서 시스템을 동작시켜 오염도를 제거하는 구조이다. 따라서 미세먼지 센서를 흡입구와 토출구 쪽에 설치를 하였으며, 미세먼지 센서에서 계측되는 실내 공기질 오염도 정보를 저장하도록 하였다. 그림 5는 미세먼지 센서의 데이터 시트를 나타내며, 전원연결을 확인할 수 있다.

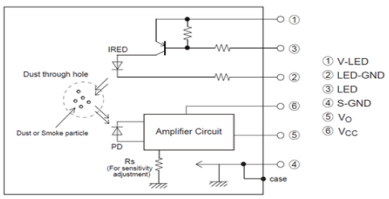


그림 5. 미세먼지 센서의 데이터 시트
Fig. 5 Data Sheet of fine-dust sensor

미세먼지 센서의 데이터 시트를 확인해보면 원형의 구멍에는 양옆으로 두 개의 소자 부착 LED와 적외선 LED로 구성이 되어있음을 확인할 수 있다. 적외선 LED는 공기 중의 먼지를 비추는 역할을 하며, 먼지에 반사되는 것을 반대편에 위치한 적외선 수신 소자가 반사된 먼지를 인식하는 구조를 통해서 실내 공기질 오염도를 확인할 수 있다. 이와 같이 코드 값을 만들려면 적외선 LED를 켜고 수신기로 값을 받을 수 있도록 하여야한다. 그림 6은 미세먼지 센서의 펄스 파형을 나타낸다.

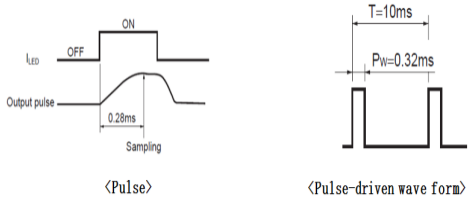


그림 6. 미세먼지 센서의 펄스 파형
Fig. 6 Pulse waveform of fine-dust sensor

미세먼지 센서의 펄스 파형을 확인하려면 10ms 중 0.32ms 동안 LED를 켜고 나머지 9.68ms 동안 LED를 꺼야 되며, 이러한 동작을 무한히 반복하여야 한다. 적외선 LED가 0.28ms 흘렀을 때 적외선 수신기를 동작시켜야 하며, 그 후 0.04ms 만큼 흐르면 적외선 LED를 꺼야 한다. 이 후에 미세먼지 센서를 동작시키기 위해서는 220uF 전해 커패시터와 150옴의 저항을 함께 연결하여 구성하였다.

2.3 Arduino UNO

실내 공기질 오염도에 따른 시스템의 구동을 구성하기 위하여 일반적인 Arduino UNO 보드를 활용하였으며, 그림 7은 Arduino UNO를 나타낸다.

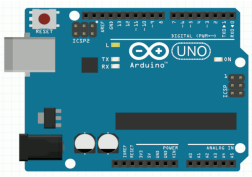


그림 7. Arduino UNO의 형태
Fig. 7 The appearance of arduino UNO

Arduino는 다양한 컴퓨터 프로토 타입 개발 및 차세대 디지털 장치의 발명을 위해 널리 사용되는 오픈 소스 하드웨어이다 [13]. 그중에서도 Arduino UNO는 가장 대표적인 보드이며 특히 가격이 저렴하고 여러 운영체제와의 연결이 용이하며 간단한 환경 및 오픈 소스의 특징을 가지고 있다. 또한 엔트리에 연결할 수 있는 Arduino 엔트리 보드가 있다.

III. 실내 공기질 개선 시스템 구현 및 제작

3.1 시제품 제작 및 구성

개선 시스템의 효율적인 공기청정 기능을 구현하기 위해, 기본 구성은 Arduino 보드와 흡입, 토출팬 그리고 미세먼지센로로 구성을 하였다. 전원 인가시 실내 공기질 오염도는 상시 측정이 되며, 1개의 흡입팬은 토글스위치와 동시에 작동하게 되도록 설계하였으며, 나머지 1개의 흡입팬은 실내 공기질의 오염도가 2단로 높아질 경우, 자동으로 작동이 될 수 있도록 하였다. 그림 8은 주요 부품연결 구성을 나타낸다.

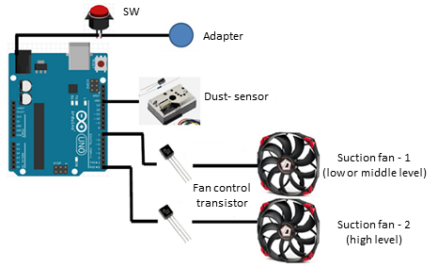


그림 8. 주요 부품 연결 구성
Fig. 8 Configuration diagram of main parts

3.2 구동 및 공기청정부

실내 공기질 개선 시스템의 구동부는 PM2.5까지 측정이 가능한 미세먼지 센서를 아두이노 보드와 연결하여 제어 가능하도록 설계하였다. 측정된 미세먼지 오염도에 따라 미리 설정된 기준치에 따라 선형액츄에이터의 동작을 제어한다. 그림 9는 실내 공기질 개선 시스템의 시제품을 나타낸다. 미세먼지 센서가 측정한 미세먼지의 농도 값에 따라 서브모터의 동작이 결정되어 1단과 2단 필터링 단계로 나뉘어 동작을 한다. 측정된 오염도에 따라서 오염물질 제거 경로를 다르게 설정함으로써 오염도에 따라 실내에 존재하는 오염물질을 신속하게 제거할 수 있으며, 특히 필터의 사용 수명시간을 연장할 수 있는 장점이 존재한다.

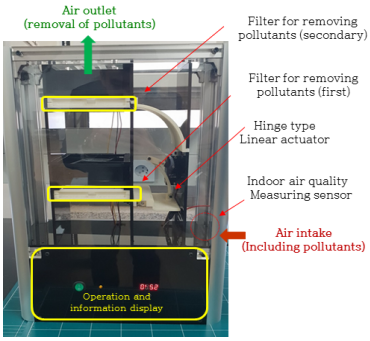
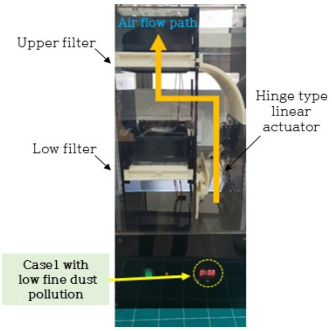


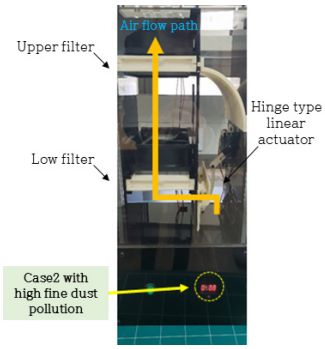
그림 9. 실내 공기질 개선 시스템의 시제품
Fig. 9 Prototype of smart air cleaning system

IV. 실내 공기질 개선 시스템의 구동시험

그림 10은 제작된 시제품의 시험 동작 형태를 나타내며, 실내 공기질의 오염도에 따라 1단 동작하는 것과 1, 2단 동시 동작하는 것을 각각 나타내고 있다.



(a) 실내 공기질 오염도가 낮은 경우
(a) Case of low pollution of air quality



(b) 실내 공기질 오염도가 높은 경우
(b) Case of high pollution of air quality

그림 10. 스마트 공기청정 시스템의 시제품 구동 시험
Fig. 10 Operation of smart air cleaning system

그림 10(a)는 오염도가 낮은 1단 운전이며, 그림 10(b)는 오염도가 높은 2단 운전 상태를 나타낸다. 미세먼지 측정 농도가 낮은 경우(1단 운전)에는 흡입되는 공기가 필터 1개만 거치도록 동작하며 화살표 방향으로 흡입된 공기는 1개의 필터만을 거치고 외부로 방출되게 된다. 미세먼지 측정 농도가 높은 경우(2단 운전)에는 흡입되는 공기가 필터 2개를 거치도록 동작이 되며, 화살표 방향으로 흡입된 공기는 2개의 필터를 거치고 외부로 방출되게 된다. 또한 실내 공기질 개선 여부를 확인하기 위하여, 미세먼지의 투입과 토출 과정에서의 공기질 정보를 저장할 수 있도록 구성하여 향후 실내 공기질 환경 정보를 분석할 수 있도록 장치화하였다. 그림 11은 공기질 개선 전, 후를 확인할 수 있는 디스플레이부 및 내부에 저장되는 공기질 정보에 대한 내용을 나타내며, 그림 12은 시스템을 통한 공기질 변화에 대한 저장정보를 나타낸다.

1. N: Number of operations (increased by 1 each time the power is turned on) When saving to the SD card, the file is saved under the name of "airN.txt". After a maximum of 999, it rises again from 0

2. M: Current mode High (fine dust high) or Low (fine dust low) If the measured value of fine dust at the entrance is 0.325 or higher, it is High

3. S: SD card recognition status. If not recognized or saving fails, Err. When saving is complete, Yes appears.

4. In: Inlet fine dust measurement value [ppm], Out: Outlet fine dust measurement value

5. Filter1: Operation time of the first stage air filter = Operation time of the device (The first stage air filter always operates when the power is turned on.)

6. Filter2: 2nd stage air filter operation time = High holding time

그림 11. 공기질 디스플레이부
Fig. 11 Air-quality display part

```
Air11 >> T:0h4m20s / M:0 / I:0.06 / O:0.00 / F1:0h4m20s / F2:0h0m0s
Air11 >> T:0h4m40s / M:0 / I:0.09 / O:0.01 / F1:0h4m40s / F2:0h0m3s
Air11 >> T:0h5m0s / M:0 / I:0.08 / O:0.00 / F1:0h5m0s / F2:0h0m3s
Air11 >> T:0h5m20s / M:0 / I:0.08 / O:0.00 / F1:0h5m20s / F2:0h0m3s
Air11 >> T:0h5m40s / M:0 / I:0.07 / O:0.00 / F1:0h5m40s / F2:0h0m3s
Air11 >> T:0h6m0s / M:0 / I:0.07 / O:0.00 / F1:0h6m0s / F2:0h0m3s
Air11 >> T:0h6m20s / M:0 / I:0.07 / O:0.00 / F1:0h6m20s / F2:0h0m3s
Air11 >> T:0h6m40s / M:0 / I:0.07 / O:0.00 / F1:0h6m40s / F2:0h0m6s
Air11 >> T:0h7m0s / M:0 / I:0.07 / O:0.00 / F1:0h7m0s / F2:0h0m6s
Air11 >> T:0h7m20s / M:0 / I:0.07 / O:0.00 / F1:0h7m20s / F2:0h0m6s
Air11 >> T:0h7m40s / M:0 / I:0.07 / O:0.00 / F1:0h7m40s / F2:0h0m6s
Air11 >> T:0h8m0s / M:0 / I:0.07 / O:0.00 / F1:0h8m0s / F2:0h0m6s
Air11 >> T:0h8m20s / M:0 / I:0.06 / O:0.00 / F1:0h8m20s / F2:0h0m6s
Air11 >> T:0h8m40s / M:0 / I:0.08 / O:0.01 / F1:0h8m40s / F2:0h0m6s
Air11 >> T:0h9m0s / M:0 / I:0.07 / O:0.00 / F1:0h9m0s / F2:0h0m9s
Air11 >> T:0h9m20s / M:0 / I:0.07 / O:0.00 / F1:0h9m20s / F2:0h0m9s
```

그림 12. 공기질 변화에 대한 저장 정보
Fig. 12 Storage information about air-quality

시제품의 제작 및 운전 시험 결과, 동작 알고리즘에 맞게 구동됨을 확인하였고, 미세먼지 센서가 측정한 농도 값에 따라서 필터링 동작이 구분됨을 확인하였다. 향후 저장된 환경 정보에 대한 분석을 통해 보다 실용적이고 효율적인 시제품의 구조를 개선해야 할 것으로 사료된다.

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 실외뿐만 아니라 실내에서도 발생되는 미세먼지로 인한, 환경오염 및 질병 유발을 방지하기 위하여 미세먼지에 대한 피해 및 걱정을 줄여줄 수 있는 실내 공기질 개선 시스템이 필요하다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 본 연구에서는 센서에 측정된 미세먼지 농도 값에 따라서 자동으로 동작이 가능한 스마트 공기청정 시스템 구현 및 구동에 대한 연구를 수행하였다. 특히 본 연구는 미세먼지 센서를 통해 측정된 값에 따라서 선형엑츄에이터의 작동을 조절하여 1단 필터링과 2단 필터링 등의 동작으로 자동전환시킴으로써 효율적인 실내 공기질 개선이 될 수 있는 구조를 검토하였다. 또한 실내 공기질 개선 정보를 저장하고 분석할 수 있도록 함으로써 향후 활용 가능성을 높일 수 있었다. 특히 시제품을 제작하고 동작성을 확인함으로써 미세먼지 필터링에 대한 효용성을 확인하였고, 이로 인하여 필터 교체 주기를 저감하고 필터의 수명을 연장할 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다. 향후 본 연구를 통해 확인된 취약점을 보강하고, 보다 실용적인 시스템이 되도록 추가 연구를 진행해야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 광주녹색환경지원센터의 2020년도 연구사업비의 지원(No. 20-04-40-43-12)에 의해 이루어졌으며, 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017R1C1B5017729).

References

[1] C. Song, “Current status of fine dust and countermeasures”, *The Magazine of the Korean Society of Hazard Mitigation,* vol. 66, no. 1, 2016, pp. 44-49.

[2] K. Yoon, S. Baek, “A Study on the Structural System and Implementation of Cantilever Actuator for Removal of Pollutants”, *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science,* vol. 14, no. 4, 2019, pp. 651-656.

[3] S. Kim, “Regulations and effects of fine dust”, *Air cleaning technology,* vol. 15, no. 1, 2002, pp. 19-28.

[4] T. Jo, T, Kim, “Patent technologies to reduce fine dust”, *J. of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection,* vol. 24, no. 2, 2020, pp. 9-14.

[5] Y. Jo, M. Jang, “Suggestion and Verification of Architecture for Collecting Fine Dust using Drone”, *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science,* vol. 15, no. 1, 2020, pp. 125-132.

[6] T. Mizuno, M. Kawai, F. Tsuchiya, M. Kosugi, H. Yamada, "An examination for increasing the motor constant of a cylindrical moving magnet -type linear actuator," *IEEE Trans. Magn.,* vol. 41, no. 10, 2005, pp. 3976-3978.

[7] K. Guo, S. Fang, H. Yang, H. Lin, and S.L. Ho, "A Novel Linear-Rotary Permanent Magnet Actuator Using Interlaced Poles," *IEEE Trans. Magn.,* vol. 51, no. 11, 2015, pp. 376-383.

[8] K. Yoon, B. Kwon, “Optimal Design of a New Interior Permanent Magnet Model Using a Flared-Shape Arrangement of Ferrite Magnets” *IEEE Trans. Magn.,* vol. 52, no. 7, 2016, p. 8106504.

[9] K. Yoon, S. Baek, “Performance Improvement of Concentrated-flux Type IPM Motors with Flared-shape Magnet Arrangement,” *Appl. Sci.,* vol 10, no. 17, 2020, pp. 1-15.

[10] B. Tomczuk, M. Sobol, "A Field-network Model of a Linear Oscillating Motor and its Dynamic Characteristics," *IEEE Trans. Magn.,* vol. 41, no. 8, 2005, pp. 2362-2367.

[11] M. Utsuno, M. Takai, T. Mizuno, and H. Yamada, "Comparison of the Losses of a moving-magnet Type Linear Oscillatory Actuator under Two Driving Methods," *IEEE Trans. Magn.,* vol. 38, no. 5, 2002, pp. 3300-3303.

[12] Hanyang university, energy conversion lab., “Electrical machines and DC motor control,” hongreung publishing company, 2011

[13] G. Kim, J, Jnag, M. Park, “Complete conquest of Arduino,” bogdoo publishing company, 2014

저자 소개

서도원(Do-Won Seo)

2015년 2월 호남대학교 전기공학과 졸업(공학사)
2015년 2월~현재 넥스트파워 연구원
※ 관심분야 : 에너지변환, 엑츄에이터, 구동모듈

윤근영(Keun-Young Yoon)

2003년 한양대학교 전자컴퓨터공학부 졸업(공학사)
2012년 한양대학교 대학원 전자전기제어계측공학 졸업(공학석사)
2016년 한양대학교 대학원 메카트로닉스공학 졸업(공학박사)
2008년~2016년 삼성전자 가전사업부 책임연구원
2016년~현재 호남대학교 전기공학과 교수
※ 관심분야 : 가전 및 차량 구동용 전기기기