

조명 및 전기설비 부착형 모듈형 미세먼지 집진기 설계에 관한 연구

A Study on the Design of a Modular Particulate Matter Precipitator Using Lighting and Electric Equipment

저자 (Authors)	전주현 Ju-Hyun Jeon
출처 (Source)	조명·전기설비학회논문지 33(9) , 2019.9, 9-14(6 pages) Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers 33(9) , 2019.9, 9-14(6 pages)
발행처 (Publisher)	한국조명·전기설비학회 The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE09138935
APA Style	전주현 (2019). 조명 및 전기설비 부착형 모듈형 미세먼지 집진기 설계에 관한 연구. 조명·전기설비학회논문지, 33(9), 9-14
이용정보 (Accessed)	중앙대학교 219.255.207.*** 2019/11/01 15:25 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

조명 및 전기설비 부착형 모듈형 미세먼지 집진기 설계에 관한 연구

(A Study on the Design of a Modular Particulate Matter Precipitator Using Lighting and Electric Equipment)

전주현[†]

(Ju-Hyun Jeon)

Abstract

Recent fluctuations in the particulate matter level have had a substantial effect on the health and quality of life of people, which has become a big issue in society. As a part of measures to purify particulate matters, this study examined economic and efficient solutions to particulate matters through engineering approaches, and aimed to solve problems by designing the particulate matter precipitator attached to street lights and lighting equipment. Among the existing precipitation systems, the air cleaning system using filters is not recyclable and has a disadvantage of low economic efficiency. Therefore, a precipitator is designed by adopting a high efficiency electrostatic precipitation system.

Key Words : particulate matter, Precipitator, Lighting

1. 서 론

1.1 연구의 배경

기후변화는 국민의 일상과 삶의 질에 실질적인 위협이 되고 있으며 지난해 100만년만의 폭염이 한반도를 강타했고, 심각한 미세먼지 또한 기후변화와 무관하지 않다. 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)는 국제사회가 지금처럼 온실가스를 배출한다면 인류 문명사회를 유지하기 힘들 것이라고 경고하고 있다. 미세먼지

나 전염병, 또는 음식물쓰레기처럼 국민생활과 밀접한 사회적 문제들을 해결하기 위한 새로운 방법론으로 '리빙랩(Living Lab)'이 활용되고 있어 관심이 모아지고 있다[1].

리빙랩이란 우리 주위에서 일어나는 수많은 사회 문제들을 해결하기 위해 마치 실험실에서 실험하듯 현장에서 다양한 아이디어를 시도하는 방법론을 말하며 우리가 살아가는 삶의 현장 곳곳을 실험실로 삼아 다양한 사회 문제의 해법을 찾아보려는 시도를 가리킨다[2].

삶의 현장이 실험실이니 당연하게도 그곳을 터전으로 살아가는 평범한 사람들 모두가 실험의 참여자이자 설계자이고, 해법을 찾아내야 하는 주체가 될 수 있다.

[†] Corresponding Author : Professor, Da Vinci College of General Education, Chung-Ang University
Tel : 02-820-6805, Fax : 02-826-6029
E-mail : jhjeon@cau.ac.kr
Received : 2019. 8. 12. / Revised : 2019. 8. 16.
Accepted : 2019. 8. 26.

1.2 연구의 목적 및 범위

이 논문에서는 삶의 현장 곳곳에 있는 조명과 가로등과 같은 전기설비를 활용하여 국민의 건강과 삶에 직접적인 영향을 미치는 미세먼지를 효과적으로 해결하기 위한 방안에 대하여 연구한다. 최근 미세먼지 수치의 등락은 국민의 건강과 삶의 질에 실질적인 영향을 미치며, 사회적으로 큰 화두가 되고 있다. 이 연구는 이러한 미세먼지 정화 대책의 일환으로, 공학적 접근을 통해 경제적이고 효율적인 미세먼지 해결 방안에 대해 고찰하였고 가로등 및 조명기구 부착형 미세먼지 집진기를 설계함으로써 문제 해결을 도모하였다. 연구의 범위는 완전 개방 혹은 완전 밀폐공간이 아닌 한 면 이상의 개방 공간을 포함하는 공간에 존재하는 조명기구에 설치하는 미세먼지 집진기의 설계한 관한 내용이다. 보통 가로등을 포함한 조명기구는 개방된 공간에 설치되어 가로등을 포함한 전기설비에 미세먼지 집진기를 설치하더라도 큰 효과를 기대하기 어렵다. 반면 한 면이 개방된 일정 정도 밀폐된 공간의 조명기구에 제안된 미세먼지 집진기를 설치한다면 공기의 개선에 큰 도움이 줄 수 있다. 이 연구에서는 버스 승강장, 야구장과 축구장, 주차장과 같이 미세먼지의 농도가 높고 전원이 있으며 한 면 이상이 개방된 공간의 조명기구가 많은 공간에 설치할 수 있는 모듈형 미세먼지 집진기의 설계에 집중한다.

2. 이론적 배경

2.1 선행 연구 분석

미세먼지 집진기에 관한 선행연구에서 안은정(2018)은 다공성이 우수한 섬유필터에 알루미늄 전구체 잉크를 사용하여 금속 코팅을 한 전도성 섬유 필터를 제조하였다[3]. 하지만 필터 제작 기간이 길고, 고가의 장비를 통한 복잡한 제작 과정을 가진다. 이재엽 외(2017)에서는 도로환경에 적용 가능한 통기성 정전 필터를 개발하여 흡착능력을 평가하였다[4]. 하지만

PM2.5미만에서는 평균 제거율 26.4%로 입경이 작아 질수록 제거율이 감소하였다. 따라서 초미세먼지 제거에는 큰 효과를 보이지 않음을 알 수 있었다. 따라서 이 연구에서는 경제성이 높고, 간단한 제작과정을 가지며 초미세먼지까지 집진할 수 있는 실제적인 사회문제해결형 집진기 설계를 진행하고자 한다. 기존 집진방식 중 필터를 사용하는 공기 청정 방식은 재사용이 불가능하며 경제성이 떨어지는 단점으로 인해 효율성 높은 전기 집진방식을 채택하여 집진기를 설계하였다. 제안된 집진기의 전원은 모듈이 설치된 가로등 및 조명기구로부터 공급받으며 외부 환경에서의 누전, 화재의 위험성 방지를 위한 습도제어시스템을 포함하여 설계하여 향후 효과적인 시스템을 구현하고자 한다.

2.2 개념 설명

2.2.1 미세먼지

미세먼지는 직경이 $10\mu\text{m}$ 미만이고 $2.5\mu\text{m}$ 보다 큰 입자를 말하며, 육안으로 식별할 수 없기 때문에 제거하기 어렵다. 따라서 주로 미세한 먼지를 제거하기 위해 필터 방식이 사용되었다[3]. 그러나 이러한 방법은 노이즈를 발생시키고 필터를 주기적으로 교환해야 하므로 경제적이지 못하다는 단점이 있다. 또한 필터를 제시기에 교체하지 않으면 박테리아가 필터에서 증식하게 되고 공기청정기에서 박테리아가 배출되어 인체에 악영향을 미치게 된다[5].

2.2.2 전기집진방식과 코로나방전

전기집진기는 고압 직류전원의 공급을 배기가스 중의 먼지가 음전하(-)를 띠도록 하여 양전하(+) 집진극에 달라붙도록 하여 먼지를 제거하는 설비이다. 전기 집진방식에 사용되는 코로나 방전이란 전기적으로 대전된 도체를 둘러싸고 있는 유체가 이온화되는 현상이다. 고압의 직류 전원을 공급하여 코로나 방전을 일으키면 음이온(-)이 다량으로 생성되며 생성된 음이온들은 전기적으로 음(-)이 성질을 가지고 있고 이 음이온(-)들이 먼지 입자와 결합하게 된다.

3. 본 론

이 연구에서 집중하는 것은 조명 및 전기설비 부착형 모듈형 미세먼지 집진기 설계이다. 미세먼지를 효과적으로 제거하기 위하여 전기집진 방식을 채택하였으며 설계된 집진기는 효과성을 높이기 위하여 다음의 조건을 및 실험 환경 범위를 만족하는 공간에서 사용하는 것을 염두에 두고 설계한다. 1) 조명 및 가로등과 같은 전기설비에 모듈형으로 부착되어 사용된다. 2) 설계된 집진기는 완전개방 및 밀폐된 공간 보다는 미세먼지가 많이 발생하는 버스승강장, 지하주차장, 운동경기장과 같이 한 면 이상이 개방되어 있고 집중적으로 미세먼지가 발생하는 공간에 설치를 염두에 두고 설계되었다. 모듈형 미세먼지 집진기 설계에는 CATIA V5, ARDUINO, MATLAB, ANSYS FLUENT 시스템이 사용되었다.

3.1 전기집진기의 알고리즘

본 연구의 경우 미세먼지를 제거하는 방법으로 전기집진 방식을 채택하였다. 전기집진 방식은 직류 고전압을 인가하여 해당 전계에서 발생하는 코로나 방전에 의해 유체 내의 입자에 전하를 부여하여 집진극에 포집한다.

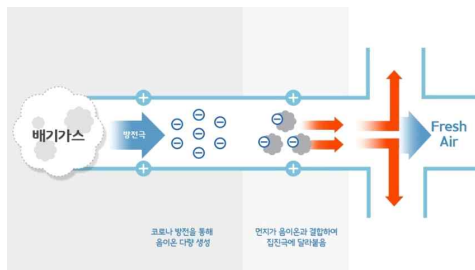


Fig. 1. Corona discharge of electrostatic precipitator

전기집진기의 작동 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 모듈 상층부에 부착된 fan을 통해 공기가 모듈의 하단부로 흡입된다.
- 2) Demister filter를 거치며 $10\mu\text{m}$ 이상의 분진이

95% 집진되고 $10\mu\text{m}$ 이하의 분진이 공기 중에 끌고루 퍼뜨려진다. Demister filter는 방전극의 역할도 겸하므로 직류 고전압의 음극과 연결되어 있다.

- 3) 직류 고전압 공급부를 통해 방전극에 (-)전압, 집진극에 (+)전압을 가하여 불평등 전계를 형성하고 코로나 방전을 이용한다. 공기 중의 분진에 전하를 주어 분진입자가 음이온으로 대전된다.
- 4) 분진 입자가 쿨롱의 힘에 의해 양극을 떠는 집진극인 PDMS 필름에 분리 포집된다.
- 5) 미세먼지가 제거된 공기는 fan을 통해 외부로 빠져나간다.

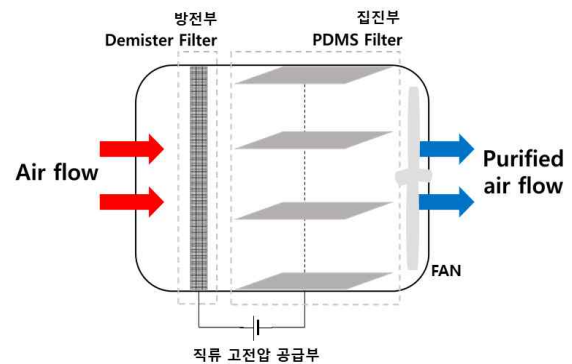


Fig. 2. Module operation algorithm

3.2 모듈 설계 및 부착 전기설비

모듈 설계에는 CATIA V5 프로그램을 사용하여 3D 형상을 설계하였다.

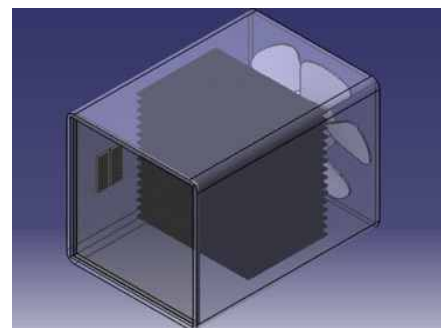


Fig. 3. Modular 3D Model Example

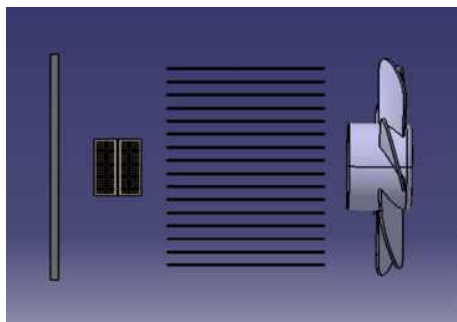


Fig. 4. Module detailed internal model and system processing steps

상기 Fig. 4와 같이 모듈 내부는 방전부(demister filter) - 습도제어 시스템 - 집진부(PDMS 필름) - Fan 순으로 설계하였다.

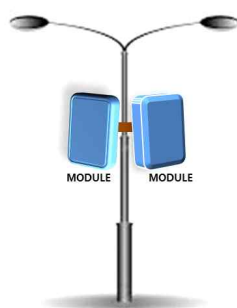


Fig. 5. Example of a Module Installed on a Street Light



Fig. 6. Bus stop, a semi-closed space for powering modules (example)

수직 실린더 형 모델로 설계된 모듈의 가로등에 부착예시는 상기 Fig. 5와 같다. 설계된 모듈은 완전 밀폐 혹은 완전 개방된 공간이 아닌 순간 미세먼지의 농도가 높으면서 전기설비(조명, 가로등 등)가 있는 반개폐공간 설치를 염두에 두고 설계를 진행하였다.

3.3 집진부와 방전부의 설계

본 연구에서는 미세먼지의 효과적인 제거를 위하여 전기집진방식을 채택하고, 집진부로는 PDMS 필름을, 방전부로는 demister filter 사용을 염두에 두고 설계를 진행하였다. PDMS 필름은 신축성, 방수성, 내화화성이 뛰어나며 탄성중합체 중 제작이 간편한 Polydimethylsiloxane(PDMS)과 전도성을 지닌 carbon black 입자를 혼합시켜 제작하였다.

3.4 습도 제어 시스템 설계

전기 집진방식은 고전압을 사용하므로 누전, 화재의 위험을 방지하기 위해 적정 습도 이상이 되었다고 판단될 경우 기기 자체의 전원을 차단하도록 습도제어 시스템을 설계하였다.

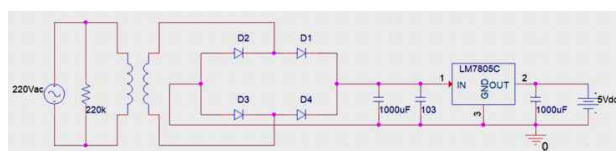


Fig. 7. 220V AC to DC Pressure Reduction and Conversion Schematic

습도 제어 시스템에 사용할 임베디드 보드와 습도 센서에 각각 9V, 5V가 DC전압이 인가되어야 하기 때문에 220V AC 전압을 감압한 뒤 DC전압으로 변환하는 Fig. 7과 같은 회로를 구성하였다. 초기전원을 변압기를 사용해 15V로 감압시킨 뒤 브릿지 정류 다이오드를 거쳐 DC전압으로 변환을 진행하였다. 이 후 전해 콘덴서로 120Hz를 맥류로 만든 뒤 regulator를 통과시켜 9V DC전압을 얻었다. 센서의 경우 사용하는 임베디드 보드를 통해 5V DC전압을 걸어주었다.

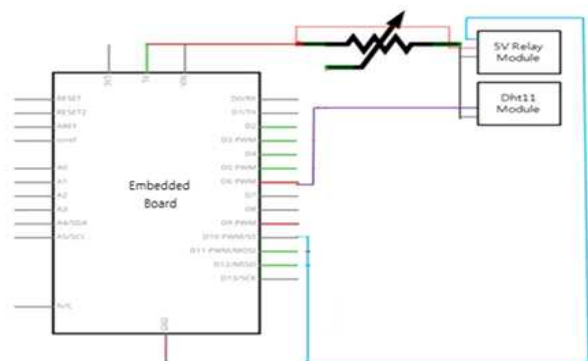


Fig. 8. Embedded Board Schematic

임베디드 보드(아두이노 우노)에서는 습도센서의 데이터를 처리하여 습도에 따라 모듈에 인가되는 전원에 연결된 Relay를 제어하였다. 아두이노 우노에 C언어를 기반으로 프로그래밍한 시스템에 따라 센서에서 측정한 습도를 기준과 비교하여 Relay에 신호를 보내 모듈 동작을 제어하였다. Fig. 8의 회로도에 기반하여 Relay와 Sensor에 각각 전압 5V를 인가시키고 1)데이터 송수신 Relay는 digital data, 2)Sensor는 analog data 연결한다. Sensor에 사용하는 저항은 100kΩ을 사용하여 동작을 확인하고, Relay는 on/off 형식으로 A pin에 가하는 signal로 동작을 제어한 후 Relay의 출력포트에 220V AC 인가하여 사용하였다. 아두이노 우노에 입력되는 프로그램(MCU)는 start signal을 주면 동작을 시작한다. 1회 동작 시 40-bit 전송을 하는데, ① 8-bit integral RH data, ②8-bit decimal RH data, ③8-bit integral T data, ④8-bit decimal T data, ⑤ 8-bit checksum data 순으로 전송된다. 전송된 40-bit signal은 작성된 라이브러리에서 처리되어 유의미한 데이터로 변환되고 데이터 변환 시 3개 case로 분류되어 송출되며, ① Checksum error, ②Time out error, ③ OK(No error) err code 가 송출된다. Sensor의 특성에 따라 최소 1s의 Sampling period가 필요하다. 속도상의 이점이 없다 판단하여 데이터 송수신의 안정성을 위해 loop에서 2s의 Delay를 적용하였다.

4. 결 론

이 연구에서는 근래 대두되고 있는 미세먼지 문제 해결을 위하여 전기설비 즉 가로등과 조명등이 설치되어 있어 집진기에 전원 공급이 가능한 공간에 모듈 형으로 부착이 가능한 미세먼지 정화 장치 모듈을 설계하는 것을 목표로 하였다. 모듈의 미세먼지 제거 효과를 높이기 위해 완전 개방된 공간 보다는 반개폐공간을 염두에 두고 설계를 진행하였다.

미세먼지의 효과적인 제거를 위해 이공학적인 접근을 시도하여 경제적이고 효율적인 미세먼지 해결 방안에 대해 고찰하였다. 국민의 건강과 삶의 질에 실질적인 도움을 주기 위해 가로등 및 조명기구 부착형 미세먼지 집진기를 설계함으로써 사회문제해결과 에너지의 효율적인 사용을 도모하였다. 기존 집진방식 중 필터를 사용하는 공기 청정 방식은 재활용이 불가능하며 경제성이 떨어지는 단점으로 인해 효율성 높은 전기 집진방식을 채택하여 집진기를 설계하였다. 또한 제안된 집진기의 전원은 모듈이 설치된 가로등 및 조명기구로부터 공급받으며 외부 환경에서의 누전, 화재의 위험성 방지를 위한 습도제어시스템을 포함하여 안정성을 높였다.

설계 결과물은 국민의 건강을 위협하는 미세먼지에 대한 정부 단위의 대비책으로써의 방향을 제시할 것으로 기대하고 있다. 특히 가로등 및 조명의 유비쿼터스 특징을 활용한 솔루션으로 국내의 전반적인 미세먼지 절감이 가능하여 국민건강증진에 기여할 수 있을 것으로 보인다. 가로등 자체를 새로 제작하는 것이 아닌 기존에 설치되어 있는 가로등에 모듈화한 미세먼지 정화 장치를 부착하는 임베디드 시스템 구조이기 때문에 설치비용 절감 또한 가능하다. 정부 차원에서 모듈을 활용해 가로등 이외에도 버스정류소, 경기장, 주차장, 아파트 등 인구밀집도가 높은 지역에 설치 가능할 것으로 기대한다. 향후 설계를 기반으로 효과적인 미세먼지 집진 시스템을 구현하고 성능 평가를 진행하고자 한다.

References

- [1] Sciencetimes, "Rising Living Lab for Solving Social Problems," <https://www.sciencetimes.co.kr/?news=Rising Living Lab for Solving Social Problems>(Accessed 19 Apr. 2019).
- [2] Lee, Sun Mi, Hyun. and Eun Ryung., "Study on User Participation-Centered Design Paradigm-Focusing on a Participatory Design, Co-Creation, Living Lab, and Open Design," JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY DESIGN CULTURE 25(2), Vol.25 No.2, 459-468, 2019.
- [3] Eun-jeong An., "Removal of Particulate Matter using Aluminium Conductive Fiber Filter," Department of Nano Fusion Technology The Graduate School Pusan National Univ.,p.32-61, 2108. MSc. Thesis.
- [4] Jai Yeop Lee., "Characteristics of a Filter Module Adsorption for Fine Dust Removal on Road," Journal of Korean Society of Environmental Engineers 39(1), 19-25,2017.
- [5] Do-Hyum Kim., "Design of fine dust removal system using IoT technology and corona discharge," Journal of institute of control robotics and systems, Vol.No.5, p58,[2018].

Biography



Ju-Hyun Jeon

She studied at Korea University and Chung-Ang University. She received her Ph.D. degree in Computer Engineering and Human Resource Development. Currently, she is Professor in the Da Vinci College of General Education at Chung-Ang University.