

## 조명 및 전기설비 부착 모듈형 미세먼지 집진기의 PDMS 필름 효과성 분석에 관한 연구

A Study on Analysis of the Effectiveness of PDMS Film of a Modular Particulate Matter Collector attached to Lighting and Electrical Equipment

---

|                    |                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 저자<br>(Authors)    | 전주현<br>Ju-Hyun Jeon                                                                                                                                                                                     |
| 출처<br>(Source)     | <a href="#">조명·전기설비학회논문지 33(10)</a> , 2019.10, 62-68(7 pages)<br><a href="#">Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers 33(10)</a> , 2019.10, 62-68(7 pages) |
| 발행처<br>(Publisher) | <a href="#">한국조명·전기설비학회</a><br>The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers                                                                                               |
| URL                | <a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE09222040">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE09222040</a>                                                         |
| APA Style          | 전주현 (2019). 조명 및 전기설비 부착 모듈형 미세먼지 집진기의 PDMS 필름 효과성 분석에 관한 연구. 조명·전기설비학회논문지, 33(10), 62-68                                                                                                               |
| 이용정보<br>(Accessed) | 중앙대학교<br>165.***.103.13<br>2020/06/25 15:12 (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 부착 모듈형 미세먼지 집진기의 PDMS 필름 효과성 분석에 관한 연구

(A Study on Analysis of the Effectiveness of PDMS Film of a Modular Particulate Matter Collector attached to Lighting and Electrical Equipment)

전주현<sup>†</sup>

(Ju-Hyun Jeon)

### Abstract

Recently, various application devices, such as air purifiers and ventilation equipment for the reduction of particulate matters occurring indoors as well as outdoors have been commercialized and utilized. However, as it is necessary to enhance the performance compared to the existing application devices with the deterioration of the rapidly changing atmospheric environment and the increase of the occurrence of particulate matters, problems of high specifications and high costs occur. This study is concerned with a performance test of a modular particulate matter collector designed and adopted to effectively resolve the issue of particulate matters. This study produced Polydimethylsiloxane (PDMS) film, a dust collecting part as an expansion of research on the modular particulate matter collectors designed previously and conducted an analysis of the effectiveness of the particulate matter collection performance of the produced film. Through an analysis of the effectiveness of the PDMS film, this study would reduce costs and implement a high-quality modular particulate matter collector.

Key Words : Particulate matter, Application device, Performance test, Modular Particulate Matter Collector

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

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 배출한

<sup>†</sup> 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. 9. 26. / Revised : 2019. 9. 28.  
Accepted : 2019. 10. 1.

다면 인류 문명사회를 유지하기 힘들 것이라고 경고하고 있다[1]. 또한 하루 중 실내에서 생활하는 시간이 많은 현대 생활에서 외부에서 유입되는 미세먼지와 실내에서 발생하는 미세먼지 저감을 위한 공기청정기, 환기설비 등 다양한 생활보호제품이 상용화되어 활용되고 있다. 그러나 급변하는 대기환경 악화 및 미세먼지 발생의 증가로 기존의 생활보호제품 대비 성능의 향상이 요구되면서 고사양, 고비용의 문제가 발생하고 있다[2]. 미세먼지 저감을 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며 본 연구는 삶의 현장 곳곳에 있는 조명과 가로등과 같은 전기설비를 활용하여 미세먼지를 효과적으로 해결하기 위하여 설계 및 채택된 모듈형 미세먼지 집진기의 성능평가에 관한 연구이다. 기존 설계된 모듈형 미세먼지 집진기 연구의 확장으로 미세먼지 집진기의 집진부인 PDMS(Polydimethylsiloxane; PDMS) 필름을 제작하고 제작된 필름의 미세먼지 집진 성능에 대한 효과성 분석에 집중한다. 미세먼지 집진기의 성능에 중요한 영향을 미치는 PDMS 필름의 효과성 분석을 통해 비용을 절감하면서도 고품질의 모듈형 미세먼지 집진기를 구현하고자 한다.

## 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 섬유필터를 제조하였다[3]. 하지만 필터 제작 기간이 길고, 고가의 장비를 통한 복잡한 제작 과정을 가진다. 이재엽 외(2017)에서는 도로환경에 적용 가능한 통기성 정전필터를 개발하여 흡착능력을 평가하였다[4]. 하지만 PM2.5미만에서는 평균 제거율 26.4%로 입경이 작아질수록 제거율이 감소하였다. 따라서 초미세먼지 제거에는 큰 효과를 보이지 않음을 알 수 있었다. 이 연구는 모듈형 미세먼지 집진기에서 집진부에 사용되는 필터인 PDMS 필름의 제작과 효과성 분석에 집중한다. 경제성이 높고, 간단한 제작과정을

가지며 초미세먼지까지 집진할 수 있는 실제적인 사회문제해결형 집진기 설계 및 구현을 위해 PDMS 필름에 제작하고 그 효과성 분석을 통해 고품질 저비용의 모듈형 미세먼지 집진기를 구현하고자 한다.

### 2.2 개념 설명

#### 2.2.1 미세먼지

미세먼지는 직경이 10 $\mu$ m 미만이고 2.5 $\mu$ m보다 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 폴리디메틸실록산

(Polydimethylsiloxane; PDMS)

PDMS는 탄성의 물성을 가지는 실리콘계 고분자로서 미세유체소자의 채널, 밸브 등의 응용 분야를 가지고 있으며 많은 분야에서 응용하고 있는 물질이다. PDMS는 투명하고 생체 적합성을 가지고 있으며 또한 몰딩 공정으로 쉽게 가공이 가능하며, 가격이 매우 싸다는 장점을 가진다[6].

## 3. 본 론

이 연구에서 집중하는 것은 조명 및 전기설비 부착형 모듈형 미세먼지 집진기 설계에 적용되어 필터 역할을 담당하는 PDMS 필름의 제작과 효과성 분석이다. 제작된 PDMS 필름이 적용된 모듈형 미세먼지 집진기는 미세먼지를 효과적으로 제거하기 위하여 전기 집진 방식을 채택하였으며 효과성을 높이기 위하여 다음의 조건 및 실험 환경 범위를 만족하는 공간에서 사용하는 것을 염두에 두고 설계 및 제작되었다. 1) 조명 및 가로등과 같은 전기설비에 모듈형을 부착되어 사용되어 진다. 2)설계된 집진기는 완전개방 및 밀폐

된 공간 보다는 미세먼지가 많이 발생하는 버스승강장, 지하주차장, 운동경기장과 같이 한 면 이상이 개방되어 있고 집중적으로 미세먼지가 발생하는 공간에서 최적의 성능을 얻을 수 있다.

### 3.1 모듈형 미세먼지 집진기의 구조 및 집진부

본 연구에서는 모듈형 미세먼지 집진기 설계에 적용되어 필터 역할을 담당하는 PDMS 필름의 제작과 효과성 분석을 진행하며 이 절에서는 모듈형 미세먼지 집진기의 전반적인 구조를 기술한다. 모듈 설계에는 CATIA V5 ® (Dassult syste, 미국) 프로그램을 사용하여 3D 형상 설계를 진행하였으며 이를 실제 프로토타입으로 제작하였다.

모듈의 내부는 Fig. 2와 같이 방전부(demister filter) - 습도제어 시스템 - 집진부(PDMS 필름) - Fan으로 구성되어 진다. 본 연구에서는 집진부(PDMS 필름)의 제작과 성능평가에 집중하며 실험을 실시한다.

### 3.2 PDMS 필름 제작 과정

본 연구에 적용된 모듈형 미세먼지 집진기는 전기집진방식을 채택하고, 집진부로는 PDMS 필름을, 방전부로는 demister filter 사용을 설계에 적용하고 구현하였다. PDMS 필름은 신축성, 방수성, 내화학성이 뛰어나며 탄성중합체 중 제작이 간편한 Polydimethylsiloxane(PDMS)과 전도성을 지닌 carbon black 입자를 혼합시켜 제작하였다.

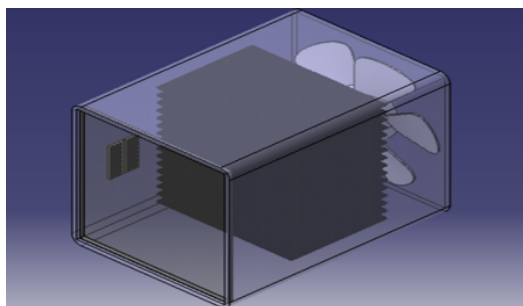


Fig. 1. Modular 3D Model Example

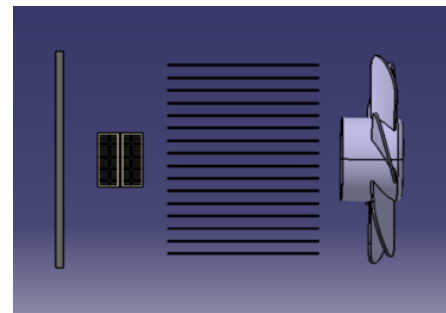
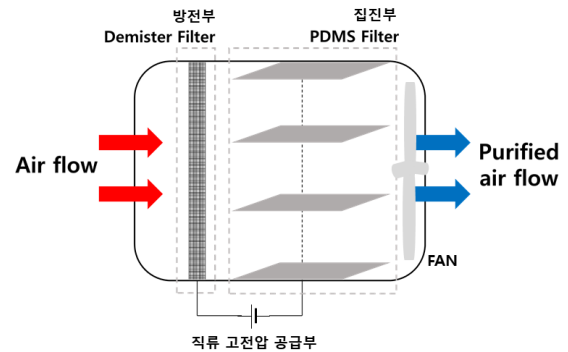


Fig. 2. Module detailed internal model and system processing steps

집진부로 사용되는 PDMS 필름의 제작 과정은 다음 Fig. 3-1에서 Fig. 3-3과 같은 7단계의 과정을 통해 완성되어 진다.

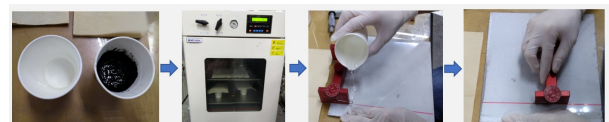


Fig. 3-1. PDMS film making process (1)

1) 질량비 PDMS : curer = 10 : 1로 혼합한 투명한 mixture와 질량비 PDMS : curer : 전도성 carbon black = 10 : 1 : 1로 혼합한 검정색의 mixture를 제작한다.

2) mixture의 기포를 제거하기 위해 진공챔버에서 1 시간 동안 감압하여 탈포과정을 거친다.

3) 탈포과정이 끝난 투명한 PDMS mixture를 PET film(0.1T) 위에 일정량 덜어낸 뒤 어플리케이터로 도포시켜 일정한 100 $\mu$ m의 두께를 갖는 필름을 제작한다.



Fig. 3-2. PDMS film making process (2)

4) 도포한 PDMS를 오븐에 넣고 80℃에서 15분간 경화시킨 뒤 5분간 상온에서 냉각시킨다.

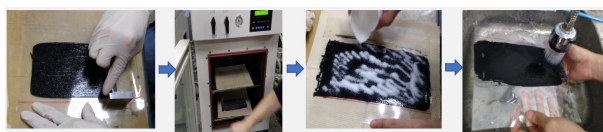


Fig. 3-3. PDMS film making process (3)

5) 검정색의 PDMS+CB mixture를 냉각이 끝난 PDMS 필름 위에 일정량 덜어낸 뒤 어플리케이터로 도포시켜 일정한 200 $\mu$ m의 두께를 갖는 전도성 필름을 제작한다.

6) 필름을 다공성으로 제작하기 위해 필름 위에 수용성 sucrose를 골고루 도포한 뒤 오븐에 넣고 80℃에서 20분간 경화시킨다.

7) 경화가 끝난 필름을 꺼내고 5분간 상온에서 냉각한 뒤, 3시간 이상 수용성 수크로오스를 용해시킨다.

위 과정을 거쳐 제작한 PDMS 필름을 적용하여 집진부를 완성하였다.

### 3.3 PDMS 필름 특성 확인

본 연구에서 제작한 PDMS 필름은 다공성, 전도성, 신축성, 친수성의 특징을 가진다.

#### 3.3.1 다공성 및 신축성

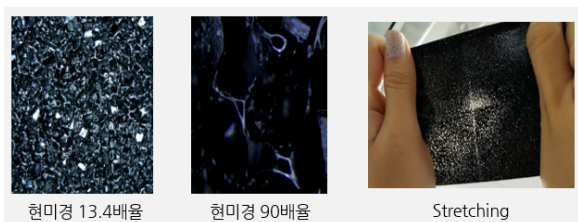


Fig. 4. Check porosity of film

제작한 PDMS 필름을 현미경 13.4배율과 90배율로 관찰한 결과 필름이 다공성으로 제작된 모습을 확인할 수 있었다. 또한 필름은 신축성을 가져 stretch 시킬 경우 확실한 다공성의 구조가 보인다. 따라서 미세먼지를 집진시킬 수 있는 표면적이 증가해 집진판의 면적 대비 제거 가능한 미세먼지 양을 극대화시킬 수 있다.

#### 3.3.2 전도성

Fan이 설치되지 않은 환경에서 PDMS 필름 샘플에 7.5kV, 0.3mA 고전압 Power Supply와 연결한 결과, 필름에 전류가 흘러 스파크가 발생하는 현상을 확인할 수 있고, 이를 통해 필름의 전도성을 확인하였다. 따라서 정전기를 이용한 전기집진이 적용 가능함을 확인하였다.

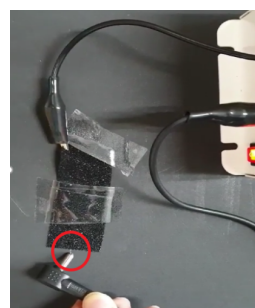


Fig. 5. Check the conductivity of the film

### 3.4 PDMS 필름 집진 성능 실험

제작된 PDMS 필름의 성능 평가를 위해 Fig. 6과 같은 실험환경에서 실험을 진행하였다.



Fig. 6. Dust collection experiment environment

PDMS 필름의 미세먼지 집진 실험 환경은 Fig. 6에서와 같이 450x550x600(mm) 크기의 챔버를 설계하였고 내부에 공기 유동을 주어 분진을 고르게 분포시키기 위한 팬을 부착하였다. 벽면에는 아두이노를 통해 제작한 미세먼지 측정 센서를 부착하였으며 보다 정확한 측정을 위해 집진판을 센서와 같은 높이에 위치시켰다. 미세먼지를 발생시키기 위하여 정량의 향을 밀폐된 상태인 챔버 내에서 연소시켰으며, 각 조건별로 30분간 분진의 농도를 지속적으로 확인하였다.

조건에 따른 집진효율의 차이를 확인하기 위해 Table. 1과 같이 실험을 진행하였다. 실험의 조작 변인은 PDMS 필름을 집진부로 사용하는지의 여부, 전압인가 여부, 방전극으로 조건을 달리 하여 실험을 진행하였다.

Table. 1. Difference in Dust Collecting Efficiency According to Conditions

|      | PDMS 필름 | 전압 인가 | 방전극 |
|------|---------|-------|-----|
| 실험 1 | X       | X     | X   |
| 실험 2 | X       | O     | X   |
| 실험 3 | O       | X     | X   |
| 실험 4 | O       | O     | X   |
| 실험 5 | O       | O     | O   |

#### 3.4.1 실험 1

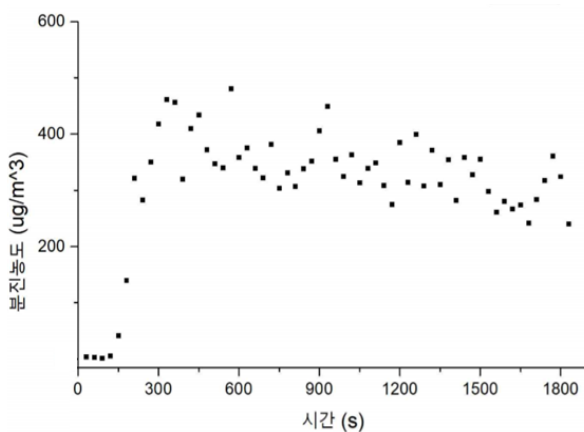


Fig. 7. Results of Experiment 1

필름의 집진효율을 확인하기에 앞서 동일 조건 하 (밀폐된 공간)의 자연 상태에서의 분진농도의 감소량을 확인하기 위해 실험 1을 진행하였다. 실험 1에서의 결과로, 자연 상태에서는 매우 미량의 감소만이 발생한다는 것을 확인할 수 있었다.

#### 3.4.2 실험 2

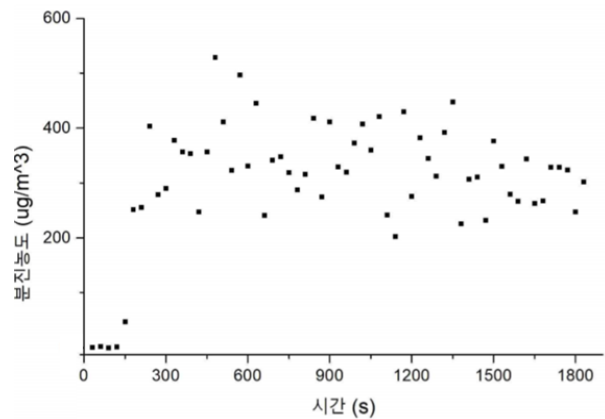


Fig. 8. Result of experiment 2

실험 2에서는 양극의 전압을 구리판에 인가하였으며, 고전압발생기의 음극은 접지처리하였다. 전압이 인가된 구리판의 집진성능이 실험 1에서의 자연 상태에서의 감소량과 거의 차이가 없다는 것을 확인할 수 있었다.

#### 3.4.3 실험 3

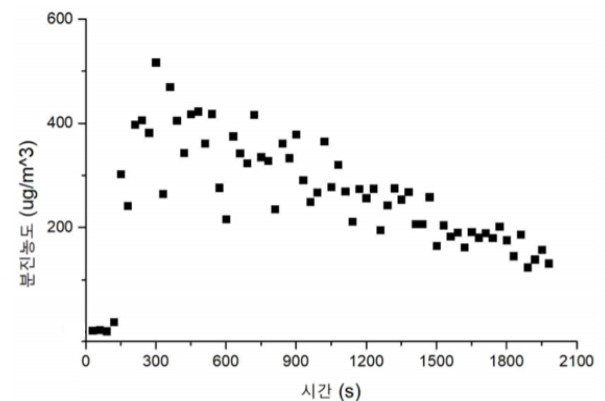


Fig. 9. Result of experiment 3

실험 3에서는 전압이 인가되지 않은 필름의 집진성능을 확인하였다. 그래프의 양상을 볼 때, 실험 4와 유

사한 감소량을 보이는 것으로 보아, 실험 4의 양극 하나만을 인가하였을 때와 거의 차이가 없으며, 실험 4와 실험 3은 필름 자체만의 집진 성능만으로 분진이 포집되는 것으로 보여진다. 또한 실험 1과 비교하여 약  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도 변화가 더 생기는 것으로 미루어 필름 자체만으로도 일정량의 정화 성능을 갖고 있음을 알 수 있다.

#### 3.4.4 실험 4

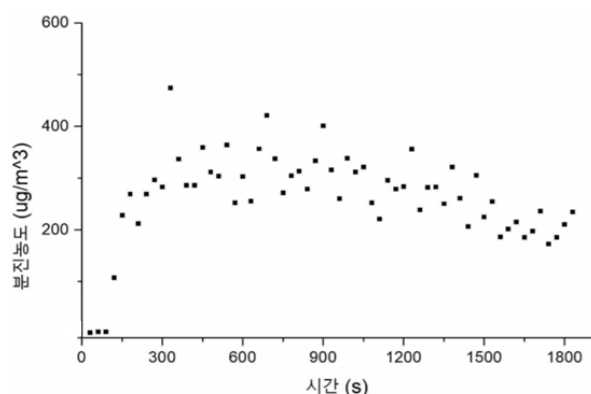


Fig. 10. Result of experiment 4

실험 4에서는 양극의 전압을 필름을 부착한 구리판에 인가하였으며 고전압발생기의 음극은 접지 처리하였다. 실험 1의 자연 상태에서의 분진농도 감소와 비교하면, 실험 1에서는 분진 농도가 약  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 감소하였고, 실험 3에서는 약  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도가 감소한 것으로 보아, 약 두 배정도 빠른 감소율을 보인다는 것을 확인할 수 있었다.

#### 3.4.5 실험 5

실험 5에서는 챔버 내부에 음극 방전극을 설치하여 실제 prototype과 같은 조건(분진을 대전시킨 상태에서 포집)에서의 집진효율을 확인하였다. 분진농도의 최대값은 실험 4와 같이 자연 상태에서 약  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였으며, 실험 종료 시까지 약  $250\mu\text{g}/\text{m}^3$  이 더 감소하는 것을 보였다. 이후 분진의 완전 제거에 걸리는 시간을 측정하기 위하여 실험 시간을 연장하여 분진농도를 측정해본 결과, 약 40분 경과 후  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하의 농도로, 챔버 내의 미세먼지를 대부분 제거한 것

을 확인할 수 있었다. 본 실험을 통해, 제작한 PDMS 필름의 미세먼지 집진 가능성을 확인하였다. 실험 결과,  $0.149\text{m}^3$  부피의 밀폐된 챔버의 분진농도를 통해  $59.6\mu\text{g}$ 의 미세먼지가 발생하였고 이를 집진판 하나가 전부 집진하는 데 40분의 시간이 경과하였음을 알 수 있었다. 따라서 실험 조건 하에서 집진판 하나는 분당 평균  $1.49\mu\text{g}$ 의 미세먼지를 집진할 수 있다. 분진농도가 낮아지면서 농도의 변화량이 줄어드는 것으로 보아 분진 농도와 집진성능 간의 상관관계를 고려해야 하고 실험 조건에서 유동을 만드는 데 사용한 팬의 성능이 prototype에 쓰인 팬보다 약한 것을 고려했을 때 실제 prototype에서는 더 높은 집진량을 보일 것이다. PDMS 필름이 전기집진에 사용할 수 있음을 확인하였고 실제 적용 시 도심 대기질 개선에 크게 기여할 것으로 보인다.

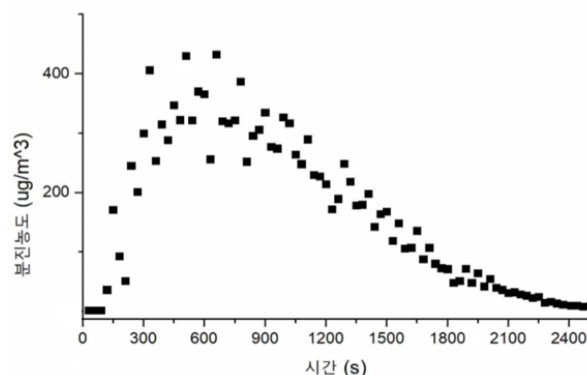


Fig. 11. Result of experiment 5

## 4. 결 론

이 연구는 근래 대두되고 있는 미세먼지 문제 해결을 위하여 모듈형으로 설계 및 제작된 미세먼지 정화 장치의 집진부인 PDMS((Polydimethylsiloxane; PDMS) 필름에 관한 연구이며 조명과 가로등과 같은 전기설비를 활용하여 미세먼지를 효과적으로 해결하기 위하여 설계 및 채택된 모듈형 미세먼지 집진기의 성능평가를 진행하였다. 앞서 진행된 조명과 가로등과 같은 전기설비를 활용하는 모듈형 미세먼지 집진기 연구의 확장으로 미세먼지 집진기의 집진부인

PDMS 필름을 제작하고 제작된 필름의 미세먼지 집진 성능에 대한 효과성 분석을 실시하여 성능과 경제성을 확인하였다. 미세먼지 집진기의 성능에 중요한 영향을 미치는 PDMS 필름의 효과성 분석을 통해 비용을 절감하면서도 고품질의 모듈형 미세먼지 집진기를 구현하고자 하였다.

PDMS 필름의 미세먼지 집진 실험을 위해 450x550x600(mm) 크기의 챔버를 설계하여 각 조건별로 30분간 분진의 농도를 지속적으로 확인하는 방식으로 실험을 진행하였다. 조건에 따른 집진효율의 차이를 확인하기 위한 실험의 조작 변인은 PDMS 필름을 집진부로 사용하는지의 여부, 전압인가 여부, 방전 극으로 조건을 달리 하여 실험을 진행하였다. 실험의 결과 실험 5에서처럼 0.149m<sup>3</sup> 부피의 밀폐된 챔버의 분진농도를 통해 59.6μg의 미세먼지가 발생하였고 이를 집진판 하나가 전부 집진하는 데 40분의 시간이 경과하였음을 알 수 있었다. 따라서 실험 조건 하에서 집진판 하나는 분당 평균 1.49μg의 미세먼지를 집진할 수 있음을 확인하였다. 따라서 PDMS 필름이 전기집진에 사용할 수 있음을 확인하였고 실제 적용 시 도심 대기질 개선에 크게 기여할 것으로 기대된다. 제작한 PDMS 필름은 다공성, 신축성, 친수성의 특성을 가진다. 신축성을 통해 stretch 시킬 경우 확실한 다공성의 구조가 보이며 미세먼지를 집진시킬 수 있는 표면적이 증가해 집진판의 면적 대비 제거 가능한 미세먼지 양을 극대화시킬 수 있다. 이 연구에서는 미세먼지의 효과적인 제거를 위해 이공학적 접근을 시도하여 경제적이고 효율적인 미세먼지 해결 방안에 대해 고찰하였으며 실제 PDMS 필름을 제작하고 성능 평가를 실시하였다. 실험 결과를 기반으로 안정성과 효과성 높은 집진부를 구현하고 이를 미세먼지 집진기에 적용하여 실제 국내 미세먼지 해결과 국민건강증진에 기여할 수 있는 방안을 지속적으로 찾고자 한다.

## References

- [1] Sciencetimes, "Rising Living Lab for Solving Social Problems" <https://www.sciencetimes.co.kr/?news=RisingLivingLabforSolvingSocialProblems> (Accessed 19 Apr. 2019).
- [2] Cho Jinkyun. and Shin, Cheolwoong., "A Study on Indoor Sources-Outdoor Penetration Pathways and Performance Options on Products to Counter Against the Fine Dust Particle," Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 31(7), 332-341, 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. M.Sc. 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].
- [6] Moon, K. T., "Preparation of O/W Emulsion and PLGA nanoparticle using microfluidic devices fabricated by PDMS and 3D polyimide film," Ph.D. Thesis, Department of Industrial Chemistry, Graduate School, Chungnam National University, 2014.

## 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.