

# 대한기계학회 주선

## 제9회 전국학생설계경진대회(2019년)

# 설계 최종 보고서

참가부	대학부 ( √ )				
참가분야	공모주제 (   ) / 자유주제 ( √ )				
참가팀명	AMERICANO				
설계제목	3D 프린팅 다공성 구조물을 활용한 안개발생구역 미세먼지 포집기 및 필터제작				
지도교수/교사	(소속)기계공학과 (성명)윤성호 (연락처) (이메일)shyoon@kumoh.ac.kr				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	이상재	금오공과대학교		sangjae1224@daum.net	

## 참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	김민수	기계공학과/4	ksylove0519@naver.com
2	윤성민	신소재공학부/4	yst07710@naver.com
3	이준호	기계공학과/4	wbsgh11@naver.com
4			
5			
6			

## 설계 요약문

<b>참가분야</b>	공모주제 ( ) / 자유주제 ( <input checked="" type="checkbox"/> )
<b>참가팀명</b>	AMERICANO
<b>설계제목</b>	3D 프린팅 다공성 구조물을 활용한 안개발생구역 미세먼지 포집기 및 필터제작
<b>대표자명</b>	이상재
<b>요약문</b>	<p>[3D 프린팅 다공성 구조물을 활용한 안개발생구역 미세먼지 포집기]는 안개 발생이 잦은 지역에서 발생하는 안개와 미세먼지의 화학작용에 의한 높은 에어로졸 수치를 낮추기 위한 필터 제작과 그 활용방안에 대한 설계이다.</p> <p>익히 알려져 있듯 미세먼지는 세계보건기구(WHO)에서 1군 발암물질로 분류할 정도로 국민들에게 우려가 되는 대상이다. 이러한 미세먼지 중에서도 주변 공기층의 유동의 영향을 받는 부유 미세먼지는 지형적, 환경적 특성에 영향을 받아 정체되며, 정체된 미세먼지는 지표면으로 깔리기 때문에 인체에 더욱 악영향을 끼치게 된다. 미세먼지 밀집현상은 지속적인 악영향을 한국의 도시 생태계 및 자연 생태계에 끼칠 것으로 판단할 수 있으며 이를 대비한 효과적인 미세먼지 포집과 제거 대책이 요구되고 있는 실정이다.</p> <p>본 설계는 안개가 끼는 지리적, 지형적 특성을 가진 장소에서 안개가 다공성 구조물(Voronoi Diagram Filter)과 충돌할 때 이슬결정을 맺는 자연현상(충돌응결)과 극성을 띄는 이슬결정이 머금고 있는 미세먼지를 포집하는 방식을 기본 원리로 갖는다.</p> <p>다공성 구조물은 FDM 3D Printing 방식으로 제작되어 사용 환경의 지리적, 공간적 특성을 고려한 정보를 바탕으로 원하는 형태로 제작이 가능하며 기공의 밀도, 개수 등 필터 기능을 소요 동력 및 사용 목적에 따라 최적화 가능하다는 장점을 지니고 있다.</p> <p>따라서 본 설계를 통해 안개 발생구역에 미세먼지가 정체되는 현상을 줄일 수 있다.</p>

## 3D 프린팅 다공성 구조물을 활용한 안개발생구역 미세먼지 포집기 및 필터제작

이상재\*·김민수\*·윤성민\*·윤성호\*\*

\*금오공과대학교 기계공학과

\*금오공과대학교 신소재공학과

### Development of Fog Catcher and Voronoi Filter by using FDM 3D Printing

Sang-Jae Lee\*, Min Su Kim\*, Sung Min Yun\*, Sung Ho Yun\*\*†

\* School of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology

\*\* School of Material Science and Engineering, Kumoh National Institute of Technology

**Key Words:** Voronoi Diagram(보로노이 다이어그램), Generator(제너레이터), Fog Catcher(안개 포집기), Control Volume(컨트롤 볼륨), Voronoi Filter(보로노이 필터), Dew droplet(안개 액적), Mixing Chamber(혼합실), Particulate matter(미세먼지)

**초록:** 미세먼지는 세계보건기구(WHO)에서 1군 발암물질로 분류할 정도로 국민들에게 우려가 되는 대상이다. 이러한 미세먼지 중에서도 주변 공기층 유동의 영향을 받는 부유 미세먼지는 지형적, 환경적 특성에 영향을 받아 정체되어 지표면으로 깔리기 때문에 인체에 더욱 악영향을 끼치게 된다. 본 설계는 안개가 자주 발생하는 특성을 가진 장소에서 안개가 보로노이 필터와 충돌할 때 이슬 결정을 맺는 자연현상(충돌응결)과 안개가 포함하고 있는 미세먼지를 제거하는 미세먼지 포집기에 관한 것이다. 보로노이 다이어그램으로 제작된 필터의 제너레이터 개수에 따른 성능 비교를 확인 후, 시간에 따른 안개 포집 능력을 살펴보았다. 본 논문에 제시된 미세먼지 포집기 및 필터는 사용 환경에 따른 최적 설계가 가능하므로 경제적이고 효율적인 제품이다.

**Abstract:** Exposure to pollutants such as P.M.(particulate matter) may carry a risk of adverse health effects, even the World Health Organization (WHO) cares P.M. as Group 1 carcinogenic to humans. And there could be such a region which has high relative humidity and extreme highs and lows. In this condition, particulate matter can cause fog which can cause aerosol. This study is considering eliminating the aerosol in the fog condition by making coagulation. The coagulation can be made by letting the fog goes through the Voronoi filter which has a porous structure. This is such an efficient method to relieve concentration in a specific area.

## 1. 서론

안개는 낮과 밤의 일교차에 의해서 대기 중의 수증기가 응결하여 지표 가까이에서 작은 물방울이 떠 있는 현상이다. 안개는 공장지대나 도심에서 발생하는 미세먼지와 결합하고, 습도와 미세먼지의 상관관계를 파악해보면, 습도는 이차 유기에어로졸, 특히 방향족 휘발성 탄화수소로부터 형성되는 2차 유기에어로졸의 형성에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 기존의 안개제거 방법으로는 이끼를 이용한 안개를 제거하고자 하는 등 표면적을 극대화하는 방법들이 있다.1) 표면적을 극대화 시키는 방법 외에 온도차를 형성하여2)안개를 제거하는 방법도 있다. 하지만 상기 방법들은 안개 발생지역의 지역적 환

† Corresponding Author, shyoon@kumoh.ac.kr

경적 고려를 하지 않았다.

본 설계는 3D 프린터를 이용해 표면적을 넓히는 방법을 모색하였고 보로노이 다이어그램에 주목하였다. 건축에 보로노이 다이어그램을 이용하여 다양한 morphological design 적용가능성에 대한 연구<sup>3)</sup>도 진행되었으며 보로노이 다이어그램을 이용한 3D 프린팅 패션디자인 연구<sup>4)</sup>도 진행되었다. 이에 FDM 3D 프린터를 이용함으로써 종래 필터들의 평면상 한계를 3차원 보로노이 구조로 표면적을 극대화하고자 하였으며, 에어로졸 환경을 구현하고자 Control Volume을 제작하였고 안개 포집능력을 측정하여 제너레이터 개수와의 관계를 살펴보았다. 보로노이 필터를 이용한 Fog Catcher 제작의 가능성 또한 살펴보았다.

## 2. Fog Catcher 핵심이론

본 설계인 [FDM 3D 프린팅 다공성 구조물을 활용한 안개발생구역 미세먼지 포집기]는 내 저수지, 댐 그리고 산간지역에서 안개(fog)와 박무(mist), 연무(공기 중 먼지에 의해 시야가 흐려지는 현상)에 의해 짙어지는 미세먼지 농도를 줄이기 위해 고안되었다.

보다 상세하게는, 안개 발생이 잦은 지역에서 발생하는 안개와 미세먼지의 화학작용에 의한 높은 에어로졸 수치를 낮추기 위한 필터 제작과 그 활용방안에 대한 설계이다.

필터 형상결정은 보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram)을 기반으로 제작하였다. 보로노이 구조(Voronoi Diagram)는 평면을 특정 점까지의 거리가 가장 가까운 점의 집합으로 분할한 점들의 집합이다. 분포되어 있는 각 점(제너레이터)으로부터 가장 균등하게 배분되는 경계들의 집합인 보로노이 구조의 특징과 보로노이 구조에서 분포된 점들의 재배열을 통해 배분되는 영역의 크기를 모두 동일하게 조작할 수 있다. 본 설계는 2D 평면상에서 구현하는 필터링 방식을 3D로 차원을 높여 효율성(porous per 1 cubic meter)과 형태의 자율성(Through FDM 3D Printing)을 위해 보로노이 구조(Voronoi Diagram)를 적용하였으며 단순한 형태의 다공성 형상에서 보다 복잡한 비정질 형상까지 구조물 형태의 범위를 넓혔다.

설계에 앞서 선행기술조사 결과, 종래의 미세먼지 및 안개 제거장치는 헬륨가스를 이용한 애드벌룬을 사용<sup>5)</sup>하는 등 동력원에 대한 의존도가 높음을 알 수 있었다. 허나, 본 설계는 FDM 적층 3D 프린팅 구조물의 다공성 구조를 활용한다. 이때 구조물의 표면적 극대화로 안개의 수분 포집 통한 미세먼지 제거를 목표로 한다. 또한 안개 포집을 목표로 하는 선행기술 조사 결과, 대기의 온도차를 이용해 공기 중 수분을 포집하는 방법<sup>6)</sup>에 초점이 맞춰져 있으나, 본 설계는 미세먼지를 품은 공기 중 물 입자를 다공성 구조물을 이용해 응결시켜 유해한 입자를 공기 중에서 제거하는 것을 목표로 갖는다.

### 2 - (1) 설계 제약조건 및 해결과정

#### 실험 환경 결정

##### 조건 [1]

실험환경 조성을 위한 ‘Control Volume’ 제작단계에서 풍동실험이 가능한 환경을 고려해야 한다.

본 설계 Fog Catcher는 미세먼지를 품은 안개 상황에서 안개와 미세먼지를 제거하는 것을 목적으로 두었기에, 안개의 물리화학적 입자포집 방법 및 포집을 위한 실험장치 (Passive and Active fog water collector) 제작을 위한 주요 장비들을 참고<sup>7)</sup>하였고 ‘평행 입자 충돌장치’의 Schematic of Experimental setup을 참고<sup>8)</sup>하였다.

##### 조건 [2]

안개 및 미세먼지 포집을 위한 필터 제작단계에 다공성 필터 제작 방법 규정 및 단순화가 필요하다.

[1] Schematics of Control Volume Design Control Volume Design For Experiment of ‘Fog Catcher’

Fig. 1 Schematic of Control Volume

Fig. 2 Amorphous Filter Concept Design

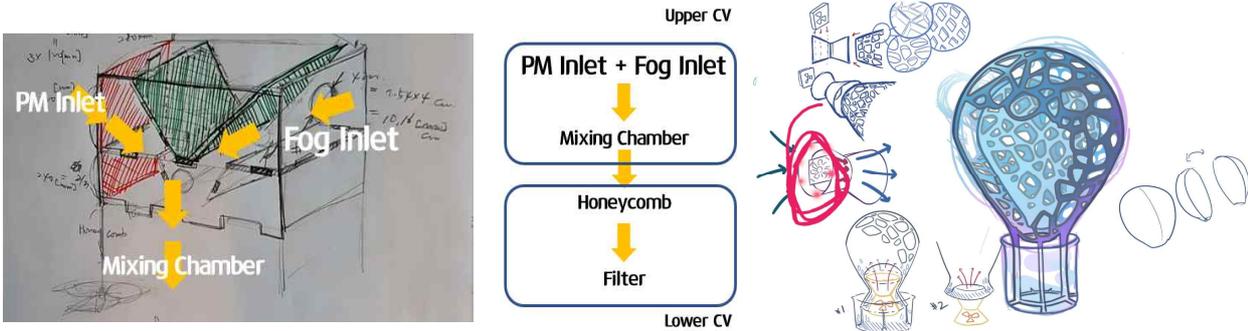


Fig. 3 Control Volume 2D CAD Design

Fig. 4 Control Volume 3D CAD Design

[2] Filter 3D Print Without Outer Layer

3D 형상 모델의 stl. 파일을 슬라이싱 단계에 Open source SW인 Slic3r와 Repetier-Host를 이용해 내부 적층만으로 제작한 구조물을 제작했다.

외부 적층을 없애고 내부 적층만으로 제작한 본 구조물은 안개가 통과하는 입자의 크기가 프린터의 성능에 의존하는 특성을 지니고 있으므로 필터 제작에 논리적 접근이 불가능하다는 문제가 있으나, 3D 프린터의 필라멘트 출력량을 조절함으로써 거미줄 형상으로 단위 부피당 표면적을 넓힐 수 있는 가능성이 있음을 알 수 있다.

Table 1 Printed without skirt and outer layer and specification of used 3D printer

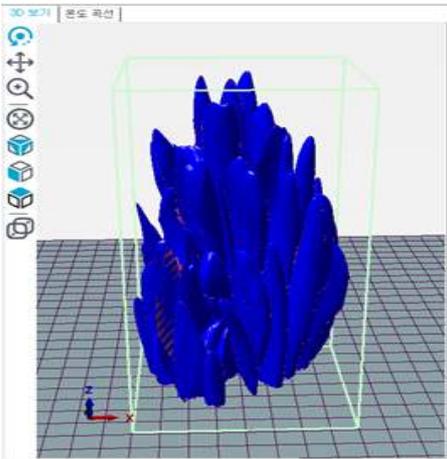
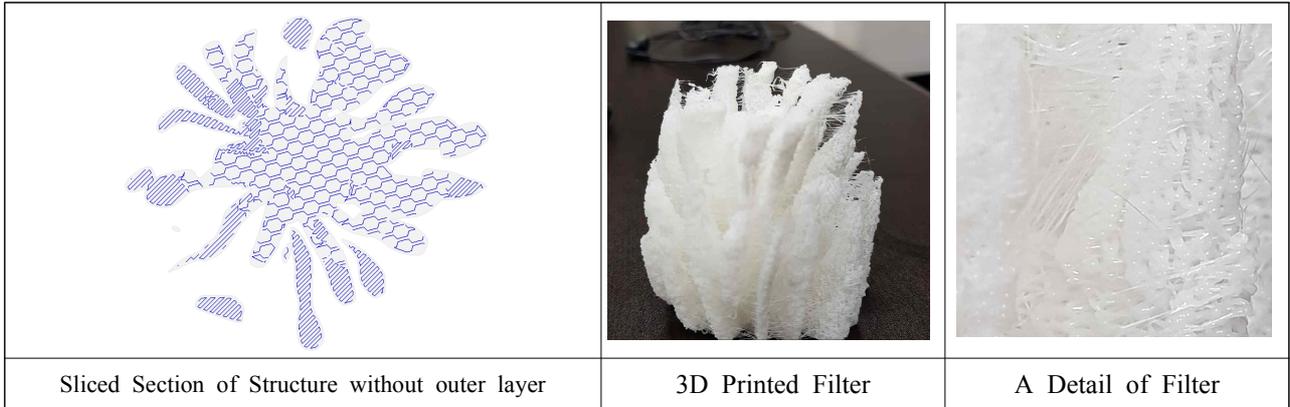
Printed Without skirt and outer layer	
	Material : PLA Filament
	(density : 1.210 ~1.430[g/cm <sup>3</sup> ] dia. 1.75[mm])
	Nozzle : Diameter 0.5 [mm]
	사용 3D 프린터 : Gigamakers - Giga Tech spec.
	산업용 대형 FDM 3D 프린터
	외관 사이즈 764 x 688 x 770 [mm]
	출력 가용사이즈 : 400 x 400 x 400 [mm]
	spec.
	70 x 70 x 100 [mm]
	Infill : 40 %
	Infill type : Honeycomb
	Printing Hour : 7 hr.

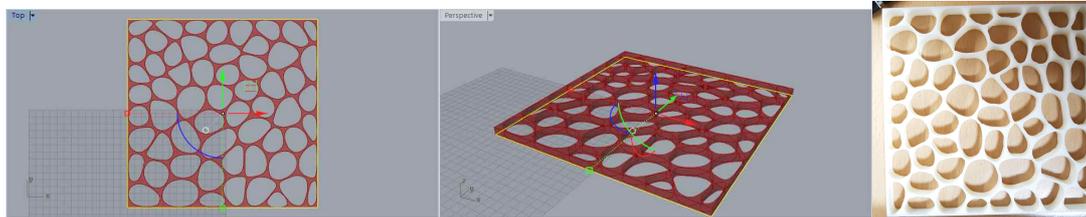
Table 2 Printed basic conceptual filter design

Basic Conceptual Filter Design		

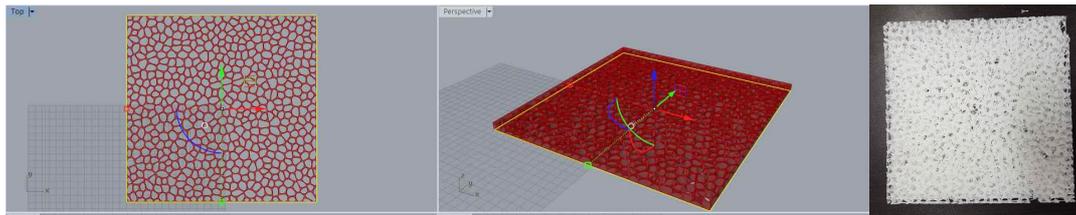


Drawing Voronoi Diagram Structure - Rhino/Grasshopper

보로노이 다이어그램을 이용하기 위해 라이노 - 그라스호퍼 소프트웨어를 사용하였다.



(a) 135 x 135 x 10 [mm] 60 generators



(b) 135 x 135 x 5 [mm] 600 generators

Fig. 5 3D printed Voronoi Filter

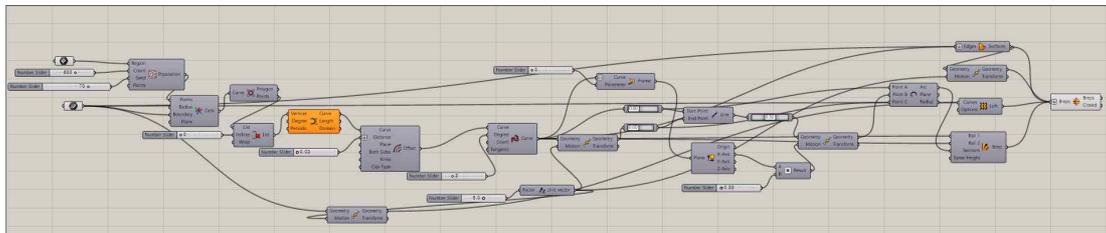


Fig 6 Rhino Grasshopper - Algorithm Design Script

‘실험 환경 구성’ 단계에서 실험 진행을 위한 (1) Control Volume 제작과 (2) FDM Voronoi Filter 제작을 위한 Concept 과 설계 및 형상 결정을 진행하였다. 실험 진행을 위한 Filter 제작 이론 외에도, Control Volume 설계 근간 이론과 구현 방법에 대한 연구를 실효성 검증 및 데이터 추출과정과 함께 진행했다.

본 설계는 보로노이 필터 제작과 그 활용방안인 안개 속 미세먼지 포집기이므로 사용 환경에 따라 제작비용이 유동적일 수 있으나 Control Volume 제작과 함께 7만원 ~ 10만원 이내로 제작이 가능하다.

Table 3 Making Plan

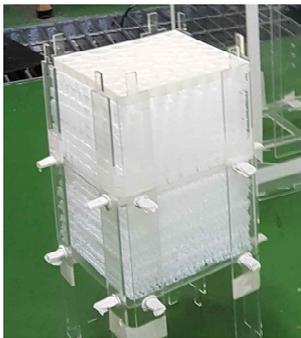
<p>설계 진행 내용</p>	<p>4월</p>	<p>5월</p>	<p>6월</p>	<p>7월</p>	<p>8월</p>	<p>9월</p>
-----------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------



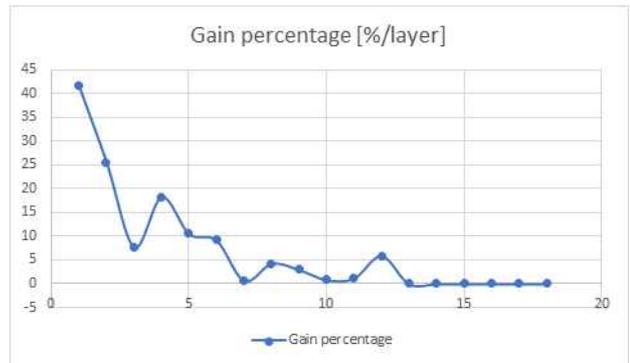
**Table 5 Voronoi Filter gram per layer**

Generator Counts 600		Generator Counts 60	
5 mm [Layer]	[g]	10 mm [Layer]	[g]
1	7.32	1	14.74
2	8.22	2	14.28
3	8.19	3	14.32
4	7.75	4	14.26
5	7.99	5	14.31
6	8.09	6	13.83
7	8.26	7	13.9
8	8.15	8	13.67
9	8.07	9	13.8
10	8.12	Average	14.123
11	8.14	Generator 개수 600개 필터는 두께가 5mm인 18개의 층으로 구성되어 있다. Generator 개수 60개 필터는 두께가 10mm인 9개의 층으로 구성되어 있다.  필터 적층 순서는 Inlet과 가까운 순서 (1번 layer = inlet)이며 각각의 단은 총 9cm로 구성된다.	
12	7.87		
13	8.3		
14	8.15		
15	8.27		
16	7.32		
17	8.28		
18	8.23		
Average	8.04		

[1] 5시간 동안 상대습도 99%인 상태에서 제너레이터 개수 600개인 보로노이 필터의 무게 변화 추이  
 Total dew droplets = 13.543 [g]



**Fig 8 Voronoi Filter (2 stages)**



**Fig 9 Dew droplet gain percentage per layer**

[2] 3시간, 6시간, 8시간 간격 상대습도 99%인 상태 첫 번째 단(제너레이터 개수 60개)의 보로노이 필터의 무게 변화와 두 번째 단(제너레이터 개수 600개)의 보로노이 필터 무게 변화 추이  
 (\*gain percentage는 Weight 대비 무게 증가율)

**Table 6 1<sup>st</sup> Stage filter weight gain percentage per layer**

1 <sup>st</sup> Stage [Layer]	Weight [g]	3hr Weight increase [g]	3hr Weight increase [%]	6hr Weight increase [g]	6hr Weight increase [%]	8hr Weight increase [g]	8hr Weight increase [%]
1	13.8	17.78	28.84	19.71	42.83	22.911	66.02
2	13.67	17.62	28.90	19.37	41.70	21.935	60.46
3	13.9	16.45	18.35	17.44	25.47	18.784	35.14

4	13.83	15.57	12.58	16.07	16.20	16.57	19.81
5	14.31	15.28	6.78	15.76	10.13	16.332	14.13
6	14.26	14.83	4.00	15.19	6.52	15.544	9.00
7	14.32	14.6	1.96	14.78	3.21	14.844	3.66
8	14.28	14.28	0.00	14.31	0.21	14.32	0.28
9	14.74	14.74	0.00	14.74	0.00	14.8	0.41

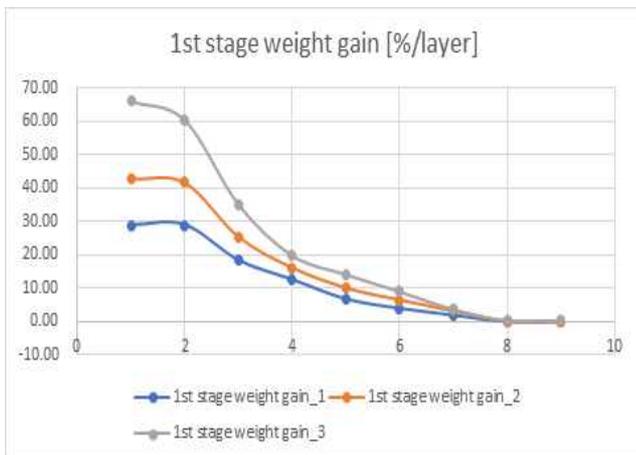
1<sup>st</sup> Stage total dew drops = 14.04 [g], 20.26[g], 28.93[g]

**Table 7** 2<sup>nd</sup> Stage filter weight gain percentage per layer

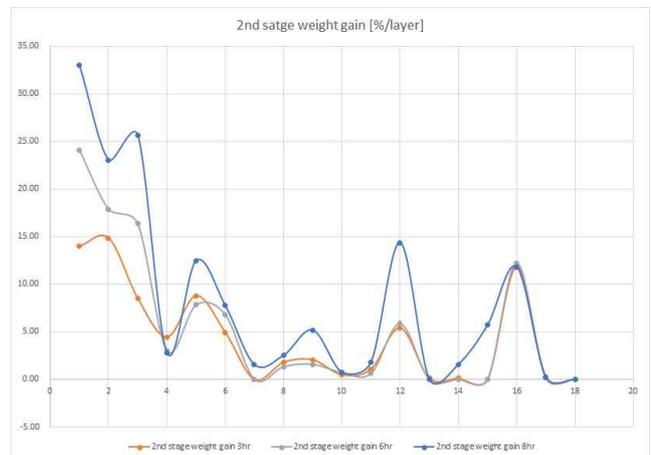
2 <sup>nd</sup> Stage [Layer]	Weight [g]	3hr Weight increase [g]	3hr Weight increase [%]	6hr Weight increase [g]	6hr Weight increase [%]	8hr Weight increase [g]	8hr Weight increase [%]
1	7.32	8.51	13.98	9.64	24.07	10.92	32.97
2	8.22	9.65	14.82	10.01	17.88	10.68	23.03
3	8.19	8.95	8.49	9.79	16.34	11.01	25.61
4	7.75	8.11	4.44	7.99	3.00	7.97	2.76
5	7.99	8.76	8.79	8.67	7.84	9.13	12.49
6	8.09	8.51	4.94	8.68	6.80	8.77	7.75
7	8.26	8.04	0.00	8.26	0.00	8.39	1.55
8	8.15	8.3	1.81	8.26	1.33	8.36	2.51
9	8.07	8.24	2.06	8.2	1.59	8.51	5.17
10	8.12	8.16	0.49	8.18	0.73	8.18	0.73
11	8.14	8.23	1.09	8.19	0.61	8.29	1.81
12	7.87	8.32	5.41	8.36	5.86	9.19	14.36
13	8.3	8.31	0.12	8.5	0.00	8.3	0.00
14	8.15	8.16	0.12	8.15	0.00	8.28	1.57
15	8.27	8.27	0.00	8.27	0.00	8.77	5.70
16	7.32	8.3	11.81	8.34	12.23	8.3	11.81
17	8.28	8.3	0.24	8.29	0.12	8.3	0.24
18	8.23	8.23	0.00	8.23	0.00	8.23	0.00

2<sup>nd</sup> Stage total dew drops = 6.85 [g], 9.29[g], 14.86[g]

Total dew drops = 20.89 [g/3hr], 29.55 [g/6hr], 43.79 [g/8hr]



**Fig 10** 1st Stage Dew droplets weight



**Fig 11** 2nd Stage Dew droplets weight

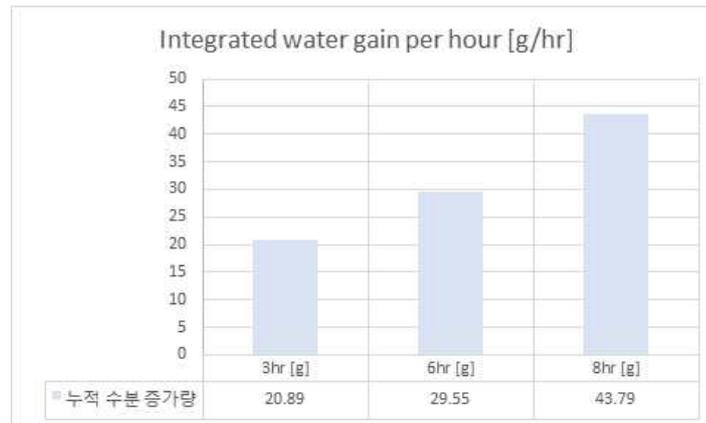


Fig 13 Total Integrated Dew droplets weight

본 설계 [FDM 3D Printing을 이용한 안개 발생구역 미세먼지 포집기]는 안개와 미세먼지의 화학작용에 의한 높은 에어로졸 수치를 낮추기 위한 필터 제작에 목적을 두고 있다.

보로노이 필터 실험 제작에 PLA 필라멘트를 사용하였으며 제너레이터 개수 변화에 따른 안개 포집 성능 비교를 필터 무게(Weight) 대비 무게 증량(gain percentage[%])으로 살펴보았다. 실험 결과, 흡입구에서 들어오는 안개를 원활히 응결하기 위해 제너레이터 개수를 점차 늘일 경우보다 효과적으로 안개 포집이 가능한 것을 알 수 있다. 제너레이터 개수가 60개인 경우와 600개인 경우, 그리고 단일 층으로 구성된 필터와 복층으로 구성된 필터 모두 누적 수분 증가량이 선형적으로 나타나며 안개 포집 능력이 있음을 확인하였다. 따라서 안개를 빨아들이는 과정에서 다공성 필터가 가능한 많은 안개를 머금고 있을수록 응결되는 액적의 양 또한 증가하는 것을 확인할 수 있다.

종래의 미세먼지 제거 필터는 입자를 거르는 과정이 2차원 평면에서 발생하며, 이를 위해 단일 방향 동력공급과 그에 따른 단일 방향 유체유동을 통해 이루어진다.

2차원 평면상 운동으로 간주할 수 있는 해당 여과방식은 본 설계 3D 프린팅 다공성 구조물을 활용한 안개발생구역 미세먼지 포집기를 통해 보로노이 구조(Voronoi Diagram)를 적용한 3차원 다공성 필터를 제작함으로써 필터의 표면적을 극대화시킬 수 있다.

안개 발생구역의 지리적 특성을 고려한 필터 제작 및 소재 다양화가 가능한데 보로노이 구조(Voronoi Diagram)를 적용한 3차원 다공성 필터는 밀도(제너레이터 - 보로노이 구조를 형성하는 점)와 본 설계 'Fog Catcher'의 Inlet 방법을 안개 발생구역의 지리적 특성을 고려하여 다르게 적용할 수 있다.

#### 4. 결론

본 설계는 내 저수지, 댐 그리고 산간지역에서 안개(fog)와 박무(mist), 연무(공기 중 먼지에 의해 시야가 흐려지는 현상)에 의해 짙어지는 미세먼지 농도를 줄이기 위해 안개 발생이 잦은 지역에서 발생하는 높은 에어로졸 수치를 낮추기 위한 필터 제작과 그 활용방안에 대한 설계이다. 이는 2차원 평면상 운동으로 간주할 수 있는 해당 여과방식을 본 설계인 보로노이 구조(Voronoi Diagram)를 적용한 3차원 다공성 필터를 제작함으로써 제거 효율의 극대화를 목표로 한다.

본 설계 'Fog Catcher'에 사용되는 필터는 1단, 2단, 3단의 세 층으로 구성되며 층류 > 난류로 유체 유동을 야기함으로써 안개 입자들의 충돌응결을 발생시킨다. 따라서 본 설계는 상기 세 개의 단을 거쳐 미세먼지를 품은 안개를 제거할 수 있다. 또한 2차원 평면에서 진행되던 여과방식을 3차원 공간으로 차원을 높임으로써 표면적 극대화 가능하다는 점과 Fog Catcher의 3차원 다공성 필터는 안개 입자들의 자연충돌을 이용한 포집방식을 사용하므로 종래의 제품들에 비해 상대적으로 적은 동력을 사용할 것이라는 판단이 가능하다. 이는 FDM 3D 프린팅의 특성상 안개 발생구역의 지리적 특성을 고려한 필터 제작 및 소재 다양화 가능성을 시사한다.

실험 결과 Dew droplet의 양은 제너레이터 개수 증가에 따라 비교적 선형 증가추세를 그리는 것으로 판단되며 안개를 빨아들이는 과정에서 다공성 필터가 가능한 많은 안개를 머금고 있을수록 응결되는 액적의 양 또한 증가하는 것을 알 수 있다.

이로써 본 설계 [FDM 3D 프린팅 다공성 구조물을 활용한 안개발생구역 미세먼지 포집기]는 안개발생 구역 미세먼지 제거에 사용될 뿐만 아니라 제습장치로 응용 가능성이 높다.

본 필터 제작방식은 기공의 크기와 개수 조정 및, 형상 변화를 통해 흡음소재 및, 완충 시트 등 다양한 목적으로 사용 가능할 것으로 판단된다. 3D Printing으로 제작하기 때문에 동시 다발적 대량생산에는 상대적으로 불리하지만, 단위 개수 당 생산 비용은 기하급수적으로 낮아질 수 있으며, 이는 생산 방식 변화로 대량생산을 구현할 가능성이 있음을 간접 증명하는 셈이다.

따라서 본 설계를 통해 환경적, 공간적 문제로 미세먼지 해결이 어려운 지역에 탁월한 효과를 기대할 수 있다.

### 참고문헌 (References)

- (1) OH, Sunjong, et al. Fog Collection/Removal System Using a Moss Filter. Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B, 2016, 40.7: 449-455.
- (2) SEO, Donghyun, et al. The effects of surface wettability on the fog and dew moisture harvesting performance on tubular surfaces. Scientific reports, 2016, 6: 24276.
- (3) Kang, Sungyun, et al. A Study of Morphological Design Possibilities Using the Voronoi Diagram, 2008, 8;
- (4) Lee Jong Seok, Lee Jae Jung. (2017). Study on 3D Printing Fashion Design Using Voronoi Diagram. Journal of The Korean Society of Fashion Design, 17(3), 155-167.
- (5) 서정현, Fine dust and dust and fog removal equipment, C01D 1/20(2006.01.01.), filed Oct 12 2017, and issued Jan 17 2017
- (6) 부경대학교 산학협력단, Appartus for production of water from fog, E03B 3/28(2006.01.01.), filed Nov. 8 2011, and issued April 9 2013
- (7) SKARŻYŃSKA, K.; POLKOWSKA, Żaneta; NAMIEŚNIK, Jacek. Sample Handling and Determination of Physico-Chemical Parameters in Rime, Hoarfrost, Dew, Fog and Cloud Water Samples-a Review. Polish Journal of Environmental Studies, 2006, 15.2.
- (8) TRAKUMAS, S.; SALTER, E. Parallel particle impactor - novel size-selective particle sampler for accurate fractioning of inhalable particles. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2009. p. 012060.