

ISSN 1738-8716(Print)

ISSN 2287-8130(Online)

Particle and Aerosol Research

Part. Aerosol Res. Vol. 14, No. 1: March 2018 pp. 9-16

<http://dx.doi.org/10.11629/jpaar.2018.14.1.009>

## 활성탄 섬유 필터를 전극으로 활용한 정전 방식의 공기정화장치의 가스 및 입자 제거 특성 분석

임기택<sup>1),2)</sup> · 김용진<sup>1)</sup> · 한방우<sup>1)</sup> · 우창규<sup>1)</sup> · 신원규<sup>2)</sup> · 김학준<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>한국기계연구원 환경기계연구실, <sup>2)</sup>충남대학교 기계공학과

(2018년 3월 19일 투고, 2018년 3월 27일 수정, 2018년 3월 27일 게재확정)

## Gas and particle removal characteristics of a novel electrostatic precipitation type air cleaner using an activated carbon filter as an electrode

Gi-Taek Lim<sup>1),2)</sup> · Yong-Jin Kim<sup>1)</sup> · Bangwoo Han<sup>1)</sup> · Chang Gyu Woo<sup>1)</sup>  
· Weon Gyu Shin<sup>2)</sup> · Hak-Joon Kim<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>*Department of Eco-Machinery Systems, Environmental and Energy Systems Research Division,*

*Korea Institute of Machinery & Materials*

<sup>2)</sup>*Mechanical engineering department, Chungnam National University*

(Received 19 March 2018; Revised 27 March 2018; Accepted 27 March 2018)

### Abstract

We have developed an electrostatic precipitation (ESP) type air cleaner for indoor air quality and investigated its performances regarding CADR (Clean air delivery rate), single-pass efficiency and gas removal efficiency. The ESP air cleaner used an ACF (Activated carbon fiber) filter for gas removal and the ACF as a high voltage electrode for particle removal. The ESP air cleaner was tested in a chamber with the volume of 1 m<sup>3</sup> regarding CADR and gas removal efficiency. The applied CADR area of the ESP was 1.8 m<sup>2</sup>. Gas removal efficiency was tested with 3 gases (Acetaldehyde, Acetic acid, Ammonia). As the results of the gas removal efficiency, the ESP air cleaner shows the removal efficiencies of 90, 98 and 85% for acetaldehyde, acetic acid and ammonia, respectively.

**Keywords:** Clean air delivery rate, Gas removal efficiency. Air cleaner, Activated carbon fiber, Electrostatic precipitation type

---

\* Corresponding author.

Tel : +82-42-868-7775, Fax : +82-42-868-7284

E-mail : diayolk@kimm.re.kr

## 1. 서론

실내 공기 질 향상을 위해 주로 사용되는 공기청정기는 가정용으로는 HEPA (High efficiency particulate air) 필터와 차량용으로는 이온나이저를 사용하며 전체 시장의 90% 이상을 차지하고 있다. 이온나이저 방식의 공기청정기는 작고 사용이 쉬우나, 입자청정화능력이 낮아 짧은 시간 내에 실내 공기를 청정화 할 수가 없고, 유해 가스를 제거 할 수 있는 능력이 존재하지 않는다. 필터식 공기청정기는 입자를 제거 할 수 있는 HEPA 필터와 유해 가스를 제거할 수 있는 입상활성탄필터로 구성되어 있다. 이들 필터는 사용 기간이 증가함에 따라 필터에 쌓인 오염물질로 인해 압력손실이 증가하여 청정화 효율이 낮아지며, 필터에 쌓인 오염물질이 재비산할 가능성이 높아지기 때문에 주기적인 필터 교체가 필요하다는 단점을 지닌다 (Park et al., 2003). HEPA 필터와 이온나이저 방식 외에 습식 방식 공기청정기가 있다. 습식 방식 공기청정기는 입자 제거 성능은 낮으며, 가스 제거 능력 또한 낮다. 또 습식 방식의 공기청정기는 공기청정기 가동 시 발생되는 수분에 흡착된 오염원을 사용자가 흡입할 수 있는 위험성도 있다.

본 연구에서는 앞에서 언급한 공기청정기들의 단점을 보완하기 위하여 입자 제거 효율이 높고 압력손실이 낮은 정전 방식으로 새로운 공기청정기에 대한 연구를 진행하였다. 정전 방식 공기청정기는 2단 전기집진기의 형태로, 오염된 입자를 전기적으로 하전 시키는 하전부와, 하전된 입자를 정전기력으로 포집하는 집진부로 구성되어 있다. 여러 산업용 입자 제거 장치 및 실내 입자 제거 장치에 적용된 사례가 다수 존재하는 탄소 섬유 이온나이저가 하전 장치로 사용되었으며(Kim et al., 2011; Kim et al., 2013; Kim et al., 2017), 금속봉과 이를 둘러싼 금속 타공판 및 ACF (activated carbon fiber)필터로 집진부에 전기장을 형성하였다. 탄소 섬유 이온나이저는 수  $\mu\text{m}$  크기의 탄소 섬유 다발로 이루어져 있으며, 금속 재질의 이온나이저에 비해 낮은 전압에도 높은 이온을 발생시킬 수 있고, 오존발생량은 5 ppb 이하이다 (Kim et al., 2018). 정전 방식의 전기집진기는 그 자체로는 유해 가스를 제거할 수 없기 때문에 집진부의 금속 타공판 후단에 유해 가스를 제거 할

수 있는 ACF 필터를 부착하도록 설계하였다. ACF 필터는 활성탄섬유가 복잡하게 얽혀있는 천 형태의 가스 제거 필터로 비표면적이 입상 활성탄보다 매우 넓어 흡착할 수 있는 가스 용량이 크고, 입상 활성탄과 비교하여 쉽게 원하는 형태로 가공할 수 있으며, 비교적 낮은 온도 (100 ~ 200 °C)에서 흡착했던 가스를 재배출하여 본래 상태로 재생할 수 있기 때문에 수명이 길다는 장점도 지니고 있다(Sidheswaran et al., 2012). 이러한 장점들을 바탕으로 최근 유망한 대체 흡착제로 주목을 받고 있다(Lorimier et al., 2005).

## 2. 실험 방법

본 연구에서는 앞서 설명한 새로운 개념의 정전 방식 공기청정기의 개발과 평가를 진행하였다. 국내 공기청정기의 평가 기준인 KACA (Korea air cleaning association) 규격에 준하여 평가를 진행하였다(KACA, 2006). Table 1. 은 KACA 공기청정기 실험방법과 본 연구에서 정전방식 공기청정기의 적용면적을 고려한 실험 방법이다.

Table 1. Comparison of experimental approach

	SPS-KACA002-132	This study
Size of a chamber	30 m <sup>3</sup> , 8 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>
Size of a duct	600 × 600 mm	180 × 180 mm
Test particle	KCl (1%)	KCl (1%)
Test gases	Toluene,	
	Acetic acid,	Acetic acid,
	Ammonia,	Ammonia,
	Acetaldehyde,	Acetaldehyde
	Formaldehyde	

### 2.1 분진청정화능력 및 가스 실험 방법

본 연구에서는 공기청정기의 적용면적을 고려하여 1 m<sup>3</sup> 크기의 챔버를 제작하여 실험을 진행하였다. 공기청정기 크기를 고려한 소형 챔버에서 진행된 실험은 분진청정화능력(CADR, clean air delivery

rate)과 가스 제거 성능 평가 실험이었다. Fig. 1은 본 연구에서 진행한 챔버 실험의 개략도이다.

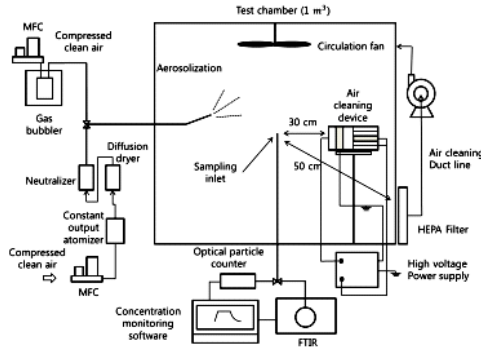


Fig. 1. Schematic of a chamber experiment used to measure particle CADR and gas removal efficiency

분진청정화능력의 실험과정은 챔버 내의 클리닝 시스템을 통해 0.25 ~ 0.35 μm 직경 범위 입자가 개수 농도 기준 10<sup>5</sup> 개/m<sup>3</sup> 까지 낮춘다. 이후 KCl 1% 수용액을 atomizer (Model 3076; TSI Inc., Shoreview, MN, USA)를 통해 분무 시킨 후 이를 diffusion dryer와 neutralizer (Model 3012; TSI Inc., Shoreview, MN, USA)를 사용하여 증화시킨 뒤 챔버에 입자를 주입한다. 이때 챔버 내에 직경 0.25 ~ 0.35 μm 범위 입자가 개수 농도 기준으로 약 10<sup>8</sup> ~ 10<sup>9</sup> 개/m<sup>3</sup>에 도달할 때까지 입자를 주입한다. 입자 수농도가 실험농도에 도달하면 평가 대상 공기청정기를 가동하고, 1분 단위로 약 20분 동안 측정한다. 이때 측정기는 OPC (optical particle counter, Model 1.109; Grimm, Germany)를 사용하였다.

분진청정화능력 P의 이론적 계산식은 다음과 같다.

$$P = \frac{V}{t} \left( \ln \frac{C_{\tau_2}}{C_{i_2}} - \ln \frac{C_{\tau_1}}{C_{i_1}} \right) \quad (1)$$

여기서 V는 시험 챔버의 체적 (m<sup>3</sup>), t는 시간, C<sub>i1</sub>는 자연 감소시 측정 개시점 τ=0에서 입자농도 (개/m<sup>3</sup>), C<sub>τ1</sub>는 자연 감소시 측정 시간 τ분에서 입자농도 (개/m<sup>3</sup>), C<sub>i2</sub>는 운전 감소시 측정 개시점 τ=0에서 입자 농도 (개/m<sup>3</sup>), C<sub>τ2</sub>는 운전 감소시 측정 시간

τ분에서 입자 농도 (개/m<sup>3</sup>)이다. 이때 분진청정화능력 P 값에 7.9를 곱하여 적용면적(m<sup>2</sup>)을 산출할 수 있다.

가스 제거 성능은 버블러를 통해 액체상의 가스 용액을 기화시켜 챔버 안으로 주입한다. 이때 발생 유량은 2 L/min으로 주입한다. 가스 실험시 측정 장치는 FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy, Model 14000; Midac, Westfield MA, USA) 20 m cell 장치를 사용하였다. 주입 가스 농도는 10 ppm 까지 주입하며 가스 농도가 10 ppm에 도달하면 가스 주입을 멈춘다. 가스 주입이 완료 되면 챔버 내의 공기청정기를 30분 동안 가동하면서 FTIR을 통해 10 초 간격으로 측정하게 된다.

가스 제거 효율 N<sub>G</sub>은 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$N_G = \left( 1 - \frac{C_{i30}}{C_{i0}} \right) \times 100 \quad (2)$$

여기서 N<sub>G</sub>은 가스 제거 효율 (%), C<sub>i30</sub>은 운전 30분 후 가스 농도 (ppm), C<sub>i0</sub>는 운전 초기 가스 농도 (ppm)이다.

## 2.2 집진실험

본 연구에서는 공기청정기의 크기를 고려하여 180×180 mm 크기의 덕트를 제작하여 집진 효율 실험을 진행하였다. Fig. 2는 본 실험에서 진행한 집진 덕트의 개략도이다.

집진 효율 실험은 상류측과 하류측으로 구분되며 중간에 실험 공기청정기를 배치하여 분진 포집율을 측정한다. 상류측에 KCl 1% 수용액을 사용하여 atomizer를 통해 분무 시킨 후 이를 diffusion dryer와 neutralizer 사용하여 증화시킨 뒤 챔버에 입자를 주입한다. 이때 챔버 내에 입자 0.25 ~ 0.35 μm 직경 범위 입자가 개수 농도 기준으로 약 10<sup>8</sup> 개/m<sup>3</sup>를 주입한다. 집진 효율 계산식은 다음과 같다.

$$N_P = \left( 1 - \frac{C_1}{C_0} \right) \times 100 \quad (3)$$

여기서 N<sub>P</sub>는 집진 효율 (%), C<sub>0</sub>는 상류측 입자개수농도 (개/m<sup>3</sup>), C<sub>1</sub>는 하류측 입자개수농도 (개/m<sup>3</sup>)을 말한다.

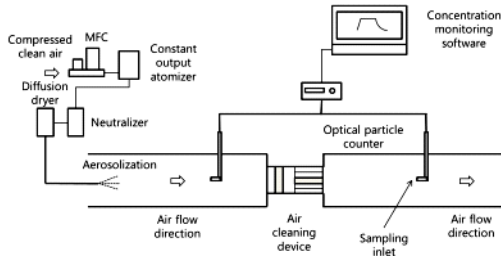


Fig. 2. Schematic of experimental setup to measure single-pass collection efficiency

### 3. 정전 공기청정장치 제작

Fig. 3은 본 연구에서 개발한 장치의 모식도이다. 본체 길이는 210 mm, 내경 100 mm 크기의 원통형 모양이며, 하전부와 집진부로 나뉜 2단 전기 집진기 형태의 모습이다. 집진부에서 ACF 필터를 고전압 전극으로 사용하여 하전된 입자의 집진부 방향으로의 유동과 가스 유동 방향이 분리되어 입자와 가스의 정화가 동시에 분리되어 가능하다는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 공기청정기의 유량, 하전부 인가전압, 집진부 인가전압, 필터 두께에 따른 공기 정화 능력 실험을 진행하였으며, 실험 결과에 따른 원인 분석을 하였다.

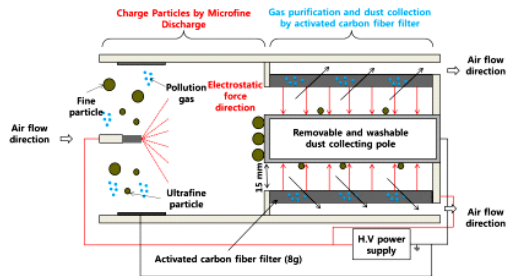


Fig. 3. Schematic of a novel ESP type air cleaner developed in this study

### 4. 실험 결과 및 고찰

집진부 인가전압에 따른 집진 효율 성능을 평가하였다. 실험 조건은 ACF 3 mm 필터를 사용하였고, 유량은 267 L/min에서 집진부의 인가전압에 따른 집진 효율을 측정하였다.

Fig. 4는 하전부 인가전압에 따른 집진 효율을 측정한 그래프이며, 하전부 인가전압을 올리면서 집진 효율을 측정하였다. 집진부 인가전압 -6 kV, -8 kV에서는 하전부 인가전압을 -9 ~ -15 kV까지 올림에 따라 집진효율도 올라갔다. 그러나 집진부 -10 kV에서 하전부 인가전압 -11 kV까지는 집진 효율이 증가하였으나 -15 kV에서는 더 이상 증가하지 않았다. 이는 하전부 인가전압 -11 kV 이상에서 하전 효율은 최대치인 것을 뜻하며 더 높은 효율을 얻기 위해서는 집진부 인가전압 또한 올려야 한다. 최적 조건은 집진부 인가전압에 따른 최대 효율은 집진부 -10 kV, 하전부 인가전압에 따른 최대 효율인 -11 kV로 선정하였다.

Fig. 5는 유량에 따른 집진 효율을 측정한 그래프이다. 집진 효율은 유량이 증가함에 따라 선형적으로 감소하는 것을 확인하였다. 이는 유량이 증가함에 따라 공기청정기 안에서 정전기력에 의한 입자를 포집하는 시간이 짧아지기 때문이다. 전기 집진기의 특성 상 집진기 내에서 충분히 하전이 될 시간과 하전된 입자에 정전기력이 가해질 시간이 필요하다. 이와 같은 이유로 유량에 따른 최적 조건은 260 ~ 380 L/min 으로 선정하였으며, 이때 집진 효율은 약 80%이었다.

Fig. 6은 유량에 따른 분진정화능력을 적용면적으로 계산한 실험 그래프이다. 3 mm ACF 기준으로 실험을 진행하였다. 실험 결과 상대적으로 낮은 유량인 209, 286 L/min에서는 유량이 증가할수록, 또 인가전압이 증가할수록 CADR 적용면적 값이 올라가는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 362 L/min의 유량에서는 CADR 적용면적 값이 -10 kV 조건에서 매우 선형적으로 증가하는 결과가 나왔다. 그 이유는 CADR 적용면적은 이론적인 계산 방법을 통해 설명할 수 있다. 다음 식은 챔버 내 입자 분포가 균일하다는 가정하에서 CADR 적용면적 값의 이론적인 계산 방법이다.

$$Applied\ area\ (m^2) = 7.9 \times Q \times \eta = 7.9 \times CADR \quad (4)$$

여기서 Q는 유량,  $\eta$ 은 집진 효율을 말한다. 위의 식과 같이 CADR 적용면적은 유량과 집진 효율과 비례관계인 것을 알 수 있다. 따라서 일반 공기청정기의 경우 높은 유량에서 높은 효율의 필터를 사용하여 높은 CADR 적용면적 값을 얻을 수 있다. 하지만 본 연구에서 적용한 전기 집진기 방식은 일반적으로 유량이 증가할수록 집진 효율이 감소하는 경향을 보인다. -6 kV 와 -8 kV 조건에서는 Fig. 5와 같이 유량이 증가함에 따라 집진 효율은 낮아지기 때문에 CADR 적용면적 값이 더 이상 증가 하지 못하고 일정 CADR 적용면적 값으로 수렴 되었다. 유량에 따른 CADR 적용면적 값이 더 이상 감소하지 않은 이유는 챔버 내의 공기청정기를 통해 순환되는 공기의 양도 증가하기 때문이다. 유량이 증가하여 집진 효율은 떨어졌으나, 밀폐된 챔버 내에서는 유량이 증가하면 공기청정기를 통해 청정화 되는 유량 또한 많아진다. 이 두 개의 조건이 상충되어 효율은 떨어지거나 증가하지 않는다.

반면 -10 kV 조건에서는 분진청정화능력이 유량에 따라 계속 해서 증가 하였다. 이는 본 연구에서 진행한 유량 조건인 209 ~ 381 L/min에서 -10 kV의 집진효율은 유량에 큰 영향을 받지 않는다. Fig. 5 그래프를 보면 267 L/min에서 381 L/min으로 유량이 증가하였을 때 집진 효율은 약 4% 낮아졌다. 따라서 인가전압 -10 kV, 유량 381 L/min까지는 CADR 적용면적이 유량에 의해 떨어지는 집진 효율보다, 유량이 증가하면서 순환되어 청정화 되는 유량에 의한 영향을 많이 받기 때문이다. 그러나 -10 kV조건에서도 380 L/min 이상의 유량을 가하면 앞서 설명한 -6 kV, -8 kV와 같은 이유로 CADR 적용면적 값은 증가하지 않고 수렴 될 것으로 사료된다.

Fig. 7은 유량별 인가전압에 따른 CADR 적용면적 그래프이다. 3 mm ACF 필터를 기준으로 실험을 진행하였다. 실험 결과 유량이 동일한 조건에서 인가전압이 올라감에 따라 CADR 적용면적 값도 증가하였다. 이는 앞서 언급한 식 (4)에서 CADR 적용면적은 집진 효율이 높을수록, 유량이 높을수록 값이 증가한다. Fig. 4에서 같은 유량에서 인가전압이 높아짐에 따라 집진 효율이 높아지는 것을 확인하였고, 또한 집진부 인가전압도 동시에 증가하여 정전기력

세기도 증가하기 때문에 Fig. 7의 CADR 적용면적도 높아지는 것을 확인하였다.

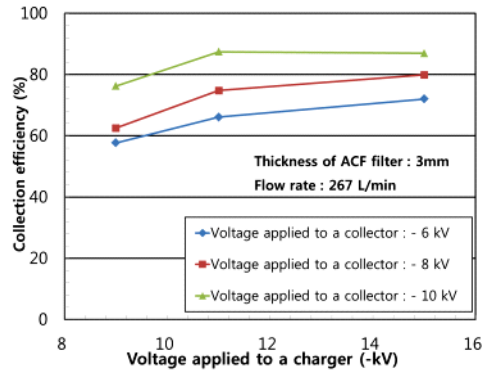


Fig. 4. Single-pass collection efficiency of an ESP air cleaner according to applied voltage to a charger

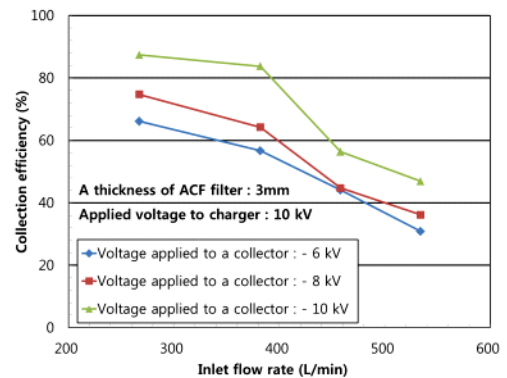


Fig. 5. Single-pass collection efficiency of an ESP according to flow rate

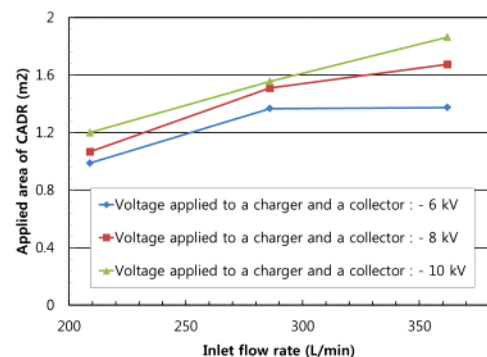


Fig. 6. Applied area of an ESP according to flow rate

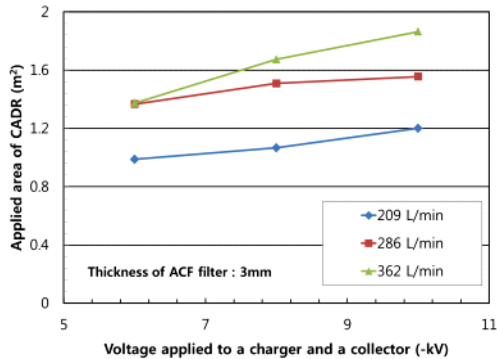


Fig. 7. Applied area of an ESP according to applied voltage

Fig. 8은 초산 가스 제거 효율을 나타낸 그래프이다. 초산 가스 제거 효율은 유량이 증가함에 따라 높은 가스 제거 효율을 보였다. 또한, Fig. 8과 같이, 암모니아의 경우 초산 가스 제거 효율과 마찬가지로 높은 유량에서 가스 제거 효율 또한 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 높은 유량을 통해 공기청정기 내부의 순환량이 높아짐에 따라 활성탄 섬유 필터로 순환되는 가스 양 또한 증가하여 유량이 많을수록 가스 제거 효율 또한 증가하는 것을 확인하였다.

Fig. 10은 아세트알데히드 가스 제거 효율을 나타낸 그래프이다. 실험결과 아세트알데히드 가스 제거 효율은 20 ~ 25%로 매우 낮았으며, 유량에 따라 큰 영향을 받지 않았다. ACF 필터의 초산과 암모니아 가스 제거 효율은 우수하였으나, 아세트알데히드 제거 효율은 20%로 매우 낮았다. 이는 초산과 암모니아 가스의 필터에서 제거 방법은 흡착에 의한 제거이다. 초산 가스과 암모니아 가스는 ACF 필터 내에서 밀도 차에 의한 흡착이 이뤄지며 물리적인 방법으로 가스가 제거 된다. 그러나 아세트알데히드의 경우는 흡착에 의한 제거 효율은 낮으며 화학적인 반응을 통해 제거되어야 한다(Chen et al., 2005; Mochizuki et al., 2016). 따라서 본 연구에서는 알데히드 가스 제거 물질로 알려진 파라 아미노벤조산(p-aminobenzoic acid)을 ACF 필터에 코팅하여 가스 제거 효율을 측정하였다. 코팅 후 아세트알데히드 가스 제거 효율은 360 L/min, 30분 기준으로 약 90% 이상의 효율을 확인하였다. 이는 ACF 필터에 파라 아미노벤조산을 코팅하여 기존 효율 대비 약 70%이

상의 효율을 높이는데 성공하였다.

Fig. 11은 파라 아미노벤조산 코팅 후 3개 가스(아세트알데히드, 초산, 암모니아)에 대한 제거 효율 그래프이다. 실험결과 30분 기준으로 초산, 암모니아 가스 제거 효율은 큰 차이가 없었으며, 아세트알데히드 가스 제거 효율이 큰 폭으로 상승한 것을 확인하였다.

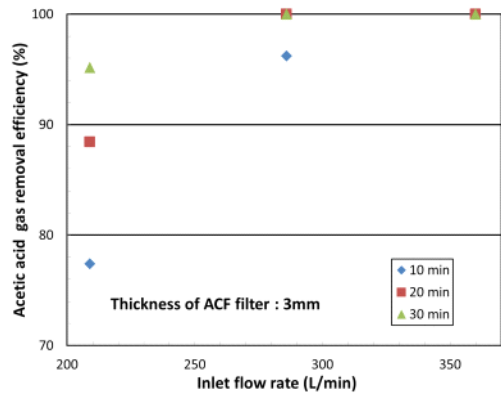


Fig. 8. Acetic acid gas removal efficiency of an ESP according to flow rate

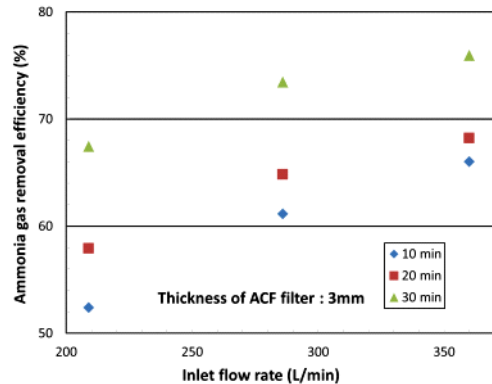


Fig. 9. Ammonia gas removal efficiency of an ESP according to flow rate

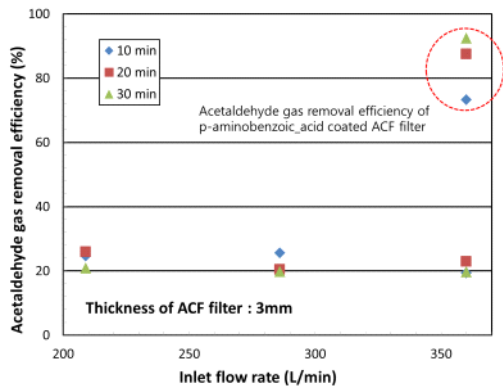


Fig. 10. Acetaldehyde gas removal efficiency of an ESP according to flow rate

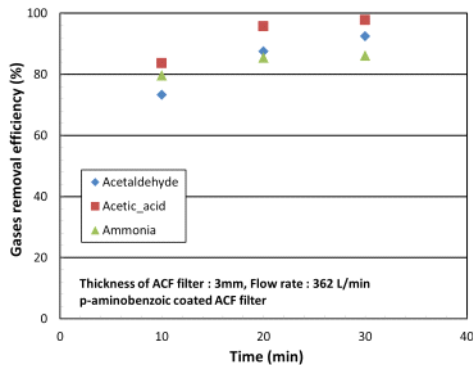


Fig. 11. Gases removal efficiency of an ESP with a p-aminobenzoic coated activated carbon filter

Table 2. Performance of this study device

	This study
Flow rate (L/min)	360
Collection efficiency (%)	80
Applied area of CADR (m <sup>2</sup> )	1.8
Gases removal efficiency (%)	91.3

### 5. 결론

본 연구에서는 전기 집진방식과 ACF 필터를 사용한 신 개념 공기청정기를 개발 및 평가를 하였으며 이를 통해 기존에 차량에 적용되는 공기청정기들의 단점을 보완하면서도 높은 효율을 확인하고자 하였

다. 본 연구에서 수행한 집진실험, 분진 청정화 실험, 가스 제거 효율 실험, 실험을 통해 공기청정기의 최적조건을 선정하였다. 다음 Table 2.는 본 연구를 통해 개발한 공기청정기의 최적조건에서의 성능이다.

본 연구에서는 필터를 최소화한 정전방식의 차량용 가스 입자 동시 저감 기술을 개발에 성공하였으며, 이를 통해 차량 및 교통수단 내의 공기 질 개선에 많은 기여를 할 수 있을 것이라고 생각된다.

### 감사의 글

본 논문은 한국기계연구원의 주요사업 핵심과제 (NK212E) 및 중소벤처기업부의 기술개발사업 (AI2920) 의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### Reference

Chen, W., Zjang, J.S., and Zjang, Z.Z. (2005). Performance of air cleaners for removing multiple volatile organic compounds in indoor air, ASHRAE transactions, 111, 1101-1114.

Kim, H.J., Han, B., Kim, Y.J., Hwang, G.D., Oh, W.S., Yoo, S.Y., and Oda, T. (2011). Fine particle removal performance of a two-stage wet electrostatic precipitator using a nonmetallic pre-charger, Journal of the air & waste management association, 61(12), 1334-1343.

Kim, H.J., Han, B., Kim, Y.J., Oda, T., and Won, H. (2013). Submicrometer particle removal indoors by a novel electrostatic precipitator with high clean air delivery rate, low ozone emissions, and carbon fiber ionizer, Indoor air, 23, 269-378. penetration through filtering facepieces and respirator cartridges, American Industrial Hygiene Association Journal, 53(9), 566-574.

Kim, H.J., Han, B., Woo, C.G., Kim, Y.J., Park, S.J., and Yoon, J.P. (2017). Ozone emission and electrical characteristics of ionizers with different electrode materials, number, and diameters, IEEE

- transactions on industry applications, 53(1), 459-465.
- Kim, M.J., Lim, G.T., Kim, Y.J., Han, B., Woo, C.G, and Kim, H.J. (2018), A novel electrostatic precipitator-type small air purifier with a carbon fiber ionizer and an activated carbon fiber filter, *Journal of Aerosol Science*, 117, 63-73.
- KACA (2006). Room air cleaner standard, Seoul, Korea, Korea air cleaning association (SPS-KACA002-132).
- Lorimier, C., Subrenat, A., Le Coq, L., and Le Cloirec, P. (2005). Adsorption of toluene onto activated carbon fiber cloths and felts: application to indoor air treatment, *Environmental technology*, 26, 127-1230.
- Mochizuki, T., Kubota, M., Matsuda, H., and D'Elia Camacho, F. L. (2016). Adsorption behaviors of ammonia and hydrogen sulfide on activated carbon prepared from petroleum coke by KOH chemical activation, *Fuel processing technology*, 114, 164-169.
- Park, J.W., Lee, Y.W. Choi, D.K., and Lee, S.S. (2003). Adsorption characteristics of toluene and trichloroethylene onto activated carbon fiber, *Journal of industrial and engineering chemistry*, 9(4), 381-390. February 5-7.
- Sidheswaran, M.A., Destailats, H., Sullivan, D.P., Cohn, S., and Fisk, W.J. (2012). Energy efficient indoor VOC air cleaning with activated carbon fiber(ACF) filters, *Building and environment*, 47, 357-367.