(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0000628
(43) 공개일자 2025년01월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 46/00 (2022.01) *B01D 47/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
B01D 46/0035 (2013.01)
B01D 46/0001 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0082608
(22) 출원일자 2023년06월27일
심사청구일자 2023년06월27일

(71) 출원인
국립한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
최원산
전라북도 완주군 봉동읍 둔산1로 107, 102동 1004호
정영주
충청북도 충주시 갱고개로 116, 3동 105호
(74) 대리인
특허법인 플러스

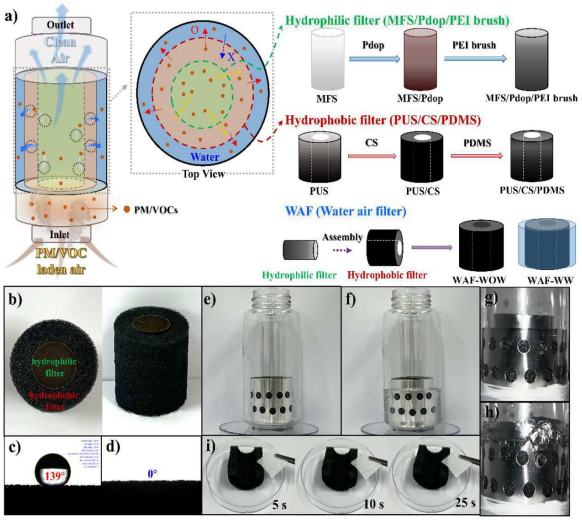
전체 청구항 수 : 총 21 항

(54) 발명의 명칭 **미세먼지 및 휘발성유기화합물 제거용 습식 에어필터 및 이를 포함하는 집진장치**

(57) 요 약

본 발명은 친수성 다공성 부재 및 상기 친수성 다공성 부재의 외주면에 형성된 소수성 다공성 부재를 포함하는 코어-쉘 복합 다공성부재; 및 상기 복합다공성 부재를 수용하는 하우징; 및 상기 복합다공성 부재와 하우징 사이에 채워진 액상층;을 포함하는 습식 에어필터 및 이를 포함하는 집진장치에 관한 것으로, 공기중에 포함된 미세먼지와 휘발성유기화합물을 동시에 빠른 속도로 제거할 수 있으며, 수명 및 안전성을 향상시킬 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
B01D 47/02 (2013.01)
B01D 2239/0471 (2013.01)
B01D 2239/10 (2013.01)
B01D 2239/1208 (2024.08)
B01D 2257/708 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1345366002
과제번호 2021R1I1A3048257
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 지역대학우수과학자지원사업
연구과제명 생활밀착 및 재난 형 유해인자 저감을 위한 스마트복합소재개발
기 여 율 1/1
과제수행기관명 한밭대학교
연구기간 2021.06.01 ~ 2024.05.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

친수성 다공성 부재 및 상기 친수성 다공성 부재의 외주면에 형성된 소수성 다공성 부재를 포함하는 코어-쉘 복합 다공성부재; 및

상기 복합다공성 부재를 수용하는 하우징; 및

상기 복합다공성 부재와 하우징 사이에 채워진 액상층;을 포함하는 습식 에어필터.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 습식 에어필터의 일단은 친수성 다공성 부재의 영역만이 개방되고, 타단은 모두 개방된 것인 습식 에어필터.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 소수성 다공성 부재는, 다공성 발포체를 탄소입자 강화(reinforcing)처리한 후 상기 탄소입자 강화된 다공성 발포체를 소수성 처리하여 제조된 것인 습식 에어필터.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 소수성 다공성 부재는 다공성 발포체의 표면 및 발포셀의 표면을 소수화 처리하여 제조되는 것인 습식 에어필터.

청구항 5

제3항 또는 4항에 있어서,

상기 소수성 처리는 상기 탄소입자 강화된 다공성 발포체를 실록산계 중합체 용액에 함침하는 것인, 습식 에어필터.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 탄소입자 강화는 숯, 탄소나노튜브, 흑연, 풀러렌(Fullerene) 및 비정질 탄소 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 탄소입자로 처리하는 것인 습식 에어필터.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 친수성 다공성 부재는,

(a) 다공성 발포체를 도파민을 함유하는 중합용액에 함침하고 중합하여 표면에 도파민계 중합체를 코팅하는 단계; 및

(b) 상기 도파민계 중합체가 코팅된 다공성 발포체를 아민기 함유 화합물을 포함하는 용액에 함침하여 친수성 다공성 부재를 제조하는 단계;를 포함하여 제조되는 것인 습식 에어필터.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 친수성 다공성 부재의 밀도(d_1) 및 상기 소수성 다공성 부재의 밀도(d_2)는 하기 식 1을 만족하는 습식 에어필터.

[식 1]

$d_1 > d_2$

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 복합 다공성 부재의 외주면과 하우징 사이에 천공 가드(perforated guard)를 더 포함하는 습식 에어필터.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 친수성 다공성 부재 표면의 수 접촉각은 50°이하이며,

상기 소수성 다공성 부재 표면의 수 접촉각은 100°이상인 습식 에어필터.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 따른 습식 에어필터의 친수성 다공성부재의 일단면에 불순물을 포함하는 기체 또는 에어로졸을 주입하는 단계;

상기 기체 또는 에어로졸이 친수성 다공성 부재로부터 소수성 다공성 부재를 거쳐 액상층으로 순차적으로 확산되어 불순물을 제거하는 단계; 및

상기 불순물이 제거된 기체 또는 에어로졸이 상기 습식 에어필터 외부로 배출되는 단계;를 포함하는 습식 에어필터의 여과방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 불순물은 미세먼지, 휘발성유기화합물(Volatile organic compound, VOC) 또는 이들의 조합을 포함하는 여과방법.

청구항 13

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 따른 습식 에어필터를 포함하는 집진장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 집진장치는 별도의 외부 에너지 없이 자발적으로 구동되는, 집진장치.

청구항 15

친수성 다공성 부재; 및

상기 친수성 다공성 부재의 외주면에 형성된 소수성 다공성 부재;를 포함하는 코어-쉘 복합 다공성 부재.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 소수성 다공성 부재는, 다공성 발포체를 탄소입자 강화(reinforcing)처리한 후 상기 탄소입자 강화된 다공성 발포체를 소수성 처리하여 제조된 것인 코어-쉘 복합 다공성 부재.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 소수성 다공성 부재는 다공성 발포체의 표면 및 발포셀의 표면을 소수화 처리하여 제조되는 것인 코어-쉘 복합 다공성 부재.

청구항 18

제16항 또는 17항에 있어서,

상기 소수성 처리는 상기 탄소입자 강화된 다공성 발포체를 실록산계 중합체 용액에 함침하는 것인, 코어-쉘 복합 다공성 부재.

청구항 19

제16항에 있어서,

상기 탄소입자 강화된 다공성 발포체는 탄소입자는 숯, 탄소나노튜브, 흑연, 풀러렌(Fullerene) 및 비정질 탄소 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 탄소입자로 처리하여 다공성 발포체의 표면을 강화하는 것인 코어-쉘 복합 다공성 부재.

청구항 20

제15항에 있어서,

상기 친수성 처리는,

(a) 다공성 발포체를 도파민을 함유하는 중합용액에 함침하고 중합하여 표면에 도파민계 중합체를 코팅하는 단계; 및

(b) 상기 도파민계 중합체가 코팅된 다공성 발포체를 아민기 함유 화합물을 포함하는 용액에 함침하여 친수성 다공성 부재를 제조하는 단계;를 포함하여 제조되는 것인, 코어-쉘 복합 다공성 부재.

청구항 21

제15항에 있어서,

상기 친수성 다공성 부재의 밀도(d_1) 및 상기 소수성 다공성 부재의 밀도(d_2)는 하기 식 1을 만족하는, 코어-쉘 복합 다공성 부재.

[식 1]

$d_1 > d_2$

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 미세먼지 및 휘발성유기화합물 제거용 습식 에어필터 및 이를 포함하는 집진장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 미세먼지(Particulate matter, PM)는 바이오 매스의 연소, 차량 배출 및 산업 배출로 인해 전 세계적으로 생성량이 증가하고 있는 추세이다. 미세먼지에 지속적으로 노출되는 경우, 호흡기 및 심혈관 질환과 같은 다양한 건강 문제의 원인이 된다. 미세먼지는 입자의 크기에 따라 지름이 10 ㎛보다 작은 미세먼지(PM_{10}), 지름이 2.5 ㎛보다 작은 초미세먼지($PM_{2.5}$) 및 지름이 0.3 ㎛보다 작은 나노 단위의 극초미세먼지($PM_{0.3}$)로 구분할 수 있다. 그 중에서도 특히 $PM_{2.5}$와 $PM_{0.3}$은 크기가 작아 호흡기를 통해 미세먼지가 유입되어 인체에 축적되기 쉽다.

[0003] 한편, 산업체에서 배출되고, 비점이 낮아서 대기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체상 유기화합물을 총칭하는 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOC)은 발암성 물질로서 인체에 매우 유해하며, 악취를 유발

할 뿐만 아니라 광화학반응에 의해 오존, OH 라디칼, NO_x 등의 독성 부산물을 생성하는 점에서 인체에 치명적인 위험이 될 수 있다.

[0004] 이에, 공기 중에 포함된 휘발성유기화합물 및 미세먼지를 필터링하여 오염된 공기를 정화할 수 있는 에어필터를 개발하는 것이 매우 중요하다.

[0005] 그러나, 종래 상용화된 에어필터의 경우, 장기간 사용 시 필터에 입자가 축적되어 압력강하 폭이 증가함에 따라 에너지 소비량이 증가하고 필터의 수명이 저하되는 문제가 있으며, 미세먼지와 휘발성유기화합물을 빠른 속도로 제거하는데 한계가 있다. 따라서, 수명이 향상되고, 미세먼지 및 휘발성유기화합물을 신속하게 여과하여 공기를 정화할 수 있는 에어필터의 개발이 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은 상기 종래 기술의 문제를 해결하기 위한 것으로서, 미세먼지와 휘발성유기화합물을 신속하게 제거할 수 있는 습식 에어필터 및 이를 포함하는 집진장치를 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명의 다른 목적은 수명 및 안전성이 향상된 습식 에어필터 및 이를 포함하는 집진장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명에 따른 습식 에어필터는 친수성 다공성 부재 및 상기 친수성 다공성 부재의 외주면에 형성된 소수성 다공성 부재를 포함하는 코어-쉘 복합 다공성부재; 및 상기 복합다공성 부재를 수용하는 하우징; 및 상기 복합다공성 부재와 하우징 사이에 채워진 액상층;을 포함한다.

[0009] 일 실시예에 있어서, 상기 습식 에어필터의 일단은 친수성 다공성 부재의 영역만이 개방되고, 타단은 모두 개방된 것일 수 있다.

[0010] 일 실시예에 있어서, 상기 소수성 다공성 부재는, 다공성 발포체를 탄소입자 강화(reinforcing)처리한 후 상기 탄소입자 강화된 다공성 발포체를 소수성 처리하여 제조된 것일 수 있다.

[0011] 일 실시예에 있어서, 상기 소수성 다공성 부재는 다공성 발포체의 표면 및 발포셀의 표면을 소수화 처리하여 제조되는 것일 수 있다.

[0012] 일 실시예에 있어서, 상기 소수성 처리는 상기 탄소입자 강화된 다공성 발포체를 실록산계 중합체 용액에 함침하는 것일 수 있다.

[0013] 일 실시예에 있어서, 상기 탄소입자 강화는 숯, 탄소나노튜브, 흑연, 풀러렌(Fullerene) 및 비정질 탄소 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 탄소입자로 처리하는 것일 수 있다.

[0014] 일 실시예에 있어서, 상기 친수성 다공성 부재는, (a) 다공성 발포체를 도파민을 함유하는 중합용액에 함침하고 중합하여 표면에 도파민계 중합체를 코팅하는 단계; 및 (b) 상기 도파민계 중합체가 코팅된 다공성 발포체를 아민기 함유 화합물을 포함하는 용액에 함침하여 친수성 다공성 부재를 제조하는 단계;를 포함하여 제조될 수 있다.

[0015] 일 실시예에 있어서, 상기 친수성 다공성 부재의 밀도(d_1) 및 상기 소수성 다공성 부재의 밀도(d_2)는 하기 식 1을 만족할 수 있다.

[0016] [식 1]

[0017] $d_1 > d_2$

[0018] 일 실시예에 있어서, 상기 복합 다공성 부재의 외주면과 하우징 사이에 천공 가드(perforated guard)를 더 포함할 수 있다.

[0019] 일 실시예에 있어서, 상기 친수성 다공성 부재 표면의 수 접촉각은 50°이하이며, 상기 소수성 다공성 부재 표면의 수 접촉각은 100°이상일 수 있다.

[0020] 본 발명은 상술한 습식 에어필터를 이용한 여과방법을 포함한다.

[0021] 본 발명에 따른 여과방법은 상술한 습식 에어필터의 친수성 다공성부재의 일단면에 불순물을 포함하는 기체 또는 에어로졸을 주입하는 단계; 상기 기체 또는 에어로졸이 친수성 다공성 부재로부터 소수성 다공성 부재를 거쳐 액상층으로 순차적으로 확산되어 불순물을 제거하는 단계; 및 상기 불순물이 제거된 기체 또는 에어로졸이 상기 습식 에어필터 외부로 배출되는 단계;를 포함한다.

[0022] 일 실시예에 있어서, 상기 불순물은 미세먼지, 휘발성유기화합물 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0023] 본 발명에 따른 집진장치는 상술한 습식 에어필터를 포함한다.

[0024] 일 실시예에 있어서, 상기 집진장치는 별도의 외부 에너지 없이 자발적으로 구동될 수 있다.

[0025] 본 발명에 따른 코어-쉘 복합 다공성 부재는 친수성 다공성 부재; 및 상기 친수성 다공성 부재의 외주면에 형성된 소수성 다공성 부재;를 포함한다.

[0026] 일 실시예에 있어서, 상기 소수성 다공성 부재는, 다공성 발포체를 탄소입자 강화(reinforcing)처리한 후 상기 탄소입자 강화된 다공성 발포체를 소수성 처리하여 제조된 것일 수 있다.

[0027] 일 실시예에 있어서, 상기 소수성 다공성 부재는 다공성 발포체의 표면 및 발포셀의 표면을 소수화 처리하여 제조되는 것일 수 있다.

[0028] 일 실시예에 있어서, 상기 소수성 처리는 상기 탄소입자 강화된 다공성 발포체를 실록산계 중합체 용액에 함침하는 것일 수 있다.

[0029] 일 실시예에 있어서, 상기 탄소입자 강화된 다공성 발포체는 탄소입자는 숯, 탄소나노튜브, 흑연, 풀러렌(Fullerene) 및 비정질 탄소 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 탄소입자로 처리하여 다공성 발포체의 표면을 강화하는 것일 수 있다.

[0030] 일 실시예에 있어서, 상기 친수성 처리는, (a) 다공성 발포체를 도파민을 함유하는 중합용액에 함침하고 중합하여 표면에 도파민계 중합체를 코팅하는 단계; 및 (b) 상기 도파민계 중합체가 코팅된 다공성 발포체를 아민기 함유 화합물을 포함하는 용액에 함침하여 친수성 다공성 부재를 제조하는 단계;를 포함하여 제조되는 것일 수 있다.

[0031] 일 실시예에 있어서, 상기 친수성 다공성 부재의 밀도(d_1) 및 상기 소수성 다공성 부재의 밀도(d_2)는 하기 식 1을 만족할 수 있다.

[0032] [식 1]

[0033] $d_1 > d_2$

발명의 효과

[0034] 본 발명에 따른 습식 에어필터 및 이를 포함하는 집진장치는 미세먼지와 휘발성유기화합물을 신속하게 제거할 수 있다.

[0035] 또한, 수명 및 안전성이 향상된 습식 에어필터 및 이를 포함하는 집진장치를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0036] 도 1(a)는 일 실시예에 따른 습식 에어필터 및 이의 제조방법을 도시한 모식도이고, 도 1(b)는 일 실시예에 따른 코어-쉘 복합 다공성 부재의 사진이며, 도 1(c)는 소수성 다공성 부재의 수 접촉각을 측정한 사진이고, 도 1(d)는 친수성 다공성 부재의 수접촉각을 측정한 사진이며, 도 1(e) 내지 (i)는 일 실시예에 따른 습식 에어필터를 도시한 사진이다.

도 2(a) 내지 (f)는 일 실시예에 따른 코어-쉘 복합 다공성 부재의 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM) 사진이고, 도 2(g) 내지 (j)는 코어-쉘 복합 다공성 부재의 에너지 분산 X선 분광분석 스펙트럼(Energy dispersive X-ray spectroscopy, EDX)을 도시한 그래프이며, 도 2(k) 및 (l)은 코어-쉘 복합 다공성 부재의 퓨리에 변환 적외선 분광(Fourier-transform infrared spectroscopy, FT-IR) 스펙트럼을 도시한 도면이다.

도 3(a)는 일 실시예에 따른 습식 에어필터를 이용한 여과방법을 도시한 사진이고, 도 3(b) 내지 (d)는 일 실시

예에 따른 습식 에어필터의 미세먼지 제거 효율을 측정한 그래프이다.

도 4(a) 내지 (f)는 일 실시예에 따른 습식 에어필터의 미세먼지 제거 효율을 측정한 그래프이다.

도 5(a) 내지 (c)는 일 실시예에 따른 습식 에어필터의 구동 시간에 따른 미세먼지 농도 변화를 측정한 그래프이고, 도 5(d) 및 (e)는 공기 주입속도에 따른 미세먼지 제거 효율을 측정한 그래프이며, 도 (f)는 공기 주입속도에 따른 압력강하를 측정한 그래프이다.

도 6(a) 내지 (d)는 일 실시예에 따른 습식 에어필터 및 헤파필터(H13 등급)의 장기 미세먼지 제거 성능 및 그에 따른 압력강하를 측정한 그래프이다.

도 7(a)는 일 실시예에 따른 습식 에어필터를 이용한 여과방법을 도시한 사진이고, 도 7(b) 내지 (f)는 일 실시예에 따른 습식 에어필터의 휘발성유기화합물 제거 효율을 측정한 그래프이다.

도 8(a) 및 (b)는 일 실시예에 따른 습식 에어필터의 세균 번식 실험 결과를 관측한 사진이고, 도 8(c) 내지 (e)는 일 실시예에 따른 습식 에어필터의 휘발성유기화합물 제거 효율을 측정한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0037] 본 발명의 미세먼지 및 휘발성유기화합물 제거용 습식 에어필터 및 이를 포함하는 집진장치를 상세히 설명한다. 본 명세서에서 사용되는 용어는 본 발명의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 관련 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가질 수 있다.

[0038] 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 “포함하다” 또는 “가지다” 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 또는 구성요소가 존재함을 의미하는 것이고, 특별히 한정하지 않는 한, 하나 이상의 다른 특징들 또는 구성요소가 부가될 가능성을 미리 배제하는 것은 아니다.

[0039] 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 사용하는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 단수인 것으로 특정하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 또한, 복수의 표현은 문맥상 명백하게 복수인 것으로 특정하지 않는 한, 단수의 표현을 포함한다.

[0040] 또한, 본 명세서에서 사용되는 수치 범위는 하한치와 상한치와 그 범위 내에서의 모든 값, 정의되는 범위의 형태와 폭에서 논리적으로 유도되는 증분, 이중 한정된 모든 값 및 서로 다른 형태로 한정된 수치 범위의 상한 및 하한의 모든 가능한 조합을 포함한다. 본 발명의 명세서에서 특별한 정의가 없는 한 실험 오차 또는 값의 반올림으로 인해 발생할 가능성이 있는 수치범위 외의 값 역시 정의된 수치범위에 포함된다.

[0041] 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 사용되는 정도의 용어 "약" 등은 허용오차가 존재할 때 허용오차를 포괄하는 의미로 사용된 것이다.

[0042] 미세먼지(Particulate matter, PM)는 바이오 매스의 연소, 차량 배출 및 산업 배출로 인해 전 세계적으로 생성량이 증가하고 있는 추세이다. 미세먼지에 지속적으로 노출되는 경우, 호흡기 및 심혈관 질환과 같은 다양한 건강 문제의 원인이 된다. 미세먼지는 입자의 크기에 따라 지름이 10 ㎛보다 작은 미세먼지(PM_{10}), 지름이 2.5 ㎛보다 작은 초미세먼지($PM_{2.5}$) 및 지름이 0.3 ㎛보다 작은 나노 단위의 극초미세먼지($PM_{0.3}$)로 구분할 수 있다. 그 중에서도 특히 $PM_{2.5}$와 $PM_{0.3}$은 크기가 작아 호흡기를 통해 미세먼지가 유입되어 인체에 축적될 수 있다.

[0043] 한편, 산업체에서 배출되고, 비점이 낮아서 대기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체상 유기화합물을 총칭하는 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOC)은 발암성 물질로서 인체에 매우 유해하며, 악취를 유발할 뿐만 아니라 광화학반응에 의해 오존, OH 라디칼, NO_x 등의 독성 부산물을 생성하는 점에서 인체에 치명적인 위험이 될 수 있다. 따라서, 공기 중에 포함된 휘발성유기화합물 및 미세먼지를 여과하여 오염된 공기를 정화할 수 있는 에어필터를 개발하는 것이 매우 중요한 화두로 제시되고 있다.

[0044] 종래 상용화된 건식 에어필터의 경우, 장기간 사용 시 필터에 불순물 입자가 축적되어 필터의 압력강하 폭이 증가함에 따라, 에너지 소비량이 증가하고 필터의 수명이 저하되는 문제가 있으며, 미세먼지와 휘발성유기화합물을 동시에 빠른 속도로 제거하는데 한계가 있다.

[0045] 이에 본 출원인은, 친수성 다공성 부재와 소수성 다공성 부재가 복합화된 복합 다공성 부재를 포함하여, 압력

강하 폭이 감소하여 수명이 향상되고, 기체 또는 에어로졸에 포함된 미세먼지 및 휘발성유기화합물을 신속하게 고효율로 제거할 수 있는 습식 에어필터를 개발하는데 이르렀다.

[0046] 본 발명에 따른 습식 에어필터는 친수성 다공성 부재 및 상기 친수성 다공성 부재의 외주면에 형성된 소수성 다공성 부재를 포함하는 코어-쉘 복합 다공성 부재; 및 상기 복합다공성 부재를 수용하는 하우징; 및 상기 복합 다공성 부재와 하우징 사이에 채워진 액상층;을 포함한다.

[0047] 친수성 다공성 부재 및 친수성 다공성 부재의 외주면에 형성된 소수성 다공성 부재를 포함하는 복합 다공성 부재를 포함하고, 상기 코어-쉘 구조의 복합 다공성 부재와 하우징 사이에 액상층이 위치함에 따라, 습식 에어필터로 유입되는 불순물 포함 기체 또는 에어로졸이 복합 다공성 부재를 통과하여 액상층으로 이동할 수 있다. 별도의 외부 에너지 없이도 기체 또는 에어로졸이 복합 다공성 부재를 경유하여 액상층으로 이동할 수 있어 불순물을 제거하는데 필요한 에너지 소모량을 현저하게 감소시킬 수 있다.

[0048] 또한, 상기 액상층에서 기체 또는 에어로졸에 포함된 불순물이 용해되어 복합 다공성 부재의 기공에 축적되는 불순물 입자의 양이 현저하게 감소할 수 있다. 따라서, 습식 에어필터의 장기 안정성 및 수명이 향상될 수 있어 유리하다.

[0049] 친수성 다공성 부재의 외주면에 소수성 다공성 부재가 위치하는 코어-쉘 구조의 복합 다공성 부재를 사용함에 따라, 소수성 다공성 부재와 접하는 액상층의 액체 성분이 복합 다공성 부재의 내부로 침투하지 않아 불순물 제거 성능 및 내구성이 향상될 수 있다.

[0050] 일 실시예에 있어서, 상기 친수성 다공성 부재의 밀도(d_1) 및 상기 소수성 다공성 부재의 밀도(d_2)는 하기 식 1을 만족할 수 있다.

[0051] [식 1]

[0052] $d_1 > d_2$

[0053] 즉, 친수성 다공성 부재가 소수성 다공성 부재보다 밀도가 커 친수성 다공성 부재가 소수성 다공성 부재 대비 압력이 높아질 수 있다. 친수성 다공성 부재와 소수성 다공성 부재 사이의 밀도 차이로 인해 압력 차가 발생함에 따라, 별도의 외부 에너지를 인가하지 않음에도 습식 에어필터로 유입된 기체 또는 에어로졸이 친수성 다공성 부재로부터 소수성 다공성 부재를 통과하여 액상층까지 자발적으로 이동할 수 있다. 따라서 불순물을 제거하는데 필요한 에너지를 현저하게 감축할 수 있다.

[0054] 일 실시예에 있어서, 상기 복합 다공성 부재의 외주면과 하우징 사이에 위치하는 천공 가드(perforated guard)를 더 포함할 수 있다. 천공가드는 불순물을 포함하는 기체 또는 에어로졸이 복합 다공성 부재로부터 액상층으로 통과할 수 있게 하고, 액상층의 액체 성분이 복합 다공성 부재의 내부로 침투하는 것을 방지할 수 있다.

[0055] 일 실시예에 있어서, 상기 습식 에어필터의 일단은 친수성 다공성 부재의 영역만이 개방되고, 타단은 모두 개방된 것일 수 있다. 보다 구체적인 일 예로, 상기 습식 에어필터의 일단으로 불순물을 포함하는 기체 또는 에어로졸이 유입되고, 불순물이 제거된 기체 또는 에어로졸은 습식 에어필터의 타단을 통해 배출될 수 있다. 습식 에어필터의 일단은 친수성 다공성 부재 영역만이 개방되어, 유입된 기체 또는 에어로졸이 친수성 다공성 부재와 소수성 다공성 부재를 순차적으로 통과할 수 있어 불순물 제거 효율을 향상시킬 수 있다.

[0056] 일 실시예에 있어서, 상기 소수성 다공성 부재는 다공성 발포체의 표면 및 발포셀의 표면을 소수화 처리하여 제조되는 것일 수 있으며, 보다 구체적으로 소수성 다공성 부재는 다공성 발포체를 탄소입자 강화(reinforcing)처리한 후 상기 탄소입자 강화된 다공성 발포체를 소수성 처리하여 제조된 것일 수 있다.

[0057] 일 실시예에 있어서, 상기 탄소입자 강화된 다공성 발포체는 탄소입자는 숯, 탄소나노튜브, 흑연, 풀러렌(Fullerene) 및 비정질 탄소 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 탄소입자로 처리하여 다공성 발포체의 표면을 강화하는 것일 수 있다. 이때, 상기 표면은 다공성 발포체의 외부 및 내부 표면일 수 있고, 또는 다공성 발포체 기공 표면의 일부 또는 전부를 의미할 수 있다. 다공성 발포체를 탄소 입자 강화 처리하여 다공성 발포체의 표면에 요철을 형성하고, 불순물 여과 효과를 향상시킬 수 있으며, 불순물로부터 유도되는 악취를 흡수할 수 있는 장점이 있다.

[0058] 상기 탄소입자 강화 처리된 다공성 발포체를 실록산계 중합체 용액에 함침하여 소수성 처리함에 따라, 소수성 다공성 부재를 제조할 수 있다. 상기 실록산계 중합체는 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS), 디페닐폴리디메틸실록산(Diphenylpolydimethylsiloxane, DP), 폴리메틸히드로실록산(Polymethylhydrosiloxane,

PMHS) 및 헥사메틸디실록산(Hexamethyldisiloxane, HMDS)을 포함하는 군에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있으며, 바람직하게는 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS)일 수 있다. 상기 실록산계 중합체로 소수성 처리할 때, 탄소 입자 강화 처리에 의해 표면에 요철이 형성된 다공성 발포체를 사용함에 따라, 다공성 발포체와 실록산계 중합체 간의 접착력을 극대화하여 내구성을 향상시킬 수 있으며, 불순물 제거 공정을 반복함에도 미세먼지 제거 효율의 저하를 최소화할 수 있다.

[0059] 일 실시예에 있어서, 상기 다공성 발포체는 우레탄계 수지, 페놀계 수지, 멜라민계 수지, 아크릴계 수지, 스티렌계 수지, 에스테르계 수지 및 올레핀계 수지를 포함하는 군에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 수지를 포함할 수 있으며, 바람직하게는 우레탄계 수지를 포함할 수 있다. 비한정적으로, 상기 다공성 발포체는 폴리우레탄 수지를 발포시켜 제조될 수 있으나, 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니다.

[0060] 일 실시예에 있어서, 상기 친수성 다공성 부재는, (a) 다공성 발포체를 도파민을 함유하는 중합용액에 함침하고 중합하여 표면에 도파민계 중합체를 코팅하는 단계; 및 (b) 상기 도파민계 중합체가 코팅된 다공성 발포체를 아민기 함유 화합물을 포함하는 용액에 함침하여 친수성 다공성 부재를 제조하는 단계;를 포함하여 제조될 수 있다.

[0061] 상기 (a) 단계를 통해 다공성 발포체의 표면을 친수성으로 개질할 수 있다. (b) 단계에서, 도파민계 중합체가 코팅된 다공성 발포체를 아민기 함유 화합물을 포함하는 용액에 함침하여, 상기 다공성 발포체의 표면에 아민기 함유 중합체를 코팅할 수 있다. 도파민계 중합체가 코팅된 다공성 발포체의 표면에서 상기 아민기 함유 중합체가 고분자 브러쉬(polymer brushes)를 형성할 수 있다. 고분자 브러쉬(polymer brushes)는, 사슬의 한쪽 끝이 표면이나 계면에 고정된 고분자 사슬의 집합체를 의미한다. 아민기 함유 중합체가 고분자 브러쉬를 형성함에 따라, 폴리도파민이 코팅된 다공성 발포체의 표면을 2차적으로 개질할 수 있다. 따라서, 상기 방법으로 제조되는 친수성 다공성 부재의 친수성 특성을 극대화할 수 있다.

[0062] 일 구체예에 있어서, 상기 아민기 함유 화합물은 예시적으로 디에틸렌트리아민(diethylenetriamine, DETA), 에틸렌디아민(ethylenediamine, EDA), 트리에틸렌테트라아민(triethylenetetramine, TETA), 트리스아미노에틸아민(tris(2-aminoethyl)amine, TAEA), 디에틸렌트리아민우레아(diethylenetriamineurea, UDETA), 폴리에틸렌이민(polyethyleneimine), 트리스(2-아미노에틸)아민(Tris(2-aminoethyl)amine) 및 2,2'-(에틸렌디옥시)비스(에틸아민)(2,2'-(ethylenedioxy)bis(ethylamine)) 및 트리스(히드록시메틸)아미노메테인(tris(hydroxymethyl)aminomethane)을 포함하는 군에서 선택되는 하나 또는 둘 이상을 포함할 수 있으며, 바람직하게는 트리스(히드록시메틸)아미노메테인(tris(hydroxymethyl)aminomethane), 폴리에틸렌이민(polyethyleneimine) 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니다.

[0063] 일 실시예에 있어서, 상기 다공성 발포체는 우레탄계 수지, 페놀계 수지, 멜라민계 수지, 아크릴계 수지, 스티렌계 수지, 에스테르계 수지 및 올레핀계 수지를 포함하는 군에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 수지를 포함할 수 있으며, 바람직하게는 멜라민계 수지를 포함할 수 있다.

[0064] 비한정적이고 구체적인 일 예로, 상기 멜라민계 수지는 멜라민 포름알데히드를 포함할 수 있으며, 다공성 발포체는 멜라민 포름알데히드 예비 축합물을 발포제를 통해 발포하여 제조된 것일 수 있다.

[0065] 상기 소수성 다공성 부재 및 친수성 다공성 부재 제조 시 사용되는 다공성 발포체의 형상은 특별히 제한되지 않고 적용분야에 따라 크기와 함께 조절될 수 있으나, 바람직하게는 불순물 제거 효율을 향상시킬 수 있는 실린더형일 수 있다.

[0066] 일 실시예에 있어서, 친수성 다공성 부재 표면의 수 접촉각은 50°이하, 바람직하게는 30° 이하일 수 있으며, 가장 바람직하게는 10° 이하일 수 있으며, 비한정적으로 0° 이상일 수 있다. 소수성 다공성 부재 표면의 수 접촉각은 100°이상, 좋게는 110° 이상일 수 있고, 가장 좋게는 120° 이상일 수 있으며, 비한정적으로 180° 이하일 수 있다.

[0067] 일 실시예에 있어서, 액상층은 기체 또는 에어로졸에 포함된 불순물을 용해할 수 있는 용매라면 제한하지 않고 포함할 수 있으며, 바람직하게는 물을 포함할 수 있다. 물은 후술하는 미세먼지, 휘발성유기화합물과 같은 불순물을 신속하게 용해할 수 있으며, 독성이 없어 습식 에어필터의 안정성을 향상시킬 수 있다.

[0068] 본 발명은 상술한 습식 에어필터를 이용한 여과방법을 포함한다. 상기 습식 에어필터는 상술한 바와 동일하므로 구체적인 설명은 생략한다.

[0069] 본 발명에 따른 여과방법은 상술한 습식 에어필터의 친수성 다공성부재의 일단면에 불순물을 포함하는 기체 또

는 에어로졸을 주입하는 단계; 상기 기체 또는 에어로졸이 친수성 다공성 부재로부터 소수성 다공성 부재를 거쳐 액상층으로 순차적으로 확산되어 불순물을 제거하는 단계; 및 상기 불순물이 제거된 기체 또는 에어로졸이 상기 습식 에어필터 외부로 배출되는 단계;를 포함한다.

[0070] 전술한 바와 같이, 불순물을 포함하는 기체 또는 에어로졸이 친수성 다공성 부재로 유입되어, 소수성 다공성 부재를 거쳐 액상층으로 이동함에 따라, 불순물은 액상층에 용해되어 제거되고, 불순물이 제거된 기체 또는 에어로졸이 습식 에어필터 외부로 배출되어 불순물을 여과할 수 있다. 습식 에어필터가 액상층을 포함함에 따라, 불순물 입자가 습식 에어필터의 복합 다공성 부재의 기공 내부에 축적되어 기공이 막힐 일 없이 액상층에 불순물 입자가 용해되어, 장기간 반복하여 불순물을 여과하여도 성능이 저하되지 않을 수 있다.

[0071] 일 실시예에 있어서, 상기 불순물은 인체에 매우 유해한 영향을 미치는 미세먼지, 휘발성유기화합물 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 구체적으로, 미세먼지는 직경이 10 ㎛보다 작은 미세먼지(PM_{10}), 직경이 2.5 ㎛보다 작은 초미세먼지($PM_{2.5}$), 지름이 0.3 ㎛보다 작은 나노 단위의 극초미세먼지($PM_{0.3}$) 등 다양한 입자 크기를 가지는 것일 수 있다. 즉, 본 발명에 따른 습식 에어필터는 불순물 입자의 크기와 무관하게 우수한 효율로 불순물을 제거할 수 있다.

[0072] 본 발명에 따른 집진장치는 상술한 습식 에어필터를 포함한다. 상기 습식 에어필터는 상술한 바와 동일하므로 구체적인 설명은 생략한다.

[0073] 본 발명의 습식 에어필터는 소수성 다공성 부재와 친수성 다공성 부재 간의 밀도구배에 의해 친수성 다공성 부재가 소수성 다공성 부재보다 높은 압력을 가질 수 있다. 따라서, 본 발명의 습식 에어필터를 포함하는 집진장치는 별도의 외력을 인가하지 않아도, 압력차에 의해 친수성 다공성 부재에서 소수성 다공성 부재를 통과해 액상층으로 공기 또는 에어로졸이 이동하여 자발적으로 공기 또는 에어로졸에 포함된 불순물을 제거할 수 있다. 따라서 에너지 소모량을 현저하게 줄일 수 있는 장점이 있다.

[0074] 본 발명에 따른 코어-쉘 복합 다공성 부재는 친수성 다공성 부재; 및 상기 친수성 다공성 부재의 외주면에 형성된 소수성 다공성 부재;를 포함한다.

[0075] 상기 코어-쉘 복합 다공성 부재에 포함된 친수성 다공성 부재 및 소수성 다공성 부재의 물질, 구조 및 형상이나 크기 등은 앞서 상술한 바와 동일 내지 유사함에 따라, 구체적인 설명은 생략한다.

[0076] 전술한 바와 같이, 복합 다공성 부재에 포함된 친수성 다공성 부재가 코어에 위치하고, 상기 친수성 다공성 부재의 외주면에 소수성 다공성 부재가 위치하는 코어-쉘 구조를 채택함에 따라, 코어 및 쉘의 밀도 구배로 인해 외력 없이도 자발적으로 공기 또는 에어로졸이 코어에서 쉘로 이동할 수 있다. 동시에, 쉘이 소수성을 갖고 있음에 따라, 쉘에서 코어로 친수성 물질이 침투하는 것을 방지할 수 있어 내구성 및 수명이 향상될 수 있으며, 우수한 불순물 여과 성능을 제공할 수 있다.

[0077] 이하, 본 발명을 실시예를 통해 더욱 상세히 설명한다.

[0078] (실시예 1)

[0079] **친수성 다공성 부재 제조**

[0080] 아세트산 나트륨(sodium acetate) 용액(205 mg/50 mL), 과아이오딘산나트륨(Sodium metaperiodate) 용액(112 mg/50 mL), 및 도파민(Dopamine) 용액(100 mg/50 mL)을 포함하는 혼합용액을 제조하였다. 상기 혼합용액에 지름이 20 mm이고, 높이가 40mm인 실린더 형태의 다공성 멜라민 수지 발포체(Basotect®바소텍, 바스프사)를 함침하고, 8시간 동안 교반하였다. 이후, 상기 혼합용액으로부터 다공성 멜라민 수지 발포체를 꺼내 증류수로 3회 세척하고 50 ℃에서 건조해 폴리도파민이 코팅된 다공성 멜라민 수지 발포제를 제조하였다. 이후, 트리스(히드록시메틸)아미노메테인(tris(hydroxymethyl)aminomethane(10 mM, pH 8.5) 용액 및 폴리에틸렌이민(polyethyleneimine) 0.072 g이 혼합된 아민기 함유 화합물을 포함하는 용액에 상기 폴리도파민이 코팅된 다공성 멜라민 수지 발포체를 넣어준 후, 60 ℃에서 3시간 동안 환류하였다. 이후, 상기 폴리도파민이 코팅된 다공성 멜라민 수지 발포체를 꺼내어 증류수로 3회 세척하고 50 ℃에서 건조하여, 친수성 다공성 부재를 제조하였다.

[0081] **소수성 다공성 부재 제조**

[0082] 촛불을 이용해 숯을 연소하여 탄소 입자를 얻었다. 아세톤 150 mL에 탄소 입자 0.3 g을 첨가하고, 1시간 동안 초음파 처리하여 탄소입자가 균일하게 분산된 탄소입자 분산 용액을 제조하였다. 외경 40 mm, 내경 20 mm 및 높

이 40 ㎜의 중공 실린더 형태의 다공성 폴리우레탄 발포체를 상기 탄소입자 분산용액에 함침하고 1시간 동안 초음파 처리하였다. 이후, 상기 다공성 폴리우레탄 발포체를 탄소입자 분산 용액으로부터 꺼내어 50 ℃의 온도로 1시간 동안 건조하여 탄소입자 강화 처리하였다.

[0083] 상기 탄소입자 강화 처리된 다공성 폴리우레탄 발포체를 폴리디메틸실록산(Polydimethylsiloxane, PDMS) 용액에 1시간 동안 함침한 후, 100 ℃에서 1 시간 동안 가열하여 소수성 다공성 부재를 제조하였다.

[0084] **습식 에어필터 제조**

[0085] 상기 소수성 다공성 부재의 중공부에 친수성 다공성 부재를 끼워 조립하여 코어-쉘 복합 다공성 부재를 제조하였다. 이때, 친수성 다공성 부재와 소수성 다공성 부재의 부피비는 1 : 3이었다. 250 mL 플라스틱 하우징의 아래쪽에 지름이 40 ㎜인 홀(hole)을 24개 포함하는 알루미늄 천공 가드(perforated guard)를 설치하였다. 그 후 상기 복합 다공성 부재를 알루미늄 천공 가드에 틈이 생기지 않도록 끼워준 후, 하우징과 천공 가드 사이에 30 mL의 물을 채워 액상층을 형성하여 습식 에어필터를 제조하였다.

[0086] (실시예 2)

[0087] 친수성 다공성 부재와 소수성 다공성 부재의 부피비가 6 : 94인 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 습식 에어필터를 제조하였다.

[0088] (실시예 3)

[0089] 친수성 다공성 부재와 소수성 다공성 부재의 부피비가 14 : 86인 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 습식 에어필터를 제조하였다.

[0090] (실시예 4)

[0091] 친수성 다공성 부재와 소수성 다공성 부재의 부피비가 2 : 3인 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 습식 에어필터를 제조하였다.

[0092] (실시예 5)

[0093] 복합 다공성 부재의 높이가 2 ㎝인 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 습식 에어필터를 제조하였다.

[0094] (실시예 6)

[0095] 복합 다공성 부재의 높이가 6 ㎝인 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 습식 에어필터를 제조하였다.

[0096] (실시예 7)

[0097] 알루미늄 천공 가드가 홀을 포함하지 않는 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 습식 에어필터를 제조하였다.

[0098] (실시예 8)

[0099] 알루미늄 천공 가드의 홀(hole)이 12개인 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 습식 에어필터를 제조하였다.

[0100] (실시예 9)

[0101] 알루미늄 천공 가드의 홀(hole)이 18개인 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 습식 에어필터를 제조하였다.

[0102] (비교예 1)

[0103] 습식 에어필터가 복합 다공성 부재를 포함하지 않고, 액상층만 포함하는 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 습식 에어필터를 제조하였다.

[0104] (비교예 2)

[0105] 알루미늄 천공 가드에 소수성 다공성 부재만을 끼워준 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 습식 에어필터(All-PUS)를 제조하였다.

[0106] (비교예 3)

[0107] 알루미늄 천공 가드에 친수성 다공성 부재만을 끼워준 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 습식 에어필터(All-MFS)를 제조하였다.

[0108] (비교예 4)

[0109] 실시예 1과 동일한 방법으로 제조하되, 하우징과 천공 가드 사이에 물을 채우지 않아, 액상층을 포함하지 않는 건식 에어필터를 제조하였다.

[0110] (비교예 5)

[0111] H-13 등급의 헤파 필터를 사용하는 건식 에어필터를 제조하였다.

[0112] 도 1(a)는 실시예 1에 따른 습식 에어필터 및 이의 제조방법을 도시한 모식도이고, 도 1(b)는 실시예 1에 따른 방법으로 제조된 코어-쉘 복합 다공성 부재의 사진이며, 도 1(c)는 소수성 다공성 부재의 수 접촉각을 측정한 사진이고, 도 1(d)는 친수성 다공성 부재의 수접촉각을 측정한 사진이며, 도 1(e) 내지 (i)는 실시예 1에 따른 방법으로 제조된 습식 에어필터를 도시한 사진이다.

[0113] 도 1(a), (b), (e) 및 (f)를 참조하면, 다공성 발포체에 친수화 처리하여 제조된 친수성 다공성 부재와 다공성 발포체에 탄소입자 강화 처리 및 소수화 처리하여 제조된 소수성 다공성 부재를 조립하여 코어-쉘 구조의 복합 다공성 부재를 제조할 수 있다. 상기 복합 다공성 부재를 포함하는 습식 에어필터에 불순물을 포함하는 기체 또는 에어로졸이 유입되면, 친수성 다공성 부재로부터 소수성 다공성 부재를 경유하여 액상층으로 불순물을 포함하는 기체 또는 에어로졸이 이동할 수 있다. 불순물은 액상층에 용해되고, 불순물이 제거된 기체 또는 에어로졸은 습식 에어필터의 외부로 배출하여, 불순물을 여과할 수 있다.

[0114] 도 1(c) 및 (d)는 각각 소수성 다공성 부재와 친수성 다공성 부재의 수 접촉각을 측정한 사진으로, 소수성 다공성 부재의 수 접촉각은 139° 이고, 친수성 다공성 부재의 수 접촉각은 0°로 측정되었다. 소수성 다공성 부재와 친수성 다공성 부재 간의 수 접촉각 차이가 극명하여 복합 다공성 부재의 내부로 액상층의 물이 침투하지 않을 수 있는 장점이 있다. 도 1(i)를 참조하면, 시간이 지나도 물과 접촉하고 있는 소수성 다공성 부재의 표면이 젖지 않는 것으로 보아, 액상층의 물이 복합 다공성 부재의 내부로 유입되지 않을 수 있어 내구성이 우수한 것을 알 수 있다. 도 1(g) 및 (h)는 실시예 1의 방법으로 제조된 습식 에어필터의 사진으로, 습식 에어필터로 이동한 공기가 복합 다공성 부재를 통과하여 액상층으로 배출되는 것을 확인하였다.

[0115] 도 2(a) 내지 (c)는 친수성 다공성 부재의 표면을 관측한 주사전자현미경(SEM, S-4800, HITACHI) 이미지이며, 구체적으로 도 2(a)는 멜라민 수지 발포체의 표면을 관측한 것으로, 멜라민 수지 발포체가 상호 연결된 3차원 다공성 네트워크 구조를 나타내며, 매끄러운 표면을 갖고 있는 것을 확인하였다. 상기 멜라민 수지 발포체를 도파민 함유 용액에 침지한 이후, 발포체의 표면을 관측한 도 2(b)를 보면, 상기 멜라민 수지 발포체에 폴리도파민이 코팅되었음을 알 수 있다. 도 2(c)는 상기 폴리도파민이 코팅된 다공성 멜라민 수지 발포체에 폴리에틸렌이민 고분자를 합성한 후의 모습으로, 폴리도파민이 코팅된 다공성 멜라민 수지 발포체의 표면에 요철이 생성되어, 폴리에틸렌이민이 고분자 브러쉬(polymer brushes)를 형성하였음을 확인하였다. 다공성 멜라민 수지 발포체의 표면에 폴리도파민 및 폴리에틸렌이민을 순차적으로 코팅하여, 친수성이 강화되었음을 알 수 있다. 이는 친수성 다공성 부재의 에너지 분산 X선 분광분석 스펙트럼(Energy dispersive X-ray spectroscopy, EDX)을 도시한 도면인 도 2(g), 도 2(h) 및 친수성 다공성 부재의 푸리에 변환 적외선 분광(Fourier-transform infrared spectroscopy, FT-IR) 스펙트럼을 도시한 그래프인 도 2(k)를 통해서도 다공성 멜라민 수지 발포체의 표면에 폴리도파민 및 폴리에틸렌이민이 코팅되어 친수화 처리된 것을 확인할 수 있다.

[0116] 소수성 다공성 부재의 표면을 관측한 도 2(d) 내지 (f)와, 소수성 다공성 부재의 에너지 분산 x선 분광분석 스펙트럼(Energy dispersive X-ray spectroscopy, EDX)이 도시된 도 2(i) 및 (j) 및 소수성 다공성 부재의 푸리에 변환 적외선 분광(Fourier-transform infrared spectroscopy, FT-IR) 스펙트럼을 도시한 도 2(l)을 참조하면, 표면이 매끄러운 폴리우레탄 다공성 발포체의 표면에 숯으로 탄소입자 강화 처리를 하여 다공성 발포체의 표면에 요철이 형성되고, 탄소입자 강화 처리된 다공성 발포체를 폴리디메틸실록산 용액에 침지하여, 탄소입자 강화 처리된 다공성 발포체의 표면에 폴리디메틸실록산이 막과 같은 형태로 코팅되어 소수성 처리된 것을 확인하였다. 또한, 소수성 다공성 부재의 기공 크기가 친수성 다공성 부재의 기공 크기보다 커, 친수성 다공성 부재가 소수성 다공성 부재 대비 밀도가 높은 것을 알 수 있다.

[0117] (실험예 1) **미세먼지 제거 성능 평가**

[0118] 도 3(a)에 도시된 바와 같이, 실시예 1의 방법으로 제조된 습식 에어필터를 설치한 후, 습식 에어필터의 하부와

연결된 500 mL의 둥근 바닥 플라스크에 인센스 스틱을 피워 미세먼지를 형성한 후, 공기를 주입하여 상기 둥근 바닥 플라스크와 연결된 습식 에어필터에 미세먼지 함유 공기를 유입시켰다. 습식 에어필터를 통과한 공기는 습식 에어필터의 상부로 배출되었다. 상기 습식 에어필터의 상부에 미세먼지 농도 측정기를 설치하여 미세먼지 제거 효율을 측정하였다. 측정결과는 도 3(b) 내지 (d)에 도시하였다.

[0119] 상세하게, 도 3(b)는 실시예 1(WAF), 비교예 1(Only water), 비교예 2(Hydrophobic filter) 및 비교예 3(Hydrophilic filter)의 방법으로 제조된 습식 에어필터의 미세먼지 제거 효율을 측정한 그래프로, 비교예 1 내지 3의 습식 에어필터 대비 실시예 1의 습식 에어필터가 미세먼지(PM_{10}) 및 초미세먼지($PM_{2.5}$)의 제거 효율이 더 높은 것으로 측정되었다. 복합 다공성 부재를 포함하는 실시예 1의 습식 에어필터가 친수성 미세먼지 뿐만 아니라 소수성의 미세먼지까지 다공성 부재에 흡착시킬 수 있어 미세먼지 제거 효율이 향상되었다.

[0120] 도 3(c)는 실시예 1 내지 4의 방법으로 제조된 습식 에어필터의 미세먼지(PM_{10}) 및 초미세먼지($PM_{2.5}$) 제거 효율을 측정한 그래프로, 친수성 다공성 부재와 소수성 다공성 부재의 부피비가 1 : 3인 실시예 1의 습식 에어필터가 가장 우수한 미세먼지 및 초미세먼지 제거 효율을 나타내었다.

[0121] 도 3(d)는 실시예 1, 실시예 5 및 실시예 6의 방법으로 제조된 습식 에어필터의 미세먼지 제거 효율 및 압력 강하를 측정한 그래프로, 복합 다공성 부재의 높이가 4 cm인 실시예 1의 습식 에어필터가 높은 미세먼지 및 초미세먼지 제거 효율이 우수함과 동시에 압력 강하 또한 26 Pa로 낮아, 성능 및 수명이 동시에 향상된 습식 에어필터를 구현하였음을 확인하였다.

[0122] 도 4(a) 내지 (f)는 일 실시예에 따른 방법으로 제조된 습식 에어필터를 사용하여 실험예 1의 방법으로 미세먼지 제거 효율을 측정한 그래프이다. 상세하게, 도 4(a)는 실시예 1, 실시예 7, 실시예 8 및 실시예 9에 따른 방법으로 제조된 습식 에어필터의 미세먼지 제거 효율을 측정한 그래프로, 알루미늄 천공 가드의 홀 개수가 증가할수록 미세먼지 제거 효율이 향상되었으며, 특히 $PM_{2.5}$의 미세먼지 제거 효율이 향상되었다.

[0123] 도 4(b)는 실시예 1(WAF), 비교예 2(All-PUS) 및 비교예 3(All-MFS)에 따른 방법으로 제조된 습식 에어필터를 실험예 1에 따른 방법으로 구동한 후, 액상층의 물을 채집하여 자외선-가시광선 분광기(Ultraviolet-visible spectrophotometer, Agilent, Cary 8454)로 분석한 그래프이다. 친수성 다공성 부재만을 사용한 비교예 3의 경우, 친수성 다공성 부재의 기공크기가 소수성 다공성 부재의 기공 크기보다 작아, 친수성 다공성 부재를 통과하여 액상층으로 이동하는 미세먼지의 양이 적었다. 비교예 2의 경우, 기공 크기가 큰 소수성 다공성 부재만을 사용하여 비교예 3 보다 액상층으로 이동하는 미세먼지의 양이 증가하였다. 그러나, 복합 다공성 부재를 포함하는 실시예 1의 경우, 소수성 다공성 부재와 친수성 다공성 부재의 밀도 구배에 의해 친수성 다공성 부재로부터 소수성 다공성 부재로 별도의 외력 없이 미세먼지 함유 공기가 원활하게 이동할 수 있으며, 이에 따라, 비교예 2 및 3 대비 액상층에 용해된 미세먼지의 양이 증가함에 따라, 도 4(c)에 도시된 바와 같이, 미세먼지 제거 효율 또한 96.9 %로 매우 우수한 것을 확인할 수 있다.

[0124] 도 4(d) 내지 (f)는 실시예 1(WAF-WW) 및 비교예 4(WAF-WOW)의 방법으로 제조된 습식 에어필터의 미세먼지 제거 효율을 측정한 그래프로, 보다 상세하게 도 4(d)는 습식 에어필터로 유입되는 공기 중에 포함된 $PM_{2.5}$의 농도가 400 내지 600 $\mu g/m^3$일 때의 미세먼지 제거 효율을 측정한 것이고, 도 4(e)는 습식 에어필터로 유입되는 공기 중에 포함된 $PM_{2.5}$의 농도가 600,000 $\mu g/m^3$ 이상일 때의 미세먼지 제거 효율을 측정한 것이다. 액상층을 포함하지 않는 비교예 4 대비 액상층을 포함하는 실시예 1의 미세먼지 제거효율이 더 높으며, 고농도의 미세먼지를 포함함에도 높은 미세먼지 제거 효율을 나타내었다. 특히, 도 4(f)를 참조하면, 실시예 1의 습식 에어필터는 입자 크기가 큰 PM_{10} 뿐만 아니라 입자 크기가 매우 작은 극초미세먼지($PM_{0.3}$)의 제거 효율 또한 93 % 이상으로 높게 측정되었다. 이는 복합 다공성 부재를 통과한 미세먼지 입자들이 액상층에 용해될 수 있어 액상층이 없는 비교예 4 대비, 극초미세먼지에 대한 제거 효율이 향상되었다.

[0125] 도 5(a) 내지 (c)는 실시예 1(WAF-WW), 비교에 4(WAF-WOW) 및 비교예 5(Hepa filter)에 따른 에어필터를 사용해 실험예 1에 따른 방법으로 공기 중의 미세먼지 제거 시, 구동 시간에 따른 미세먼지 농도 변화를 측정한 그래프이다. 도 5(a) 내지 (c)를 참조하면, 비교예 4 및 비교예 5의 건식 에어필터는 실시예 1의 습식 에어필터 대비 PM_{10} 및 $PM_{2.5}$의 제거 속도가 느린 것을 알 수 있다. 보다 상세하게, 에어필터를 구동한지 30초가 경과한 이후, 비교예 4 및 5의 건식 에어필터는 공기 중에 포함된 $PM_{2.5}$의 농도가 1000 $\mu g/m^3$ 이상이지만, 실시예 1의 습

식 에어필터는 액상층을 포함함에 따라, 공기 중에 포함된 $PM_{2.5}$의 농도가 536 $\mu g/m^3$ 로 현저하게 빠른 속도로 미세먼지를 제거하였으며, 60초가 경과한 이후에는 $PM_{2.5}$의 농도가 30 $\mu g/m^3$ 로 비교예 4 및 5 대비 현저하게 뛰어난 미세먼지 제거 효과를 제공하였다.

[0126] 도 5(d) 및 (e)는 실시예 1 및 비교예 4의 방법으로 제조된 습식 에어필터에 공급하는 공기 주입속도 및 습도변화에 따른 미세먼지 제거 효율을 측정한 그래프이다. 습도가 낮은 비교예 4의 건식 에어필터와 비교하여, 실시예 1의 습식 에어필터는 습도가 높은 편이지만, 미세먼지 제거 효율은 건식 에어필터 대비 습식 에어필터가 현저하게 높은 것을 알 수 있다. 도 5(f)는 실시예 1의 방법으로 제조된 습식 에어필터에 공급하는 공기의 주입속도에 따른 에어필터의 압력강하를 측정한 그래프이다. 공기 주입 속도가 증가할수록 필터 내의 압력강하가 증가하는 경향을 나타내며, 특히 공기 주입 속도가 빠름에도 불구하고 우수한 압력강하를 나타내어, 습식 에어필터의 내구성이 향상되었음을 확인하였다.

[0127] 도 6(a) 내지 (d)는 실시예 1(WAF-WW), 비교예 4(WAF-WOW) 및 비교예 5(Hepa filter)에 따른 방법으로 제조된 에어필터의 장기 미세먼지 제거 성능 및 그에 따른 압력강하를 측정한 그래프이다. 장기 미세먼지 제거 효율 평가는 100 사이클을 수행하였으며, 5 사이클마다 PM 제거 효율과 압력강하를 측정하였다.

[0128] 도 6(a) 및 (b)에 도시된 바와 같이, 실시예 1의 습식 에어필터의 경우, 평균 미세먼지 제거 효율이 가장 높으며, 입자 크기가 작은 $PM_{2.5}$의 제거 효율 또한 높아 미세먼지의 입자 크기와 관계 없이 제거 효율이 우수하고, 100 사이클 동안 압력 강하 상승폭이 3 Pa로, 매우 낮은 것을 확인하였다. 반면, 도 6(a) 및 (c)와 같이, 비교예 4의 건식 에어필터는 평균 미세먼지 제거 효율이 낮고, 특히 $PM_{2.5}$에 대한 미세먼지 제거 효율이 떨어지는 경향을 보였다. 압력 강하 상승폭 또한 6 Pa로, 실시예 1 대비 높은 압력 강하 상승폭을 나타내었다. 도 6(d)는 비교예 5의 헤파필터를 사용하여 100 사이클동안 미세먼지를 제거하였을 때의 미세먼지 제거 효율 및 압력 강하를 측정한 그래프로, 미세먼지 제거 효율은 비교적 높게 측정되었으나, 압력 강하 상승폭이 22 Pa로, 실시예 1의 습식 에어필터 대비 현저하게 높은 값을 나타내었다. 이는, 실시예 1의 습식 에어필터의 경우, 미세먼지와 같은 불순물이 복합 다공성 부재를 통과하여 물에 용해됨에 따라, 복합 다공성 부재의 기공에 축적되는 불순물의 양이 현저하게 감소하기 때문에 장시간 동안 미세먼지를 여과함에도 압력 강하 상승폭이 현저하게 작았다. 그러나, 비교예 4 및 5의 건식 에어필터는 필터를 통과한 미세먼지가 기공에 축적되며, 따라서, 미세먼지 여과를 반복하는 경우, 미세먼지에 의해 필터의 기공이 막혀 압력강하 상승폭이 현저하게 증가할 수 있다.

[0129] 따라서, 본 발명의 습식 에어필터는 미세먼지 여과를 반복함에도 높은 효율로 미세먼지를 제거할 뿐만 아니라, 압력 강하 상승폭이 현저하게 작아 수명이 향상되고, 우수한 장기 안정성을 제공할 수 있다.

[0130] (실험예 2) **휘발성유기화합물 제거 효율 평가**

[0131] 도 7(a)에 도시된 바와 같이 에어필터를 설치하고, 상기 습식 에어필터에 5 ppm의 농도로 포름알데히드(Formaldehyde)를 포함하는 공기를 주입한 후, 습식 에어필터를 통과하여 배출되는 공기의 포름알데히드 농도를 측정하여, 휘발성유기화합물의 제거 효율을 평가하였다.

[0132] 도 7(b)는 실시예 1(WAF-WW) 및 비교예 4(WAF-WOW)의 방법으로 제조된 에어필터의 구동 시간에 따른 포름알데히드 농도 변화를 측정한 그래프이다. 액상층을 포함하지 않는 비교예 4의 건식 에어필터의 경우, 90 분 후에도 포름알데히드가 완전히 제거되지 않았다. 반면, 실시예 1의 습식 에어필터는 17분 이내에 포름알데히드의 농도가 0 ppm에 도달하여, 우수한 포름알데히드 제거 성능을 나타냄을 보여준다. 실시예 1의 습식 에어필터를 사용해 공기 중에 포함된 포름알데히드를 제거한 후, 액상층의 물을 채집하여 자외선 가시광선 분광기(Ultraviolet-visible spectrophotometer, Agilent, Cary 8454)로 분석한 스펙트럼을 도시한 도 7(c)의 그래프를 참조하면, 습식 에어필터의 복합 다공성 부재를 통과한 포름알데히드가 물에 용해된 것을 확인할 수 있다.

[0133] 도 7(d) 내지 (f)는 실시예 1 및 비교예 4의 방법으로 제조된 습식 및 건식 에어필터의 장기 포름알데히드 제거 효율을 측정한 그래프이다. 구체적으로 도 7(d) 및 (e)는 실시예 1의 방법으로 제조된 습식 에어필터를 사용하였을 때의 포름알데히드 제거 효율을 측정한 것이고, 도 7(f)는 비교예 4의 건식 에어필터를 사용한 경우의 포름알데히드 제거 효율을 측정한 그래프이다. 도 7(d) 내지 (f)를 참조하면, 실시예 1의 습식 에어필터를 사용하는 경우, 8분 내에 공기 중의 포름알데히드의 농도가 0 ppm에 도달하였으며, 50 사이클 이후에도 13분 내에 포름알데히드를 완전히 제거한 것을 확인하였다. 반면, 비교예 4의 건식 에어필터를 사용한 경우, 15 분이 경과한 이후에도 포름알데히드를 완전히 제거하지 못한 것으로 측정되어, 실시예 1 대비 포름알데히드 제거 성능이 현

저하게 떨어지는 것을 알 수 있다.

[0134] (실험예 3) **습식 에어필터의 안전성 평가**

[0135] 실시예 1의 방법으로 제조된 습식 에어필터를 실험예 2의 방법으로 50 사이클 동안 공기 중에 포함된 포름알데히드를 여과한 뒤, 액상층의 물을 수집하여 한천 배지에 균일하게 도포한 후 37 ℃에서 12시간 동안 균을 배양하였다. 실험 결과는 도 8(a) 및 (b)에 도시하였다.

[0136] 한천 배지에 증류수를 도포하여 균을 배양한 도 8(a)의 경우, 세균 군집체가 형성되었지만, 한천 배지에 액상층의 물을 도포하여 균을 배양시킨 도 8(b)의 경우, 세균 군집체가 형성되지 않았다. 따라서, 본 발명의 습식 에어필터가 액상층을 포함함에 따라 세균이 번식할 수 있는 환경이 조성됨에도 불구하고 50 사이클 동안 세균이 번식하지 않은 것으로 보아 세균 번식에 매우 안전함을 알 수 있다.

[0137] 도 8(c)는 실시예 1의 방법으로 제조된 습식 에어필터를 실험예 2의 방법으로 50 사이클 동안 공기 중에 포함된 휘발성유기화합물을 여과한 뒤, 10 분간 습식 에어필터에 공기만 주입하였을 때, 배출되는 공기에 포함된 휘발성 유기화합물의 농도를 측정한 그래프이다. 50 사이클 동안 공기 중에 포함된 포름알데히드를 여과하여, 습식 에어필터의 액상층에 휘발성유기화합물이 용해되어 있음에도 불구하고 배출되는 공기가 휘발성유기화합물을 포함하지 않으며, 실험실 공기 중에 포함된 포름알데히드 및 휘발성유기화합물의 농도와 근접한 수준으로 매우 낮게 측정되었다. 따라서, 액상층에 용해된 휘발성유기화합물이 습식 에어필터 외부로 방출되지 않아, 본 발명의 습식 에어필터가 안전하다는 것을 보여준다.

[0138] 도 8 (d) 및 (e)는 저농도의 포름알데히드 하에서 실시예 1의 습식 에어필터와 비교예 4의 건식 에어필터의 포름알데히드 제거 효율을 측정하였다. 구체적으로 도 8(d)는 실시예 1의 습식 에어필터를 사용하였을 때의 포름알데히드 농도 변화를 측정한 그래프이고, 도 8(e)는 비교예 4의 건식 에어필터를 사용하였을 때의 포름알데히드 농도 변화를 측정한 그래프이다. 포름알데히드 가스는 물에 쉽게 용해되기 때문에, 비교예 4의 건식 에어 필터와는 달리 실시예 1의 습식 에어필터가 포름알데히드를 보다 빠르고 영구적으로 제거하였으며, 저농도의 포름알데히드 또한 빠른 속도로 제거하여, 실생활에서도 활용도가 높음을 알 수 있다.

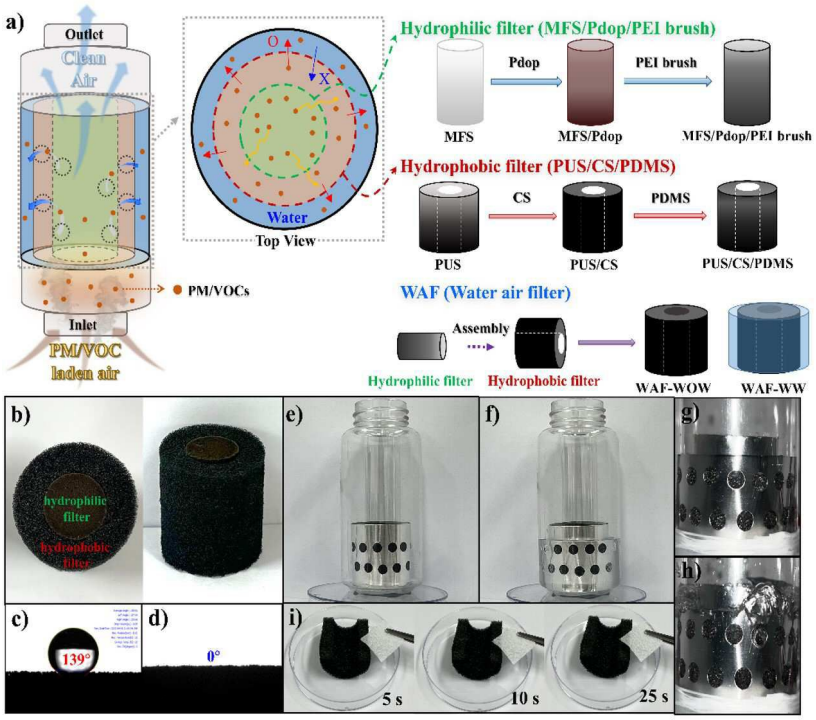
[0139] 따라서, 본 발명의 코어-쉘 구조의 복합 다공성 부재의 외주면에 위치하는 액상층은 미세먼지 및 휘발성 유기화학물의 제거 효율을 증가시키고 필터 내의 과부하를 방지할 수 있으며 필터의 수명 또한 연장시켜 습식 에어필터의 전반적인 성능을 향상시킬 수 있다.

[0140] 이상과 같이 본 발명에서는 특정된 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

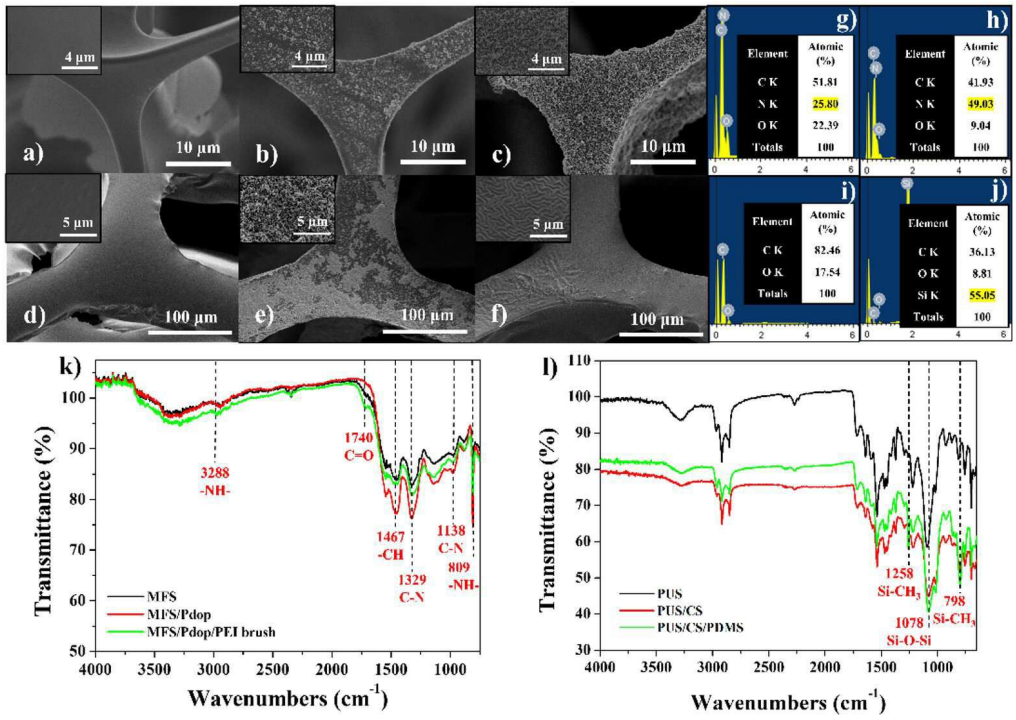
[0141] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위 뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

도면

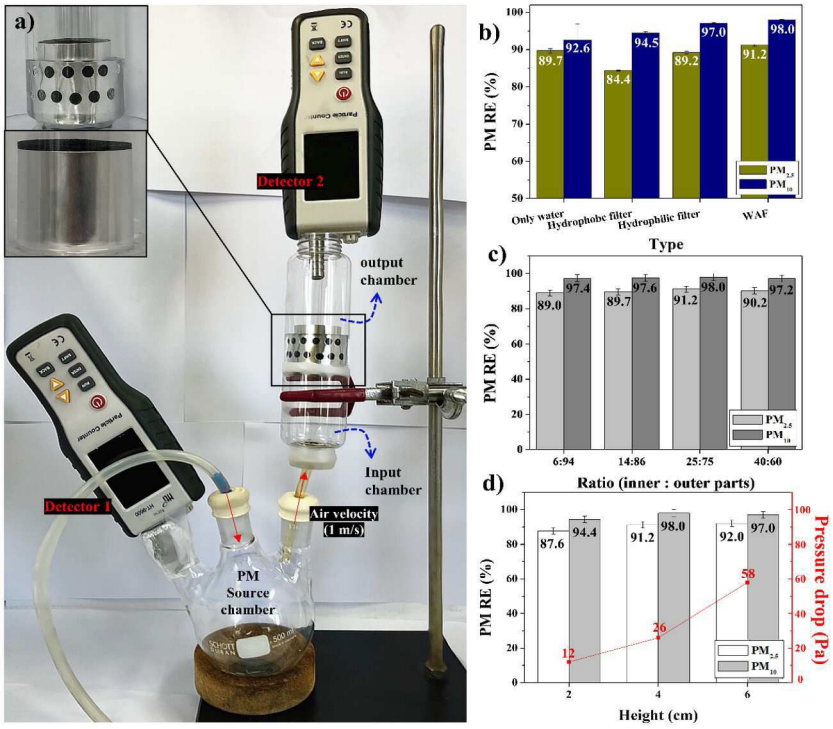
도면1


a)
Outlet
Clean Air
Inlet
PM/VOC laden air
PM/VOCs
Top View
Water
Hydrophilic filter (MFS/Pdop/PEI brush)
Pdop
PEI brush
MFS
MFS/Pdop
MFS/Pdop/PEI brush
Hydrophobic filter (PUS/CS/PDMS)
CS
PDMS
PUS
PUS/CS
PUS/CS/PDMS
WAF (Water air filter)
Assembly
Hydrophilic filter
Hydrophobic filter
WAF-WOW
WAF-WW
b)
hydrophilic filter
hydrophobic filter
c)
139°
d)
0°
e)
f)
g)
h)
i)
5 s
10 s
25 s

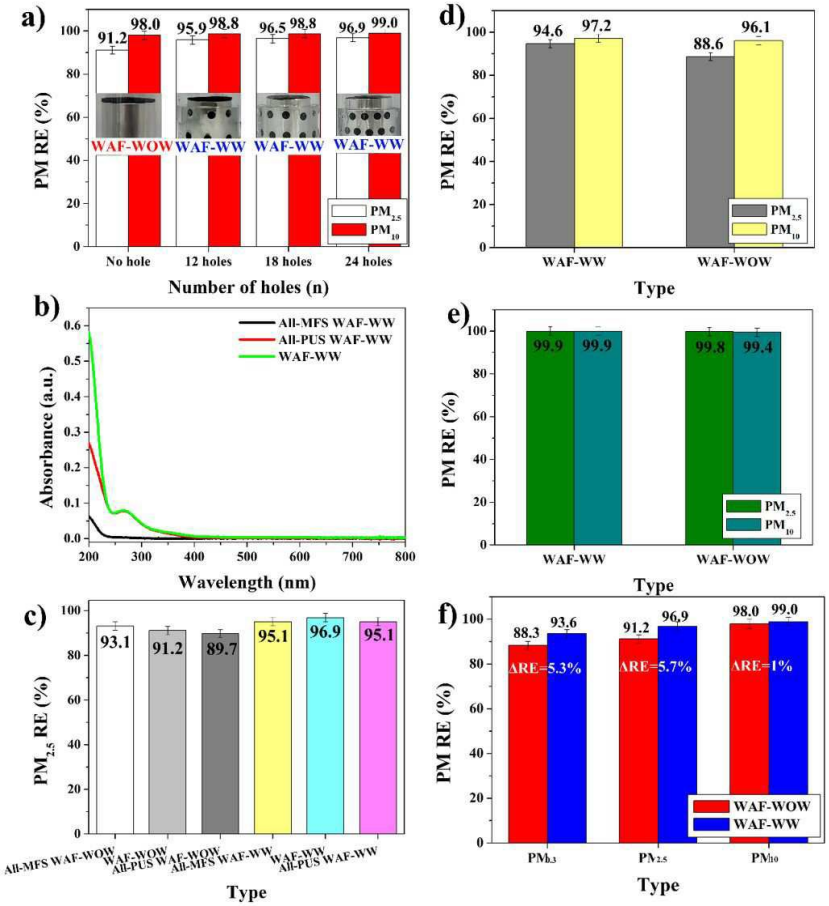
도면2


a)
b)
c)
d)
e)
f)
4 μm
10 μm
5 μm
100 μm
g)
h)
i)
j)
Element
Atomic (%)
C K 51.81
N K 25.80
O K 22.39
Totals 100
C K 41.93
N K 49.03
O K 9.04
Totals 100
C K 82.46
O K 17.54
Totals 100
C K 36.13
O K 8.81
Si K 55.05
Totals 100
k)
Transmittance (%)
Wavenumbers (cm-1)
3288 -NH-
1740 C=O
1467 -CH
1329 C-N
1138 C-N
809 -NH-
MFS
MFS/Pdop
MFS/Pdop/PEI brush
l)
1258 Si-CH3
1078 Si-O-Si
798 Si-CH3
PUS
PUS/CS
PUS/CS/PDMS

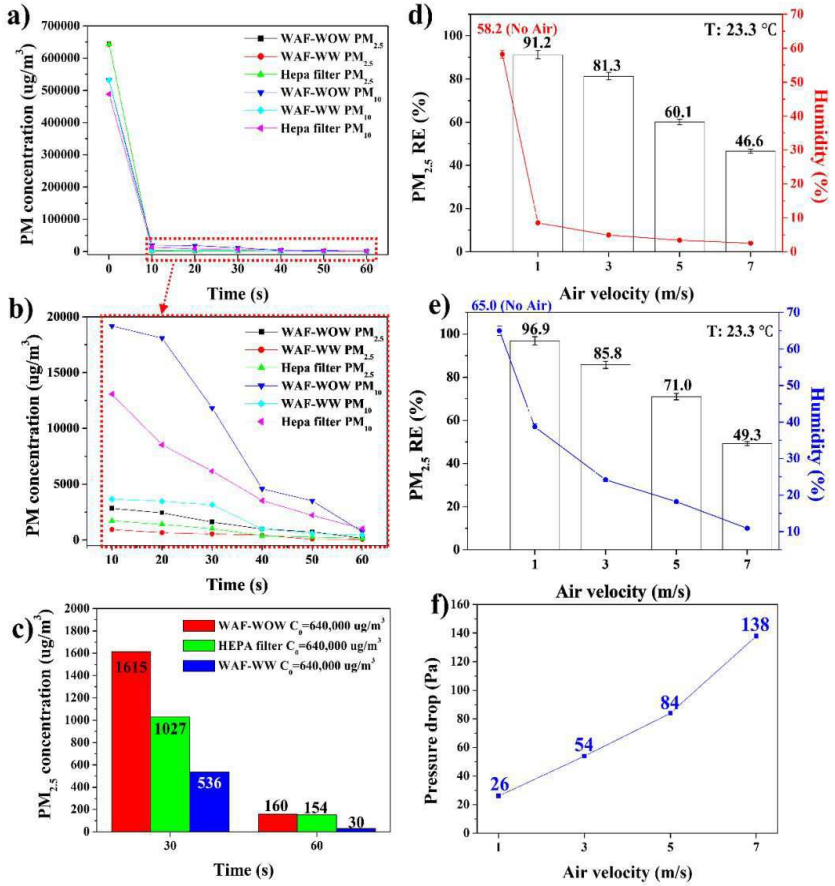
도면3


a)
Detector 2
output chamber
Input chamber
Detector 1
Air velocity (1 m/s)
PM Source chamber
b)
PM RE (%)
89.7
92.6
84.4
94.5
89.2
97.0
91.2
98.0
Only water
Hydrophobe filter
Hydrophilic filter
WAF
Type
c)
PM RE (%)
89.0
97.4
89.7
97.6
91.2
98.0
90.2
97.2
6:94
14:86
25:75
40:60
Ratio (inner : outer parts)
d)
PM RE (%)
87.6
94.4
91.2
98.0
92.0
97.0
12
26
58
Pressure drop (Pa)
Height (cm)

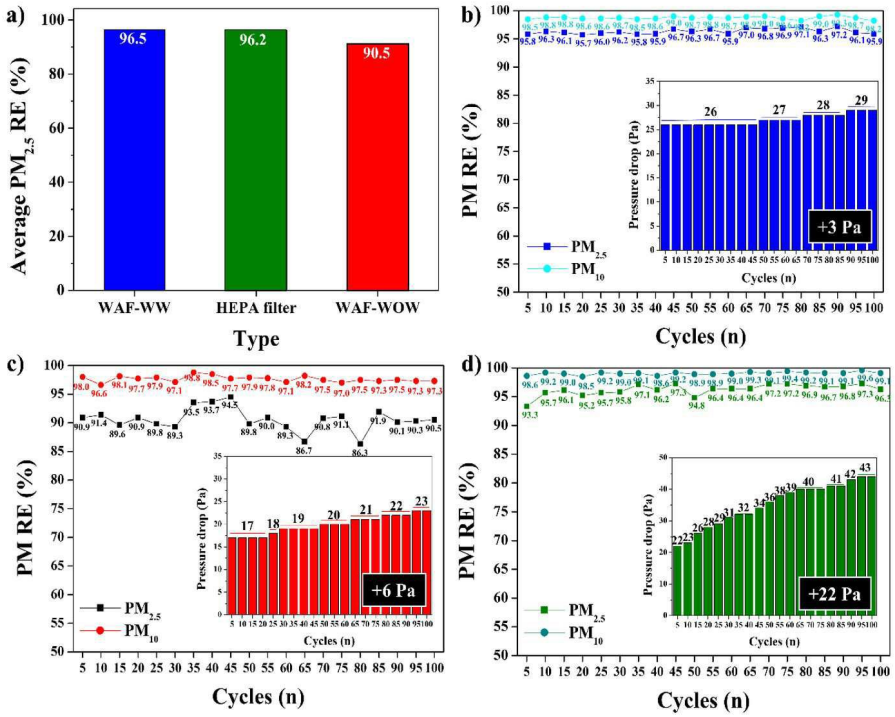
도면4


a)
PM RE (%)
91.2
98.0
95.9
98.8
96.5
98.8
96.9
99.0
WAF-WOW
WAF-WW
WAF-WW
WAF-WW
No hole
12 holes
18 holes
24 holes
Number of holes (n)
b)
Absorbance (a.u.)
All-MFS WAF-WW
All-PUS WAF-WW
WAF-WW
Wavelength (nm)
c)
PM2.5 RE (%)
93.1
91.2
89.7
95.1
96.9
95.1
All-MFS WAF-WOW
All-PUS WAF-WOW
All-MFS WAF-WW
All-PUS WAF-WW
Type
d)
PM RE (%)
94.6
97.2
88.6
96.1
WAF-WW
WAF-WOW
Type
e)
PM RE (%)
99.9
99.9
99.8
99.4
WAF-WW
WAF-WOW
Type
f)
PM RE (%)
88.3
93.6
91.2
96.9
98.0
99.0
ARE=5.3%
ARE=5.7%
ARE=1%
WAF-WOW
WAF-WW
PM1.5
PM2.5
PM10
Type

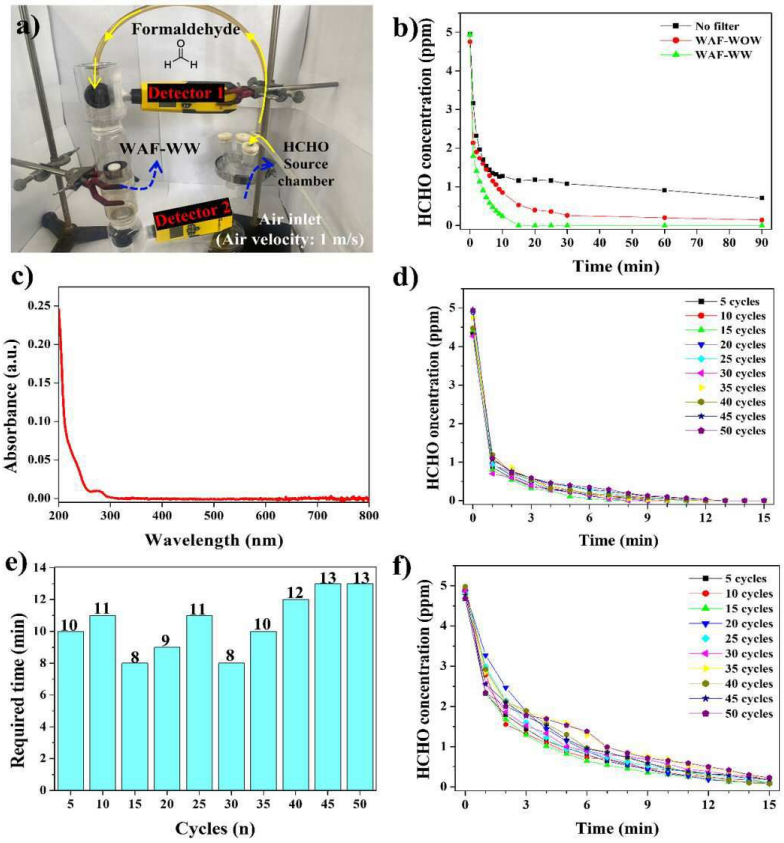
도면5


a)
PM concentration (ug/m³)
Time (s)
WAF-WOW PM2.5
WAF-WW PM2.5
Hepa filter PM2.5
WAF-WOW PM10
WAF-WW PM10
Hepa filter PM10
b)
PM concentration (ug/m³)
Time (s)
c)
PM2.5 concentration (ug/m³)
WAF-WOW C0=640,000 ug/m³
HEPA filter C0=640,000 ug/m³
WAF-WW C0=640,000 ug/m³
1615
1027
536
160
154
30
Time (s)
d)
58.2 (No Air)
T: 23.3 ℃
91.2
81.3
60.1
46.6
PM2.5 RE (%)
Humidity (%)
Air velocity (m/s)
e)
65.0 (No Air)
T: 23.3 ℃
96.9
85.8
71.0
49.3
PM2.5 RE (%)
Humidity (%)
Air velocity (m/s)
f)
Pressure drop (Pa)
26
54
84
138
Air velocity (m/s)

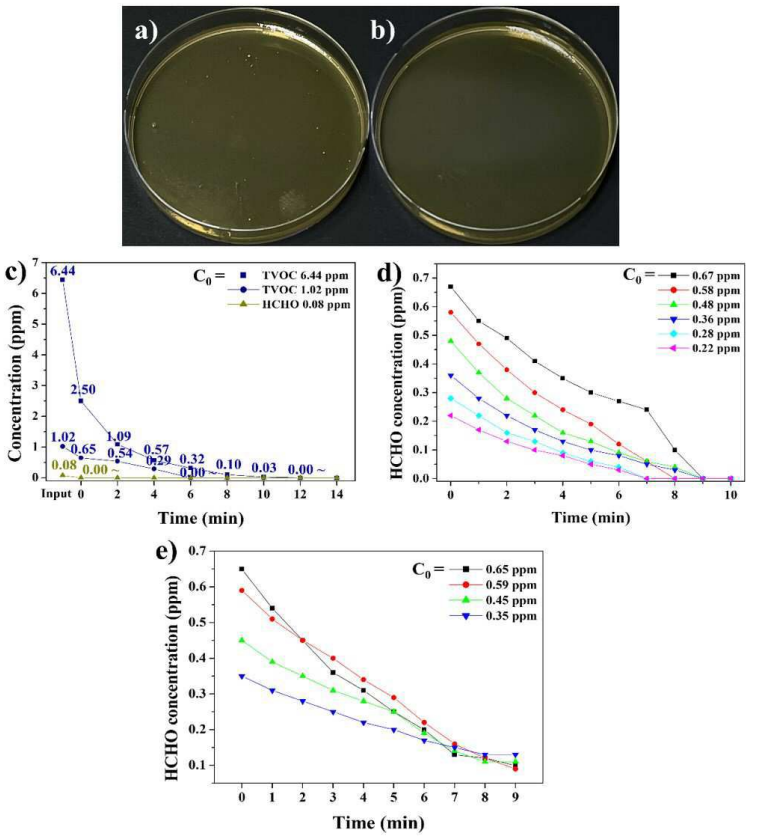
도면6


a)
Average PM2.5 RE (%)
96.5
96.2
90.5
WAF-WW
HEPA filter
WAF-WOW
Type
b)
PM RE (%)
PM2.5
PM10
Pressure drop (Pa)
26
27
28
29
+3 Pa
Cycles (n)
c)
PM RE (%)
PM2.5
PM10
Pressure drop (Pa)
17
18
19
20
21
22
23
+6 Pa
Cycles (n)
d)
PM RE (%)
PM2.5
PM10
Pressure drop (Pa)
+22 Pa
Cycles (n)

도면7


a)
Formaldehyde
Detector 1
WAF-WW
HCHO Source chamber
Detector 2
Air inlet (Air velocity: 1 m/s)
b)
No filter
WAF-WOW
WAF-WW
HCHO concentration (ppm)
Time (min)
c)
Absorbance (a.u.)
Wavelength (nm)
d)
5 cycles
10 cycles
15 cycles
20 cycles
25 cycles
30 cycles
35 cycles
40 cycles
45 cycles
50 cycles
HCHO oncentration (ppm)
Time (min)
e)
Required time (min)
10 11 8 9 11 8 10 12 13 13
Cycles (n)
f)
HCHO concentration (ppm)
Time (min)

도면8


a)
b)
c)
C0 =
TVOC 6.44 ppm
TVOC 1.02 ppm
HCHO 0.08 ppm
Concentration (ppm)
6.44 2.50 1.02 0.65 0.54 1.09 0.57 0.29 0.32 0.10 0.03 0.00
0.08 0.00
Input
Time (min)
d)
C0 =
0.67 ppm
0.58 ppm
0.48 ppm
0.36 ppm
0.28 ppm
0.22 ppm
HCHO concentration (ppm)
Time (min)
e)
C0 =
0.65 ppm
0.59 ppm
0.45 ppm
0.35 ppm
HCHO concentration (ppm)
Time (min)