



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0141118
(43) 공개일자 2022년10월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 39/16 (2006.01) B01D 39/08 (2006.01)
B01D 46/00 (2022.01)
(52) CPC특허분류
B01D 39/1676 (2013.01)
B01D 39/083 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0047264
(22) 출원일자 2021년04월12일
심사청구일자 2021년04월12일

(71) 출원인
한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
최원산
전라북도 완주군 봉동읍 둔산1로 107, 102동 100
4호 (라송 센트럴카운티)
박솔
대전광역시 중구 중앙로 45 센트럴뷰아파트
102-1001
(74) 대리인
특허법인 플러스

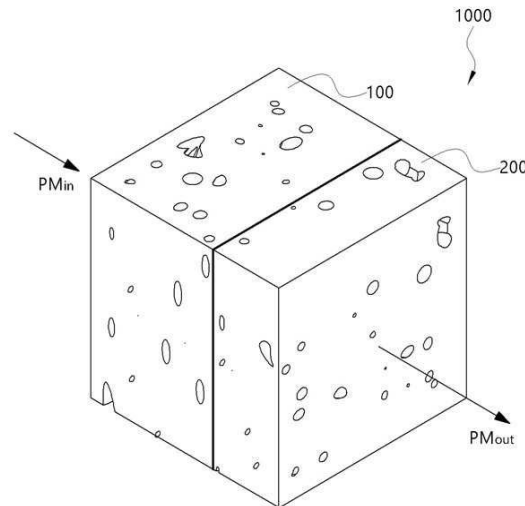
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 미세먼지 필터, 이를 포함하는 집진 장치 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명에 따른 미세먼지 제거용 에어 필터는 친수성 발포 영역; 및 탄소 동소체층(221) 또는 고분자층(222)인 소수성층이 코팅된 소수성 발포 영역을 포함하는 미세먼지 필터 및 이를 포함하는 장치에 관한 것으로, 지름이 0.3 μm 이하인 나노 단위의 매우 작은 미세먼지 제거율이 우수하며, 미세먼지 제거에 반복적으로 사용되어도 초기 미세먼지 제거 효율을 유지할 수 있는 내구성이 우수한 효과가 있다. 또한 상기 필터의 제조 방법은 성능 및 품질이 우수한 필터 및 장치를 제공함에도 종래 대비 제조에 소요되는 비용 및 시간을 최소화할 수 있고, 친환경적인 효과가 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B01D 46/0001 (2013.01)

B01D 2239/0471 (2013.01)

B01D 2239/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345313214
과제번호	2017R1D1A1B03028182
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(교육부)(R&D)
연구과제명	환경이슈 대응을 위한 고분자브러쉬 복합체 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한밭대학교
연구기간	2017.06.01 ~ 2020.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

미세먼지를 포함하는 유체가 유동되는 다수의 제1 기공(110)을 포함하되, 상기 제1 기공(110)에 의해 형성되는 내부 표면이 친수성 표면을 이루는 친수성 다공부재(100); 및

상기 친수성 다공부재(100)와 접하며, 미세먼지를 포함하는 유체가 유동되는 다수의 제2 기공(210)을 포함하는 소수성 다공부재(200);를 포함하며,

상기 소수성 다공부재(200)는 상기 제2 기공(210)에 의해 형성되는 내부 표면에 코팅된 소수성층(220)을 포함하며,

상기 소수성층(220)은 탄소 동소체층(221) 또는 고분자층(222)인 미세먼지 필터.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 친수성 다공부재(100)의 제1 기공(110)을 통과한 유체가 상기 소수성 다공부재(200)의 제2 기공(210)을 유동하여, 상기 유체가 상기 친수성 다공부재(100)에서 상기 소수성 다공부재(200)로 순차적으로 경유하는 것인 미세먼지 필터.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 유체의 흐름 방향을 기준으로, 상기 친수성 다공부재(100)와 상기 소수성 다공부재(200)의 체적 길이 비($D_1:D_2$)는 3:0.5~2인 미세먼지 필터.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 소수성층(220)은 탄소 동소체층(221)과 고분자층(222)이 적층된 다층 구조를 가지되, 상기 탄소 동소체층(221)이 상기 제2 기공(210)에 의해 형성되는 내부 표면의 내측으로 형성되는 것인 미세먼지 필터.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 소수성층(220)은 하기 a) 단계 및 하기 b) 단계를 포함하는 수단에 의해 형성되는 것인 미세먼지 필터.

a) 탄소 동소체 입자 및 분산매를 포함하는 혼합물을 상기 제2 기공(210)에 의해 형성되는 내부 표면에 도포 및 건조하여 상기 탄소 동소체 입자에 의한 표면 요철을 형성하는 동소체층(221) 형성 단계 및

b) 상기 동소체층(221)에 형성된 표면 요철 위에 고분자층(222)을 형성하는 단계

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 표면 요철은 1 내지 300 nm인 미세먼지 필터.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 탄소 동소체층(221)은 숯, 탄소나노튜브, 흑연, 플러렌 및 비정질 탄소 중에서 선택되는 어느 하나 또는

들 이상의 탄소 동소체 입자를 포함하여 형성되며,
상기 고분자층(222)은 가교성 수지로 형성되는 미세먼지 필터.

청구항 8

제7항에 있어서,
상기 탄소 동소체 입자의 평균입경은 5 내지 500 nm인 미세먼지 필터.

청구항 9

제7항에 있어서,
상기 가교성 수지는 비닐기를 포함하는 실록산계 단량체 및 가교제를 포함하는 혼합물을 반응시켜 형성되는 가교된 폴리디메틸실록산인 미세먼지 필터.

청구항 10

제1항에 있어서,
상기 친수성 표면에 대한 수 접촉각은 50 도 이하이며,
상기 소수성층(220)의 표면에 대한 수 접촉각은 100 도 이상인 미세먼지 필터.

청구항 11

제1항에 있어서,
상기 제1 기공(110) 또는 상기 제2 기공(210)은 2 nm 이하의 마이크로(micro) 기공, 2 내지 50 nm의 메조(meso) 기공 및 50 nm 이상의 매크로(macro) 기공을 포함하는 계층적 다공 구조를 가지는 미세먼지 필터.

청구항 12

제1항에 있어서,
상기 친수성 다공부재(100) 또는 상기 소수성 다공부재의 공극률은 10 내지 95 %인 미세먼지 필터.

청구항 13

제1항에 있어서,
상기 친수성 다공부재(100) 또는 상기 소수성 다공부재는 우레탄계 수지, 페놀계 수지, 멜라민계 수지, 아크릴계 수지, 스티렌계 수지, 에스테르계 수지 및 올레핀계 수지 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 수지로 형성된 발포체; 상기 수지의 섬유, 레이온계 섬유, 폴리아크릴로니트릴계 섬유 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 합성 섬유로 직조된 직물; 면 섬유, 마 섬유, 알파카 섬유, 모 섬유, 실크 섬유 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 천연 섬유로 직조된 직물 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 미세먼지 필터.

청구항 14

제1항에 있어서,
상기 미세먼지는 지름이 0.3 μm 이하인 극초미세먼지를 포함하는 미세먼지 필터.

청구항 15

미세먼지를 함유하는 유체로부터 미세먼지를 제거하는 집진 장치로서,
제1항 내지 제14항 중 어느 한 항의 미세먼지 필터가 구비되는 필터부를 포함하는 집진 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 필터부;

상기 미세먼지 필터의 친수성 다공부재(100)와 인접하는 유체 유입부; 및

상기 미세먼지 필터의 소수성 다공부재(200)와 인접하는 유체 배출부;를 포함하며,

상기 유체가 상기 유체 유입부로 유입된 후 상기 필터의 친수성 다공부재와 소수성 다공부재를 순차적으로 통과하여 상기 유체 배출부를 통해 미세먼지가 제거된 유체가 배출되는 구조를 가지는 집진 장치.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 필터부는 상기 미세먼지 필터가 다수로 적층된 필터 모듈인 것인 집진 장치.

청구항 18

제16항에 있어서,

유속이 10 m/sec이며, 지름이 2.5 μm 인 초미세먼지를 포함하는 유체에 대한 미세먼지 제거 효율이 99.5 % 이상이고, 170 Pa 이하의 압력 강하를 가지는 집진 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 미세먼지 필터, 이를 포함하는 집진 장치 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 미세먼지(Particulate matter, PM)는 화석 연료의 연소, 바이오 매스의 연소, 차량 배출 및 산업 배출로 인해 전 세계적으로 지속적으로 생성된다. 미세먼지는 입자의 크기에 따라 지름이 10 μm 보다 작은 미세먼지(PM₁₀), 지름이 2.5 μm 보다 작은 초미세먼지(PM_{2.5}) 및 지름이 0.3 μm 보다 작은 나노 단위의 극초미세먼지(PM_{0.3})로 구분할 수 있다. 일반적으로, PM_{2.5}는 호흡 시 폐에 축적되기 때문에 인간에 있어 PM₁₀보다 훨씬 독성이 있는 물질이다. 특히 PM_{0.3}은 인간의 기관지에 침투하고 혈관을 통해 순환계로 이동하여 호흡기 질환, 심혈관 질환, 심지어 암을 유발할 수 있다.

[0003] 미세먼지는 주로 친수성으로 황산염, 질산염, 염화물, 규산염, 유기 및 원소 탄소, 금속과 같은 성분으로 구성된 혼합물이다. 따라서 미세먼지 포집을 위해 높은 극성도를 가지는 친수성 에어 필터가 개발되고 있다. 그러나 상대적으로 소수성 물질과 그 역할에 대한 관심은 거의 전무하다. 또한 나노 물질의 장점으로 인하여 나노 물질과 나노 기술이 적용된 다양한 친수성 고성능 에어필터들이 개발되고 있다. 그러나 기존 에어필터 생산에는 고전압이나 다단계 공정이 필요한 전기 방사 장비와 같은 고가 장비가 필요하여 자연스레 생산 비용이 증가하고 나노물질의 유출의 위험을 안고 있다.

[0004] 따라서 미세먼지 제거를 위한 값싸고 성능이 우수하며 제조 시 경쟁력 있는 미세먼지 필터의 연구가 필요하다.

[0005]

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-2230448호 (2021.03.16)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명의 목적은 지름이 $0.3\ \mu\text{m}$ 이하인 나노 단위의 매우 작은 미세먼지 제거율이 우수한 미세먼지 제거용 에어 필터, 이를 포함하는 장치 및 이의 제조 방법을 제공하는 것이다.
- [0008] 본 발명의 다른 목적은 미세먼지 제거에 반복적으로 사용되어도 초기 미세먼지 제거 효율을 유지할 수 있는 내구성이 우수한 미세먼지 제거용 에어 필터, 이를 포함하는 장치 및 이의 제조 방법을 제공하는 것이다.
- [0009] 본 발명의 또 다른 목적은 성능 및 품질이 우수함에도 종래 대비 제조에 소요되는 비용 및 시간을 최소화할 수 있고, 친환경적인 미세먼지 제거용 에어 필터, 이를 포함하는 장치 및 이의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명에 따른 미세먼지 필터는, 미세먼지를 포함하는 유체가 유동되는 다수의 제1 기공(110)을 포함하되, 상기 제1 기공(110)에 의해 형성되는 내부 표면이 친수성 표면을 이루는 친수성 다공부재(100); 및 상기 친수성 다공부재(100)와 접하며, 미세먼지를 포함하는 유체가 유동되는 다수의 제2 기공(210)을 포함하는 소수성 다공부재(200);를 포함하며, 상기 소수성 다공부재(200)는 상기 제2 기공(210)에 의해 형성되는 내부 표면에 코팅된 소수성층(220)을 포함하며, 상기 소수성층(220)은 탄소 동소체층(221) 또는 고분자층(222)이다.
- [0011] 본 발명의 일 예에 따른 미세먼지 필터는, 상기 친수성 다공부재(100)의 제1 기공(110)을 통과한 유체가 상기 소수성 다공부재(200)의 제2 기공(210)을 유동하여, 상기 유체가 상기 친수성 다공부재(100)에서 상기 소수성 다공부재(200)로 순차적으로 경유하는 것일 수 있다.
- [0012] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 유체의 흐름 방향을 기준으로, 상기 친수성 다공부재(100)와 상기 소수성 다공부재(200)의 체적 길이 비($D_1:D_2$)는 3:0.5~2일 수 있다.
- [0013] 본 발명의 일 예에 따른 미세먼지 필터는 상기 친수성 표면에 대한 수 접촉각은 50 도 이하이며, 상기 소수성층(220)의 표면에 대한 수 접촉각은 100 도 이상일 수 있다.
- [0014] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 소수성층(220)은 탄소 동소체층(221)과 고분자층(222)이 적층된 다층 구조를 가지되, 상기 탄소 동소체층(221)이 상기 제2 기공(210)에 의해 형성되는 내부 표면의 내측으로 형성되는 것일 수 있다.
- [0015] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 소수성층(220)은 a) 탄소 동소체 입자 및 분산매를 포함하는 혼합물을 상기 제2 기공(210)에 의해 형성되는 내부 표면에 도포 및 건조하여 상기 탄소 동소체 입자에 의한 표면 요철을 형성하는 동소체층(221) 형성 단계 및 b) 상기 동소체층(221)에 형성된 표면 요철 위에 고분자층(222)을 형성하는 단계를 포함하는 수단에 의해 형성될 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 표면 요철은 1 내지 300 nm일 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 제1 기공(110) 또는 상기 제2 기공(210)은 2 nm 이하의 마이크로(micro) 기공, 2 내지 50 nm의 메조(meso) 기공 및 50 nm 이상의 매크로(macro) 기공을 포함하는 계층적 다공 구조를 가질 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 친수성 다공부재(100) 또는 상기 소수성 다공부재의 공극률은 10 내지 95 %일 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 친수성 다공부재(100) 또는 상기 소수성 다공부재는 우레탄계 수지, 페놀계 수지, 멜라민계 수지, 아크릴계 수지, 스티렌계 수지, 에스테르계 수지 및 올레핀계 수지 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 수지로 형성된 발포체; 상기 수지의 섬유, 레이온계 섬유, 폴리아크릴로니트릴계 섬유 등에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 합성 섬유로 직조된 직물; 면 섬유, 마 섬유, 알파카 섬유, 모 섬유, 실크 섬유 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 천연 섬유로 직조된 직물 등에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 탄소 동소체층(221)은 숯, 탄소나노튜브, 흑연, 플러렌 및 비정질 탄소 등에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 탄소 동소체 입자를 포함하여 형성될 수 있으며, 상기 고분자층(222)은 가교성 수지로 형성될 수 있다.
- [0021] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 탄소 동소체 입자의 평균입경은 5 내지 500 nm일 수 있다.
- [0022] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 가교성 수지는 비닐기를 포함하는 실록산계 단량체 및 가교제를 포함하는 혼합

물을 반응시켜 형성되는 가교된 폴리디메틸실록산일 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 미세먼지는 지름이 $0.3\ \mu\text{m}$ 이하인 극초미세먼지를 포함할 수 있다.

[0024] 본 발명에 따른 집진 장치는 미세먼지를 함유하는 유체로부터 미세먼지를 제거하는 집진 장치로서, 상기 미세먼지 필터가 구비되는 필터부를 포함하는 집진 장치일 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 예에 따른 집진 장치는, 상기 필터부; 상기 미세먼지 필터의 친수성 다공부재(100)와 인접하는 유체 유입부; 및 상기 미세먼지 필터의 소수성 다공부재(200)와 인접하는 유체 배출부;를 포함할 수 있으며, 상기 유체가 상기 유체 유입부로 유입된 후 상기 필터의 친수성 다공부재와 소수성 다공부재를 순차적으로 통과하여 상기 유체 배출부를 통해 미세먼지가 제거된 유체가 배출되는 구조를 가질 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 필터부는 상기 미세먼지 필터가 다수로 적층된 필터 모듈일 수 있다.

[0027] 본 발명의 일 예에 따른 집진 장치는, 유속이 $10\ \text{m/sec}$ 이며, 지름이 $2.5\ \mu\text{m}$ 인 초미세먼지를 포함하는 유체에 대한 미세먼지 제거 효율이 99.5 % 이상이고, $170\ \text{Pa}$ 이하의 압력 강하를 가질 수 있다.

발명의 효과

[0028] 본 발명에 따른 미세먼지 제거용 에어 필터, 이를 포함하는 장치는 지름이 $0.3\ \mu\text{m}$ 이하인 나노 단위의 매우 작은 미세먼지 제거율이 우수한 효과가 있다.

[0029] 본 발명에 따른 미세먼지 제거용 에어 필터, 이를 포함하는 장치는 미세먼지 제거에 반복적으로 사용되어도 초기 미세먼지 제거 효율을 유지할 수 있는 내구성이 우수한 효과가 있다.

[0030] 본 발명에 따른 미세먼지 제거용 에어 필터, 이를 포함하는 장치의 제조 방법은 성능 및 품질이 우수한 필터 및 장치를 제공함에도 종래 대비 제조에 소요되는 비용 및 시간을 최소화할 수 있고, 친환경적인 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1 내지 도 4는 본 발명에 따른 필터를 나타낸 도면으로서, 도 1, 도 2 및 도 4는 상기 필터의 사시도이고, 도 3은 상기 필터의 일부를 확대한 도면이다.

도 5는 실시예에서 제조된 필터의 관측 이미지, 주사전자현미경 이미지, 에너지 분산 X-선 분광분석 스펙트럼(Energy dispersive X-ray spectroscopy, EDX) 푸리에 변환 적외선 분광학(Fourier-transform infrared spectroscopy, FT-IR) 스펙트럼과, 상기 필터의 수 접촉각에 대한 결과를 나타낸 것이다.

도 6 및 도 7은 실시예에서 제조된 필터의 친수성 부분:소수성 부분의 비율에 따른 미세먼지 제거 효율 및 미세먼지 제거 성능을 나타낸 것이다.

도 8은 실시예에서 제조된 필터의 관측 이미지, 주사전자현미경 이미지 및 푸리에 변환 적외선 분광학(Fourier-transform infrared spectroscopy, FT-IR) 스펙트럼과, 상기 필터의 미세먼지 제거 효율에 대한 결과를 나타낸 것이다.

도 9는 실시예에서 제조된 필터의 종류 또는 미세먼지 함유 유체의 유속에 따른 미세먼지 제거 효율 및 압력 강하에 대한 결과를 나타낸 것이다.

도 10은 실시예에서 제조된 필터 다수가 적층된 필터 모듈을 포함하는 집진 장치의 미세먼지 제거 효율 및 압력 강하에 대한 결과를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이하 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 미세먼지 필터, 이를 포함하는 집진 장치 및 이의 제조 방법을 상세히 설명한다.

[0033] 본 명세서에 기재되어 있는 도면은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서 본 발명은 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있으며, 상기 도면들은 본 발명의 사상을 명확히 하기 위해 과장되어 도시될 수 있다.

[0034] 본 명세서에서 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명 및 첨부 도면에서 본 발명

의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다.

- [0035] 본 명세서에서 사용되는 용어의 단수 형태는 특별한 지시가 없는 한 복수 형태도 포함하는 것으로 해석될 수 있다.
- [0036] 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.
- [0037] 본 명세서에서 언급되는 ‘포함한다’는 ‘구비한다’, ‘함유한다’, ‘가진다’, ‘특징으로 한다’ 등의 표현과 등가의 의미를 가지는 개방형 기재이며, 추가로 열거되어 있지 않은 요소, 재료 또는 공정을 배제하지 않는다.
- [0038] 본 명세서에서 특별한 언급 없이 사용된 %의 단위는 별다른 정의가 없는 한 중량%를 의미한다.
- [0039] 본 명세서에서 언급되는 “층” 또는 “막”의 용어는 각 재료가 연속체(continuum)를 이루며 폭과 길이 대비 두께가 상대적으로 작은 디멘전(dimension)을 가짐을 의미하는 것이다. 이에 따라, 본 명세서에서 “층” 또는 “막”의 용어에 의해, 2차원의 편평한 평면으로 해석되어서는 안 된다.
- [0041] 본 발명에 따른 미세먼지 필터는, 미세먼지를 포함하는 유체가 유동되는 다수의 제1 기공(110)을 포함하되, 상기 제1 기공(110)에 의해 형성되는 내부 표면이 친수성 표면을 이루는 친수성 다공부재(100); 및 상기 친수성 다공부재(100)와 접하며, 미세먼지를 포함하는 유체가 유동되는 다수의 제2 기공(210)을 포함하는 소수성 다공부재(200);를 포함하며, 상기 소수성 다공부재(200)는 상기 제2 기공(210)에 의해 형성되는 내부 표면에 코팅된 소수성층(220)을 포함하며, 상기 소수성층(220)은 탄소 동소체층(221) 또는 고분자층(222)이다.
- [0042] 바람직하게는, 상기 미세먼지 필터는, 상기 친수성 다공부재(100)의 제1 기공(110)을 통과한 유체가 상기 소수성 다공부재(200)의 제2 기공(210)을 유동하여, 상기 유체가 상기 친수성 다공부재(100)에서 상기 소수성 다공부재(200)로 순차적으로 경유하는 것일 수 있다. 즉, 바람직한 일 예에 따른 미세먼지 필터는, 미세먼지를 포함하는 유체가 유동되는 다수의 제1 기공(110)을 포함하되, 상기 제1 기공(110)에 의해 형성되는 내부 표면이 친수성 표면을 이루는 친수성 다공부재(100); 및 상기 친수성 다공부재(100)와 접하며, 상기 제1 기공(110)을 통과한 유체가 유동되는 다수의 제2 기공(210)을 포함하는 소수성 다공부재(200);를 포함할 수 있다. 상기 미세먼지 필터의 일면에 대한 미세먼지를 포함하는 유체의 유입 방향에 따라 미세먼지 제거 효과가 다를 수 있다. 미세먼지를 포함하는 유체가 친수성 다공부재(100)로 유입 및 통과한 후 소수성 다공부재(200)를 통과하여 배출될 경우, 그 역의 경우와 비교하여 미세먼지 제거율이 더 향상될 수 있는 측면에서 바람직하다. 미세먼지는 소수성 다공부재(200)의 내부 표면과의 반발에 의해 미세먼지를 포함하는 유체의 흐름이 지연됨으로써 친수성 부분을 통해 미세먼지의 흡착이 더욱 향상될 수 있다.
- [0043] 이와 같이, 본 발명에 따른 미세먼지 필터는 친수성 부분과 소수성 부분을 동시에 포함하는 복합 야누스(Janus) 에어(Air) 필터로서, 미세먼지 제거 효율 및 내구성이 우수하면서도 제조 시 소요되는 비용 및 시간을 최소화할 수 있는 경제성이 우수한 효과가 있다.
- [0044] 바람직하게는, 상기 소수성층(220)은 탄소 동소체층(221), 고분자층(222) 또는 이들의 혼합층일 수 있다. 바람직한 일 예로, 상기 소수성층(220)은 탄소 동소체층(221)과 고분자층(222)이 적층된 다층 구조를 가질 수 있으며, 도 3에 도시된 바와 같이, 상기 탄소 동소체층(221)이 상기 제2 기공(210)에 의해 형성되는 내부 표면의 내측으로 형성되는 것일 수 있다. 상기 탄소 동소체층(221)은 층상에 표면 요철이 형성된 구조를 가질 수 있으며, 이러한 구조의 탄소 동소체층(221)이 상기 제2 기공(210)에 의해 형성되는 내부 표면과 고분자층(222) 사이의 계면상에 위치할 수 있다. 따라서 상기 내부 표면과 고분자층(222) 사이의 계면간 접촉력을 극대화하고 내구성을 향상시키며, 반복적인 미세먼지 제거 공정이 반복됨에도 미세먼지 제거 효율의 저하를 최소화할 수 있다.
- [0045] 상기 탄소 동소체층(221)과 상기 고분자층(222)이 적층된 다층 구조를 가지는 소수성층(220)의 형성 수단으로 크게 제한되는 것은 아니지만, 상기 소수성층(220)은 a) 탄소 동소체 입자 및 분산매를 포함하는 혼합물을 상기 제2 기공(210)에 의해 형성되는 내부 표면에 도포 및 건조하여 상기 탄소 동소체 입자에 의한 표면 요철을 형성하는 동소체층(221) 형성 단계 및 b) 상기 동소체층(221)에 형성된 표면 요철 위에 고분자층(222)을 형성하는 단계를 포함하는 수단에 의해 형성되는 것이 바람직할 수 있다.

- [0046] 설명한 바와 같이, 상기 탄소 동소체층(221)은 층상에 표면 요철이 형성된 구조를 가질 수 있으며, 이러한 구조의 탄소 동소체층(221)이 상기 제2 기공(210)에 의해 형성되는 내부 표면에 코팅되어 형성됨으로써 높은 소수성 특성을 구현할 수 있다. 상기 탄소 동소체층(221)의 표면 요철은 크게 제한되는 것은 아니나, 예를 들어 1 내지 300 nm, 구체적으로 3 내지 200 nm, 보다 구체적으로 5 내지 100 nm일 수 있으며, 상기 탄소 동소체 입자의 평균입경은 표면 소수성 특성을 부여할 수 있을 정도라면 크게 제한되지 않으며, 예를 들어 5 내지 500 nm, 구체적으로 10 내지 300 nm, 보다 구체적으로 50 내지 100 nm일 수 있다.
- [0047] 상기 탄소 동소체층(221)은 표면 소수성 특성을 구현할 수 있는 것이라면 크게 제한되는 것은 아니며, 예컨대 숯, 탄소나노튜브, 흑연, 플러렌 및 비정질 탄소 등에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 탄소 동소체 입자를 포함하여 형성될 수 있다. 바람직한 일 실시예로, 숯이 사용될 수 있다.
- [0048] 상기 탄소 동소체층(221)의 형성 방법은 소수성 특성을 소수성 다공부재(200)의 내부 표면에 부여할 수 있는 수단이라면 다양한 방법이 사용될 수 있다. 예를 들어, 탄소 동소체 입자 및 분산매를 포함하는 코팅 용액에 다공부재를 침지하고 건조하여 코팅층을 형성하는 침지/함침법 또는 다공부재의 내부 표면에 상기 용액을 분사하는 분사법을 이용할 수 있다. 따라서 상기 소수성층(220)이 소수성 다공부재(200)의 외부 표면에도 형성될 수 있음은 물론이다. 상기 코팅 용액의 조성비는 탄소 동소체 입자가 다공부재의 내부 표면에 부착되어 코팅층을 형성할 수 있을 정도라면 적절히 조절될 수 있으며, 예컨대 분산매 100 중량부에 대하여 탄소 동소체 입자가 0.01 내지 10 중량부, 구체적으로, 0.1 내지 5 중량부로 사용될 수 있다. 상기 분산매는 탄소 동소체가 분산될 수 있는 액상 매질이라면 무방하며 예컨대 아세톤(acetone), 헥산(hexane), 자일렌(xylene), 펜탄(pentane), 헵탄(heptane), 톨루엔(toluene), 디클로로메탄(dichloromethane) 및 클로로포름(chloroform) 등에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 유기분산매를 포함할 수 있다. 하지만 이는 구체적인 일 예로서 설명된 것일 뿐, 본 발명이 이에 제한되어 해석되는 것은 아니다.
- [0049] 상기 고분자층(222)은 소수성 특성을 소수성 다공부재(200)의 내부 표면에 부여할 수 있는 것이라면 크게 제한되는 것은 아니며, 일 예로 실록산계 수지로 형성된 것일 수 있다. 바람직하게는, 가교성 수지로 형성되는 것이 높은 소수성 특성과 함께 높은 내구성을 구현할 수 있는 측면에서 좋으며, 특히 상기 탄소 동소체층(221) 위에 고분자층(222)이 형성될 경우, 소수성 특성 및 내구성이 보다 현저히 향상될 수 있다.
- [0050] 이와 같이 가교성 수지를 표면에 흡수시키고 진공처리 후 열처리 등의 수단을 통해 가교 및 경화시킴으로써 소수성 특성 및 내구성이 향상된 고분자층(222)을 형성할 수 있다. 바람직한 일 예로, 상기 가교성 수지는 비닐기를 포함하는 실록산계 단량체(또는 프리 폴리머) 및 가교제를 포함하는 혼합물을 반응시켜 형성되는 가교된 폴리디메틸실록산, 즉, 실록산계 엘라스토머일 수 있다. 비닐기를 포함하는 실록산계 단량체가 사용될 경우, 옥타데실아민, 폴리도파민 등이 코팅된 경우와 비교하여 더 높은 미세면지 제거율을 가질 수 있다. 상기 혼합물은 용매를 더 포함하는 것일 수 있으며, 이때 용매는 단량체가 중합할 수 있는 헥산 등의 다양한 것들이 사용될 수 있다. 상기 가교제는 중합 시 중합체 사슬간 가교를 형성시킬 수 있는 것, 예를 들어 실리콘 프리 폴리머의 비닐기의 이중결합에 부가되어 가교시킬 수 있는 Si-H 그룹을 갖는 것을 들 수 있으며, 구체적으로 하이드로젠실란을 들 수 있다. 하지만 이는 바람직한 일 예로서 설명된 것일 뿐, 본 발명이 이에 제한되어 해석되는 것은 아니다.
- [0051] 상기 소수성층(220)은 다양한 방법으로 소수성 다공부재(200)의 내부 표면에 형성될 수 있으며, 예컨대 소수성층(220)을 형성할 수 있는 용액에 다공부재를 침지하고 건조하여 코팅층을 형성하는 침지/함침법 또는 다공부재의 내부 표면에 상기 용액을 분사하는 분사법을 이용할 수 있다. 따라서 상기 소수성층(220)이 소수성 다공부재(200)의 외부 표면에도 형성될 수 있음은 물론이다.
- [0052] 상기 소수성 다공부재(200)의 소수성층(220) 표면은 높은 소수성 표면을 가지며, 예컨대 상기 소수성층(220)의 표면에 대한 수 접촉각은 100 도 이상, 바람직하게는 110 도 이상, 보다 바람직하게는 130 도 이상일 수 있다. 또한 상기 친수성 다공부재(100)의 친수성 표면에 대한 수 접촉각은 50 도 이하, 바람직하게는 30 도 이하, 보다 바람직하게는 10 도 이하일 수 있다. 이와 같이, 각 영역에 대한 다른 표면 특성을 가짐으로써, 미세면지의 제거 효율 및 내구성이 우수한 미세면지 필터를 제공할 수 있다.
- [0053] 상기 소수성 다공부재(200)는 다수의 제2 기공(210)이 형성된 것으로서, 상기 제2 기공(210)에 의해 형성되는 내부 표면을 갖는다. 이때 상기 내부 표면에 소수성층(220)이 코팅되어 존재하며, 상기 소수성층(220)은 탄소 동소체층(221) 또는 고분자층(222)이다. 따라서 미세면지를 포함하는 유체는 상기 제2 기공(210)을 통과하며, 이때 유체가 상기 소수성층(220)과 접촉함으로써 정전기적 반발 등에 의해 친수성 다공부재(100)의 친수성 내부

표면을 가지는 기공(110)으로 흡착되도록 유도한다.

- [0054] 상기 제1 기공(110) 또는 상기 제2 기공(210)은 다양한 형태 및 구조를 가지는 공극일 수 있으며, 일 예로, 2 nm 이하의 마이크로(micro) 기공, 2 내지 50 nm의 메조(meso) 기공 및 50 nm 이상의 매크로(macro) 기공 중에서 선택되는 하나 또는 둘 이상의 구조를 가질 수 있으며, 종게는 둘 이상의 기공을 포함하는 계층적 다공 구조를 가질 수 있다.
- [0055] 상기 친수성 다공부재(100) 또는 상기 소수성 다공부재의 공극률은 크게 제한되는 것은 아니며, 일 예로 10 내지 95 %, 구체적으로 20 내지 90 %일 수 있다. 하지만 이는 바람직한 일 예로서 설명된 것일 뿐, 본 발명이 이에 제한되어 해석되는 것은 아니다.
- [0056] 상기 친수성 다공부재(100) 또는 상기 소수성 다공부재(200)는 전술한 구조 및 특성을 만족하는 것이라면 다양한 재질을 가질 수 있으며, 다공성 발포 부재 또는 섬유형 부재일 수 있다. 구체적인 일 예로, 상기 친수성 다공부재(100) 또는 상기 소수성 다공부재(200)는 우레탄계 수지, 페놀계 수지, 멜라민계 수지, 아크릴계 수지, 스티렌계 수지, 에스테르계 수지 및 올레핀계 수지 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 수지로 형성된 발포체; 상기 수지의 섬유, 레이온계 섬유, 폴리아크릴로니트릴계 섬유 등에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 합성 섬유로 직조된 직물; 면 섬유, 마 섬유, 알파카 섬유, 모 섬유, 실크 섬유 중에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함하는 천연 섬유로 직조된 직물 등에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상을 포함할 수 있다. 하지만 이는 바람직한 일 예로서 설명된 것일 뿐, 본 발명이 이에 제한되어 해석되는 것은 아니다.
- [0057] 상기 친수성 다공부재(100)와 상기 소수성 다공부재(200)의 체적 길이(두께) 비는 다양한 값으로 설정될 수 있으나, 도 4를 참조하면, 상기 체적 길이(두께) 비($D_1:D_2$)는 상기 유체의 흐름 방향을 기준으로, 1:0.2~5, 미세먼지 제거율이 더 향상될 수 있는 측면에서 바람직하게는 3:0.5~2, 보다 바람직하게는 3: 0.7~1.5일 수 있다.
- [0058] 본 발명에 따른 집진 장치는 미세먼지를 함유하는 유체로부터 미세먼지를 제거하는 집진 장치로서, 전술한 미세먼지 필터가 구비되는 필터부를 포함하는 집진 장치일 수 있다.
- [0059] 본 발명의 일 예에 따른 집진 장치는, 상기 필터부; 상기 미세먼지 필터의 친수성 다공부재(100)와 인접하는 유체 유입부; 및 상기 미세먼지 필터의 소수성 다공부재(200)와 인접하는 유체 배출부;를 포함할 수 있으며, 상기 유체가 상기 유체 유입부로 유입된 후 상기 필터의 친수성 다공부재와 소수성 다공부재를 순차적으로 통과하여 상기 유체 배출부를 통해 미세먼지가 제거된 유체가 배출되는 구조를 가질 수 있다.
- [0060] 본 발명에 따른 미세먼지 필터 또는 이를 포함하는 집진 장치는 미세먼지를 포함하는 유체로부터 미세먼지를 흡착시켜 유체로부터 미세먼지를 분리하는 것으로서, 여기서 적용되는 미세먼지는 지름이 10 μm 보다 작은 미세먼지(PM_{10}), 지름이 2.5 μm 보다 작은 초미세먼지($\text{PM}_{2.5}$), 지름이 0.3 μm 보다 작은 나노 단위의 극초미세먼지($\text{PM}_{0.3}$) 등 다양한 입자 크기를 가지는 것일 수 있다. 즉, 본 발명에 따른 미세먼지 필터는 미세먼지 입자 크기의 전 범위에 걸쳐 모두 적용될 수 있다. 특히 본 발명에 따른 미세먼지 필터는 지름이 0.3 μm 이하인 극초미세먼지까지도 99% 이상의 높은 효율로 제거할 수 있다.
- [0061] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 필터부는 상기 미세먼지 필터가 다수로 적층된 필터 모듈일 수 있으며, 예를 들어 상기 미세먼지 필터가 2 개 이상, 구체적으로 2 내지 20 개, 종게는 3 내지 10 개로서 적층된 것일 수 있다. 이때 미세먼지 필터들이 서로 동일한 방향, 즉, 필터의 친수성 다공부재(100) 또는 소수성 다공부재(200)가 일 방향으로 동일하게 배치되도록 하여 적층되는 것이 바람직하다.
- [0062] 본 발명의 일 예에 따른 미세먼지 필터 또는 이를 포함하는 집진 장치는, 유속이 10 m/sec이며, 지름이 2.5 μm 인 초미세먼지를 포함하는 유체에 대한 미세먼지 제거 효율이 99.5 % 이상이고, 170 Pa 이하의 압력 강하를 가질 수 있다.
- [0064] 이하 본 발명을 실시예를 통해 상세히 설명하나, 이들은 본 발명을 보다 상세하게 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 권리범위가 하기의 실시예에 의해 한정되는 것은 아니다.

실시예 1

- [0065] <고분자 코팅 필터(JAF)>

[0066] 친수성 재질인 멜라민 포름알데히드 수지로 형성된 직육면체(300 mm × 250 mm × 20 mm) 형상의 스펀지를 아세톤에 침지하고 30 분 동안 초음파 처리하여 스펀지에 부착된 유기 오염물을 제거하였다. 그리고 오염물이 제거된 상기 스펀지를 탈 이온수로 3 회 세척한 후, 오븐에 넣고 50 °C에서 30 분 동안 건조시켰다. 건조된 상기 스펀지를 프리폴리머, 가교제 및 헥산을 포함하는 소수성 표면 형성 용액(SYLGARD™ 184 Silicone Elastomer, Dow Chemical.)에 침지하되, 스펀지의 길이 방향으로 3:1 지점이 되는 지점까지만 용액을 침지시켜 친수성 부분과 소수성 부분(고분자층 코팅)이 3:1로 형성되도록 하였다. 이어서 소수성 표면 형성 용액에 침지한 상기 스펀지를 오븐에 넣고 100 °C에서 1 시간 동안 열처리하였다. 열처리된 상기 스펀지를 오븐에서 꺼내고, 에탄올로 3 회 세척한 후, 다시 오븐에 넣고 50 °C에서 4 시간 동안 건조시켜 필터를 제조하였다.

실시예 2

[0067] <숯 코팅 필터>

[0068] 평균입경이 75 nm인 카본 숯 나노 입자 100 mg을 아세톤 30 mL에 혼합하고 1 시간 동안 초음파 처리하여 카본 숯 나노 입자를 아세톤에 분산시켜 카본 숯 분산 용액을 제조하였다.

[0069] 그리고 실시예 1에서 소수성 표면 형성 용액에 침지하기 전의 건조된 스펀지를 초음파 처리가 수행되는 상태에서 상기 카본 숯 분산 용액에 침지하되, 실시예 1과 동일한 방법으로 침지, 열처리, 건조 과정을 거쳐 친수성 부분과 소수성 부분(탄소 동소체층 코팅)이 3:1로 형성되도록 하여 필터를 제조하였다.

실시예 3

[0070] <고분자-숯 다층 코팅 필터(CS-JAF)>

[0071] 실시예 2에서 제조된 필터를 실시예 1의 소수성 표면 형성 용액과 동일한 용액에 침지하되, 실시예 1과 동일한 침지 방법으로 침지하고, 실시예 1과 동일한 열처리 및 건조 과정을 거쳐 필터를 제조하였다. 이때 상기 필터의 침지 부분은 상기 필터의 소수성 표면 형성 용액이 기 침지된 부분만 침지하여, 소수성 부분이 카본 동소체층과 고분자층이 다층 구조로 코팅된 필터를 제조하였다.

실시예 4

[0072] 실시예 1에서 친수성 부분과 소수성 부분(고분자층 코팅)이 5:1로 형성되도록 스펀지를 용액에 침지한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 필터를 제조하였다.

실시예 5

[0073] 실시예 1에서 친수성 부분과 소수성 부분(고분자층 코팅)이 1:1로 형성되도록 스펀지를 용액에 침지한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 필터를 제조하였다.

실시예 6

[0074] 실시예 1에서 친수성 부분과 소수성 부분(고분자층 코팅)이 1:3으로 형성되도록 스펀지를 용액에 침지한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 필터를 제조하였다.

실시예 7

[0075] 실시예 2에서 카본 숯 나노 입자 50 mg을 사용한 것을 제외하고, 실시예 2와 동일한 방법으로 필터를 제조하였다.

실시예 8

[0076] 실시예 1에서 친수성인 멜라민 포름알데히드 수지로 형성된 스펀지 대신 면직물(Cotton)을 사용한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 필터를 제조하였다.

[0077] [비교예 1]

[0078] 실시예 1에서 친수성 부분과 소수성 부분(고분자층 코팅)이 0:1로 형성되도록, 즉, 스펀지 전체를 용액에 침지하여 친수성 부분이 없도록 한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 필터를 제조하였다.

- [0079] [비교예 2]
- [0080] 실시예 1에서 친수성 부분과 소수성 부분(고분자층 코팅)이 1:0으로 형성되도록 하였으며, 즉, 스펀지에 아무 처리를 하지 않은 필터이다.
- [0082] [실험예]
- [0083] <주사전자현미경 분석>
- [0084] 실시예 1, 실시예 2 및 실시예 8의 필터를 주사전자현미경을 통해 관찰하였으며, 그 이미지를 도 5 및 도 8에 도시하였다.
- [0085] 구체적으로, 도 5의 o), p) 및 q)를 참조하면, 스펀지에 형성된 기공의 내부 표면에 카본 숏 나노 입자가 코팅되어 거친 표면 요철 구조가 형성되어 있음을 확인할 수 있다. 또한 도 8의 b), 및 c)를 참조하면, 먼 직물의 섬유들로 형성되는 기공의 내부 표면에 카본 숏 나노 입자가 코팅되어 거친 표면 요철 구조가 형성되어 있음을 확인할 수 있다.
- [0086] <수 접촉각 측정>
- [0087] 실시예 1, 실시예 2, 실시예 5, 실시예 6, 실시예 7, 실시예 8, 비교예 1 및 비교예 2의 필터에 대한 수 접촉각을 측정하고, 그 결과를 도 5에 도시하였다.
- [0088] 도 5를 참조하면, 친수성 부분이 100%인 비교예 2의 필터(아무처리되지 않은 스펀지)에 대한 수 접촉각은 0 도였다. 반면, 고분자층이 코팅된 실시예 1의 필터에 대한 수 접촉각은 133 도였고, 카본 숏 나노 입자가 코팅된 실시예 2 및 실시예 8에 대한 수 접촉각은 각각 143 도 및 134 도였다. 또한 실시예 7, 실시예 1에 대한 수 접촉각은 133 내지 143 도로서 탄소 동소체 입자의 함량에 따라 달라짐을 확인하였다.
- [0089] <친수성 부분:소수성 부분의 비율에 따른 미세먼지 제거 효율>
- [0090] 실시예 1, 비교예 1 및 비교예 2의 필터에 대한 미세먼지 여과 테스트를 수행하였다. 구체적으로, 모든 미세먼지 여과 테스트는 60 내지 65 %의 상대 습도에서 3 내지 10 초 동안 향을 태워서 미세먼지를 발생시켜 수행되었다. 그리고 500 mL의 챔버에 상기 미세먼지를 충전한 후, 1, 3, 5 또는 10 m/sec의 일정한 유량으로 상기 미세먼지가 필터를 통과하도록 하였다. 이후 필터로부터 방출되는 여과되지 않은 미세먼지를 감지기를 통해 감지하고, 미세먼지의 여과 전과 후의 측정된 미세먼지의 농도를 비교함으로써 하기 식 1을 통해 미세먼지 제거율(Removal efficiency)을 계산하였다. 또한 압력 강하는 압력 강하 측정기로 필터의 입력(미세먼지 유입) 부분 및 출력(미세먼지 배출) 부분에서 측정되었다.
- [0091] [식 1]
- [0092] 미세먼지 제거율(%) = (여과 전의 미세먼지 농도 - 여과 후의 미세먼지 농도)/(여과 전의 미세먼지농도) × 100
- [0093] 도 6 및 도 7을 참조하면, 미세먼지를 포함하는 유체가 필터를 통과할 시, 필터의 친수성 부분을 먼저 통과한 후 소수성 부분을 통과하는 경우가, 필터의 소수성 부분을 먼저 통과한 후 친수성 부분을 통과하는 경우보다 미세먼지 제거 효율이 훨씬 높았다. 이는 소수성 부분의 반발에 의해 미세먼지의 흐름이 지연됨으로써 친수성 부분을 통해 미세먼지의 흡착이 더욱 향상되었음을 확인하였다. 이로부터 필터 내의 소수성 부분이 미세먼지 흡착에 중요한 역할을 하며, 친수성 부분과 소수성 부분의 순차적 조합이 미세먼지 제거 효율에 크게 영향을 줄 수 있다. 또한 카본 숏 나노 입자로 형성된 코팅층으로 인하여 소수성 부분의 소수성 정도가 증가할수록 미세먼지 제거 효율이 상승하였으며, 친수성 부분 및 소수성 부분의 비율이 3:1일 때 가장 높은 미세먼지 제거 성능을 나타냈다.
- [0094] <풍속에 따른 미세먼지 제거 효율 및 압력 강하 측정>
- [0095] 실시예들, 비교예들의 필터에 대한 미세먼지 여과 테스트를 수행하였으며, 상기 친수성 부분:소수성 부분의 비율에 따른 미세먼지 제거 효율에서 테스트한 것과 동일한 방법으로 테스트를 수행하였다.
- [0096] 도 9의 c) 및 d)를 참조하면, 실시예 1 및 실시예 8은 2.5 μ m 지름의 미세먼지에 대하여 1 m/s 유속에서 99.99 %의 제거율과 61 Pa의 압력 강하를 나타내었고, 10 m/s의 높은 유속에서 압력 강하는 138 Pa로 증가했지만 여전히 99.53% 이상의 높은 제거율을 나타내었다.

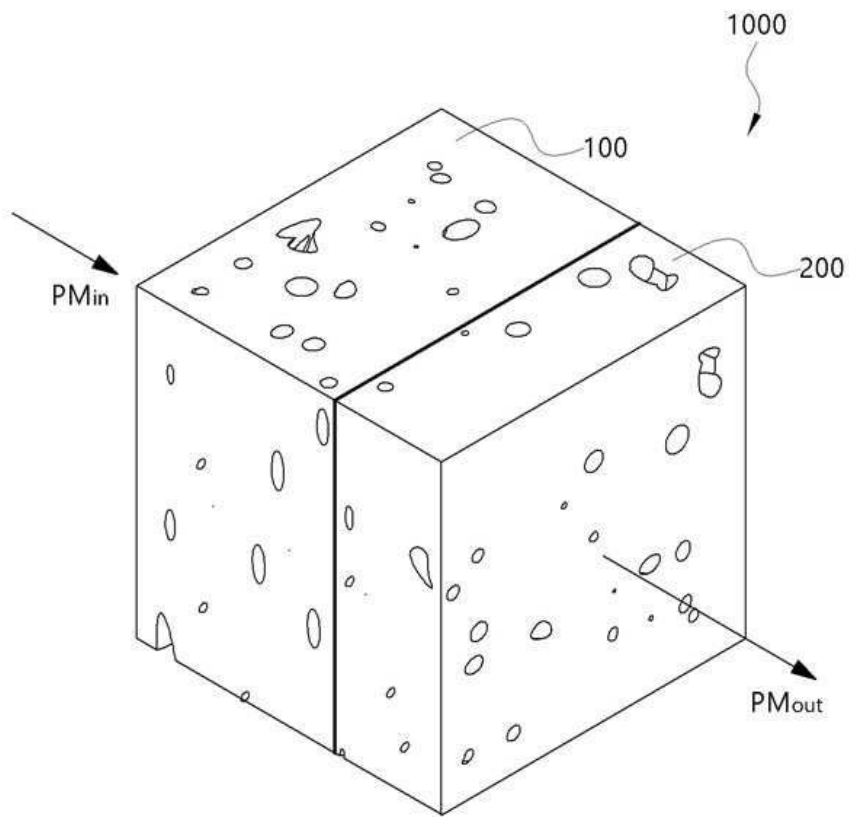
- [0097] 또한 도 9의 e)를 실시예 1 및 실시예 8은 2.5 μm 지름의 미세먼지에 대한 장기 성능을 평가한 결과, 1 m/s 유속에서 30 회 동안 99.9934 % 이상의 높은 미세먼지 제거율을 나타내었다.
- [0098] 특히 실시예 3은 100 회의 반복 시험에서도 99.99 % 이상의 높은 미세먼지 제거율을 나타내는 높은 내구성을 나타내었다.
- [0099] 아울러 도 10을 참조하면, 실시예 1 및 실시예 8은 필터가 다수로 적층된 모듈 형태의 집진 장치로 조합될 시, 0.3 μm 지름의 미세먼지에 대하여 1m/s의 유속에서 제거율은 99.99 %이었으며, 152 Pa 이하의 낮은 압력 강하를 유지하였다.

부호의 설명

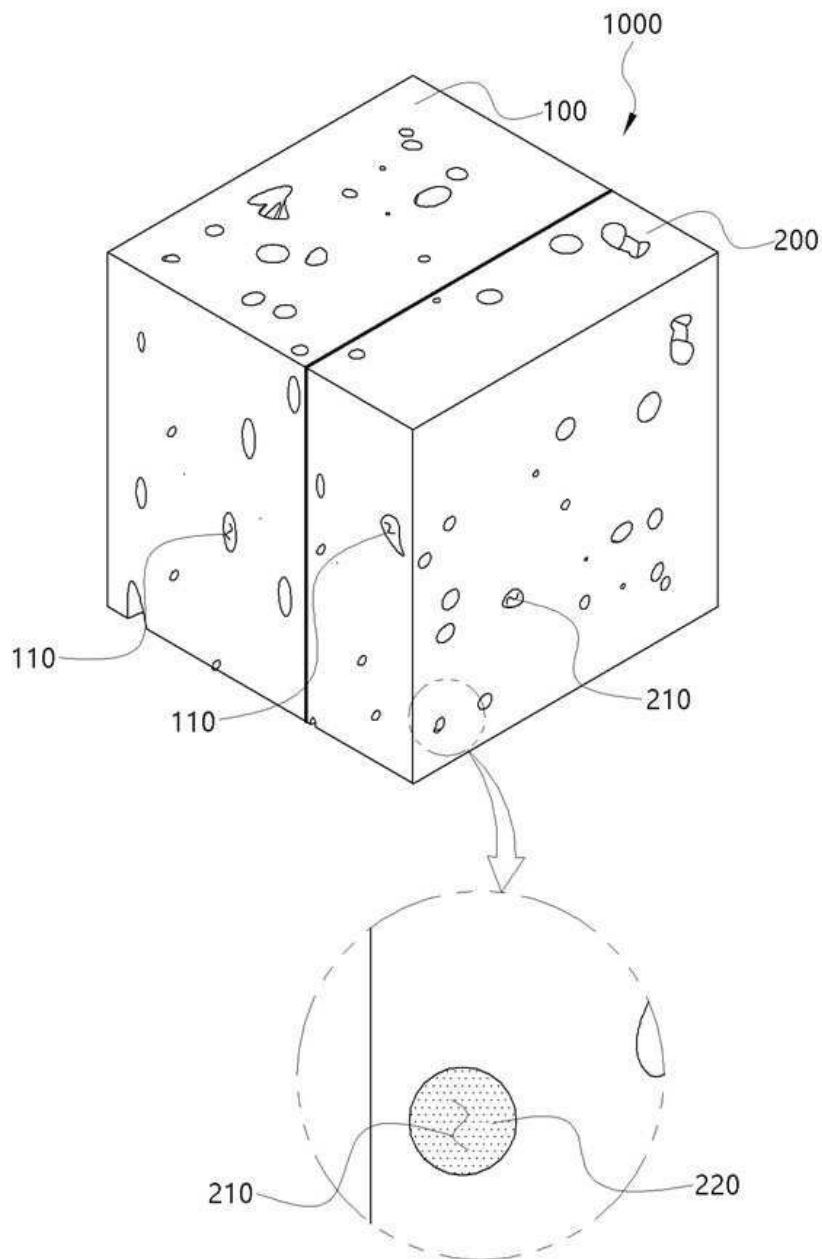
- [0100] 1000 : 미세먼지 필터,
 100 : 친수성 다공부재,
 110 : 제1 기공,
 200 : 소수성 다공부재,
 210 : 제2 기공,
 220 : 소수성층,
 221 : 탄소 동소체층,
 222 : 고분자층,
 D_1 : 친수성 다공부재의 체적 길이 비(유체의 흐름 방향 기준)
 D_2 : 소수성 다공부재의 체적 길이 비(유체의 흐름 방향 기준)
 PM_{in} : 미세먼지를 포함하는 유체 유입 방향
 PM_{out} : 유체 배출 방향

도면

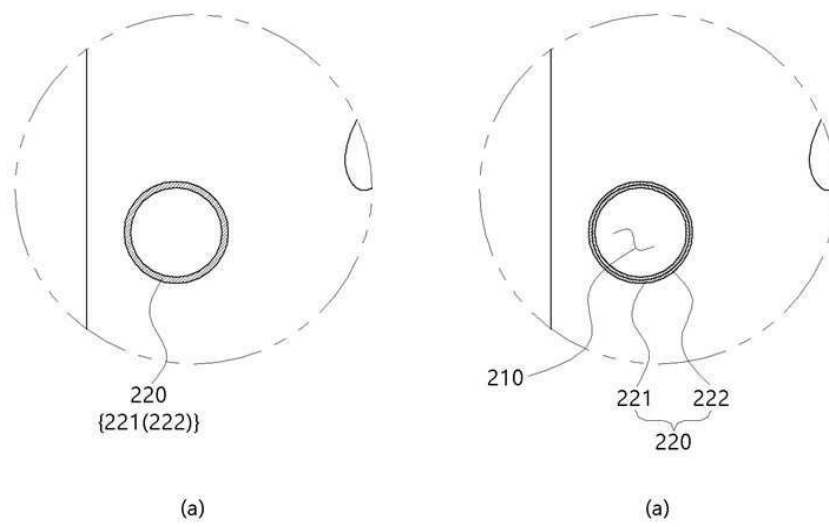
도면1



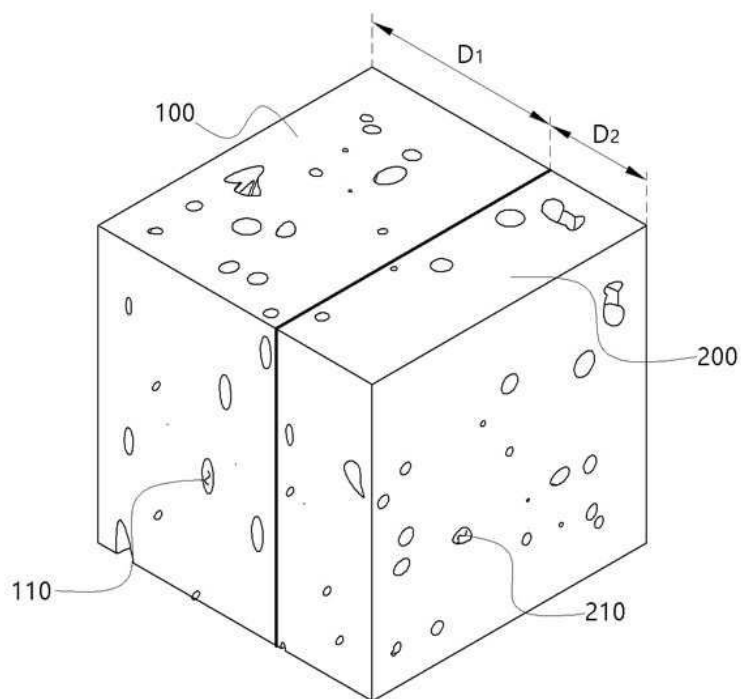
도면2



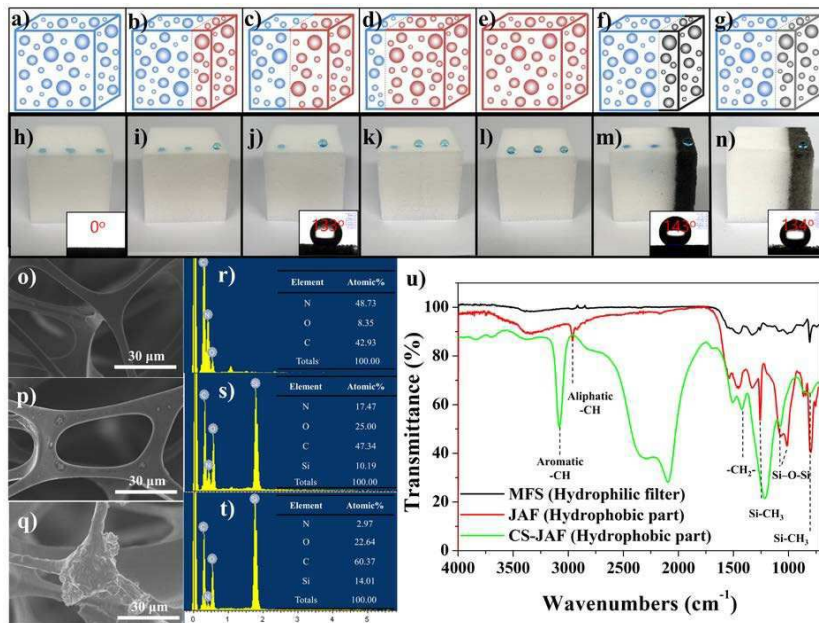
도면3



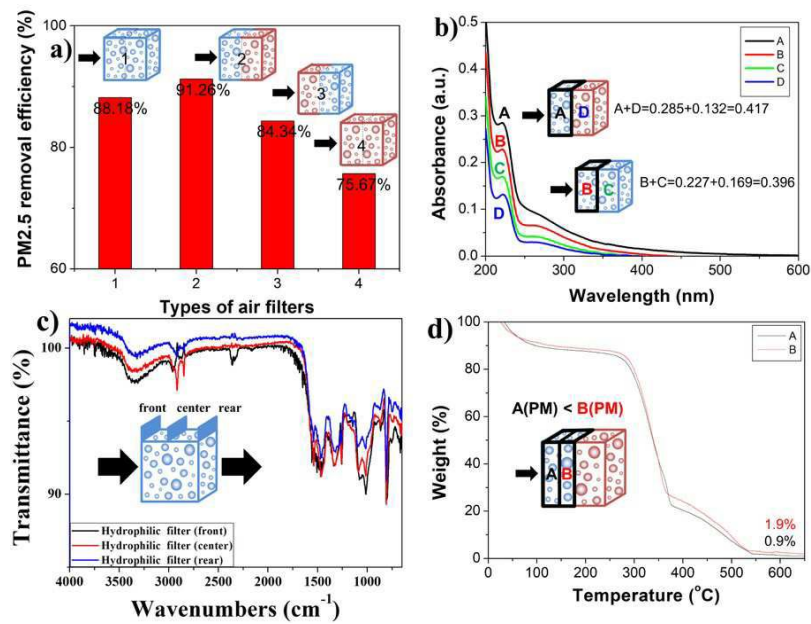
도면4



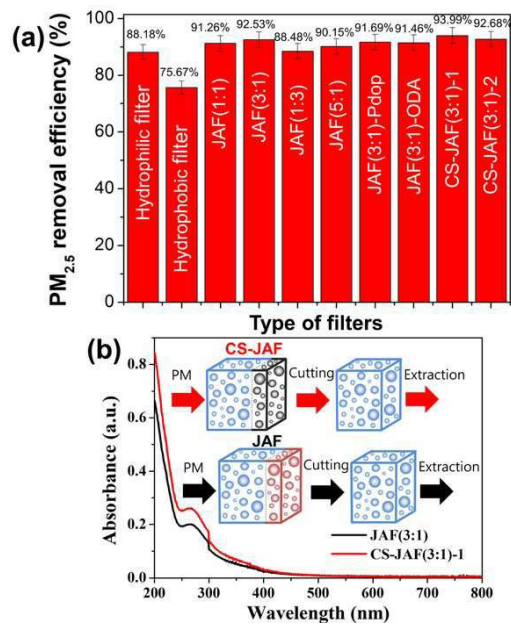
도면5



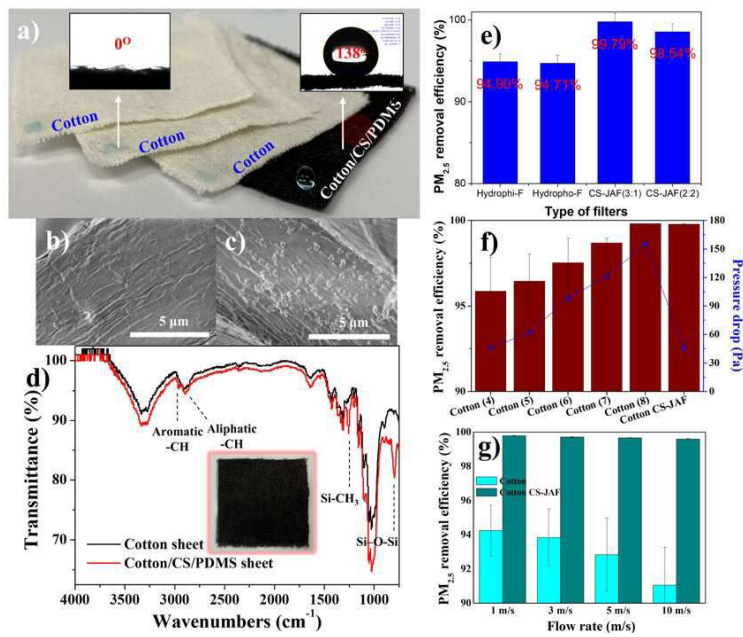
도면6



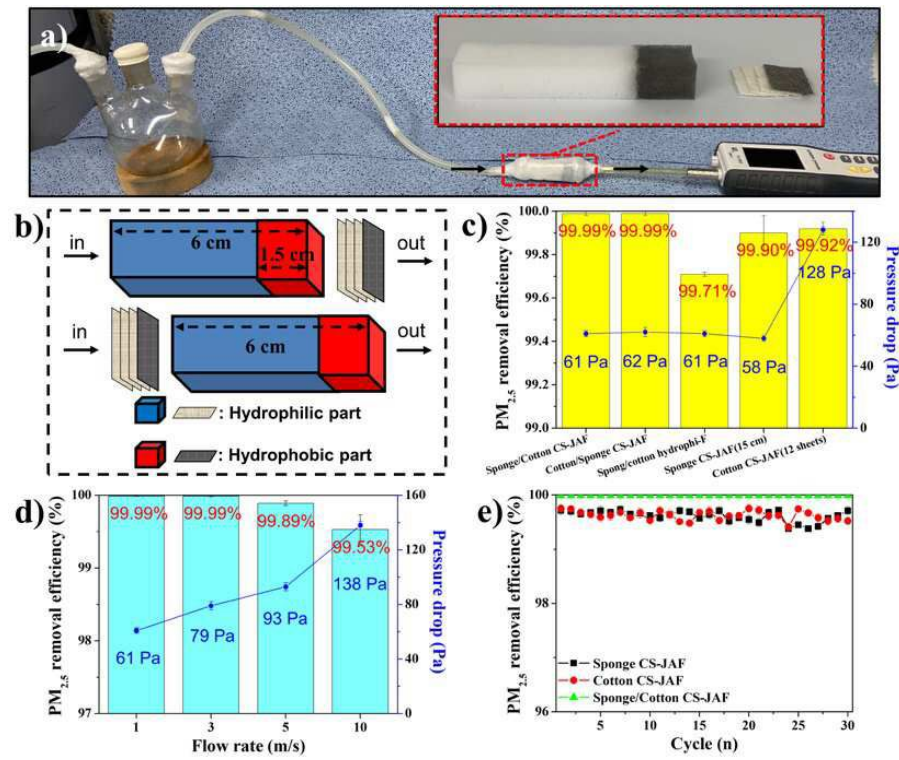
도면7



도면8



도면9



도면10

