



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0118557
 (43) 공개일자 2018년10월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 46/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류
B01D 46/0032 (2013.01)
B01D 2239/0233 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0046179

(22) 출원일자 2018년04월20일
 심사청구일자 2018년04월20일

(30) 우선권주장
 1020170051679 2017년04월21일 대한민국(KR)

(71) 출원인
단국대학교 천안캠퍼스 산학협력단

충청남도 천안시 동남구 단대로 119, 단국대학교 천안캠퍼스내(안서동)

(72) 발명자
신원상

서울특별시 은평구 진관4로 37, 801동 412호(진관동, 은평뉴타운상림마을)

김한샘

충청남도 천안시 동남구 신부15길 10, 301호(신부동)

(74) 대리인

김순용

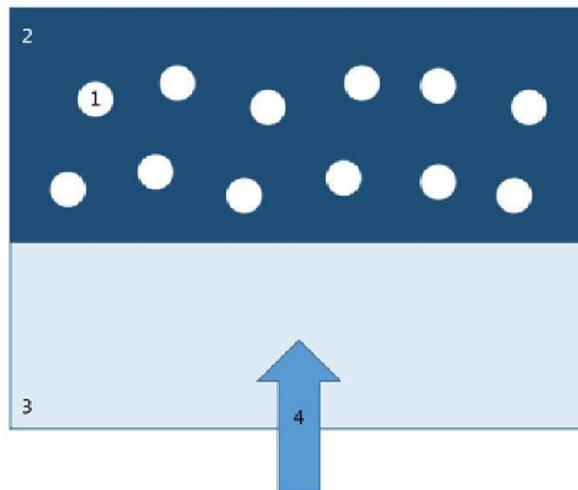
전체 청구항 수 : 총 21 항

(54) 발명의 명칭 **다공성 기재 층 및 CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층을 포함하는 멤브레인 및 이를 포함하는 정전식 집진 시스템**

(57) 요약

본 발명은 다공성 기재 층 및 CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층을 포함하는 멤브레인과 이를 포함한 정전식 집진 시스템에 관한 것으로, 본 발명의 멤브레인은 전기 전도성이 우수하여 낮은 전류로도 먼지를 효율적으로 집진할 수 있고, 기공을 가져 공기의 통과가 자유로우면서도, 공기의 통과 경로가 길어 많은 양의 먼지를 집진할 수 있다. 또한 본 발명의 멤브레인은 다양한 형태로 제작이 가능하여 다양한 형태의 정전식 집진 시스템에 적용되기에 적합하다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

B01D 2239/0435 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

다공성 기재 층 및 상기 다공성 기재 층에 코팅된 CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층을 포함하고, 상기 CNT/키토산 나노 하이브리드는 CNT 코어가 키토산 셸로 둘러싸여 있는 것인 멤브레인.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 다공성 기재는 폴리스티렌, 폴리에틸렌, 폴리우레탄 및 탄소 섬유로 이루어진 군에서 선택되는 것인 멤브레인.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 다공성 기재는 섬유 또는 스폰지 형태의 폴리우레탄인 멤브레인.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 섬유 또는 스폰지 형태의 폴리우레탄은 50 내지 500 μm 의 공극 크기를 갖는 것인 멤브레인.

청구항 5

제2항에 있어서, 상기 다공성 기재는 탄소 섬유인 멤브레인.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 탄소 섬유는 20 내지 200 μm 의 공극 크기를 갖는 것인 멤브레인.

청구항 7

제3항에 있어서, 상기 섬유 또는 스폰지 형태의 폴리우레탄의 공극률은 60 내지 99.9%인 멤브레인.

청구항 8

제5항에 있어서, 상기 탄소 섬유의 공극률은 60 내지 99.9%인 멤브레인.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 코팅층은 코팅층의 총 중량을 기준으로 CNT를 25 내지 90 중량% 포함하는 것인 멤브레인.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 코팅층은 5 Ω 이하의 전기 저항을 갖는 것인 멤브레인.

청구항 11

제3항에 있어서, 상기 코팅층은 섬유 또는 스폰지 형태의 폴리우레탄 층의 중량을 기준으로 1 내지 5배의 중량으로 코팅되는 것인 멤브레인.

청구항 12

제5항에 있어서, 상기 코팅층은 탄소 섬유 층의 중량을 기준으로 0.5 내지 2배의 중량으로 코팅되는 것인 멤브레인.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 코팅층은 50 내지 150 m^2/g 의 비표면적을 갖는 것인 멤브레인.

청구항 14

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 따른 멤브레인 층; 및 여과층을 포함하는 정전식 집진 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 여과층은 일반 천, 캐빈필터, 부직포 및 양모 로 이루어진 군에서 선택되는 것인 정전식 집진 시스템.

청구항 16

제14항에 있어서, 상기 여과층의 양 면 또는 한 면에 멤브레인 층이 배치되는 것인 정전식 집진 시스템.

청구항 17

제16항에 있어서, 평면 형태를 갖는 것인 정전식 집진 시스템.

청구항 18

제16항에 있어서, 원통 형태를 갖는 것인 정전식 집진 시스템.

청구항 19

제14항에 있어서, 100Ω 이하의 전기 저항을 갖는 것인 정전식 집진 시스템.

청구항 20

제14항에 있어서, 여과층을 통과하는 기체의 풍속이 0.001 내지 5m/s인 정전식 집진 시스템.

청구항 21

제14항에 있어서, 여과층 통과 전후의 차압이 100Pa 이하인 정전식 집진 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 다공성 기재 층 및 CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층을 포함하는 멤브레인 및 이를 포함하는 정전식 집진 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 먼지는 그 입자 크기에 따라 총먼지, 미세먼지, 초미세먼지로 분류된다. 그 중 미세먼지는 지름이 10 μm 이하인 것을 의미하며, 초미세먼지는 지름이 2.5 μm 이하인 것을 의미한다. 이 중 미세먼지와 초미세먼지는 사람의 폐포까지 침투할 수 있고, 침투 후 각종 호흡기 질환을 일으킬 수 있는 직접적인 원인이 된다. 이러한 미세먼지와 초미세먼지는 황산염, 질산염, 암모니아 등의 이온 성분과 금속화합물, 탄소화합물 등의 유해물질로 이루어져 있다. 이러한 물질들이 대기중 광화학 반응을 일으켜 미세먼지와 초미세먼지가 생성되고, 이러한 물질들은 주로 자동차 배기가스나, 공장에서 나오는 매연에서 발생된다. 이러한 물질들의 유해성 때문에 세계 각국에서는 미세먼지와 초미세먼지의 농도를 엄격하게 규제하고 있다.

[0003] 미세먼지는 일반적으로 머리카락 굵기의 약 1/10인 반면, 초미세먼지는 약 1/40 이하의 매우 작은 사이즈임으로 사람의 눈에는 거의 보이지 않고, 기도에서도 걸러지지 못해 흡입하는 대부분이 폐포까지 침투하게 된다. 이는 심장질환과 호흡기 질병 등을 야기한다.

[0004] 우리나라에서는 봄철 중국발 황사가 발생하며, 최근에는 지구 온난화 현상으로 인해 중국 내륙의 사막화가 발생하여, 황사의 발생 시기도 앞당겨지는 추세이다. 중국발 황사는 국내 황사에 비해 독성물질이 5배 높은 것으로 분석되었으며, 북경에서는 중금속 농도가 한국의 3배에 달해 장시간 노출될 경우 기관지에 손상이 생길 가능성이 높다. 그러므로 외출 시 미세먼지를 제거할 수 있는 마스크를 착용하는 것이 필수적이 되었다.

[0005] 또한 황사뿐만 아니라, 대기오염으로 인한 미세먼지 발생도 건강을 위협하는 큰 문제가 되고 있으며, 수술실이나 중환자실, 반도체 공정실 등 불순물이 있어서는 안 되는 세심한 환경, 지하철과 같이 환기가 잘되지 못하는

지하 공간, 프린터를 자주 사용하는 사무실 공간과 같은 곳에서도 미세먼지와 초미세먼지를 차단하는 것이 매우 중요한 문제이다. 그러므로 이러한 미세먼지나 초미세먼지를 제거할 수 있는 차량용, 마스크용, 프린터용, 공기 청정기용, 에어컨용, 전기 청소기용, 특수 청정실용 등등 필터들의 개발이 중요해지고 있다.

[0006] 기존의 방진 필터는 직조직물이나 부직포를 이용한 필터 방식을 사용하고 있다. 즉 입자의 크기보다 작은 기공을 가진 필터를 제조하여, 크기가 큰 입자를 걸러내는 방식을 택하였다. 그러나 이러한 기존의 방진 필터는 두 가지의 문제점을 가지고 있다. 첫째로, 입자의 크기가 2.5 μm 보다 더 작은 나노 사이즈의 초미세먼지를 제거하는 것에는 한계를 갖고 있다. 둘째로, 미세먼지 및 초미세먼지를 효과적으로 제거하기 위해 필터의 기공은 작아질 수밖에 없는데, 이로 인해 공기의 이동이 어려워지는 문제를 갖게 된다. 결과론적으로 적당한 크기의 기공을 가지고 있어 공기의 출입이 자유로우면서도 초미세먼지도 효과적으로 제거할 수 있는 방진 필터의 제조가 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 적당한 크기의 기공을 가지고 있어 공기의 출입이 자유로우면서 우수한 전기 전도성을 가져 낮은 전류로도 효과적으로 미세먼지를 집진할 수 있는 멤브레인 및 이를 포함하는 정전식 집진 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 발명자는 적당한 크기의 기공을 가지며, 우수한 전기 전도성을 가져 낮은 전류로도 효과적으로 미세먼지를 집진할 수 있는 멤브레인을 제조하여 본 발명을 완성하였다. 따라서, 본 발명의 과제 해결 수단은 다음과 같다:

[0009] 1. 다공성 기재 층 및 상기 다공성 기재 층에 코팅된 CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층을 포함하고, 상기 CNT/키토산 나노 하이브리드는 CNT 코어가 키토산 쉘로 둘러싸여 있는 것인 멤브레인.

[0010] 2. 상기 1의 멤브레인을 포함하는 정전식 집진 시스템.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 멤브레인은 높은 함량으로 CNT를 포함하여 그 전기 전도성이 우수하며, 구조적 안정성이 뛰어나 낮은 전류로도 효율적으로 미세먼지 또는 초미세먼지를 집진할 수 있다. 또한 다공성 기재에 CNT/키토산 나노 하이브리드를 코팅함으로써 충분한 크기의 기공을 가져 멤브레인을 통한 공기의 자유로우면서도, 공기의 통과 경로가 길어 많은 양의 미세먼지를 집진할 수 있다. 이에 본 발명의 멤브레인은 정전식 집진 시스템에 사용되기에 적합하다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 CNT/키토산 멤브레인의 코어-쉘 구조를 도식화 한 것이다.

도 2는 본 발명의 정전식 집진 시스템에서 멤브레인 층이 여과층의 양 면에 배치되는 경우를 간략화 한 도이다.

도 3은 본 발명의 정전식 집진 시스템에서 멤브레인 층이 여과층의 한 면에 배치되는 경우를 간략화한 도이다.

도 4은 CNT-chitosan 50의 HR-TEM(A), FE-SEM(B) 이미지 및 사진(C)이다.

도 5는 도 4의 C를 확대한 SEM 이미지이다.

도 6는 CNT-chitosan 25, 50, 75 및 순수한 CNT(pCNT)의 HR-TEM 이미지이다.

도 7은 순수한 CNT, 키토산 및 CNT/키토산 멤브레인의 FTIR 스펙트럼을 나타낸 것이다.

도 8은 순수한 CNT, 키토산 및 CNT/키토산 멤브레인의 열중량 분석 결과를 도시한 그래프를 나타낸 것이다.

도 9A는 CNT/키토산 멤브레인의 CNT 중량% 변화에 따른 두께 및 먼 저항의 변화를 나타낸 그래프이며, 도 9B는 CNT 중량% 변화에 따른 인장 강도 및 탄성 계수의 변화를 나타낸 그래프이다.

도 10은 CNT/키토산 멤브레인의 CNT 중량% 변화에 따른 신장율의 변화를 표시한 그래프를 나타낸 것이다.

- 도 11는 순수한 키토산 및 CNT-chitosan 25, 50, 75, 85의 인장-응력 곡선을 나타낸 그래프이다.
- 도 12은 순수한 키토산 및 CNT/키토산 멤브레인의 라만 스펙트럼을 도시한 도이다.
- 도 13은 CNT/키토산 멤브레인의 XPS 데이터 C 1s(A), N 1s(B), O 1s(C)를 나타낸 도이다.
- 도 14 내지 18은 0 내지 12V의 전압 하에서 3시간 동안 외부 공기에 노출시켰을 때 본 발명의 멤브레인 표면을 SEM 이미지로 관찰한 결과를 나타낸 도이며, 0V인 경우 도 14, 3V인 경우 도 15, 6V인 경우 도 16, 9V인 경우 도 17, 12V 인 경우 도 18로 나타내었다.
- 도 19는 미세먼지 흡착 후와 이를 세척한 이후의 본 발명의 멤브레인 표면을 비교한 것이다.
- 도 20은 본 발명의 실시예 2에서 제조한 CNT Coated U-Sponge 멤브레인의 사진 및 SEM 이미지를 나타낸 것이다.
- 도 21은 본 발명의 실시예 2에서 제조한 CNT Coated U-Fiber 멤브레인의 사진 및 SEM 이미지를 나타낸 것이다.
- 도 22는 본 발명의 실시예 2에서 제조한 CNT Coated C-Fiber 멤브레인의 사진 및 SEM 이미지를 나타낸 것이다.
- 도 23은 본 발명의 제조예 2-4에서 제작한 CNT Coated U-Sponge 멤브레인을 이용하여 제작한 원통형 정전식 집진 시스템의 사진을 나타낸 것이다.
- 도 24는 본 발명의 제조예 2-4에서 제작한 원통형 정전식 집진 시스템의 미세먼지 제거율을 측정한 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 25는 본 발명의 제조예 2-5에서 제작한 평면형 정전식 집진 시스템의 개념도 및 실제 제조예의 사진을 나타낸 것이다.
- 도 26은 본 발명의 제조예 2-6에서 제작한 평면형 정전식 집진 시스템의 개념도 및 실제 제조예의 사진을 나타낸 것이다.
- 도 27은 본 발명의 제조예 2-7에서 제작한 평면형 정전식 집진 시스템의 개념도 및 실제 제조예의 사진을 나타낸 것이다.
- 도 28은 본 발명의 제조예 2-5에서 제작한 평면형 정전식 집진 시스템 중 25K의 CNT Coated U-Sponge을 사용한 경우의 미세먼지 제거율을 측정한 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 29는 본 발명의 제조예 2-5에서 제작한 평면형 정전식 집진 시스템 중 50K의 CNT Coated U-Sponge을 사용한 경우의 미세먼지 제거율을 측정한 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 30은 본 발명의 제조예 2-5에서 제작한 평면형 정전식 집진 시스템 중 65K의 CNT Coated U-Sponge을 사용한 경우의 미세먼지 제거율을 측정한 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 31은 본 발명의 제조예 2-5에서 제작한 평면형 정전식 집진 시스템 중 50K의 CNT Coated U-Sponge 및 Al 전극층을 사용한 경우의 미세먼지 제거율을 측정한 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 32는 본 발명의 제조예 2-6에서 제작한 평면형 정전식 집진 시스템의 미세먼지 제거율을 측정한 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 33은 본 발명의 제조예 2-7에서 제작한 평면형 정전식 집진 시스템의 미세먼지 제거율을 측정한 결과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 본 발명은 다공성 기재 층 및 상기 다공성 기재 층에 코팅된 CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층을 포함하고, 상기 CNT/키토산 나노 하이브리드는 CNT 코어가 키토산 셸로 둘러싸여 있는 것인 멤브레인에 관한 것이다.
- [0014] 본 발명의 멤브레인에 있어서, 상기 CNT/키토산 나노 하이브리드는 코어/셸 구조를 가지며, CNT 코어가 키토산 셸로 둘러싸여 있는 형태의 나노 입자를 지칭한다. CNT와 키토산을 단순 혼합하여 사용하거나 복합체의 형태로 사용할 경우, CNT가 균일하게 분포하지 못하고, 일부 영역에 집중되는 경우가 발생하며 이는 멤브레인 전체의 기계적 강도를 약하게 하고, 멤브레인의 전기 전도성에 악영향을 미칠 수 있다. 반면, 본 발명의 코어/셸 구조는 균일하게 CNT가 분포되도록 하며, 이에 따라 본 발명의 멤브레인은 높은 함량의 CNT를 포함할 수 있으면서도, 그 기계적 강도는 우수하게 유지된다. 본 발명의 CNT/키토산 나노 하이브리드의 코어/셸 구조를 도

1로 나타내었다.

- [0015] 본 발명에 있어서, 상기 CNT는 탄소 나노튜브의 약칭으로, 단일벽 탄소 나노튜브와 다중벽 탄소 나노튜브를 모두 포함한다. 상기 키토산은 키틴을 탈아세틸화한 고분자 화합물을 지칭하며, 탈아세틸화의 정도는 75 내지 85% 일 수 있으며, 분자량은 50000 내지 190000 Da 일 수 있으나, 본 발명의 목적을 달성할 수 있는 범위 내라면 이에 제한되지 않는다.
- [0016] 본 발명의 멤브레인에 있어서, 상기 다공성 기체는 상기 CNT/키토산 나노 하이브리드가 코팅될 수 있으며, 공극을 갖는 모든 다공성 기체를 포함한다. 상기 다공성 기체는 폴리스티렌, 폴리에틸렌, 폴리우레탄 및 탄소 섬유로 이루어진 군에서 선택되는 것이 바람직하며, 특히 폴리우레탄 또는 탄소 섬유인 것이 바람직하다.
- [0017] 상기 다공성 기체가 폴리우레탄일 경우 섬유 또는 스폰지 형태일 수 있으며, 공극의 크기는 50 내지 500 μm 인 것이 바람직하며, 100 내지 200 μm 인 것이 특히 바람직하다. 공극의 크기가 이보다 작을 경우, 코팅층이 제대로 코팅되기 어려우며, 동시에 공기 통과 속도가 느려져 차압이 크게 발생하고, 미세먼지 제거 효율이 떨어질 수 있다. 또한 공극의 크기가 이보다 클 경우 다공성 기체의 기계적 안정성이 떨어지며, 공기 통과 경로가 상대적으로 짧을 수 있다. 상기 다공성 기체가 폴리우레탄인 경우 그 공극률은 60 내지 99.9%인 것이 바람직하며, 70 내지 96%인 것이 특히 바람직하고, 94 내지 96%인 것이 가장 바람직하다.
- [0018] 상기 다공성 기체가 탄소 섬유인 경우 공극의 크기는 20 내지 200 μm 인 것이 바람직하며, 40 내지 50 μm 인 것이 특히 바람직하다. 공극의 크기가 이보다 작을 경우, 코팅층이 제대로 코팅되기 어려우며, 동시에 공기 통과 속도가 느려져 차압이 크게 발생하고, 미세먼지 제거 효율이 떨어질 수 있다. 또한 공극의 크기가 이보다 클 경우 다공성 기체의 기계적 안정성이 떨어지며, 공기 통과 경로가 상대적으로 짧을 수 있다. 이 경우 공극률은 60 내지 99.9%인 것이 바람직하며, 70 내지 95%인 것이 특히 바람직하고, 92 내지 95%인 것이 가장 바람직하다.
- [0019] 상기 CNT/키토산 나노 하이브리드를 다공성 기체에 코팅하여 제조할 경우, 기공 내부에 CNT/키토산 나노 하이브리드가 코팅됨으로써 미세먼지를 포함한 공기가 통과하게 되는 경로가 크게 증가한다. 또한 상기 다공성 기체는 멤브레인에 구조적 안정성을 부여하며, 형태의 변형이 용이하여 다양한 형태의 정전식 집진 시스템에 적용될 수 있도록 한다.
- [0020] 본 발명의 멤브레인에 있어서, 상기 코팅층은 코팅층의 총 중량을 기준으로 CNT를 25 내지 90 중량%로 포함하는 것이 바람직하다. CNT 함량이 이보다 작을 경우 멤브레인의 전기 전도성이 떨어져 정전식 집진 시스템에 사용되기 어렵고, 이보다 많을 경우 멤브레인의 기계적 강도가 약해지는 문제점이 발생할 수 있다.
- [0021] 본 발명의 멤브레인에 있어서, 상기 코팅층은 5 Ω 이하의 전기 저항을 갖는 것이 바람직하다. 전기 저항이 이보다 클 경우 전기장을 발생시키는 데에 높은 전압이 필요하여, 정전식 집진 시스템의 에너지 효율이 낮아지는 문제점이 있다.
- [0022] 본 발명의 멤브레인에 있어서, 다공성 기체 층이 폴리우레탄을 포함하는 경우 상기 코팅층은 다공성 기체 층의 중량을 기준으로 1 내지 5배의 중량으로 코팅되는 것이 바람직하며, 2 내지 3.5배인 것이 특히 바람직하다. 다공성 기체 층이 탄소 섬유를 포함할 경우, 상기 코팅층은 다공성 기체 층의 중량을 기준으로 0.5 내지 2배의 중량으로 코팅되는 것이 바람직하며, 0.5 내지 1배인 것이 특히 바람직하다. 상기 코팅층의 중량이 이보다 적을 경우, 정전식 집진 시스템의 집진 능력이 떨어지며, 이보다 많을 경우 멤브레인의 구조적 안정성 및 공극률이 떨어지고, 차압이 증가될 수 있다.
- [0023] 본 발명의 멤브레인에 있어서, 상기 코팅층은 50 내지 150 m^2/g 의 비표면적을 갖는 것이 바람직하다. 비표면적이 이보다 적을 경우, 정전식 집진 시스템의 집진 용량이 떨어지며, 이보다 많을 경우 멤브레인의 구조적 안정성이 떨어질 수 있다.
- [0024] 또한 본 발명은 상기 멤브레인 층; 및 여과층을 포함하는 정전식 집진 시스템에 관한 것이다.
- [0025] 본 발명의 정전식 집진 시스템에 있어서, 상기 여과층은 여과 원리로 먼지를 걸러내는 기능을 가진 층을 지칭하며, 일반 천, 캐빈필터, 부직포 또는 양모 층을 포함할 수 있다.
- [0026] 상기 일반 천은 섬유로 구성되는 직조물 및 편물을 통칭한다.
- [0027] 본 발명의 정전식 집진 시스템에 있어서, 상기 멤브레인 층은 여과층의 양 면 또는 한 면에 배치될 수 있다. 상기 멤브레인 층이 여과층의 한 면에 배치되는 경우의 정전식 집진 시스템을 간략화한 것은 도 2와 같으며, 상기 멤브레인 층이 여과층의 양 면에 배치되는 경우의 정전식 집진 시스템을 간략화한 것은 도 3과 같다.

- [0028] 도 2에서 먼지를 포함하는 공기는 여과층을 통해 하나의 멤브레인 층에 수직 방향으로 도입된다. 외부 전원에 의해 멤브레인 층에서 발생하는 전기장에 의한 인력으로 인해 도입된 공기의 먼지가 기공을 통과하면서 멤브레인 표면에 집진되며, 먼지가 제거된 공기는 여과층을 통과하여 집진 시스템 외부로 배출된다.
- [0029] 도 3에서 먼지를 포함하는 공기는 여과층과 수평한 방향으로 양 면의 멤브레인 층 사이를 통과한다. 외부 전원에 의해 멤브레인 층에서 발생하는 전기장에 의한 인력으로 인해 도입된 공기의 먼지는 여과층을 둘러싸고 있는 멤브레인 층의 기공으로 끌려가 집진되며, 먼지가 제거된 공기는 여과층을 통과하여 집진 시스템 외부로 배출된다.
- [0030] 본 발명의 정전식 집진 시스템은 평면 형태 또는 원통 형태를 가질 수 있으며, 평면 형태의 대표적 예는 상기도 2와 같으며, 원통 형태에서는 중앙에 여과층이 배치되고 이를 멤브레인이 둘러싸는 형태로 시스템을 구성할 수 있다. 원통 및 평면 형태 이외에도 본 발명의 정전식 집진 시스템의 원리를 이용할 수 있는 형태라면 제한 없이 적용이 가능하다.
- [0031] 본 발명의 정전식 집진 시스템은 다공성 기재층에 폴리우레탄이 포함될 경우 100Ω 이하, 다공성 기재층에 탄소 섬유가 포함될 경우 50Ω 이하의 전기 저항을 갖는 것이 바람직하다. 전기 저항이 이보다 클 경우 집진 시스템의 구동에 필요한 전기장을 발생시키는 데에 높은 전압이 필요하여, 정전식 집진 시스템의 에너지 효율이 저하된다.
- [0032] 본 발명의 정전식 집진 시스템에 있어서, 여과층을 통과하는 기체의 풍속이 0.001 내지 5m/s인 것이 바람직하다. 풍속이 이보다 낮을 경우, 단위 시간 당 정화되는 공기의 양이 충분치 못하며, 이보다 높을 경우 집진 성능이 충분하지 못한 문제점이 있다.
- [0033] 본 발명의 정전식 집진 시스템에 있어서, 여과층 통과 전후의 차압이 100Pa 이하인 것이 바람직하며, 차압이 이보다 클 경우 집진 효율이 충분하지 못한 문제점이 있다.
- [0035] 실시예
- [0036] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 바람직한 제조예 및 실험예를 제시한다. 그러나 하기의 제조예 및 실험예는 본 발명을 보다 쉽게 이해하기 위하여 제공되는 것일 뿐, 제조예 및 실험예에 의해 본 발명의 내용이 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 제조예에서 멤브레인의 CNT 함량을 중량%로 x%라 할 때, CNT-chitosan x라 명명한다.
- [0038] 실시예 1. CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층
- [0040] 재료
- [0041] 다중벽 탄소나노튜브(>95%, 외측 반지름 20 내지 30nm, 길이 10 내지 30 μm)를 EMP(EM-Power Co., Republic of Korea)로부터 얻어 사용하였다. 저 분자량 키토산(MW = 50000-190000, 75 내지 85%의 탈아세틸화)은 Sigma-Aldrich(United States)로부터 구매하여 사용하였다. 빙초산, 수산화나트륨, 유기 용매를 포함한 모든 화학 물질은 Sigma-Aldrich로부터 구매하여 사용하였으며, 추가적인 정제 없이 사용하였다.
- [0043] 제조예 1-1. CNT-chitosan 50 멤브레인의 제조
- [0044] 탄소나노튜브(CNT)를 사용하기에 앞서, 5N 염산에 하루 동안 환류시켜 가능한 모든 불순물을 제거하였다. 그 후 200mg의 키토산을 5N 염산 및 빙초산의 1:1 혼합액 50mL(pH < 2)에 24시간 동안 녹였다. 그 후 200mg의 CNT를 키토산 용액에 넣고 고압 균질화기(Nano DeBEE 45-3, BEE International, South Easton MA)로 균질화하였다. 그 후 산성의 CNT-키토산 용액에 2N의 수산화나트륨을 가해 천천히 중화하였고, 분자량 12000 내지 14000의 분절을 갖는 투석 멤브레인(Spectrum Laboratories, Savannah, GA) 및 증류수로 3일간 투석하여 무기 부산물을 포함한 작은 분자들을 제거하였다. CNT-키토산 용액을 적당한 크기의 용기에 넣은 후 30분간 음파처리 하였고, 흡 후드(fume hood) 및 상온에서 2일간 두었다. 그 후 용액을 건조시켜 멤브레인을 제조하였다.

- [0045] 제조예 1-2. CNT-chitosan 25 멤브레인의 제조
- [0046] 탄소나노튜브를 25중량%로 사용한 것 이외에는 모두 제조예 1과 동일한 방법을 사용하여 멤브레인을 제조하였다.
- [0047] 제조예 1-3. CNT-chitosan 75 멤브레인의 제조
- [0048] 탄소나노튜브의 중량%를 75%로 사용한 것 이외에는 모두 제조예 1과 동일한 방법을 사용하여 멤브레인을 제조하였다.
- [0049] 제조예 1-4. CNT-chitosan 85 멤브레인의 제조
- [0050] 탄소나노튜브의 중량%를 85로 사용한 것 이외에는 모두 제조예 1과 동일한 방법을 사용하여 멤브레인을 제조하였다.
- [0052] 실험예 1-1. CNT-키토산 멤브레인의 형태 분석
- [0053] CNT-키토산 멤브레인의 형태를 고 해상도 전자 투과 현미경(HR-TEM; JEM 3010, JEOL, Japan) 및 전계 방출 스캐닝 전자 현미경 (FE-SEM; MIRA II LMH microscope, Tescan, Czech Republic)을 이용하여 분석하였다. SEM 분석에 앞서 시료들을 금으로 스퍼터-코팅(sputter-coat)하였다. 그 결과는 도 4 내지 도 6에 나타난다. 도 4은 CNT-chitosan 50의 HR-TEM(A), FE-SEM(B) 이미지 및 사진(C)이다. 도 5은 도 4의 C를 SEM으로 확대한 것이다. 도 6는 CNT-chitosan 25, 50, 75 및 순수한 CNT의 HR-TEM 사진이다.
- [0054] 실험예 1-2. CNT-키토산 멤브레인의 특성 분석
- [0055] CNT-키토산 멤브레인의 특성을 분석하기 위해, 열중량 분석기(TGA; Seiko Exstar 6000 TG/DTA6100, Japan) 및 푸리에 변환 적외선 분광분석기(FTIR; JASCO 470 PLUS, Japan)을 사용하였다. 4mg의 시료를 사용하여 10℃/분의 속도로 25 내지 900℃ 범위에서 시료를 가열하였다. FT-IR 스펙트럼은 고체 상태 및 400 내지 4000cm⁻¹ 범위에서 측정하였다. 비교하기 위하여 순수한 키토산 및 CNT에 대해서도 실험을 수행하였고, 그 FT-IR의 결과는 도 7에, TGA의 결과는 도 8에 나타내었다.
- [0056] FT-IR의 경우에, 순수한 CNT는 어떠한 특징적인 피크도 나타내지 않았다. 이는 표면에 작용기가 없기 때문이다. 반면에, 50중량%의 CNT-키토산 멤브레인은 키토산과 같은 유형의 아래의 피크를 나타내었다.
- [0057] - 3120 - 3385 cm⁻¹ (키토산의 -OH 및 -NH의 늘어남)
- [0058] - 2925 및 2856 cm⁻¹ (키토산의 -CH의 늘어남)
- [0059] - 1654 cm⁻¹ (순수한 CNT의 C=C 늘어남)
- [0060] - 1632 cm⁻¹ (키토산의 C=O 늘어남)
- [0061] 이러한 IR 스펙트럼은 CNT가 키토산으로 잘 작용기화 되었음을 나타낸다.
- [0062] 열중량 분석의 경우에, 순수한 CNT의 경우 600 내지 700℃ 범위에서 주된 질량 손실이 발생하였으나, 순수한 키토산의 경우 2단계로 질량 손실이 발생하였다. 첫 단계는 고분자 구조가 깨지고, 글루코사민 단위의 분해가 일어나는 약 300℃ 근처의 단계이고, 두 번째 단계는 산화적 분해가 발생하는 400 내지 600℃의 단계이다. 50중량%의 CNT-키토산 멤브레인의 경우 명확한 2단계의 분해를 보였다. 첫 단계는 키토산의 손실로 발생하는 200 내지 300℃의 단계이고, 두 번째 단계는 CNT의 분해가 발생하는 500 내지 600℃의 단계이다. 양 물질의 열 분해 온도는 순수한 경우와 비교하여 낮은 쪽으로 이동하였다. 이는 순수한 경우와 비교하여 각 성분의 중량 농도가 절반으로 낮기 때문이다.
- [0064] 실험예 1-3. CNT-키토산 멤브레인의 기계적 특성 분석
- [0065] 각 CNT-키토산 멤브레인에 대해 표면 키토산의 두께, 전기 저항, 인장 강도, 탄성 계수, 신장율을 측정하였다. 비교하기 위해 순수한 키토산에 대해서도 측정하였다. 그 결과는 아래 표 1과 같다.

표 1

시료	키토산 두께(nm)	면 저항(Ω /sq)	인장 강도(MPa)	탄성 계수(N/mm)	신장율 (%)
키토산	ND	$>10^1$ ²	14.814 \pm 1.433	5.501 \pm 1.367	217.2 \pm 21.11 3
CNT-chitosan 25	6.528 \pm 1.0788	16.51 \pm 0.651	37.557 \pm 1.678	16.253 \pm 2.068	76.3 \pm 6.472
CNT-chitosan 50	3.542 \pm 0.1906	8.477 \pm 0.377	51.039 \pm 1.104	22.754 \pm 2.128	67.1 \pm 4.359
CNT-chitosan 75	1.211 \pm 0.1172	5.133 \pm 0.068	36.113 \pm 1.772	27.263 \pm 1.115	40.7 \pm 5.669
CNT-chitosan 85	ND	4.861 \pm 0.128	14.251 \pm 1.839	24.02 \pm 2.029	13.3 \pm 1.115

- [0066] (ND는 값이 결정되지 않음을 뜻함)
- [0067] CNT 함량에 따라 키토산의 두께 및 저항의 변화를 비교한 것과 인장 강도 및 탄성 계수를 비교한 것을 도 9에 도시하였다. 또한 CNT 함량에 따라 신장율이 변화하는 것을 나타낸 그래프를 도 10에 도시하였다.
- [0068] 또한 각 멤브레인 및 키토산에 대해 인장-응력 곡선을 얻었다. 그 결과는 도 11에 도시하였다.
- [0069] 실험예 1-4. CNT-키토산 멤브레인의 표면 분석
- [0070] CNT-키토산 멤브레인의 표면을 분석하는 것에는 라만 스펙트럼(Horiba LabRam Aramis IR2, Japan) 및 엑스선 광전자 분광분석기(XPS; AES-XPS ESCA 2000, Thermo Fisher Scientific, United States)를 사용하였다. 그 결과를 도 12(라만 스펙트럼) 및 도 13(XPS)에 도시하였다.
- [0071] 라만 스펙트럼은 탄소 나노성분을 분석하는 것에 효율적인 방법이다. 1350cm⁻¹에서의 D-밴드는 sp³ 혼성 탄소의 존재를 보여준다. 또한 분산된 상태의 비정질 탄소의 양에 비례하는 무질서한 흑연 구조에도 관련이 있다. 고 주파수의 1580cm⁻¹ G-밴드는 CNT의 진동 모드에 따른 sp² 혼성 탄소의 구조적인 강함을 보여준다. G 및 G' 피크의 날카로움은 나노튜브가 금속과 같은 전도성을 보여줄 수 있을 것이라는 것과 관련이 있다.
- [0072] XPS의 경우 3개의 특징적인 피크를 보여준다.
- [0073] - 284.60eV (C 1s)
- [0074] - 399.63-400.16eV (N 1s)
- [0075] - 532.36-533.17eV (O 1s)
- [0076] 작용기화된 CNT로부터 얻어진 XPS 데이터의 C 1s, N 1s 및 O 1s는 280-295, 395-410, 525-540eV의 결합 에너지를 각각 나타낸다. 키토산 작용기화 된 CNT의 C 1s 스펙트럼은 키토산 분자에 강하게 부착되어 있는 CNT 분자의 sp² 탄소 원자가 많은 양으로 존재함을 보여준다. 이러한 XPS 데이터는 CNT 표면이 키토산으로 잘 작용기화 되었음을 보여준다.
- [0077] 실험예 1-5. CNT-chitosan 50 멤브레인의 미세면지 제거 테스트
- [0078] 0 내지 12V의 전압 하에서 3시간 동안 외부 공기에 노출시킨 경우의 멤브레인 표면을 SEM 이미지로 관찰하여 미세면지의 흡착 정도를 정성적으로 파악하였다. 0V인 경우 도 14, 3V인 경우 도 15, 6V인 경우 도 16, 9V인 경우도 17, 12V 인 경우 도 18에 나타내었으며, 미세면지 흡착 후와 이를 세척한 이후의 멤브레인 표면을 도 19에서 비교하였다. 이로부터 전압이 증가하여 강한 전기장이 발생할수록 멤브레인의 표면이 미세면지로 덮인다는 점을 확인하였다.
- [0079] 실시예 2. 다공성 기재층 및 CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층을 포함하는 멤브레인 및 이를 이용한 정전식 집진 시스템
- [0080] 제조예 2-1. 폴리우레탄 스폰지 층 및 CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층(CNT-chitosan 50)을 포함하는 멤브레인의 제조

[0083] 1%의 초산 및 염산 용액(pH 2.0) 150ml에 키토산을 녹이고, CNT를 첨가한 후 충분히 교반하였다. 키토산 0.7g과 CNT 0.7g의 용액을 제조하며, 교반 및 분산장비를 통해 이를 충분히 분산시켰다. 그 후 각 용액에 5% 암모니아수 또는 염기성 용액을 첨가하여 pH를 9 내지 10까지 천천히 증가시켰다.

[0084] 상기에서 제조한 용액을 반으로 희석하여 충분히 교반한 후, 희석한 용액에 폴리우레탄 스폰지를 완전히 담가 충분히 용액이 흡수되도록 하였다. 그 후 70℃ 오븐에 넣어 건조시켰으며, 완전히 건조한 후 상기 과정을 3 내지 7회 반복하였으며, 마지막으로 물과 에탄올로 세척한 후 건조하여 폴리우레탄 스폰지 층 및 CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층을 포함하는 멤브레인을 제조하였으며, 이를 “CNT Coated U-Sponge” 로 칭한다. 제조된 CNT Coated U-Sponge의 표면 및 이를 확대한 SEM 이미지를 도 20에 나타내었다. 도 20으로부터 폴리우레탄 기공 표면에 CNT/키토산 나노 하이브리드가 코팅되었음을 확인할 수 있다. 또한 코팅 횟수에 따른 저항 값 및 무게를 측정하였으며, 이를 하기 표 2로 표시하였다.

표 2

코팅 횟수	저항(Ω)	무게(g)
0	측정 X	0.539±0.032
1	876.6±101.35	0.813±0.016
2	292.8±70.92	1.071±0.026
3	131.6±17.46	1.372±0.006
4	133.8±38.45	1.639±0.015
5	131.4±10.24	1.894±0.023
6	130.6±12.95	2.196±0.009
7	130.6±8.29	2.451±0.024

[0087] 상기 표 2로부터 코팅 횟수가 증가하더라도 저항이 130Ω보다 낮은 값으로는 떨어지지 않는다는 점을 확인하였다.

[0088] 제조예 2-2. 폴레우레탄 섬유층 및 CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층(CNT-chitosan 50)을 포함하는 멤브레인의 제조

[0089] 제조예 2-1에서와 동일하게 용액을 제조한 후, 폴리우레탄 스폰지 대신 폴리우레탄 섬유를 사용하여 폴리우레탄 섬유 층 및 CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층을 포함하는 멤브레인을 제조하였으며, 이를 “CNT Coated U-Fiber” 로 칭한다. 제조된 CNT Coated U-Fiber의 표면 및 이를 확대한 SEM 이미지를 도 21에 나타내었다. 도 21로부터 폴리우레탄 기공 표면에 CNT/키토산 나노 하이브리드가 코팅되었음을 확인할 수 있다. 또한 코팅 횟수에 따른 저항 값 및 무게를 측정하였으며, 이를 하기 표 3으로 표시하였다.

표 3

코팅 횟수	저항(Ω)	무게(g)
0	측정 X	1.389±0.008
1	1437.6±126.41	1.476±0.007
2	488±133.15	1.554±0.006
3	159.2±86.93	1.659±0.003
4	147±32.17	1.759±0.009
5	131.8±19.27	1.865±0.004
6	132±8.34	1.967±0.007
7	130.8±18.90	2.062±0.017

[0091]

[0092] 제조예 2-3. 탄소 섬유층 및 CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층(CNT-chitosan 50)을 포함하는 멤브레인의 제조

[0093] 제조예 2-1에서와 동일하게 용액을 제조한 후, 폴리우레탄 스폰지 대신 탄소 섬유를 사용하여 탄소 섬유 층 및 CNT/키토산 나노 하이브리드 코팅층을 포함하는 멤브레인을 제조하였으며, 이를 “CNT Coated C-Fiber” 로 칭한다. 제조된 CNT Coated C-Fiber의 표면 및 이를 확대한 SEM 이미지를 도 22에 나타내었다. 도 22로부터 탄소 섬유

유 기공 표면에 CNT/키토산 나노 하이브리드가 코팅되었음을 확인할 수 있다.

- [0094] 제조예 2-4. 원통형 정전식 집진 시스템의 제작 및 제거율 측정
- [0095] 상기 제조예 2-1에서 제조한 CNT Coated U-Sponge 멤브레인을 공기청정기 및 건축물 환기구에 적용하기 위하여 원통형 정전식 집진 시스템을 제작하였다. 캐빈필터를 여과식 필터로 하고, 옷감/Al/CNT Coated U-Sponge 두루마리를 도 23과 같이 제작하였으며, 이를 이용하여 1A 조건 하에서 미세먼지 제거율을 측정하였다. 그 결과를 도 24에 나타내었다.
- [0096] 전반적으로 CNT Coated U-Sponge 멤브레인에 의해 제거율이 크게 증가하였으며, 특히 PM 2.5 및 1.0 먼지의 제거율이 크게 증가하였다. 상기 PM 1.0, 2.5 및 10 먼지는 입경이 각각 1, 2.5 및 10 μ m 이하인 먼지를 지칭한다.
- [0097] 제조예 2-5. CNT Coated U-Sponge 멤브레인을 이용한 평면형 정전식 집진 시스템의 제조
- [0098] 상기 제조예 2-1에서 제조한 CNT Coated U-Sponge 멤브레인에 캐빈 필터를 결합하여 평면형 정전식 집진 시스템을 제작하였다. 여과층으로 캐빈 필터를 사용하였으며, CNT Coated U-Sponge의 밀도로 25, 50 및 65kg/m³(K로 약칭)을 사용하였다. 또한 50K의 경우 여과층과 멤브레인 사이에 미세 전류를 전달하기 위한 Al 전극층을 사용한 것과 사용하지 않은 것의 두 가지 종류의 정전식 집진 시스템을 제작하였으며, 이를 간략화하여 도 25에 도시하였다.
- [0099] 제조예 2-6. CNT Coated U-Fiber 멤브레인을 이용한 평면형 정전식 집진 시스템의 제조
- [0100] 상기 제조예 2-5에서 CNT Coated U-Sponge 대신 CNT Coated U-Fiber를 이용하여 평면형 정전식 집진 시스템을 제조하였다. 이를 간략화하여 도 26에 도시하였다.
- [0101] 제조예 2-7. CNT Coated C-Fiber 멤브레인을 이용한 평면형 정전식 집진 시스템의 제조
- [0102] 상기 제조예 2-5에서 CNT Coated U-Sponge 대신 CNT Coated C-Fiber를 이용하였으며, 탄소 함유 자체가 전도성이 우수하여 Al 전극층을 사용하지 않고 평면형 정전식 집진 시스템을 제조하였다. 이를 간략화하여 도 27에 도시하였다.
- [0104] 실험예 2-1. 제조예 2-5의 평면형 정전식 집진 시스템에 의한 미세먼지 제거율 측정
- [0105] 제조예 2-5의 평면형 정전식 집진 시스템에 대하여 미세먼지 제거율을 측정하였으며, 9V 전압 하에서 실험을 수행하였다. 본 발명의 멤브레인 없이 캐빈필터만 사용한 경우를 대조군으로 하였으며, 밀도로 25K를 사용한 경우의 결과를 도 28, 50K의 경우 도 29, 65K의 도 30에 나타내었으며, 50K에 추가로 Al 전극층을 사용한 정전식 집진 시스템의 경우 그 결과를 도 31에 나타내었다.
- [0106] 캐빈필터만 사용한 경우 평균적으로 PM 10은 약 75%, PM 2.5는 약 65%, PM 1.0은 약 57%의 제거율을 보였으며, 25K의 CNT Coated U-Sponge 멤브레인을 추가한 경우 PM 10은 80%, PM 2.5는 77%, PM 1.0은 64%의 제거율을 나타내어 제거율이 상승함을 확인하였다. 50K 및 65K의 CNT Coated U-Sponge 멤브레인을 추가한 경우에서도 미세먼지 제거율이 모두 상승하였으며, 특히 50K일 때 PM 10은 97%, PM 2.5는 78%, PM 1.0은 68%의 가장 높은 제거율을 보였다. 50K의 CNT Coated U-Sponge 이외에 Al 전극층을 추가한 경우에는 PM 10은 94%, PM 2.5는 83%, PM 1.0은 75%의 제거율을 보였으며, PM 10의 제거율은 전극층의 추가로 상승하지 않았지만 초미세먼지에 해당하는 PM 2.5 및 1.0의 먼지 제거율이 크게 상승하였음을 확인하였다.
- [0107] 실험예 2-2. 제조예 2-6의 평면형 정전식 집진 시스템에 의한 미세먼지 제거율 측정
- [0108] 제조예 2-6의 평면형 정전식 집진 시스템에 대하여 미세먼지 제거율을 측정하였으며, 9V 전압 하에서 실험을 수행하였다. 그 결과를 도 32에 나타내었다. 캐빈필터만 사용한 경우 PM 10은 80%, PM 2.5는 65%, PM 1.0은 58%의 제거율을 보였으며, CNT Coated U-Fiber 멤브레인을 추가한 경우 PM 10은 93%, PM 2.5는 80%, PM 1.0은 69%의 제거율을 나타내었다. 전반적으로 제거율이 상승하였으며, PM 2.5 및 1.0 먼지에 대한 제거율이 10 내지 15% 상승하였다.
- [0109] 실험예 2-3. 제조예 2-7의 평면형 정전식 집진 시스템에 의한 미세먼지 제거율 측정
- [0110] 제조예 2-7의 평면형 정전식 집진 시스템에 대하여 미세먼지 제거율을 측정하였으며, 9V 전압 하에서 실험을 수

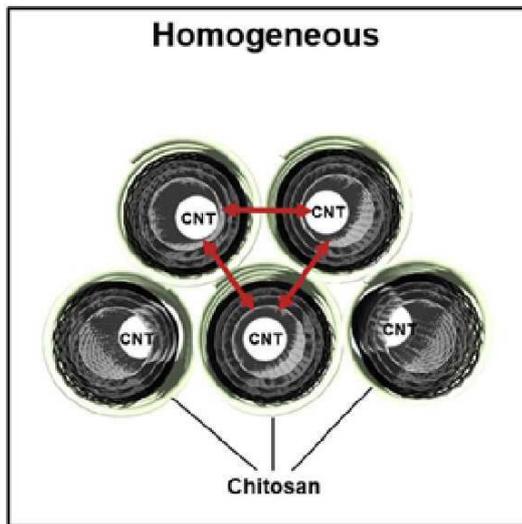
행하였다. 그 결과를 도 33에 나타내었다. 캐빈필터만 사용한 경우 PM 10은 79%, PM 2.5는 65%, PM 1.0은 57%의 제거율을 보였으며, CNT Coated C-Fiber 멤브레인을 추가한 경우 PM 10은 97%, PM 2.5는 83%, PM 1.0은 75%의 제거율을 나타내었다. 전반적으로 제거율이 상승하였으며, PM 2.5 및 1.0 먼지에 대한 제거율이 약 20% 상승하였다.

부호의 설명

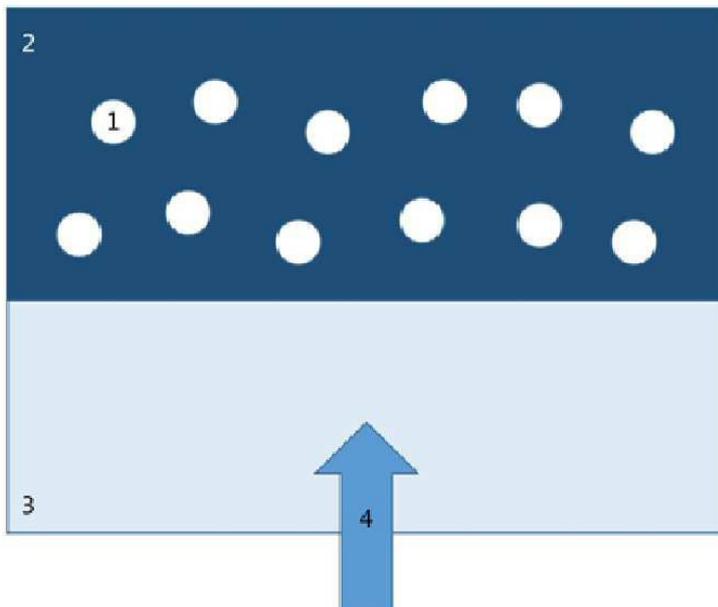
- 1, 1' : 공극
- 2, 2' : 코팅층
- 3 : 여과층
- 4 : 공기 통과 방향

도면

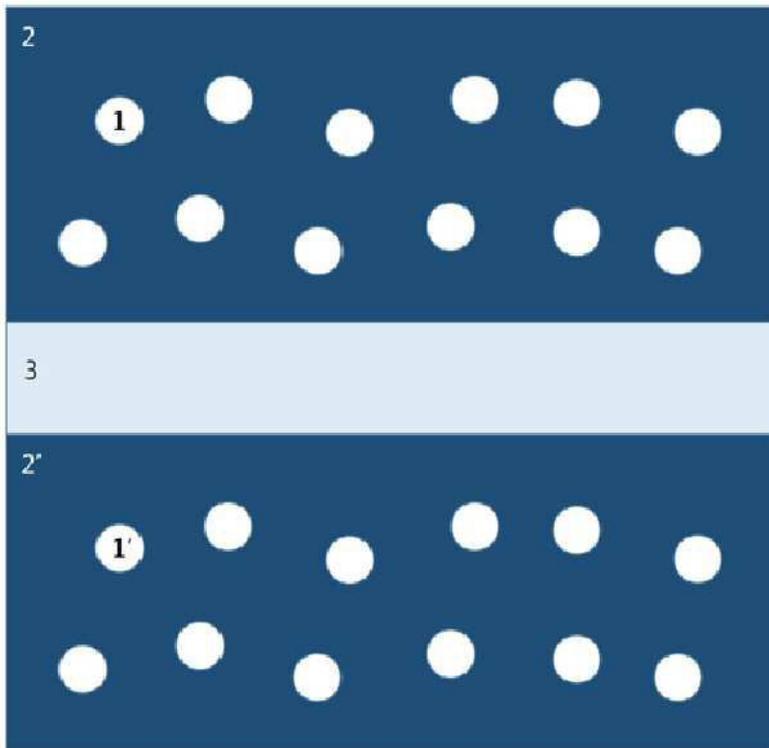
도면1



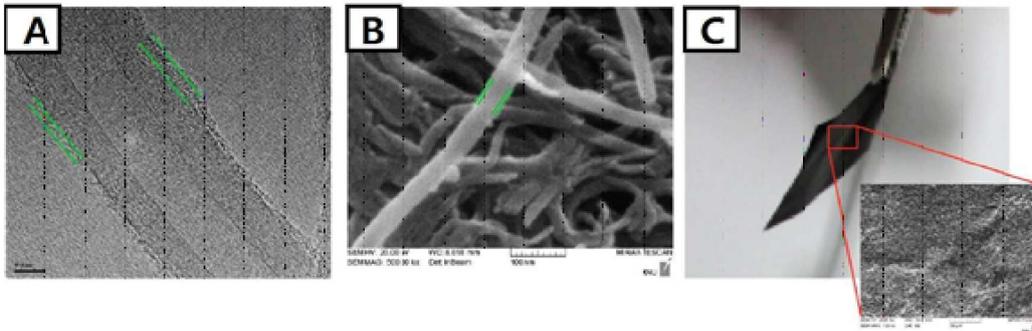
도면2



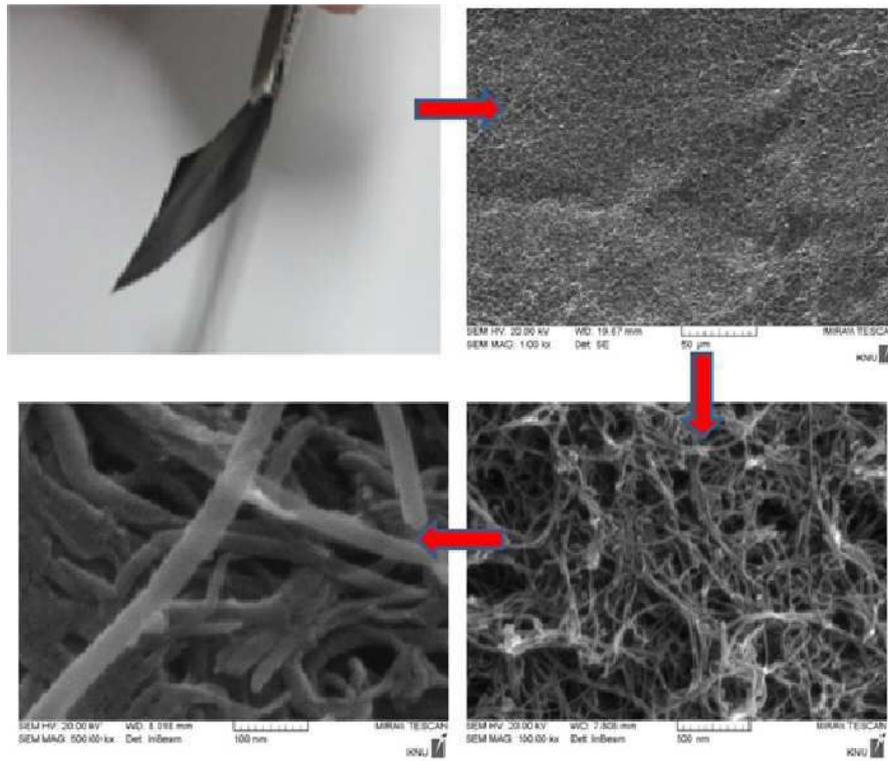
도면3



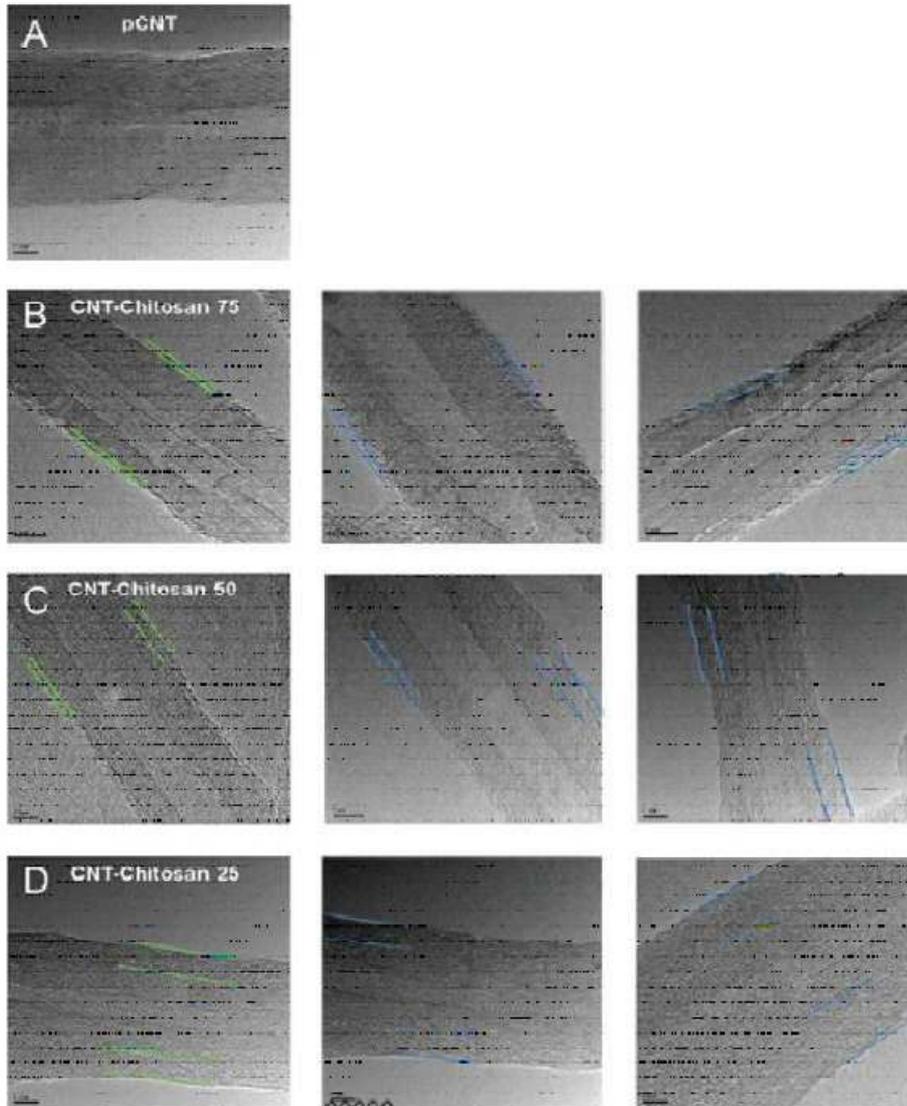
도면4



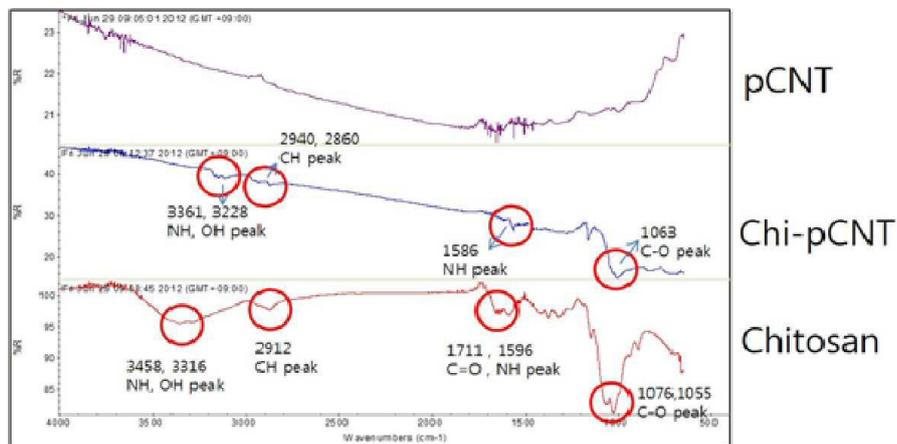
도면5



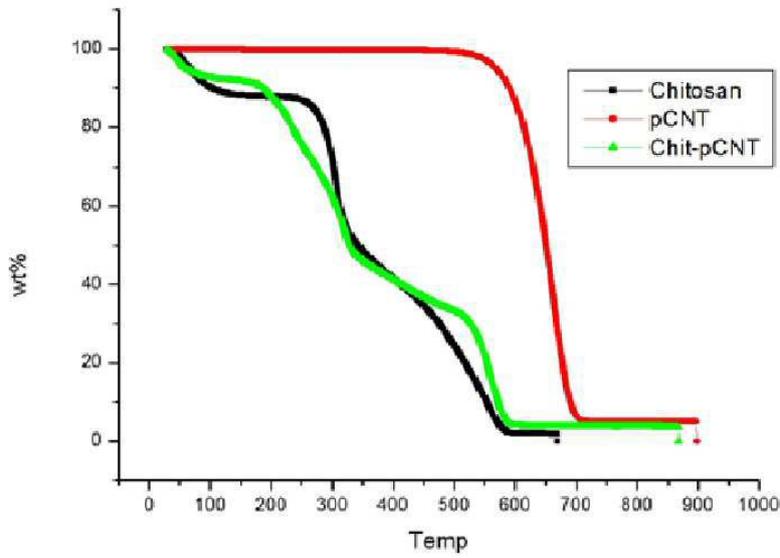
도면6



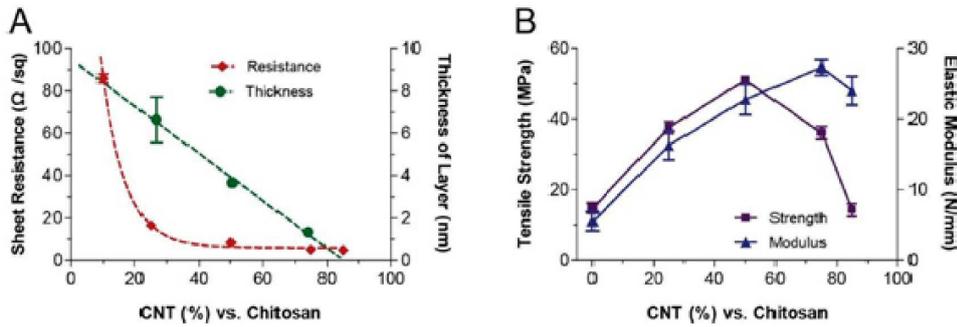
도면7



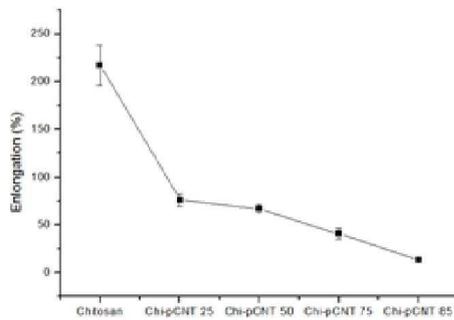
도면8



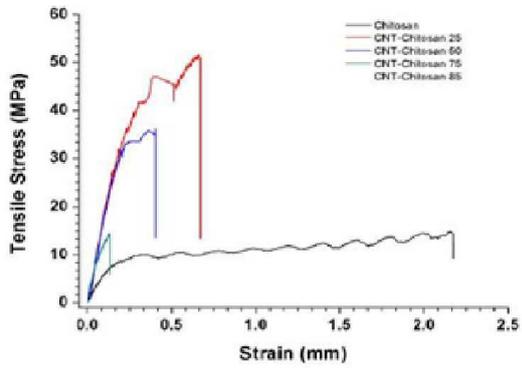
도면9



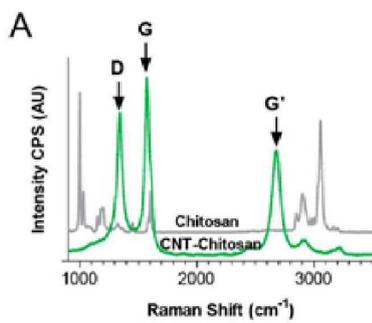
도면10



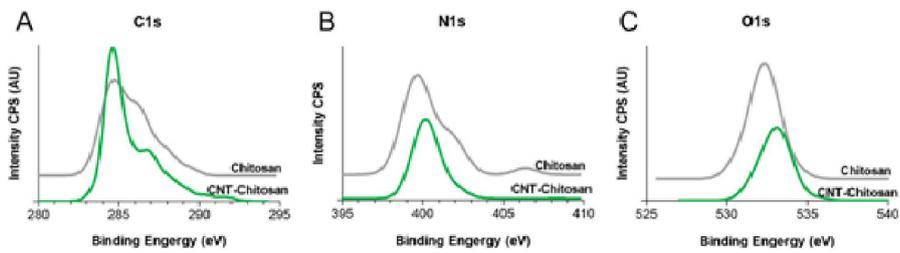
도면11



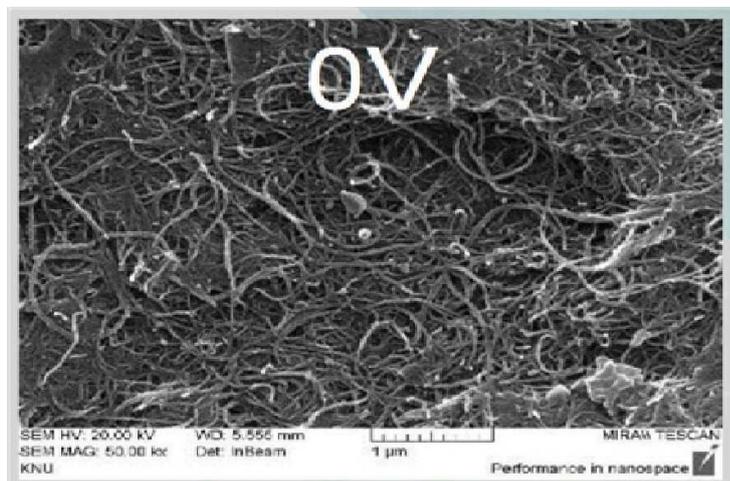
도면12



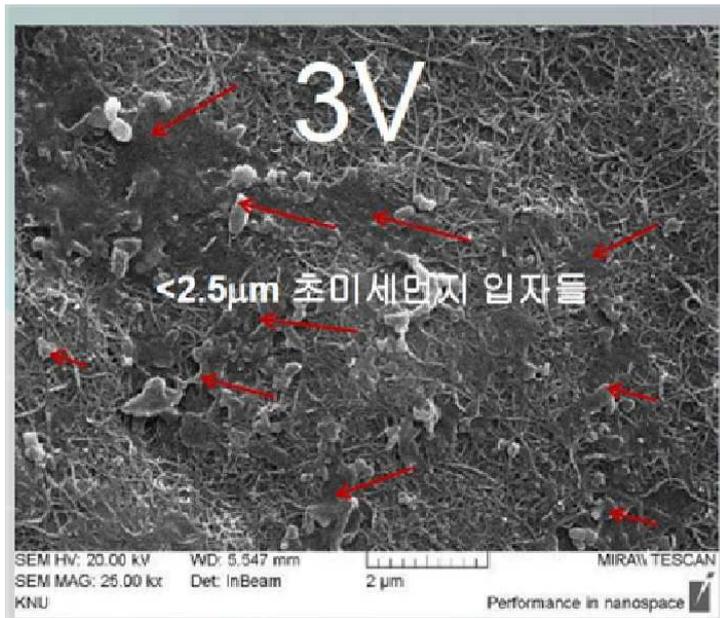
도면13



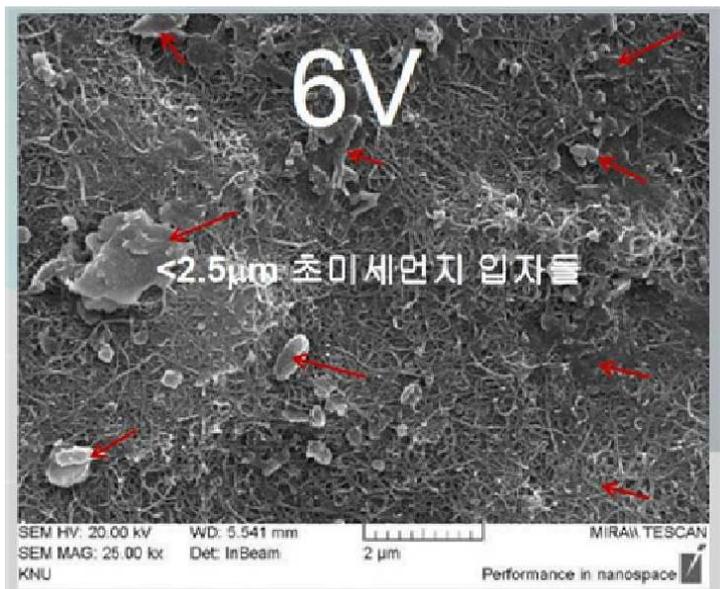
도면14



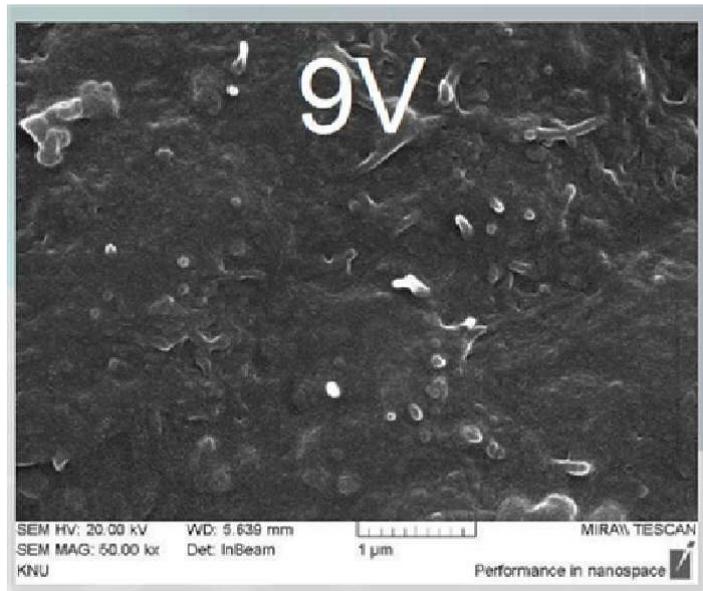
도면15



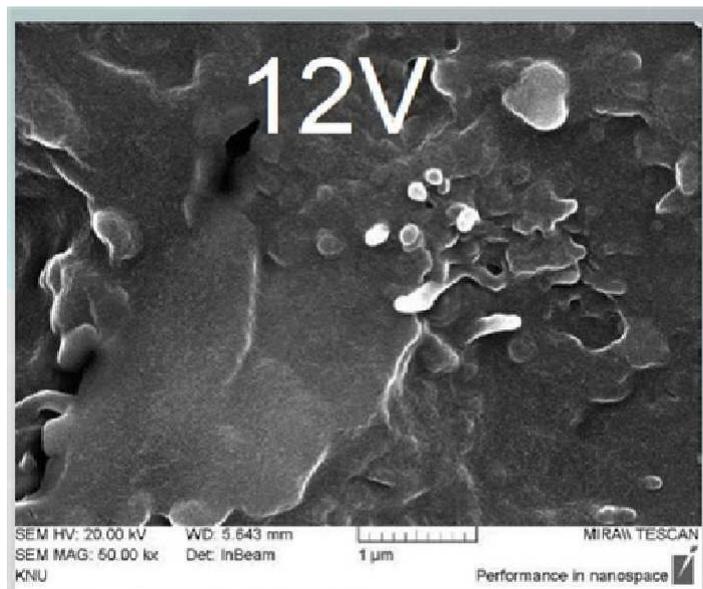
도면16



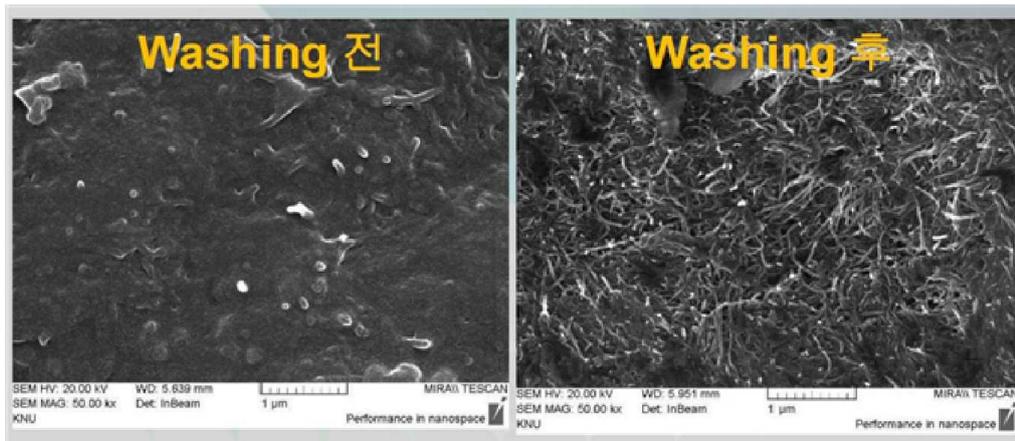
도면17



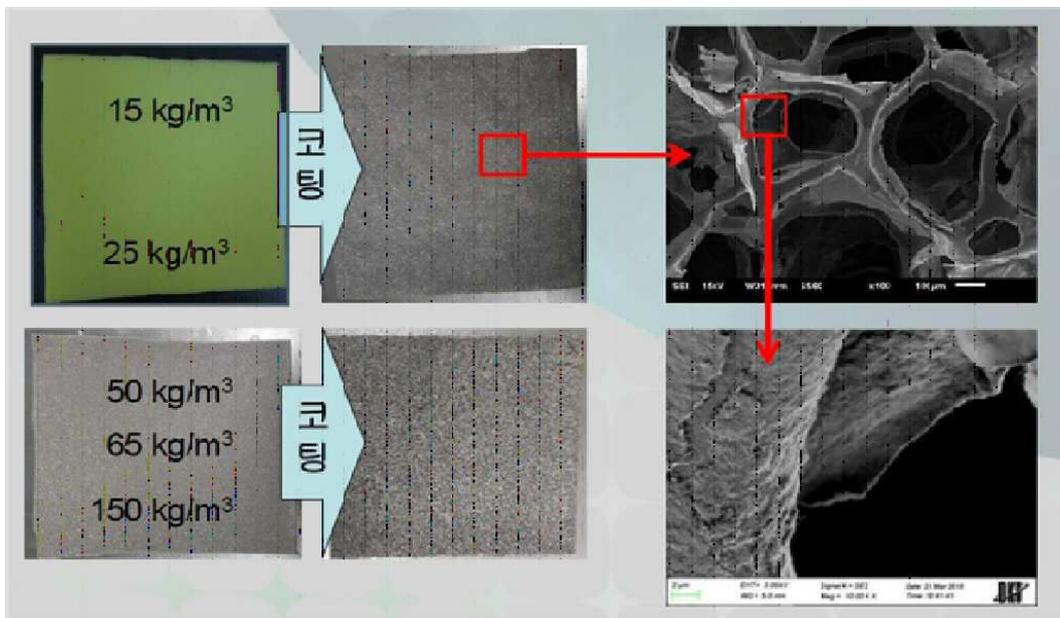
도면18



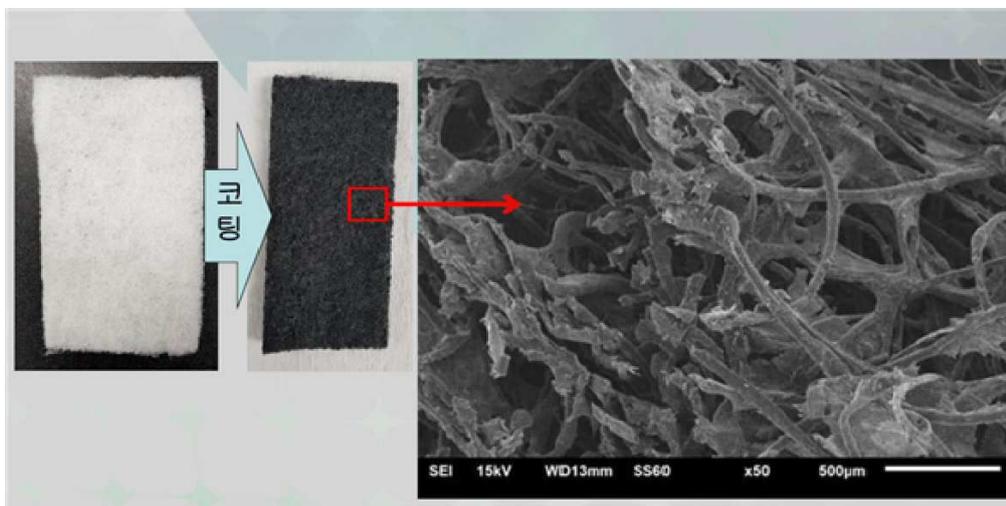
도면19



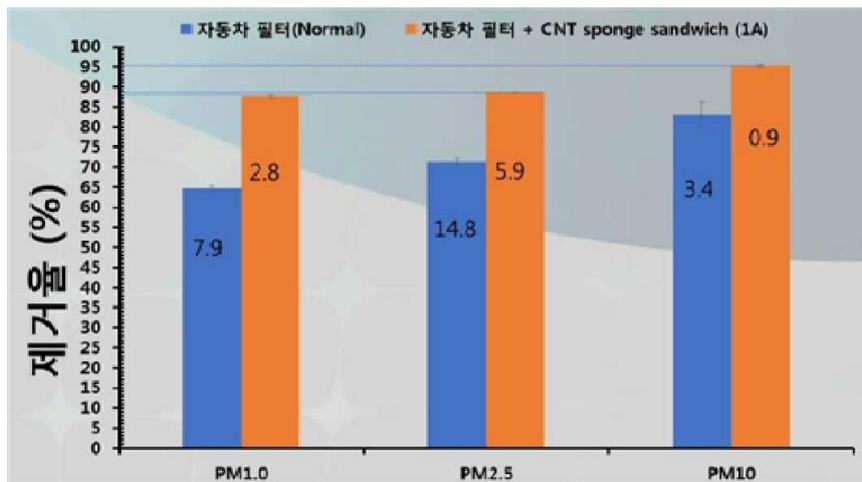
도면20



도면21



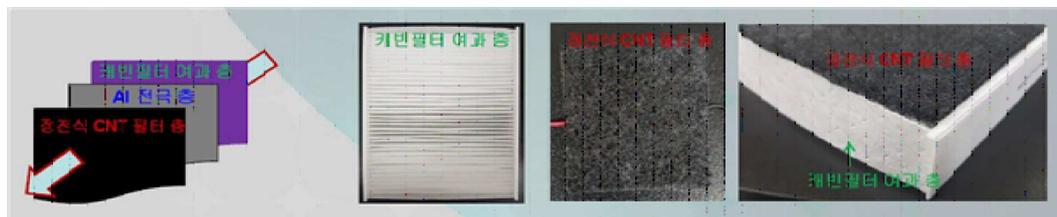
도면24



도면25



도면26



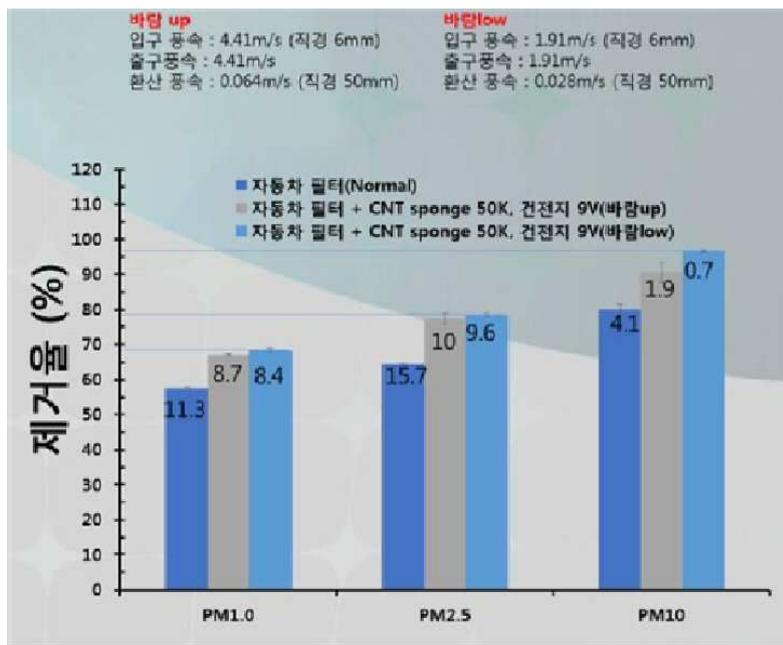
도면27



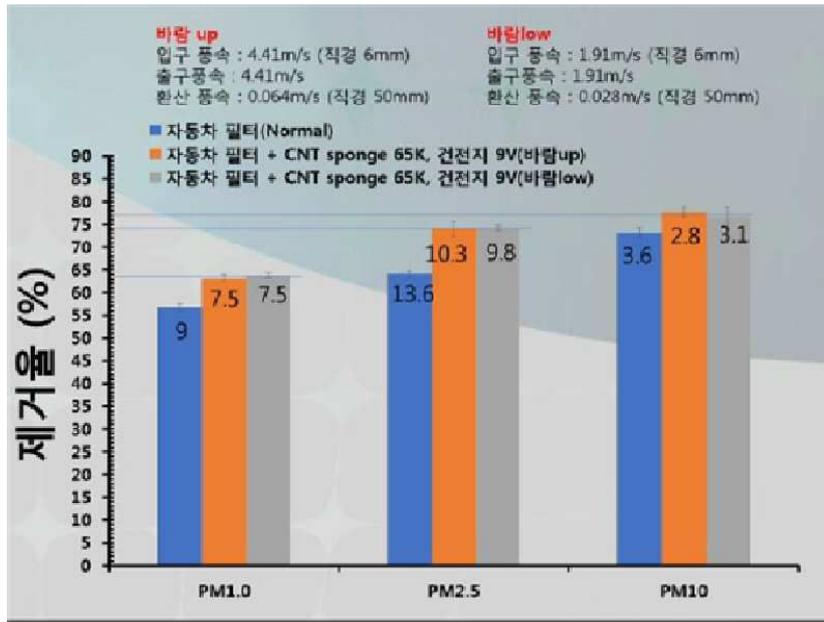
도면28



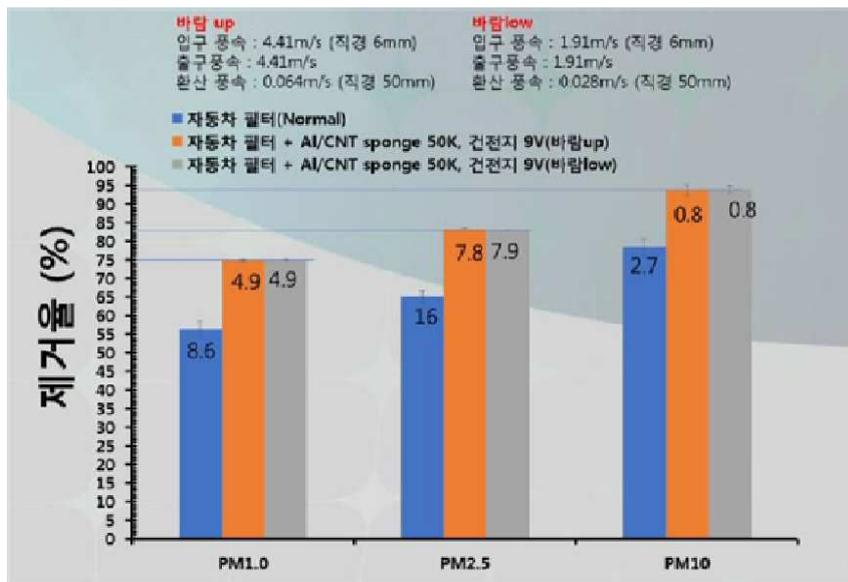
도면29



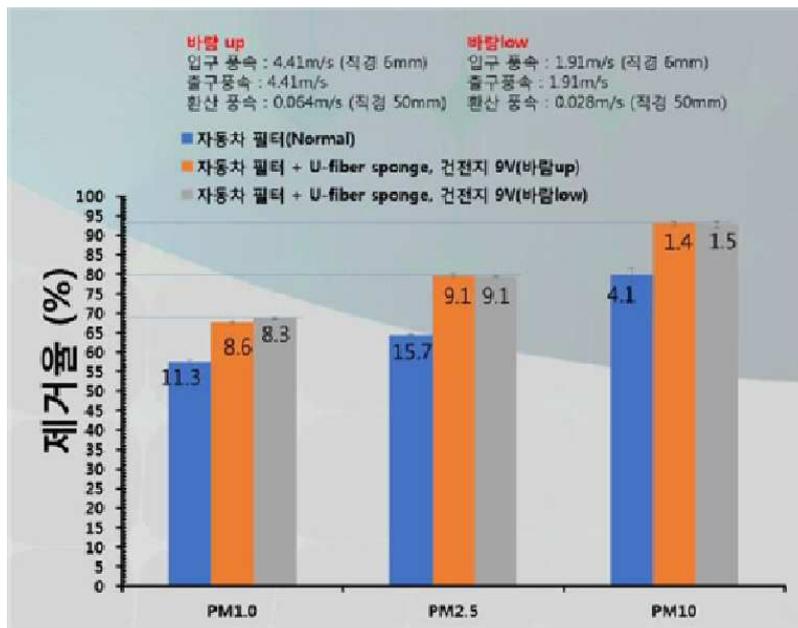
도면30



도면31



도면32



도면33

