



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0099696
(43) 공개일자 2023년07월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 15/08 (2006.01) B05B 1/10 (2006.01)
B05B 7/24 (2006.01) G01N 15/02 (2006.01)
G01N 21/49 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 15/0826 (2013.01)
B05B 1/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0186271
(22) 출원일자 2022년12월27일
심사청구일자 2022년12월27일
(30) 우선권주장
1020210188837 2021년12월27일 대한민국(KR)

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
심상준
서울특별시 영등포구 의사당대로 127, 102동 140
1호
성영준
서울특별시 영등포구 여의동로3길 10, 201동 501
호
송소진
서울특별시 서초구 현릉로8길 58, 103동 603호
(74) 대리인
정은열, 김태훈

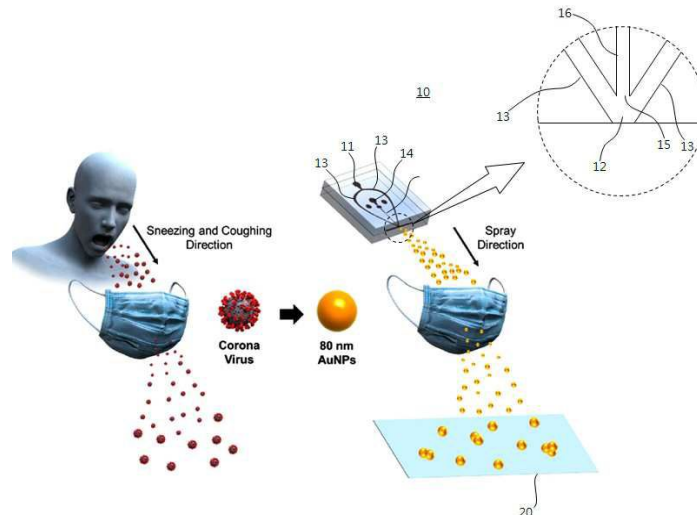
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 마스크 필터링 성능 평가 시스템

(57) 요약

본 발명은 마스크 필터링 성능 평가 시스템에 관한 것으로, 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템은 금 나노입자들(Au nanoparticles)이 분산된 용액을 액적의 형태로, 마스크를 향해 분사하는 미세유체 분사장치(10), 마스크를 통과한 다수의 액적을 표면에 수집하는 기관(20), 및 기관(20)에 수집된 다수의 액적을 분석하는 분석부(30)를 포함하여, 마스크의 필터링 성능을 평가한다.

대표도 - 도1a



(52) CPC특허분류

B05B 7/2489 (2013.01)

G01N 15/0211 (2013.01)

G01N 21/49 (2013.01)

G01N 2015/084 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711130822
과제번호	2019R1A2C3009821
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	생물분자 유도 비대칭성 나노입자 합성을 이용한 광학기반 정밀의료용 난치성 질환
액체생검 바이오 플랫폼 개발	
기 여 율	7/10
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711135261
과제번호	2020R1A5A1018052
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원(R&D)
연구과제명	나노-광 융합 바이오의료 진단 연구센터
기 여 율	3/10
과제수행기관명	중앙대학교
연구기간	2021.06.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

금 나노입자들(Au nanoparticles)이 분산된 용액을 액적의 형태로, 마스크를 향해 분사하는 미세유체 분사장치;
상기 마스크를 통과한 다수의 상기 액적을 표면에 수집하는 기관; 및
상기 기관에 수집된 다수의 상기 액적을 분석하는 분석부;를 포함하여,
상기 마스크의 필터링 성능을 평가하는 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,
상기 미세유체 분사장치는,
공기가 유입되는 공기 유입구;
유입된 상기 공기가 배출되는 공기 배출구;
상기 공기 유입구로부터 양 갈래로 분기되되, 각각 상기 공기 배출구로 수렴하여, 유입된 상기 공기를 분배하여
유동시키는 한 쌍의 공기 유동 미세채널;
상기 용액이 유입되는 용액 유입구;
상기 공기 배출구의 중심부에 형성되고, 유입된 상기 용액이 배출되는 용액 배출구; 및
상기 용액 유입구와 상기 용액 배출구를 연결하여, 상기 용액을 유동시키는 용액 유동 미세채널;을 포함하는 시
스템.

청구항 3

청구항 2에 있어서,
상기 용액 배출구로 배출되는 상기 용액은,
상기 공기 배출구를 배출되는 상기 공기에 의해 둘러싸이면서 상기 액적의 형태로 형성되는 시스템.

청구항 4

청구항 3에 있어서,
상기 공기의 유동 압력, 및 상기 용액의 유동 압력에 따라, 상기 액적의 크기가 조절되는 시스템.

청구항 5

청구항 1에 있어서,
상기 분석부는,
상기 기관에 수집된 상기 액적에 광을 조사하는 광원;
조사된 상기 광이 상기 액적에 의해 산란된 산란광을 검출하는 광검출기; 및

상기 광검출기에서 검출된 상기 산란광의 신호를 기반으로, 상기 액적 내 상기 금 나노입자들의 분포 정보를 생성하고 분석하는 분석장치;를 포함하는 시스템.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 액적 내 상기 금 나노입자들은, 서로 다른 크기의 클러스터(cluster)를 형성하고,

상기 금 나노입자의 분포 정보는 상기 클러스터의 크기별 분포 정보를 포함하는 시스템.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 분석장치는,

하기 [수학식 1]에 따라 상기 산란광의 강도로부터 상기 클러스터의 크기를 산출하는 시스템.

[수학식 1]

$$D = -0.0354 + 1.1564(1 - e^{(-3.78 \times 10^{-5}I)}) + 1.17 \times 10^{-15}(1 - e^{(-8.40 \times 10^{-19}I)})$$

(여기서, D는 클러스터의 크기, I는 산란광의 강도임.)

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 금 나노입자들의 크기는,

70 ~ 90nm인 시스템.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 미세유체 분사장치와 상기 기관 사이의 상기 액적의 분사 거리는,

30 ~ 120nm인 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 마스크 필터링 성능 평가 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 바이러스 전파가 발생하는 실제 환경을 모사한 마스크 필터링 테스트 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 2019년에 처음 발견된 중증급성호흡기증후군 코로나바이러스-2(SARS-CoV-2)는 높은 전염력으로 전 세계 사람들

을 감염시켰다. COVID-19는 주로 호흡기 비말을 통해 전파되기 때문에 감염을 예방하는 가장 적절한 방법은 마스크를 착용하는 것이다. 마스크는 우수한 필터링 능력을 가지므로 바이러스의 갑작스러운 출현에 신속하게 대응할 수 있는 가장 신뢰할 수 있는 도구이다. COVID-19 발병 이후 마스크 착용은 감기와 만성 호흡기 질환을 포함한 인플루엔자 및 기타 호흡기 질환의 확산을 효과적으로 통제하였다. 상업용 마스크는 이물질을 걸러낼 수 있는 마이크로미터 크기의 세공을 가진 섬유층을 다수 개 포함한다. 그 섬유층의 개수를 늘리게 되면 필터링 효과를 높일 수 있지만, 이로 인해 압력 강하와 기류 저항이 발생하게 된다. 일상생활에서 마스크를 착용하게 되면 호흡이 불편하고, 호흡기 질환이 있거나 폐활량이 낮은 환자나 고령자에게는 심각한 위험이 될 수 있다. 이에 따라 하기 선행기술문헌의 특허문헌에 개시된 바와 같이, 열적 쾌적성, 내습성, 통기성, 재사용성 등을 고려하면서 필터링 성능과 착용성을 개선한 다양한 형태의 마스크가 개발되고 있고, 그 과정에서 정확한 성능 분석을 위해 바이러스 전파가 발생하는 실제 환경을 모사한 마스크 필터링 테스트의 필요성도 점차 높아지고 있다. 마스크 성능 평가는 전송 속도, 거리, 착용 방법 등 다양한 변수에 영향을 받을 수 있어 마스크 평가 방법론을 표준화하기 위한 연구도 진행되고 있다. 마스크에 대한 기술적 요구가 증가함에 따라 X-선 단층 촬영 기반의 3차원 분석, 및 저비용으로 방출된 비말을 측정하는 마스크 필터링 효율 평가 방법이 활발히 개발되고 있다. 그러나 이러한 방법은 비말 통과를 측정하는 간접적인 접근 방식이기 때문에 실제 바이러스 투과도를 평가하기 어렵다. 또한, 마스크 성능 평가에 바이러스를 직접 사용하는 경우에는 고비용이 소요되며, 사용 가능한 샘플 양이 적고 감염 위험이 높기 때문에 그 사용이 제한적일 수밖에 없다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) KR 10-2302295 B1

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 일측면은 미세유체 분사장치를 이용해 금 나노입자가 분산된 용액을 액적 형태로 마스크를 향해 분사하여 마스크를 통과한 액적을 분석함으로써 마스크의 필터링 성능을 평가할 수 있는 마스크 필터링 성능 평가 시스템을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템은 금 나노입자들(Au nanoparticles)이 분산된 용액을 액적의 형태로, 마스크를 향해 분사하는 미세유체 분사장치; 상기 마스크를 통과한 다수의 상기 액적을 표면에 수집하는 기관; 및 상기 기관에 수집된 다수의 상기 액적을 분석하는 분석부;를 포함하여, 상기 마스크의 필터링 성능을 평가한다.

[0009] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 미세유체 분사장치는, 공기가 유입되는 공기 유입구; 유입된 상기 공기가 배출되는 공기 배출구; 상기 공기 유입구로부터 양 갈래로 분기되되, 각각 상기 공기 배출구로 수렴하여, 유입된 상기 공기를 분배하여 유동시키는 한 쌍의 공기 유동 미세채널; 상기 용액이 유입되는 용액 유입구; 상기 공기 배출구의 중심부에 형성되고, 유입된 상기 용액이 배출되는 용액 배출구; 및 상기 용액 유입구와 상기 용액 배출구를 연결하여, 상기 용액을 유동시키는 용액 유동 미세채널;을 포함할 수 있다.

[0010] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 용액 배출구로 배출되는 상기 용액은, 상기 공기 배출구를 배출되는 상기 공기에 의해 둘러싸이면서 상기 액적의 형태로 형성될 수 있다.

[0011] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 공기의 유동 압력, 및 상기 용액의 유동 압력에 따라, 상기 액적의 크기가 조절될 수 있다.

[0012] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 분석부는, 상기 기관에 수집된

상기 액적에 광을 조사하는 광원; 조사된 상기 광이 상기 액적에 의해 산란된 산란광을 검출하는 광검출기; 및 상기 광검출기에서 검출된 상기 산란광의 신호를 기반으로, 상기 액적 내 상기 금 나노입자들의 분포 정보를 생성하고 분석하는 분석장치;를 포함할 수 있다.

[0013] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 액적 내 상기 금 나노입자들은, 서로 다른 크기의 클러스터(cluster)를 형성하고, 상기 금 나노입자의 분포 정보는 상기 클러스터의 크기별 분포 정보를 포함할 수 있다.

[0014] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 분석장치는, 하기 [수학식 1]에 따라 상기 산란광의 강도로부터 상기 클러스터의 크기를 산출할 수 있다.

[0015] [수학식 1]

$$D = -0.0354 + 1.1564(1 - e^{(-3.78 \times 10^{-5}I)}) + 1.17 \times 10^{-15}(1 - e^{(-8.40 \times 10^{-19}I)})$$

[0016]

(여기서, D는 클러스터의 크기, I는 산란광의 강도임.)

[0017]

[0018] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 금 나노입자들의 크기는, 70 ~ 90nm일 수 있다.

[0019] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템에 있어서, 상기 미세유체 분사장치와 상기 기관 사이의 상기 액적의 분사 거리는, 30 ~ 120nm일 수 있다.

[0021] 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다.

[0022] 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

발명의 효과

[0024] 본 발명에 따르면, 실제 생체 시료 대신 특별한 광 산란체인 생체 적합성 금 나노입자를 마스크에 분사하여 그 분포를 분석함으로써, 특별한 보호 장비 없이도 각종 감염병을 일으킬 수 있는 물질에 대한 마스크의 필터링 성능을 쉽고 저비용으로 평가할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1a는 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템의 미세유체 분사장치 및 기관을 도시한 도면이다.

도 1b는 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템의 분석부를 도시한 도면이다.

도 2는 미세유체 분사장치의 공기와 AuNP 용액 유동 압력 및 거리에 따른 액적 분포를 나타내는 도면으로서, (a)는 미세유체 분사장치를 구성하는 2 개의 레이어를, (b)는 미세유체 분사장치에서 액적이 형성되는 과정을, (c)는 공기의 유동 압력에 따른 액적 분포를, (d)는 AuNP 용액 유동 압력에 따른 액적 분포를, (e)는 액적이 형성되지 않는 유동 압력 조건을, (f)는 미세유체 분사장치의 액적 분사구로부터의 거리에 따른 액적 분포 이미지를, (g)는 미세유체 분사장치의 액적 분사구로부터의 거리에 따른 액적의 수를 각각 나타낸다.

도 3의 (a)는 AuNP 클러스터 중앙의 산란광 신호 강도와 AuNP 클러스터 직경간의 상관관계를 나타내는 그래프, (b)는 마스크 필터의 수에 따른 파장별 산란광 강도를 나타내는 그래프, (c)는 마스크 필터의 수에 따른 AuNP 클러스터 직경별 AuNP 클러스터 수를 나타내는 그래프, (d)는 마스크 필터의 수에 따른 AuNP 클러스터 직경별 필터링 효율을 나타내는 그래프이다.

도 4는 마스크 유형별 필터링 성능을 평가한 결과로서, (a)는 먼 마스크, (b)는 필터 교체가 가능한 패션 마스크, (c) ~ (e)는 antidroplet(AD) 마스크, (f)는 덴탈 마스크, (g)는 KF80 마스크, (h) ~ (j)는 KF94 마스크, (k)는 KF99 마스크, (l)은 N95 마스크에 대한 클러스터 크기별 필터링 효율을 나타내는 그래프이고, (m)은 마스크 가격과 필터 성능의 상관관계를 나타내는 그래프이다.

도 5는 제조사, 마스크 조합, 및 사용기간에 따른 필터링 효율 평가 결과로서, (a)는 제조업체별 동일 유형의 마스크로 필터링된 AuNP 클러스터의 수, (b)는 AuNP 클러스터의 직경에 따른 덴탈 마스크, AD-2 및 이들 조합의 필터링 효율, (c)는 사용기간에 따른 KF94 마스크의 필터링 효율을 나타내는 그래프이고, (d)는 사용기간에 따른 KF94 마스크 전면의 SEM 이미지, (e)는 마스크가 없는 경우 박테리오파지의 TEM 이미지, (f)는 AD 마스크를 사용한 경우 분사된 박테리오파지의 TEM 이미지이며, (g)는 마스크가 없는 경우 및 AD 마스크를 사용한 경우의 단위 면적당 박테리오파지 수를 나타내는 그래프, (h)는 AuNP와 박테리오파지를 분사하여 측정한 필터링 효율의 비교 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되어지는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시예들로부터 더욱 명백해질 것이다. 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다. 또한, "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다. 이하, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.
- [0028] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 상세히 설명하기로 한다.
- [0030] 도 1a는 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템의 미세유체 분사장치 및 기관을 도시한 도면이고, 도 1b는 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템의 분석부를 도시한 도면이다.
- [0031] 도 1a 내지 도 1b에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템은 금 나노입자들(Au nanoparticles)이 분산된 용액을 액적의 형태로, 마스크를 향해 분사하는 미세유체 분사장치(10), 마스크를 통과한 다수의 액적을 표면에 수집하는 기관(20), 및 기관(20)에 수집된 다수의 액적을 분석하는 분석부(30)를 포함하여, 마스크의 필터링 성능을 평가한다.
- [0033] 본 발명은 바이러스 전파가 발생하는 실제 환경을 모사하여, 마스크의 필터링 성능을 평가하는 시스템 내지 플랫폼에 관한 것으로, 미세유체 분사장치(10), 기관(20), 및 분석부(30)를 포함한다.
- [0034] 미세유체 분사장치(10)는 금 나노입자들이 분산된 용액을 액적의 형태로 분사하는 미세유체 장치이다. 여기서, 금 나노입자들은 바이러스를 대체하는 입자로 사용된다. 여기서, 금 나노입자들의 크기는 70 ~ 90nm일 수 있다. 다만, 반드시 금 나노입자들의 크기가 여기에 한정되는 것은 아니다.
- [0035] 미세유체 분사장치(10)는 공기 유입구(11), 공기 배출구(12), 한 쌍의 공기 유동 미세채널(13), 용액 유입구(14), 용액 배출구(15), 및 용액 유동 미세채널(16)을 구비한다.
- [0036] 공기 유입구(11)는 공기가 유입될 수 있도록 챔버 형태로 형성된다. 한 쌍의 공기 유동 미세채널(13)은 공기 유입구(11)에서 양 갈래로 분기되어, 공기 유입구(11)로 유입된 공기를 분배하고, 분배된 공기가 유동할 수 있는 통로를 제공한다. 여기서, 한 쌍의 공기 유동 미세채널(13)은 서로 대칭적인 구조로 형성될 수 있다. 한 쌍의 공기 유동 미세채널(13)은 1개의 영역에서 수렴하는데, 그 수렴하는 영역에 공기 배출구(12)가 형성된다. 따라서, 공기 유입구(11)를 통해 유입된 공기는, 한 쌍의 공기 유동 미세채널(13)을 통해 유동하다가, 공기 배출구(12)에서 수렴하여 배출된다.
- [0037] 용액 유입구(14)는 금 나노입자들이 분산된 용액이 유입될 수 있도록 챔버 형태로 형성된다. 용액 유동 미세채널(16)은 용액 유입구(14)와 용액 배출구(15)를 연결하는 통로로서, 용액 유입구(14)로 유입된 용액을 유동시킨다. 용액 유동 미세채널(16)을 따라 유동하는 용액은 용액 배출구(15)를 통해 배출된다. 여기서, 용액 배출구(15)는 공기 배출구(12)의 중심부에 형성됨으로써, 공기 배출구(12)와 연통된다. 따라서, 용액 배출구(15)를 통해 배출되는 용액은 공기 배출구(12)를 통해 배출되는 공기에 의해 둘러싸여 가압되면서 액적의 형태로 분사된

다. 결국, 용액 배출구(15)와 공기 배출구(12)가 액적을 분사하는 액적 분사구로서 역할을 한다. 액적 분사구를 통해 형성되는 액적은 원뿔 형태를 이룰 수 있다.

[0038] 한편, 공기와 용액은 별도로 마련된 펌프를 통해, 공기 유입구(11)와 용액 유입구(14)로 주입되고, 소정의 공기 유동 압력 및 용액 유동 압력으로 각각의 공기 유동 미세채널(13) 및 용액 유동 미세채널(16)을 따라 유동하게 된다. 여기서, 공기 유동 압력 및 용액 유동 압력에 따라, 액적의 크기가 조절될 수 있다.

[0039] 미세유체 분사장치(10)에 의해 분사된 액적은 성능 평가 대상인 마스크를 통과하고, 기관(20)에 다다르게 된다.

[0041] 기관(20)은 마스크를 통과한 액적을 수집하는 플레이트로서, 그 표면에 다수의 액적이 분산된다. 여기서, 액적은 넓은 영역에 걸쳐 불규칙하게 분포되고, 개별 금 나노입자들이 모여 다양한 크기의 클러스터(cluster)를 형성할 수 있다. 미세유체 분사장치(10)의 액적 분사구와 기관(20) 사이의 분사 거리는 액적 및 금 나노입자들의 분포에 영향을 미치는바, 그 분사 거리는 30 ~ 120nm가 적합하다, 분사 거리가 짧으면 액적에 포함된 금 나노입자들이 좁은 영역에 묻쳐 그 분포를 정확히 분석할 수 없고, 그 분사 거리가 너무 길면 분포되는 범위가 지나치게 넓어져 검출 영역에서 액적 수가 크게 줄어들게 된다.

[0042] 한편, 기관(20)의 일례로, 커버 글라스, Si 웨이퍼 등을 들 수 있는데, 반드시 이에 한정되는 것은 아니고 액적 내지 금 나노입자의 분석 방법에 따라 그 소재가 달라질 수 있다.

[0044] 분석부(30)는 기관(20)에 수집된 다수의 액적을 분석하는 장비이다. 액적 속에 함유된 금 나노입자들은 비말 속의 바이러스와 같은 병원균에 대응된다. 따라서, 마스크를 통과하지 않은 액적과 마스크를 통과한 액적 내지 금 나노입자의 분포를 비교함으로써, 마스크의 필터링 성능을 평가할 수 있다.

[0045] 일례로, 분석부(30)는 주사전자현미경(SEM)이나 투과전자현미경(TEM) 등과 같은 전자현미경으로서 액적 내 금 나노입자를 이미지화하여 금 나노입자의 분포를 관찰함으로써 마스크의 필터링 성능을 분석할 수 있다.

[0046] 다른 예로, 산란광 신호로서 마스크의 필터링 성능을 분석할 수 있다. 이를 위해서, 분석부(30)는 광원(31), 광검출기(32), 및 분석장치(33)를 포함할 수 있다. 광원(31)은 기관(20)에 수집된 액적에 광을 조사한다. 이때, 기관(20)은 커버 글라스일 수 있다. 광검출기(32)는 광원(31)에서 조사된 광이 액적에 의해 산란된 산란광을 검출한다. 여기서, 광 신호는 전기적 신호로 변환될 수 있다. 이러한 기능을 수행하는 광검출기(32)의 일례로 CCD 카메라를 들 수 있다. 분석장치(33)는 컴퓨팅 장치로서, 광검출기(32)에서 검출된 산란광의 신호를 기반으로, 액적 내 금 나노입자들의 분포 정보를 생성하고 분석할 수 있다. 여기서, 금 나노입자들의 분포 정보는 액적 내 금 나노입자들이 형성하는 클러스터의 크기별 분포 정보를 포함할 수 있다. 분석장치(33)는 아래 [수학식 1]에 따라, 산란광의 신호를 기반으로 얻어지는 산란광의 강도로부터 금 나노입자 클러스터의 크기를 산출할 수 있다.

[0047] [수학식 1]

$$D = -0.0354 + 1.1564(1 - e^{(-3.78 \times 10^{-5}I)}) + 1.17 \times 10^{-15}(1 - e^{(-8.40 \times 10^{-19}I)})$$

[0048] 여기서, D는 클러스터의 크기이고, I는 산란광의 강도이다.

[0051] 이하에서는 실험예를 통해 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.

[0053] 1. 실험 방법

[0054] 1-1. 미세유체 분사장치의 미세채널 설계 및 제작

[0055] 미세유체 분사장치는 2개의 레이어(layer)로 구성된다(도 2의 (a) 참조). 레이어 1은 연속상으로서의 공기를 유동시키는 공기 유동 미세채널과 분산상으로서의 금 나노입자(AuNP) 용액을 유동시키는 AuNP 유동 미세채널을 구비한다. 공기 유동 미세채널은 공기 유입구 챔버에서 두 개의 채널로 분기되었다가 한 곳에서 접합된다. AuNP

용액 유동 미세채널은 두 개의 공기 유동 미세채널의 접합부에 연결된다.

[0056] 레이어 2는 레이어 1과 동일한 구성과 위치를 가진 공기 유동 마이크로 채널만 구비한다.

[0057] AutoCAD 소프트웨어(Autodesk, USA)를 사용하여 미세유체 분사장치의 모든 미세채널을 설계한 후 포토마스크 필름에 인쇄하고, 네거티브 포토레지스트 SU-8 100(Microchem, USA)을 사용하여 표준 UV 포토리소그래피 방식으로 마스터 몰드를 제작하였다. 마스터 몰드에 PDMS 프리폴리머(10:1 Sylgard 184 및 경화제)를 붓고 80℃의 오븐에서 12시간 동안 경화시켜, PDMS 슬래브(slab) 레이어를 준비였다. 준비된 레이어를 산소 플라즈마로 처리한 다음에, 수동으로 겹쳐서 미세유체 분사장치를 제작하였다.

[0058] 여기서, 두 개의 레이어를 정확하게 배치하기 위해 두 개의 원과 선을 마커로 사용하였다. 이러한 구조 하에서, 공기 유동이 모든 방향에서 AuNP 용액을 가압하여, 이중층 미세유체 분사장치는 작은 크기의 액적을 형성할 수 있다.

[0060] 1-2. AuNP를 포함하는 액적 생성

[0061] 80nm 크기의 구형 AuNP를 포함하는 AuNP 용액을 BBI Inc.(Cardiff, UK)에서 구입했다. 액적을 생성하기 위해, AuNP 용액과 공기를 압력 구동 펌프 시스템(Fluigent, France)과 연결된 폴리에틸렌(PE) 배관을 통해 미세유체 채널에 주입했다. 용액 및 공기 유동 압력은 모두 압력 구동 펌프 시스템으로 조절하였다. 세척한 커버 글라스(22mm × 40mm)에 생성된 액적을 분산시켰다. 여기서, 미세유체 분사장치의 액적 분사구가 아래를 향하도록 수직으로 고정하고, 커버 글라스를 액적 분사구 바로 아래에 배치하였다.

[0063] 1-3. 액적 크기 분포 조사

[0064] 850mbar의 공기 유동 압력, 및 160mbar의 AuNP 용액 유동 압력 하에서 1M 플루오레세인(fluorescein)을 사용하여 액적을 생성했다. 미세유체 분사장치와 커버 글라스 사이의 거리를 조정하면서, 거리에 따른 액적 분포를 조사했다. 여기서, 암시야 현미경을 사용하여 거리에 따라 분산된 액적의 확대 이미지를 획득하고, 액적 크기(액적 직경: <10 μm, 작은 액적: 10-60 μm, 큰 액적: >60 μm)에 따른 액적의 수는 ImageJ의 Analyze Particles 명령을 통해 분석하였다.

[0066] 1-4. AuNP 클러스터의 산란광 강도 측정

[0067] 자동 LSPR 매핑 시스템을 사용하여, 395.66 ~ 885.30nm 파장 범위에서 0.96nm 간격으로, AuNP 클러스터의 산란광 강도를 측정하였다. LSPR 매핑 시스템은 이미징 현미경 시스템(SERA, NOST, 대한민국), 텅스텐 할로젠 램프(100W, Olympus U-LH100L-3, 대한민국) 및 자동 표면 스캐너로 구성된다. electron-multiplying CCD(EMCCD) 검출기(iXon Life 888, Oxford Instruments, Northern Ireland, UK)를 사용하여 AuNP 클러스터의 암시야 이미지를 획득하고 RAON-Vu 컴퓨터 소프트웨어(NOST, 대한민국)를 통해 영상화했다. 산란광 강도에 대한 매핑 결과는 -60℃에서 EMCCD 검출기를 사용하여 기록하고 RAON-Vure를 사용하여 분석했다. 산란광 강도의 피팅 데이터는 SigmaPlot(버전 12.0)을 사용하여 Lorentzian 알고리즘으로 획득하였다. 암시야 이미지를 ImageJ의 입자 분석 기능에 적용하여, AuNP 클러스터의 직경을 조사하였다.

[0068] 395.66 ~ 885.30nm의 파장 범위에서 산란광 강도의 매핑 데이터를 동시에 측정하였다. AuNP가 존재하지 않는 배경 영역에서의 산란광 강도 분석을 통해 약 983.062의 평균 신호 강도를 얻었다. AuNP의 평균 강도는 약 22,144로 배경 영역보다 22.5배 더 높았다. 이 결과는 AuNP의 산란광 강도가 배경의 산란광 강도와 구별될 수 있음을 나타낸다. AuNP 클러스터의 산란광 강도는 중앙에서 가장 높고 주변으로 갈수록 감소하였다. 그 이유는 중앙에 AuNP가 중첩되어 가장 많이 집중되었기 때문으로 판단된다. 다양한 직경의 AuNP 클러스터 중심에서 측정된 600.72 ~ 680.25nm 범위의 파장에서 산란광 강도의 Lorentzian 피팅을 통해, 클러스터 크기에 따라서 각 클러스터의 최대 산란광 강도 피크를 나타내는 파장이 서로 다른 것을 확인하였다. 따라서 각 클러스터의 최대 산란광 세기와 파장 650nm 부근의 산란광 세기와의 상관관계를 살펴서 클러스터의 산란광 세기를 반영할 수 있는 대표 파장을 결정하였다. 650.54nm에서의 광 강도와 클러스터의 최대 피크 강도는 높은 선형 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.991$).

- [0070] 1-5. 상업용 마스크의 필터링 성능 평가
- [0071] 시중에서 판매되는 다양한 종류의 안면 마스크(면 마스크, 필터 교체형 패션 마스크, 비말 차단(AD) 마스크, KF80, KF94, KF99, N95 마스크)를 한국에서 온라인으로 구매하였다. 각 마스크의 가격은 구매 당시의 가격을 기준으로 책정되었다. 필터링 테스트를 위해 깨끗한 커버 글래스를 3D 프린팅된 사람 머리 모형의 입에 고정하고, 그 커버 글래스를 덮도록 테스트할 마스크를 사람 머리 모형에 착용시켰다. 커버 글래스와 마스크가 고정된 사람 머리 모형을 미세유체 분사장치의 액적 분사구 바로 아래에 배치했다. 마스크 필터의 개수에 따른 파장별 광의 세기 분포를 알아보기 위해서, 필터 1개, 2개, 3개 조건으로 마스크 위에 KF94 마스크를 구성하는 필터를 덧씌웠다. 필터링 테스트를 위해 액적을 마스크에 10초씩 3번 분사했다. 마스크의 필터링 효율은 마스크 없이 분포된 AuNP 클러스터 대비 마스크에 의해 필터링된 AuNP 클러스터 수의 비율로 계산하였다. 이중 마스크의 효과는 AD-2 및 AD-3 마스크를 중첩하여 평가하였다.
- [0072] 마스크의 장기간 사용에 따른 성능 저하를 평가하기 위해 5명에게 3일 동안 KF94 마스크를 착용하도록 하였다. 이 사람들은 마스크를 하루에 최소 10시간 동안 사용했다. 마스크는 AuNP를 분사한 후 다시 착용할 수 없기 때문에 착용 1, 2, 3일 후에 마스크 샘플을 수거하였다. 필터링 효율은 마스크를 사용하지 않았을 때 커버 글래스에서의 평균 AuNP 클러스터 수를 기준으로 계산하였다.
- [0074] 1-6. 분산된 박테리오파지의 TEM 분석
- [0075] *Helicobacter pylori* 박테리오파지 KHP30과 형태 및 크기가 유사한 박테리오파지(PBEC049, 숙주: *Escherichia coli* ATCC 700927)를 한국의국어대학교 박테리오파지 은행에서 입수하였다. 분산된 박테리오파지의 TEM 이미지를 획득하기 위해 박테리오파지 현탁액을 미세유체 분사장치를 사용하여 탄소 필름이 코팅된 400 메쉬의 구리 TEM 그리드(Ted Pella Inc., USA)에 분사하였다. 그리드를 건조시키고 그 위에 1% phosphotungstic acid (5 μ L)을 떨어뜨려 네거티브 염색했다. 10초 후 여과지를 사용하여 과도한 염색 용액을 제거했다. 박테리오파지를 energy filtering transmission electron microscope(FE-TEM, Carl Zeiss, LIBRA 120)을 이용하여 가속전압 120kV로 관찰하였다. AD-4 마스크의 박테리오파지 필터링 효율은 TEM 이미지로부터 계산하였다. 얻어진 TEM 이미지에서 염색된 박테리오파지의 수를 육안으로 평가하였다. 박테리오파지가 덮는 면적은 스케일 바를 기준으로 계산하였다. 그런 다음 면적당 존재하는 박테리오파지의 수를 기준으로 여과 효율을 계산했다. 이러한 결과를 0.08 ~ 0.16 μ m 크기의 AuNP 클러스터에 대해 얻은 결과와 비교했다.
- [0077] 2. 평가
- [0078] 2-1. 공기 및 AuNP 용액 유동 압력과 거리에 따른 액적 분포
- [0079] 도 2는 미세유체 분사장치의 공기와 AuNP 용액 유동 압력 및 거리에 따른 액적 분포를 나타내는 도면으로서, (a)는 미세유체 분사장치를 구성하는 2 개의 레이어를, (b)는 미세유체 분사장치에서 액적이 형성되는 과정을, (c)는 공기의 유동 압력에 따른 액적 분포를, (d)는 AuNP 용액 유동 압력에 따른 액적 분포를, (e)는 액적이 형성되지 않는 유동 압력 조건을, (f)는 미세유체 분사장치의 액적 분사구로부터의 거리에 따른 액적 분포 이미지를, (g)는 미세유체 분사장치의 액적 분사구로부터의 거리에 따른 액적의 수를 각각 나타낸다. 도 2의 (g)에서 직경이 10 μ m 미만인 액적은 액적 핵(droplet nuclei)으로, 10 ~ 60 μ m의 액적은 작은 액적(small droplet)으로, 60 μ m를 초과하는 액적은 큰 액적(large droplet)으로 표시했다.
- [0080] 도 2의 (a) 및 (b)와 같이, 미세유체 분사장치는 2개의 레이어로 구성되고, 미세채널을 통과하는 수상(aqueous phase)의 AuNP 용액이 공기로 둘러싸여 PDMS 표면과의 접촉이 최소화되면서 액적 형태로 액적 분사구에서 분사된다. 이때, 액적은 원뿔 형상으로 분사되고, 커버 글래스 위에 너비가 수 밀리미터 이내의 원뿔 패턴으로 분산된다.
- [0081] 도 2의 (c), (d) 및 (e)를 참고로, 액적의 크기는 공기 유동 압력과 AuNP 용액 유동 압력에 의해 결정된다. 공기 유동 압력이 증가하게 되면 액적의 크기는 점점 작아지고, 어느 이상의 높은 압력에서는 AuNP 용액의 유동이 일어나지 않아 액적이 형성되지 않는다. 또한, AuNP 용액 유동 압력이 증가하면 할수록, 더 큰 액적이 형성된다. 다만, 공기와 AuNP 용액 유동 압력이 임계치를 초과하면 액적을 형성할 수 없다.

- [0082] 도 2의 (f)와 같이, 분사된 액적의 원뿔 모양 패턴은 액적 분사구와 커버 글라스 사이의 거리가 증가함에 따라, 더 넓은 영역에 분포한다. 그 분사 거리가 30mm인 경우 액적에 포함된 AuNP가 고르게 퍼지지 않고 작은 영역에 축적되어 정확한 분포 분석이 어렵다. 반대로 분사 거리가 너무 길면, 분사 범위가 넓어져 측정 영역에 분사되는 총 액적 수가 크게 줄어들고, 액적이 넓은 영역에 무작위로 분포되기 때문에 모든 검출 영역에서 액적이 발견되지 않을 수 있으므로 실험 반복에 따른 비율의 편차가 크다.
- [0083] 도 2의 (g)는 미세유체 분사장치가 실제 조건을 모사할 수 있는지 확인하기 위해, 그 장치에 의해 형성된 액적 크기 및 분사 거리에 따른 액적 수를 조사한 결과이다. 비말 핵($\leq 10 \mu\text{m}$)은 장거리 공기 전파가 가능하고, 작은 비말($\geq 10 \mu\text{m}$ 및 $\leq 60 \mu\text{m}$)은 증발에 의해 쉽게 비말 핵으로 변형되기 때문에 감염 가능성이 높다. 전반적으로 미세유체 분사장치로부터의 분사 거리가 60mm에서 액적 핵, 작은 액적 및 큰 액적은 각각 29.21, 69.87 및 0.92%를 차지했다. 결국, 본 미세유체 분사장치는 전염병 전파에 중요한 액적을 효과적으로 생성할 수 있으므로, 바이러스 감염 관련 체액의 거동과 매우 유사하게 시뮬레이션하는 최적의 플랫폼이 될 수 있다.
- [0085] 2-2. 마스크 필터 개수에 따른 필터링 성능 평가
- [0086] 도 3의 (a)는 AuNP 클러스터 중앙의 산란광 신호 강도와 AuNP 클러스터 직경간의 상관관계를 나타내는 그래프, (b)는 마스크 필터의 수에 따른 파장별 산란광 강도를 나타내는 그래프, (c)는 마스크 필터의 수에 따른 AuNP 클러스터 직경별 AuNP 클러스터 수를 나타내는 그래프, (d)는 마스크 필터의 수에 따른 AuNP 클러스터 직경별 필터링 효율을 나타내는 그래프이다. 여기서, 도 3의 (d)에서 방사형 축은 필터링 효율을 나타내고, 그 효율은 필터를 사용하지 않았을 때 생성된 AuNP 클러스터 수에 대한 필터에 의해 차단된 AuNP 클러스터 수의 비율로 결정하였다.
- [0087] 미세유체 분사장치로 80nm AuNP를 포함하는 액적을 분사하고 그 이미지를 분석한 결과, 넓은 영역에 걸쳐 액적이 불규칙하게 분포되었고, 개별 AuNP가 모여 다양한 크기의 클러스터를 형성하는바, AuNP 분포 정량화를 위해 자동 산란광 매핑 시스템을 도입하였다.
- [0088] 단색 이미지에서 측정된 클러스터 직경과 650.54nm에서 클러스터 중심의 산란광 강도 사이의 상관관계를 토대로 [수학식 1]을 도출하였다($R^2 = 0.951$, 도 3 (a) 참조).
- [0089] [수학식 1]
- $$D = -0.0354 + 1.1564(1 - e^{(-3.78 \times 10^{-5} I)}) + 1.17 \times 10^{-15}(1 - e^{(-8.40 \times 10^{-19} I)})$$
- [0090]
- [0091] 여기서, D는 클러스터의 크기이고, I는 산란광의 강도이다.
- [0092] [수학식 1]을 사용하면, 산란광 매핑 데이터로부터, 분산된 AuNP 클러스터의 크기를 산출할 수 있다. 25000 이상의 광도는 클러스터 직경과 선형적으로 일치하지 않는다. 2차원 분석은 AuNP의 3차원 겹침으로 인한 광 세기의 변화를 충분히 반영하지 못하는 것으로 추론된다. 이에, 600.72 ~ 680.25nm 사이의 유효한 광 강도 신호를 조사했다. 여기에 80nm AuNP의 산란광 파장이 포함될 수 있다.
- [0093] 마스크 필터의 수가 증가함에 따라 총 신호 수는 감소했다(도 3의 (b) 참조). 필터 수가 증가함에 따라 마스크를 투과한 AuNP의 수가 감소했다. 감지 영역 내 산란광의 매핑 데이터는 필터링 효율을 적절하게 반영할 수 있다. 그러나 일부 파장에서는 'no filter'와 '1 filter' 조건의 신호 수가 중복되어 마스크 필터에 의한 필터링 효과를 구분할 수 없었다. 이러한 한계를 극복하기 위해 마스크의 필터링 성능을 충분히 반영할 수 있는 것이 강도 피크이다. 따라서, 650.54nm에서의 광 세기를 기준으로 AuNP 클러스터의 크기를 계산하는 위의 접근 방식은 필터를 통과한 AuNP에 대한 정보를 빠르게 얻을 수 있다.
- [0094] 마스크 필터의 개수에 따른 커버 글라스 상의 클러스터 분포를 조사하였다. 0.08 ~ 0.48 μm 의 상대적으로 작은 AuNP 클러스터의 수는 필터가 없는 조건과 비교하여 1개의 필터 조건에서 큰 차이가 없었다. 그러나 크기가 큰 클러스터의 경우 1개의 필터만으로 클러스터 수가 급격히 감소하여 0.72 μm 보다 큰 클러스터 수가 약 70% 감소했다(도 3의 (c) 참조). 2개의 필터를 사용하면 크기에 관계없이 필터가 없는 조건에 비해 클러스터의 수가 60% 이상 감소했다. 필터 수를 3개로 늘렸을 때 가장 작은 0.08 μm 크기의 클러스터도 거의 관찰되지 않았다. 마스크의 필터 성능은 마스크 필터가 없을 때 크기별 AuNP 클러스터 수에 대한 마스크 필터를 통과하지 못하는 클러

스터 수의 비율로 나타낼 수 있다. 단일 필터는 $>0.72\mu\text{m}$ 클러스터에 대해 높은 필터링 효율을 갖지만 클러스터의 크기가 작아짐에 따라 필터링 효율이 급격히 감소한다(0.64 및 $0.08\mu\text{m}$ 클러스터 각각의 경우 54.55 및 9.72%)(도 3의 (d) 참조). 2개 필터 조건에서도 클러스터 크기가 감소함에 따라 필터링 효율이 점차 감소했다. 반면에 3개의 필터를 적용했을 때 모든 크기의 클러스터에 대해 평균적으로 $>91\%$ 의 필터링 효율이 관찰되었다.

[0096] 2-3. 마스크의 유형별 필터링 성능 평가

[0097] 도 4는 마스크 유형별 필터링 성능을 평가한 결과로서, (a)는 먼 마스크, (b)는 필터 교체가 가능한 패션 마스크, (c) ~ (e)는 antidroplet(AD) 마스크, (f)는 텐탈 마스크, (g)는 KF80 마스크, (h) ~ (j)는 KF94 마스크, (k)는 KF99 마스크, (l)은 N95 마스크에 대한 클러스터 크기별 필터링 효율을 나타내는 그래프이고, (m)은 마스크 가격과 필터 성능의 상관관계를 나타내는 그래프이다.

[0098] 실제 마스크 착용 환경을 완전히 시뮬레이션하기 위해 3D 프린터로 인쇄된 사람 머리 모형을 사용하여 다양한 상용 마스크의 필터링 성능을 평가했다. 상용 마스크는 먼 마스크, 필터 교체형 패션 마스크, AD 마스크, 텐탈 마스크, KF(Korea Filter) 시리즈, N95 마스크로 구분된다.

[0099] 먼 마스크와 패션 마스크는 필터링 성능보다 보온효과와 착용형태를 중시하지만 클러스터 크기에 관계없이 각각 평균 74.43%와 80.45%의 필터링 효율을 나타냈다. 일정 수준 이상에서는 필터링 성능이 마스크 두께에 크게 좌우되는 것으로 추론된다. 그러나 이러한 마스크는 장시간 착용하면 호흡 곤란을 유발할 수 있다. AD 마스크는 제조사에 따라 성능이 달랐다. AD 마스크는 주로 호흡이 쉽도록 2중 필터(AD-2, AD-3)를 사용하지만 3중 필터(AD-1)로 구성된 AD 마스크도 있었다. AD-1 마스크는 가장 작은 클러스터를 제외하고 81.00 ~ 92.47%의 높은 필터링 효율을 보인 반면, AD-2 및 AD-3 마스크는 동일한 마스크 유형임에도 불구하고, 모든 클러스터 크기에 대해 상대적으로 낮은 필터링 효율을 보였다(각각 평균 76.45 및 78.74%). 한국식품의약품안전청(KFDA)은 마스크의 비말 차단 효과가 55 ~ 80%라고 보고했다. 따라서 마스크 성능의 차이는 제조사에 따라 다르지만 기본 성능 기준은 모두 만족했다. 외관상 AD 마스크와 유사한 텐탈 마스크는 $0.64\mu\text{m}$ 초과 클러스터를 차단했다. 그러나 차단 효과는 다른 클러스터에 대해 평균 53.97%로 급격히 감소했다. 필터링 성능이 강화된 KF 시리즈와 N95 마스크는 전반적으로 우수한 필터링 성능을 보였다. 전반적으로 KF80 마스크는 모든 클러스터 크기에 대해 80% 이상의 필터링 효율을 보장하여 KFDA 표준과 일치하는 성능을 보여준다. 그러나 KF94 마스크의 성능은 제조업체에 따라 약간씩 차이가 있지만 KF94-1, KF94-2 및 KF94-3 마스크는 $0.4\mu\text{m}$ 초과 클러스터에서 각각 91.37, 89.59 및 89.22%의 필터링 효율을 나타냈다. 특히, KF99 마스크는 다른 마스크에 비해 뛰어난 필터링 성능을 보였지만 클러스터 크기가 $0.24\mu\text{m}$ 이하인 경우 필터링 효율(92.56%)이 상대적으로 낮았다. 또한 특수 작업 환경에서 선호하는 N95 마스크는 필터링 효율이 93.71 ~ 98.43%로 모든 마스크 중에서 가장 높았다.

[0100] 마스크 판매 가격, 및 모든 크기의 클러스터에 대한 필터링 효율의 합으로 계산된 필터링 용량 간의 상관관계를 조사했다. 대부분의 마스크는 가격에 비례하여 필터링 성능이 향상되었으나 먼 마스크는 필터링 보다 보온에 중점을 두어 가격에 비해 필터링 성능이 떨어지는 경우가 많았다. 필터링 능력이 1000 이상인 제품 중 KF 시리즈나 고성능 필터링을 강조하는 기능성 마스크가 아닌 마스크는 AD-1이 유일했다.

[0101] 본 발명에 따른 마스크 필터링 성능 평가 시스템은 AuNPs에 의해 산란된 광을 분석하여 마스크에 대한 정량적 필터링 성능 데이터를 제공한다. 이를 통해 마스크의 종류에 관계없이 성능을 직접 비교할 수 있다.

[0103] 2-4. 제조사, 마스크 조합, 및 사용기간에 따른 필터링 성능 평가

[0104] 도 5는 제조사, 마스크 조합, 및 사용기간에 따른 필터링 효율 평가 결과로서, (a)는 제조업체별 동일 유형의 마스크로 필터링된 AuNP 클러스터의 수, (b)는 AuNP 클러스터의 직경에 따른 텐탈 마스크, AD-2 및 이들 조합의 필터링 효율, (c)는 사용기간에 따른 KF94 마스크의 필터링 효율을 나타내는 그래프이고, (d)는 사용기간에 따른 KF94 마스크 전면의 SEM 이미지, (e)는 마스크가 없는 경우 박테리오파지의 TEM 이미지, (f)는 AD 마스크를 사용한 경우 분사된 박테리오파지의 TEM 이미지이며, (g)는 마스크가 없는 경우 및 AD 마스크를 사용한 경우의 단위 면적당 박테리오파지 수를 나타내는 그래프, (h)는 AuNP와 박테리오파지를 분사하여 측정한 필터링 효율의 비교 그래프이다.

[0105] 도 5의 (a)를 참고로, KF94 마스크는 제조사와 상관없이 '무필터' 조건에 비해 대부분의 입자를 차단했다. 그러나 크기별로 분산된 클러스터 수를 분석함으로써, KF94-2가 다른 KF 마스크에 비해 클러스터 차단 효과가 상대

적으로 낮다는 것을 발견했다. 반면, 다른 KF 마스크는 가장 작은 클러스터에 대해 더 우수한 필터링 성능을 보였지만, 상대적으로 큰 클러스터에 대해서는 성능 차이가 거의 없었다. 따라서 동일한 필터링 테스트 기준을 만족하는 KF94 마스크라도 제조사에 따라 성능이 다를 수 있음을 본 발명을 통해 분석할 수 있었다.

[0106] 여러 나라에서는 마스크 품귀, 가격, 착용감 등을 고려할 때 상대적으로 성능이 낮은 마스크 2개를 착용해 필터링 효과를 높이는 2중 마스크를 권장하고 있다. 이에 덴탈 마스크와 AD-2 마스크(필터링 용량이 가장 낮고 상대적으로 저렴함)의 성능을 테스트하였다. 그 결과, 함께 사용할 때 성능이 각각 평균 1.58배 및 1.21배 향상되었다(도 5의 (b) 참조). 직경이 $0.08 \sim 0.24 \mu\text{m}$ 인 작은 클러스터의 경우 덴탈 마스크의 성능이 1.73배까지 향상되었다는 점은 주목할 만하다. 이는 2중 마스크의 필터링 효율이 평균 92%로 고성능 마스크와 유사함을 보여준다. 이 조합은 0.62달러로, 고성능 KF94 마스크 평균 가격(1.2달러)의 51.7%에 불과하다. 즉, 2중 마스크가 고가의 마스크보다 효율성과 비용면에서 우수하다.

[0107] 안면 마스크를 장기간 사용하면 마스크 필터가 손상되어 필터링 성능이 저하될 수 있다. 동일한 제조업체의 KF94 마스크는 제품 간에 거의 변화가 없었으며($SD = 0.72\%$) 모든 크기의 AuNP 클러스터에 대해 평균 필터링 효율이 89.31%였다(도 5의 (c) 참조). 마스크 사용기간이 늘어남에 따라 모든 크기의 입자에 대해 필터링 효과가 급격히 감소했다. 또한, 입자가 $0.16 \mu\text{m}$ 미만인 경우에 그 성능이 28.89% 감소했다. 마스크 필터는 착용 시간이 증가함에 따라 상당한 손상을 입는데, 이는 필터 사이의 간격 증가로 인해 성능 효율이 저하되었을 수 있다(도 5의 (d) 참조). 결과적으로 KF94 마스크는 처음에는 클러스터 크기에 관계없이 89.3% 이상의 필터링 효율을 보였지만 착용 시간이 증가함에 따라 작은 클러스터의 필터링 효율이 급격히 감소했다. 마스크 착용 3일 후 필터링 성능은 61.31%(클러스터 크기, $0.08 \sim 0.16 \mu\text{m}$)로 저하되었고, 클러스터 크기에 따른 필터링 효율 편차는 1.77%에서 5.57%로 증가했다. 이는 본 발명에 따른 AuNP 분사 플랫폼이 동일한 마스크 종류와 다양한 마스크 착용 방법 및 조건에 대해서도 클러스터 크기에 따른 미묘한 필터링 성능 차이에 대한 정보를 제공하여 정확한 마스크 성능 평가가 가능함을 보여준다.

[0108] AuNP를 사용하여 얻은 필터링 성능을 검증하기 위해 AuNP 대신 헬리코박터 파이로리 과지 KHP30(직경 $\sim 69\text{nm}$)을 바이오샘플로 사용했다. 마스크가 없는 경우 박테리오파지 함유 액적은 분사 시 클러스터를 형성했다(도 5의 (e) 참조). AD-3 마스크를 사용하는 경우에, 분사된 박테리오파지가 흩어져 클러스터 형성이 상대적으로 방해받았다(도 5의 (f) 참조). TEM 이미지는 단위 면적당 박테리오파지의 비율이 마스크를 사용하여 18.45%로 감소되었음을 보여준다(도 5의 (g) 참조). 박테리오파지 수에 대한 TEM 분석을 통해 계산된 AD-3 마스크의 여과 효율은 77.07%였다(도 5의 (h) 참조). $0.08 \sim 0.16 \mu\text{m}$ AuNP 클러스터(73.98%)를 사용한 경우와 박테리오파지를 사용한 경우의 필터링 효율 사이에는 거의 차이가 없었다. AuNP 기반 분석은 생체 시료 기반 분석에 비해 클러스터 크기에 따른 필터링 성능을 신속하고 정량적이며 정교하게 평가할 수 있는 장점이 있다. 또한, 재채기와 기침 중에 방출되는 액적을 정확하게 시뮬레이션하기 위해 본 발명에 따른 시스템이 개발되었다. 분산된 AuNP 클러스터의 크기와 산란광 강도 사이의 상관관계를 기반으로 산란광 매핑 시스템을 사용하여 AuNP 분포를 신속하고 정량적으로 결정할 수 있다. 이 초고처리량 시스템은 생체 시료 분석과 달리 별도의 염색이나 전처리 없이 전체 영역($328 \mu\text{m} \times 328 \mu\text{m}$)에서 2분 이내에 다양한 파장 범위의 산란광 강도 데이터를 획득할 수 있다.

[0109] Automated Filter Tester 모델 3160은 상용 자동 필터 시험 장비의 대표격으로 기침, 재채기 등 강한 입자 분출 조건에서 마스크 여과 시험이 가능하다. 그럼에도 불구하고 필터 홀더에 의해 평평한 필터로 테스트가 수행되기 때문에 실제 마스크 착용 조건을 정확하게 시뮬레이션하기는 어렵다. 또한, Tester 3160은 에어로졸 발생기, 필터 장치, 펌핑 시스템 및 CPC(응축 입자 계수기)를 포함하는 복합 시스템이다. 또한, CPC는 작동유체 증발기, 응축기, 광검출기로 구성되어 있다. 따라서 그 시험기는 부피가 크며($183\text{cm}(\text{높이}) \times 122\text{cm}(\text{너비}) \times 81\text{cm}(\text{깊이})$), 무게 410 kg), 고가이고, 지속적인 유지 보수가 필요하다. 또 다른 상용 필터 테스트 장비인 TSI PortaCount Respirator Fit Tester 8038은 Tester 3160에 비해 휴대성과 비용면에서 장점이 있으며 마스크 착용 방식에 따른 필터링 테스트(구체적으로는 피팅 테스트)가 가능하다. 그럼에도 불구하고 Tester 3160과 달리 Tester 8038은 고속으로 방출되는 입자가 아닌 공기 중 에어로졸에 대한 필터링 성능만 평가할 수 있다. 또한, 공기 중에 분포하는 주변 입자의 농도가 낮을 경우 민감도가 낮아 입자 발생기(모델 8026) 등의 추가 장비가 필요하다.

[0110] 한편, 본 발명에서 제안한 플랫폼은 실제 마스크 착용 환경을 모방할 수 있는 3D 프린팅된 사람 머리 모형을 사용하여 기침/재채기 및 에어로졸 형태로 방출되는 입자에 대한 필터링 테스트를 가능하게 한다.

[0111] 특히, 이러한 접근 방식은 개별 바이러스 입자의 침투에 초점을 맞추기 때문에 AuNP를 변경하면 바이러스 및 먼지를 포함한 다양한 입자의 시뮬레이션이 가능하다.

[0113] 3. 결론

[0114] 본 발명에 따른 플랫폼은 기존 시스템에 비해 입자와 필터 간의 상호 작용을 직접 반영하는 필터링 평가가 가능하다. 새롭고 정교한 마스크 테스트 플랫폼의 개발은 마스크 성능에 대한 새로운 표준을 설정할 수 있는 기회를 마련한다. 따라서 예상치 못한 감염병의 출현에 대처하기 위한 새로운 형태의 마스크 개발에 기여할 수 있다. 또한, 비교적 간단한 플랫폼 구성으로 신속하고 고감도의 필터링 테스트가 가능하다. 특히, 본 발명에서 사용된 것과 같은 단순한 미세채널 구조를 갖는 미세유체 칩은 시중에서 광범위하게 구입할 수 있으며 3D 프린터로 쉽게 인쇄할 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 플랫폼은 미세유체 구조를 변형해 실제 바이러스 감염 환경을 모사할 수 있어 기존 장비 대비 범용성과 활용성 측면에서 장점이 있다. 종합하면 본 발명은 일상적인 착용 환경에서 다양한 사람들에게 최적화된 고성능 마스크 개발에 기여할 수 있다.

[0115] 나아가, AuNP 매개 테스트 시스템은 동일한 마스크 유형 간에 마스크 성능의 미묘한 차이, 질병 통제 예방 센터 (CDC)에서 권장하는 2중 마스크의 효과를 평가할 수 있고, 장기간 사용에 따른 성능 저하 등 기존의 시험 시스템으로는 평가하기 어려웠던 사항들을 평가할 수 있다.

[0116] 본 발명에 따른 마스크 필터링 성능 평가 플랫폼은 다양한 호흡기 감염에 빠르고 효율적으로 대처할 수 있는 새로운 마스크 유형 개발에 기여할 수 있다. 또한 AuNP의 크기, 모양 및 작용기를 변경하여 크기, 모양 및 표면 전하가 다른 여러 유형의 바이러스 필터링을 시뮬레이션할 수 있다. 본 발명에 따른 분석 플랫폼은 실제 바이러스를 사용할 때의 단점을 최소화하고 가장 효율적이고 정교한 방식으로 바이러스 필터링 시뮬레이션을 가능하게 한다.

[0118] 이상 본 발명을 구체적인 실시예를 통하여 상세히 설명하였으나, 이는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함이 명백하다.

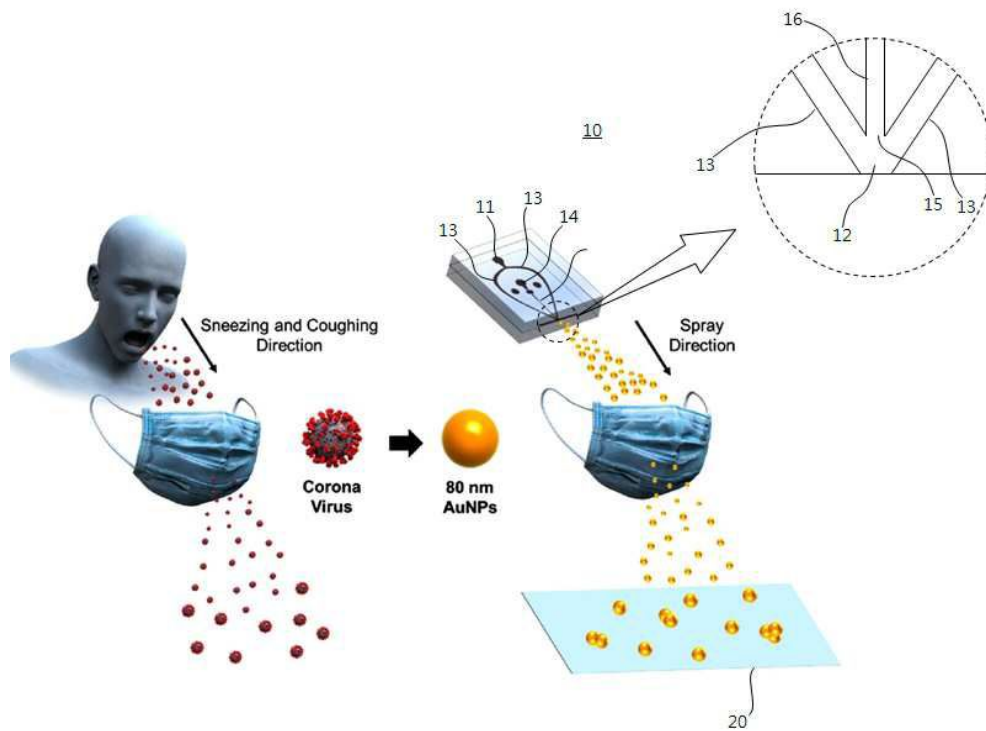
[0119] 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속한 것으로 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 특허청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

부호의 설명

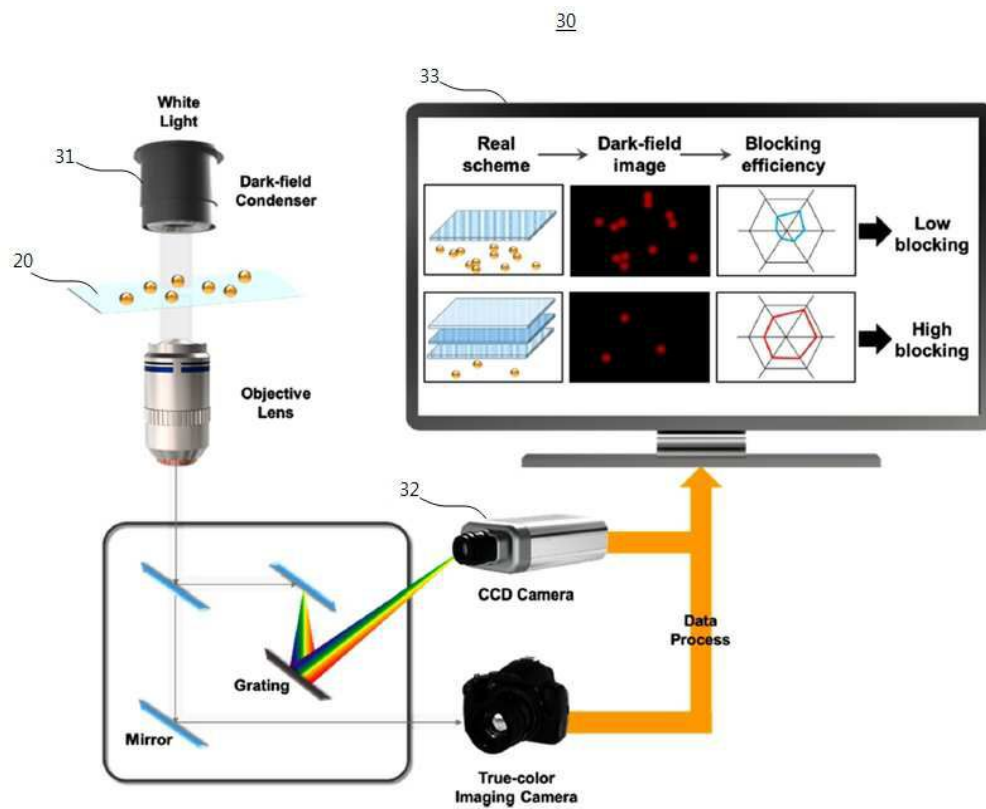
- [0121] 10: 미세유체 분사장치 11: 공기 유입구
12: 공기 배출구 13: 공기 유동 미세채널
14: 용액 유입구 15: 용액 배출구
16: 용액 유동 미세채널 20: 기관
30: 분석부 31: 광원
32: 광검출기 33: 분석장치

도면

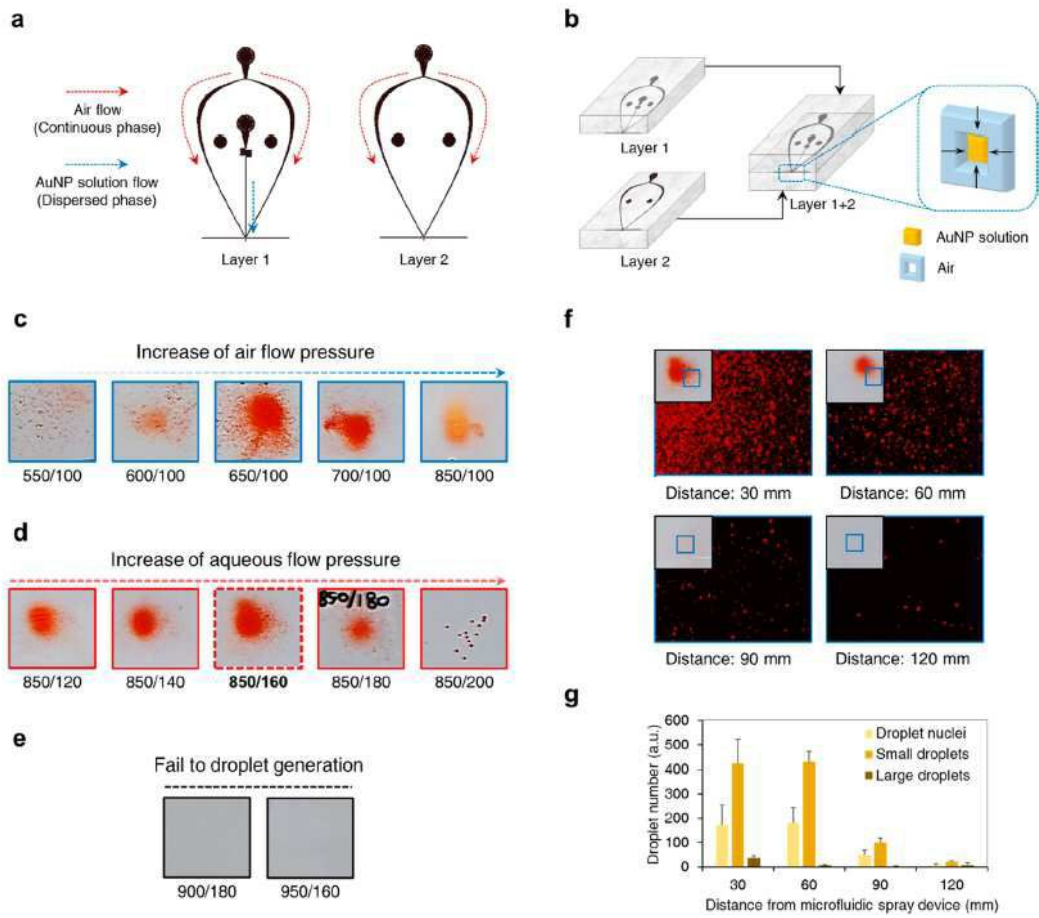
도면1a



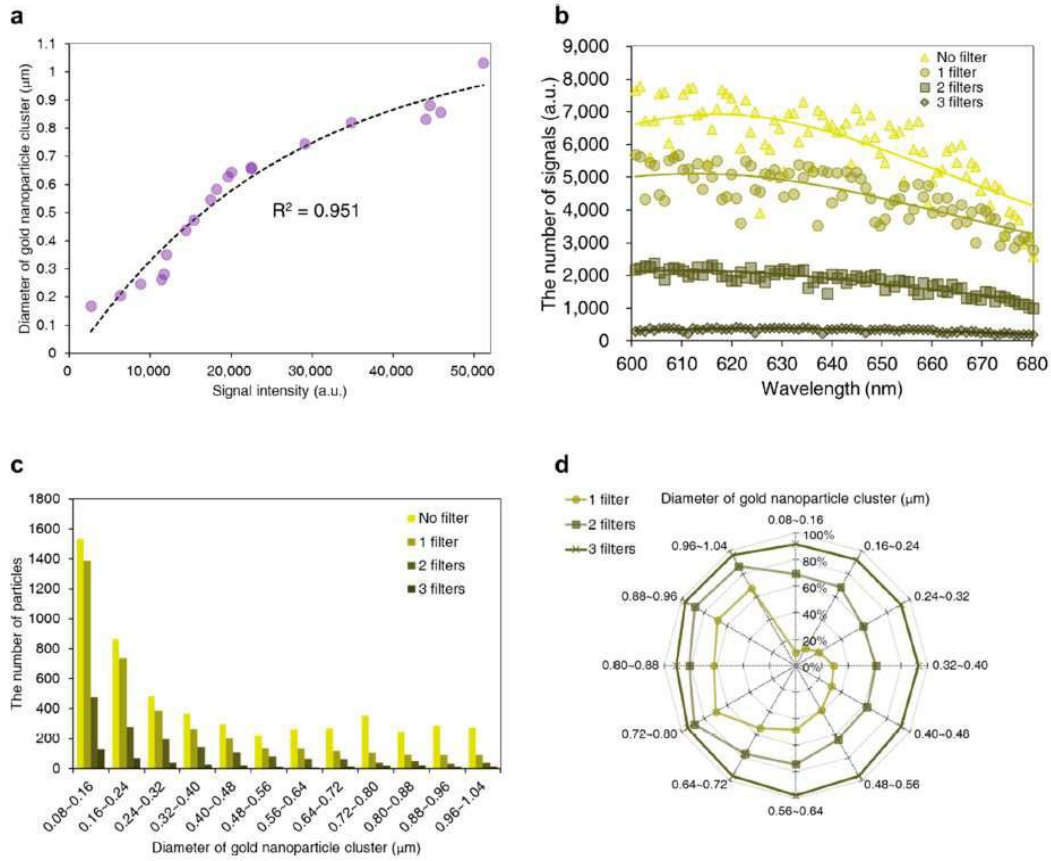
도면1b



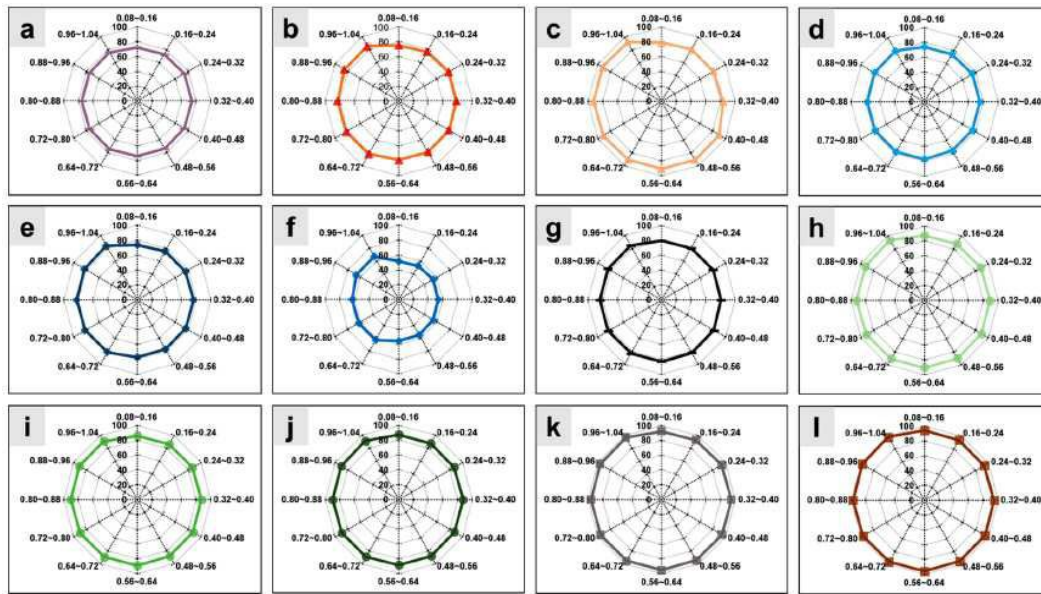
도면2



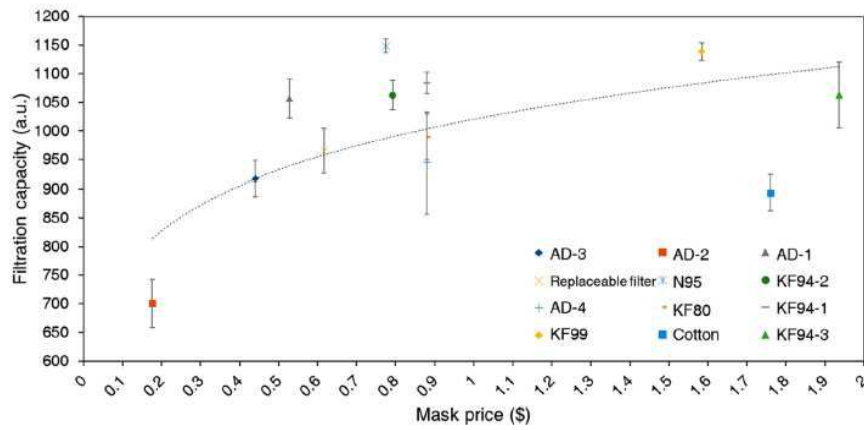
도면3



도면4



m



도면5

