



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0073771
(43) 공개일자 2022년06월03일

- | | |
|---|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 39/16 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
B01D 39/1623 (2013.01)
B01D 2239/025 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2022-7013289</p> <p>(22) 출원일자(국제) 2020년10월08일
심사청구일자 없음</p> <p>(85) 번역문제출일자 2022년04월20일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/US2020/054844</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2021/072122
국제공개일자 2021년04월15일</p> <p>(30) 우선권주장
62/912,456 2019년10월08일 미국(US)
(뒷면에 계속)</p> | <p>(71) 출원인
도날드슨 컴파니, 인코포레이티드
미합중국 미네소타 55431 블루밍턴 웨스트 94번가 1400</p> <p>(72) 발명자
존스, 데렉 오.
미국, 미네소타 55440-1299, 미네아폴리스, 피. 오. 박스 1299, 웨스트 94쓰 스트리트 1400
윌리스, 클렌튼 티.
미국, 미네소타 55440-1299, 미네아폴리스, 피. 오. 박스 1299, 웨스트 94쓰 스트리트 1400
(뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
(유)한양특허법인</p> |
|---|---|

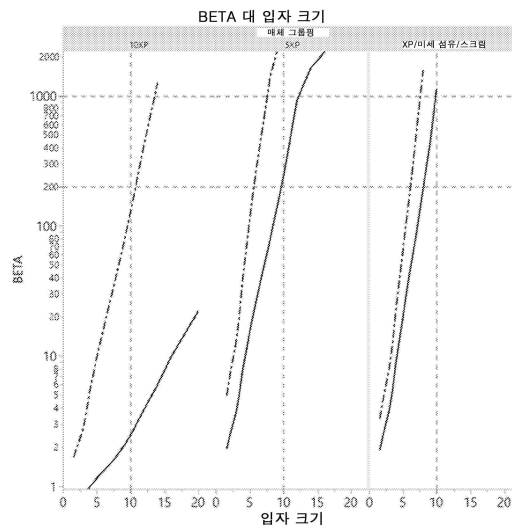
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 미세 섬유층을 포함하는 필터 매체

(57) 요약

본 개시내용은 압력 강하의 상응하는 증가 없이 필터 매체 효율에 대한 유량 변화의 역효과를 최소화하는 필터 매체를 기술한다. 필터 매체는 지지층, 연속 미세 섬유층, 및 효율층을 포함한다. 연속 미세 섬유층은 최대 10 마이크로미터의 직경을 갖는 연속 미세 섬유를 포함하고, 효율층의 다운스트림에 위치되어 있다.

대표도 - 도3a



(52) CPC특허분류

B01D 2239/0627 (2013.01)
 B01D 2239/0636 (2013.01)
 B01D 2239/064 (2013.01)
 B01D 2239/0654 (2013.01)
 B01D 2239/1216 (2013.01)
 B01D 2239/1233 (2013.01)
 B01D 2239/1266 (2013.01)

(72) 발명자

이그나시오-데 레온, 파트리샤 에이.

미국, 미네소타 55440-1299, 미네아폴리스, 피.오.
 박스 1299, 웨스트 94썸 스트리트 1400

웨이크, 토마스 엠.

미국, 미네소타 55440-1299, 미네아폴리스, 피.오.
 박스 1299, 웨스트 94썸 스트리트 1400

세브스트롬, 제이콥 씨.

미국, 미네소타 55440-1299, 미네아폴리스, 피.오.
 박스 1299, 웨스트 94썸 스트리트 1400

(30) 우선권주장

62/947,998	2019년12월13일	미국(US)
62/952,979	2019년12월23일	미국(US)
62/992,003	2020년03월19일	미국(US)
63/004,602	2020년04월03일	미국(US)

명세서

청구범위

청구항 1

지지층;

최대 50 μm 의 두께를 갖는, 연속 미세 섬유층; 및

효율층을 포함하는 필터 매체로서,

지지층 및 연속 미세 섬유층을 포함하는 복합체는 최대 1.8, 최대 1.9, 또는 최대 2의 P95/P50 비율을 가지며;

효율층은 적어도 1.8, 적어도 1.9, 또는 적어도 2의 P95/P50 비율을 가지며;

복합체의 P95의 값은 효율층의 P5 및 P50의 값에 의해 제공된 범위 내에 속하는, 필터 매체.

청구항 2

제1항에 있어서, 복합체가 1보다 큰 P95/P50 비율을 갖는, 필터 매체.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 효율층이 최대 10, 최대 15, 또는 최대 20의 P95/P50 비율을 갖는, 필터 매체.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 연속 미세 섬유층이 적어도 2 μm 의 두께를 갖는, 필터 매체.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 연속 미세 섬유층이 효율층과 지지층 사이에 위치되어 있는, 필터 매체.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 효율층이 필터 매체의 업스트림 측면 상에 위치되어 있는, 필터 매체.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 필터 매체가 제2 효율층을 추가로 포함하는, 필터 매체.

청구항 8

제7항에 있어서, 제2 효율층이 효율층에 인접하여 및 효율층의 업스트림에 위치되어 있는, 필터 매체.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 효율층이 2-성분 섬유 및 효율 섬유를 포함하며, 효율 섬유는 2-성분 섬유보다 더 작은 직경을 갖는, 필터 매체.

청구항 10

제9항에 있어서, 효율 섬유가 유리 섬유를 포함하는, 필터 매체.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 효율층이 마이크로피브릴화된 셀룰로스 섬유를 포함하는, 필터 매체.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서, 연속 미세 섬유층이 최대 10 마이크로미터(μm)의 직경을 갖는 섬유를 포함하는, 필터 매체.

청구항 13

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서, 연속 미세 섬유층이 타원형 형상을 갖는 섬유를 포함하는, 필터 매체.

청구항 14

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 연속 미세 섬유층이 적어도 1 마이크로미터(μm)의 직경을 갖는 섬유를 포함하는, 필터 매체.

청구항 15

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서, 연속 미세 섬유층이 상이한 직경의 섬유들의 혼합물을 포함하는, 필터 매체.

청구항 16

제15항에 있어서, 상이한 직경의 섬유가 연속 미세 섬유층의 단일 계층 내에서 혼합방사된(commingled) 것인, 필터 매체.

청구항 17

제15항 또는 제16항에 있어서, 상이한 직경의 섬유가 연속 미세 섬유층에서 상이한 계층을 형성하는, 필터 매체.

청구항 18

제1항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서, 지지층이 스펠본드층(spunbond layer)을 포함하는, 필터 매체.

청구항 19

제1항 내지 제18항 중 어느 한 항의 필터 매체를 포함하는 필터 요소.

청구항 20

제19항에 있어서, 와이어 지지체가 지지층의 다운스트림에 위치되어 있는, 필터 요소.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조문헌

[0002] 본 출원은 2019년 10월 8일에 출원된 미국가출원 제62/912,456호; 2019년 12월 13일에 출원된 미국가출원 제62/947,998호; 2019년 12월 23일에 출원된 미국가출원 제62/952,979호; 2020년 3월 19일에 출원된 미국가출원 제62/992,003호; 및 2020년 4월 3일에 출원된 미국가출원 제63/004,602호의 혜택을 주장하며, 이러한 문헌의 개시내용은 전문이 본원에 참고로 포함된다.

배경 기술

[0003] 유압 응용(hydraulic application)에서 사용하기 위한 필터 매체는 통상적으로, 정상 유량(steady flow rate)에서 시험된다. 그러나, 여러 유압 응용에서, 사용하는 동안 유량은 변한다. 예를 들어, 순환 흐름 조건 또는 다른 동적 흐름 조건 하를 포함하는 유량 변화는 유량 변화가 매체 개구를 통과할 수 있는 여러 기회를 갖는 입자를 초래하기 때문에, 필터 매체 성능 및 특히, 필터 매체 효율에 대한 역효과를 갖는다.

발명의 내용

- [0004] 본 개시내용은 압력 강하의 상응하는 증가, 즉, 필터 매체를 통해 유체를 강제로 통과시키는 데 필요한 압력 증가없이 필터 매체 효율에 대한 유량 변화의 역효과를 최소화하는 필터 매체를 기술한다. 발명 당시에, 필터 매체 성능에 대한 유량 변화 효과가 필터 매체의 효율을 증가시킴으로써 최소화될 수 있다는 것이 알려져 있었지만, 필터 매체의 효율을 증가시키기 위해 사용되는 수단은 또한 압력 강하의 상응하는 증가를 초래하였다. 이러한 압력 강하의 증가는 필터가 바이패스될 기회(예를 들어, 바이패스 밸브를 통해), 에너지 소비 증가, 및 필터 수명 단축에 대한 더 큰 기회를 초래한다. 대조적으로, 본원에 기술된 필터 매체는 압력 강하를 손상시키지 않으면서 증가된 효율을 달성한다.
- [0005] 일 양태에서, 본 개시내용은 지지층; 최대 50 μm 의 두께를 갖는 연속 미세 섬유층; 및 효율층을 포함하는 필터 매체를 기술한다. 지지층 및 연속 미세 섬유층을 포함하는 복합체는 최대 1.8, 최대 1.9, 또는 최대 2의 P95/P50 비율을 갖는다. 효율층은 적어도 1.8, 적어도 1.9, 또는 적어도 2의 P95/P50 비율을 갖는다. 추가적으로, 복합체의 P95의 값은 효율층의 P5 및 P50의 값에 의해 제공된 범위 내에 속한다.
- [0006] 일부 구현예에서, 복합체는 1보다 큰 P95/P50 비율을 갖는다.
- [0007] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 적어도 2 μm 의 두께를 갖는다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 효율층과 지지층 사이에 위치된다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 최대 10 마이크로미터(μm)의 직경을 갖는 섬유를 포함한다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 타원형 형상을 갖는 섬유를 포함한다. 일부 구현예에서, 연속 미세층은 적어도 1 마이크로미터(μm)의 직경을 갖는 섬유를 포함한다.
- [0008] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 상이한 직경의 섬유들의 혼합물을 포함한다. 상이한 직경의 섬유들은 연속 미세 섬유층의 단일 계층 내에서 혼합방사(commingled)될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 상이한 직경의 섬유들은 연속 미세 섬유층에서 상이한 계층을 형성할 수 있다.
- [0009] 일부 구현예에서, 효율층은 최대 10, 최대 15, 또는 최대 20의 P95/P50 비율을 갖는다. 일부 구현예에서, 효율층은 필터 매체의 업스트림 측면 상에 위치된다.
- [0010] 일부 구현예에서, 필터 매체는 제2 효율층을 추가로 포함한다. 제2 효율층은 효율층에 인접하게 및 효율층의 업스트림에 위치될 수 있다.
- [0011] 일부 구현예에서, 효율층은 2-성분 섬유 및 효율 섬유를 포함하며, 효율 섬유는 2-성분 섬유보다 더 작은 직경을 갖는다. 효율 섬유는 유리 섬유를 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 효율층은 마이크로피브릴화된 셀룰로스 섬유를 포함한다.
- [0012] 일부 구현예에서, 지지층은 스펀본드층을 포함할 수 있다.
- [0013] 다른 양태에서, 본 개시내용은 본원에 기술된 필터 매체를 포함하는 필터 요소를 기술한다. 일부 구현예에서, 와이어 지지체는 지지층의 다운스트림에 위치될 수 있다.
- [0014] 본원에서 사용되는 "섬유"는 최대 100 마이크로미터의 평균 섬유 직경을 갖는다.
- [0015] 본원에서 사용되는 "평균" 직경을 갖는 섬유는 복수의 섬유의 샘플에서, 그러한 샘플에서의 섬유의 집단의 평균 섬유 직경이 명시된 평균 섬유 직경을 가짐을 나타낸다. 섬유의 집단은 평균 섬유 직경의 25% 이내의 직경을 갖는 섬유를 포함한다. 예를 들어, 1000 nm의 평균 직경을 갖는 섬유의 집단은 적어도 750 nm 및 최대 1250 nm의 직경을 갖는 섬유를 포함한다. 다른 예에서, 250 nm의 평균 직경을 갖는 섬유의 집단은 적어도 188 nm 및 최대 313 nm의 직경을 갖는 섬유를 포함한다. 추가 예에서, 500 nm의 평균 직경을 갖는 섬유의 집단은 적어도 375 nm 및 최대 625 nm의 직경을 갖는 섬유를 포함한다. 또 다른 예에서, 1400 nm의 평균 직경을 갖는 섬유의 집단은 적어도 1050 nm 및 최대 1750 nm의 직경을 갖는 섬유를 포함한다.
- [0016] 섬유 직경은 하향식 SEM 이미지를 이용하여 측정될 수 있다. 샘플은 스퍼터-코팅될 수 있다. 유용한 스퍼터-코팅기는 예를 들어, Au:Pd 60:40 혼합물을 포함하는 금 및 팔라듐 혼합물일 수 있다. 더욱 정확한 섬유 직경 측정은 샘플에서 적어도 30개 위치에서 섬유의 직경을 측정함으로써 얻어질 수 있다. 소프트웨어, 예를 들어, Trainable Weka Segmentation(ImageJ plug-in)은 섬유 직경을 분석하는 데 유용할 수 있다.
- [0017] 본원에서 사용되는 "미세 섬유"는 최대 10 마이크로미터(μm)의 직경을 갖는 섬유를 지칭한다. 일부 구현예에서, 미세 섬유는 적어도 50 nm 또는 적어도 100 nm의 직경을 갖는다.

- [0018] 용어 "직경"은 섬유의 원형 단면의 직경, 또는 섬유의 비-원형 단면의 가장 큰 단면 치수를 지칭한다.
- [0019] 본원에서 사용되는 용어 "입자 크기"는 ISO 11171:2016에 기술된 바와 같이 결정된, 입자의 직경을 지칭한다.
- [0020] 본원에서 사용되는 "연속 미세 섬유"는 적어도 5,000, 또는, 더욱 바람직하게는, 적어도 10,000의 종횡비(즉, 길이 대 측면 치수)를 갖는 미세 섬유를 지칭한다. 본원에서 연속 미세 섬유층에 대한 언급은 (짧은 절단 미세 섬유와 달리) 연속 미세 섬유를 포함하는 층을 지칭한다. 연속 미세 섬유층이 바람직하게는, 연속 미세 섬유를 생산하는 섬유-형성 공정에 의해 형성되지만, 얻어진 층은 단 하나의 연속 미세 섬유를 포함할 수 있거나, 포함하지 않을 수 있다. 즉, 연속 미세 섬유층은 적어도 5,000, 또는, 더욱 바람직하게는, 적어도 10,000의 종횡비를 갖는 하나 이상의 미세 섬유 조각(shaving)을 포함할 수 있다.
- [0021] 본원에서 사용되는 "짧은 절단 미세 섬유"는 5,000 미만, 2,500 미만, 또는 1,000 미만의 종횡비(즉, 길이 대 측면 치수)를 갖는 미세 섬유를 지칭한다. 통상적으로, 짧은 절단 미세 섬유는 적어도 10 및 최대 5,000의 종횡비를 갖는다.
- [0022] 본원에서 사용되는 "혼합방사" 섬유 또는 "혼합방사 섬유 구조"는 적어도 2개의 상이한 직경을 갖는 섬유를 지칭하며, 여기서, 평균 제1 직경을 갖는 섬유 및 평균 제2 직경을 갖는 섬유는 혼합방사되며, 즉, 섬유는 동시에 또는 매우 짧은(예를 들어, 최대 10초, 최대 20초, 또는 최대 30초) 펄스의 각 폴리머 용액을 사용함으로써 형성 또는 증착된 섬유의 결과로서 매체 구조의 동일한 층(또는 계층) 내에서 혼합된다. 하향식 SEM 이미지를 사용하여 시각화할 때, 평균 제1 직경을 갖는 섬유는 평균 제2 직경을 갖는 섬유 아래 및 위 둘 모두에 위치한 것으로 관찰될 수 있다.
- [0023] 본원에서 사용되는 "층상(layered)" 섬유 또는 "층상 섬유 구조"는 적어도 2개의 상이한 직경을 갖는 섬유를 지칭하며, 여기서, 평균 제1 직경을 갖는 섬유는 기판에 교대로 적용된 상이한 직경의 섬유의 결과로서 평균 제2 직경을 갖는 섬유와 실질적으로 얹히지 않는다.
- [0024] 달리 명시하지 않는 한, 본원에서 사용되는 기공 크기(예를 들어, P5, P50, 및 P95) 및 기공 크기의 비율(예를 들어, P95/P50)은 모세관 흐름 기공측정법을 이용하여 결정된다. 모세관 흐름 기공측정법은 연속 압력 스캔 모드를 이용하여 수행될 수 있다. 습윤 액체로서, 20.1 다인(dyne)/cm의 표면 장력 및 0의 습윤 접촉각을 갖는 실리콘 오일을 사용하는 것이 유용할 수 있다. 샘플은 초기에, 저압에서 고압으로 변화시키면서 건식으로 시험될 수 있고, 이후에, 다시 저압에서 고압으로 변화시키면서 습식으로 시험될 수 있다. 시험은 통상적으로, 주변 온도 조건(예를 들어, 20℃ 내지 25℃)에서 수행된다. 256개의 데이터점은 건식 곡선 및 습식 곡선 둘 모두에 대한 압력의 스캔 범위에 걸쳐 수집될 수 있다. 통상적으로, 비틀림 계수 및/또는 형상 계수는 사용되지 않을 것이다(즉, 조정 계수를 사용하는 다른 시험 방법과 비교하기 위해, 1과 동일한 계수가 사용될 수 있음).
- [0025] 본원에서 사용되는 값 $P(x\%)$ 는 본원에 기술된 방법을 이용하여 결정된 바와 같이, 습식 곡선이 건식 곡선의 $(100-x)\%$ 와 같을 때 계산된 기공 크기이다. 계산된 값이지만, 이는 층을 통한 전체 흐름의 $x\%$ 가 그러한 크기 이하의 기공을 통과하는 지점을 나타내는 것으로 이해될 수 있다. 예를 들어, P50(평균 흐름 기공 크기)은 습식 곡선이 건식 곡선의 절반과 같은 지점을 나타내고, 층을 통한 전체 흐름의 50%가 그러한 크기 이하의 기공을 통과하게 하는 기공 크기로서 볼 수 있다.
- [0026] 평균 기공 크기(예를 들어, 평균 최대 기공 크기)는 적어도 3개의 상이한 샘플 위치로부터 얻어진 적어도 3개의 측정치의 평균으로부터 계산될 수 있다. 최대 기공 크기의 개개 측정치(이는 P100으로도 지칭될 수 있음)는 포점에서 검출될 수 있으며, 여기서, 포점은 유체가 샘플을 통과하기 시작한 후에 발견되며, 3회 연속 측정은 적어도 1%만큼 증가하며, 여기서, 256개의 데이터점은 분당 대략 17개 데이터점의 속도의 스캔에 걸쳐 수집된다.
- [0027] 본원에서 사용되는 " β 비율"(본원에서 " β " 또는 "베타 비율"로도 지칭됨)은 다운스트림 입자에 대한 업스트림 입자의 비율이다. 필터가 효율적일수록, β 비율이 더 높다. β 비율은 하기와 같이 규정된다:

[0028] [식]

$$\beta_d = \frac{N_{d,U}}{N_{d,D}}$$

[0029]

[0030] (상기 식에서, $N_{d,U}$ 는 직경 d 이상의 입자에 대한 단위 유체 체적 당 업스트림 입자 카운트이며, $N_{d,D}$ 는 직경 d 이상의 입자에 대한 단위 유체 체적 당 다운스트림 입자 카운트임). 존재하는 경우에, β 에 부착된 아래첨자는

비율이 보고되는 입자의 크기를 나타낸다.

[0031] 본원에서 사용되는 "전체 β 비율" 또는 "전체 β "는 검정 과정 동안 모든 업스트림 입자의 합 대 시험 과정 동안 모든 다운스트림 입자의 합(시험이 25 psi(172 kPa)의 압력에서 실행되는 경우)의 비율이다:

[0032] [식]

$$\text{전체 } \beta_d = \frac{\sum N_{d,U}}{\sum N_{d,D}}$$

[0033]

[0034] (상기 식에서, $N_{d,U}$ 는 직경 d 이상의 입자에 대한 단위 유체 체적 당 업스트림 입자 카운트이며, $N_{d,D}$ 는 직경 d 이상의 입자에 대한 단위 유체 체적 당 다운스트림 입자 카운트임). 존재하는 경우, β 에 부착된 아래첨자는 비율이 보고된 입자 크기를 나타낸다.

[0035] 본원에서 사용되는 " β 100"은 전체 β 가 100인 입자의 크기이다.

[0036] 본원에서 사용되는 "여과 효율" 또는 "효율"은 하기 식으로 계산된, 필터에 의해 제거된 오염물의 백분율을 지칭한다:

[0037] [식]

$$e_d = 100(1 - \frac{1}{\beta_d})$$

[0038]

[0039] (상기 식에서, e는 여과 효율이며, β 는 상기에 명시된 바와 같이 규정됨). 이에 따라, 본원에서 지칭되는 효율은 누적 효율이다. 존재하는 경우, e에 부착된 아래첨자는 비율이 보고된 입자 크기를 나타낸다.

[0040] 본원에서 사용되는 "압력 강하"(본원에서 "dP" 또는 " ΔP "로도 지칭됨)는 특정 유체 속도에 대해 (오염물의 첨가 전에) 필터 또는 필터 매체를 통해 유체를 강제로 통과시키기 데 필요한 (펌프에 의해 가해진) 압력에 관한 것이다. 달리 명시하지 않는 한, 압력 강하는 ISO 3968:2017에 기술된 바와 같이 측정된다.

[0041] 용어 "포함하다" 및 이의 파생어는 이러한 용어가 설명 및 청구항에 나타나는 경우 제한적인 의미를 갖지 않는다. 이러한 용어는 기술된 단계 또는 요소 또는 단계들 또는 요소들의 그룹의 포함을 시사하지만, 임의의 다른 단계 또는 요소 또는 단계들 또는 요소들의 그룹의 배제를 시사하지 않는 것으로 이해될 것이다. "~로 구성되는" (consisting of)은 구 "~로 구성되는" 앞에 오는 모든 것을 포함하고 이로 제한됨을 의미한다. 이에 따라, 구 "~로 구성되는"은 나열된 요소가 필수적이거나 의무적이고 다른 요소가 존재하지 않을 수 있음을 나타낸다. "필수적으로 구성되는"은 구 앞에 나열된 임의의 요소를 포함하는 것을 의미하지만 나열된 요소에 대한 개시내용에 기술된 활동 또는 작용을 방해하거나 기여하지 않는 다른 요소로 제한됨을 의미한다. 이에 따라, 구 "필수적으로 구성되는"은 나열된 요소가 필수적이거나 의무적이지만, 다른 요소는 선택적이고, 나열된 요소의 활동이나 작용에 실질적으로 영향을 미치는 지의 여부에 따라 존재할 수 있거나 존재하지 않을 수 있음을 나타낸다.

[0042] 단어 "바람직한" 및 "바람직하게는"은 특정 환경 하에서 특정 혜택을 제공할 수 있는 본 발명의 구현예를 지칭한다. 그러나, 다른 구현예는 또한, 동일한 또는 다른 환경 하에서 바람직할 수 있다. 또한, 하나 이상의 바람직한 구현예의 인용은 다른 구현예가 유용하지 않음을 시사하지 않고, 본 발명의 범위로부터 다른 구현예를 배제하도록 의도되지 않는다.

[0043] 달리 기술하지 않는 한, 단수 용어 및 "적어도 하나"는 상호 교환 가능하게 사용되고, 하나 이상을 의미한다. 목록 이후의 구 "~중 적어도 하나" 및 "~중 적어도 하나를 포함한다"는 목록에 있는 항목 중 임의의 하나 및 목록에서 둘 이상의 항목들의 임의의 조합을 지칭한다.

[0044] 본원에서 사용되는 용어 "또는"은 일반적으로 내용이 명확하게 달리 지시하지 않는 한, "및/또는"을 포함하는 통상적인 의미로 사용된다. 용어 "및/또는"은 나열된 요소 중 하나 또는 모두 또는 나열된 요소 중 임의의 둘 이상의 조합을 의미한다.

[0045] 또한, 본원에서, 종점에 의한 수치 범위의 인용은 그러한 범위 내에 포함되는 모든 숫자를 포함한다(예를 들어, 1 내지 5는 1, 1.5, 2, 2.75, 3, 3.80, 4, 5, 등을 포함함). 본원에서, "최대" 숫자(예를 들어, 최대 50)는 그러한 숫자(예를 들어, 50)를 포함한다.

- [0046] 별도의 단계를 포함하는 본원에 개시된 임의의 방법의 경우, 단계는 임의의 실행 가능한 순서로 수행될 수 있다. 그리고, 적절한 경우에, 둘 이상의 단계의 임의의 조합은 동시에 수행될 수 있다.
- [0047] 본 명세서 전반에 걸쳐 "일 구현예", "구현예", "특정 구현예" 또는 "일부 구현예" 등에 대한 언급은 구현예와 관련하여 기술된 특정한 특징, 구성, 조성, 또는 특성이 본 개시내용의 적어도 하나의 구현예에 포함됨을 의미한다. 이에 따라, 본 명세서 전반에 걸쳐 다양한 위치에서 이러한 구의 출현은 반드시 본 개시내용의 동일한 구현예를 지칭하는 것은 아니다. 또한, 특정한 특징, 구성, 조성, 또는 특성은 하나 이상의 구현예에서 임의의 적합한 방식으로 조합될 수 있다.
- [0048] 표준 방법(예를 들어, ASTM, TAPPI, AATCC 등)에 대한 모든 언급은 달리 명시하지 않는 한, 본 개시내용의 출원 시점에 방법의 이용가능한 가장 최신 버전을 지칭한다.
- [0049] 달리 명시하지 않는 한, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 성분의 양, 분자량 등을 표현하는 모든 숫자는 모든 경우에 용어 "약"에 의해 수식되는 것으로 이해되어야 한다. 측정된 양과 관련하여 본원에서 사용되는 용어 "약"은 측정을 수행하고 측정의 목적 및 사용되는 측정 장비의 정밀도에 상응하는 주의 수준을 실행하는 숙련된 기술자에 의해 예상되는 측정된 양의 변동을 지칭한다. 이에 따라, 달리 반대로 명시하지 않는 한, 본 명세서 및 청구범위에 기술된 수치 파라미터는 본 발명에 의해 얻고자 하는 원하는 특성에 따라 달라질 수 있는 근사치이다. 최소한 그리고 청구범위로 등가의 교리를 제한하려는 시도가 아니라, 각 수치 파라미터는 적어도, 보고된 유효 자릿수의 관점에서 그리고 일반적인 반올림 기술을 적용하여 해석되어야 한다.
- [0050] 본 발명의 넓은 범위를 설명하는 수치 범위 및 파라미터가 근사치임에도 불구하고, 특정 예에 기술된 수치 값은 가능한 한 정확하게 보고된다. 그러나, 모든 숫자 값은 본질적으로, 이의 개개 시험 측정에서 발견된 표준 편차로부터 필연적으로 얻어진 범위를 포함한다.
- [0051] 모든 제목은 독자의 편의를 위한 것이고, 이에 따라 기술하지 않는 한, 제목에 이어지는 텍스트의 의미를 제한하기 위해 사용되지 않아야 한다.
- [0052] 본 발명의 상기 요약은 각각의 개시된 구현예 또는 본 발명의 모든 구현예를 기술하도록 의도되는 것은 아니다. 하기 설명은 예시적인 구현예를 보다 구체적으로 예시한다. 명세서 전반에 걸쳐 여러 위치에서, 다양한 조합으로 사용될 수 있는 예의 목록을 통해 지침이 제공된다. 각 경우에, 인용된 목록은 단지 대표적인 그룹으로서 역할을 하고, 배타적인 목록으로서 해석되어서는 안된다.

도면의 간단한 설명

- [0053] 도 1a 및 도 1b는 본원에서 추가로 기술된 바와 같은, 예시적인 필터 매체 및 필터 요소 구조를 도시한 것이다.
- 도 2a는 연속 미세 섬유층의 상이한 계층에서의 상이한 직경의 섬유들의 혼합물을 포함한 본원에 기술된 필터 매체의 연속 미세 섬유층의 예시적인 구현예의 개략도를 도시한 것이다. 도 2b는 500x 배율(상단 패널) 및 2000x 배율(하단 패널)의 나일론 스크립 상에 증착된 미세 섬유층을 포함하는 연속 미세 섬유층의 예시적인 이미지를 도시한 것이다. 도 2c는 실시예 3에 기술된 바와 같이 제조된 샘플(스크립 상에 직접 가로놓여 있는 작은 미세 섬유를 포함하는 연속 미세 섬유층)의 예시적인 SEM 이미지(1000x 배율)를 도시한 것이다. 도 2d는 실시예 3에 기술된 바와 같이 제조된 샘플(큰 미세 섬유 상에 오버레이된 작은 미세 섬유를 포함하는 연속 미세 섬유층)의 예시적인 SEM 이미지(1000x 배율)를 도시한 것이다. 도 2e는 작은 미세 섬유를 달성하기 위해 용액 1(좌측 패널), 혼합된(작은 및 큰) 직경의 혼합방사 미세 섬유를 달성하기 위해 용액 1 및 용액 2(중앙 패널), 및 큰 미세 섬유를 달성하기 위해 용액 2(우측 패널)를 사용하여 실시예 4에 기술된 바와 같이 제조된 연속 미세 섬유층 샘플의 예시적인 SEM 이미지(1000x 배율)를 도시한 것이다. 도 2f는 실시예 3에 기술된 바와 같이 제조된 샘플(스크립 상에 직접 가로놓인 작은 미세 섬유)에 대한 개략도를 도시한 것이다. 도 2g는 실시예 3에 기술된 바와 같이 제조된 연속 미세 섬유층 샘플(큰 미세 섬유 상에 오버레이드된 작은 미세 섬유, 스크립 상에 직접 가로놓인 큰 미세 섬유)에 대한 개략도를 도시한 것이다. 도 2h 내지 도 2m은 예시적인 매체 구조의 개략도를 도시한 것이다. 각 구조에서, 지지층은 도시되어 있지 않지만, 통상적으로, 매체의 다운스트림 측면 상에 위치될 것이다. 각 구조에서, 효율층은 도시되어 있지 않지만, 통상적으로, 매체의 업스트림 측면 상에 위치될 것이다.
- 도 3a는 순환 흐름 조건(청색) 또는 정상 흐름 조건(적색) 하에서 3개의 상이한 매체에 대한 β 비율 대 입자 크기를 도시한 것이다. 좌측 패널: 10 마이크로미터(μm) 효율 등급을 갖는 Donaldson Synteq XP™ 합성 액체 매체. 중간 패널: 5 마이크로미터 효율 등급을 갖는 Donaldson Synteq XP™ 합성 액체 매체. 우측 패널: 실시예 1에 기술

된 필터 매체(XP/미세 섬유/스크림)(효율층(10 마이크론 효율 등급을 갖는 Donaldson Synteq XP™ 합성 액체 매체), 연속 미세 섬유층, 및 지지층(스크림)). 도 3b는 도 3a에서 시험된 동일한 매체에 대한 압력 강하를 도시한 것이다.

도 4는 10 마이크론 효율 등급을 갖는 Donaldson Synteq XP™ 합성 액체 매체(상단) 또는 실시예 2에 기술된 바와 같은 필터 매체(효율층(10 마이크론 효율 등급을 갖는 Donaldson Synteq XP™ 합성 액체 매체), 연속 미세 섬유층, 및 지지층)를 포함하는 필터 요소에 대한 정상 흐름 조건 하에서의 β 비율 대 입자 크기를 도시한 것이다. 베타 비율은 실시예에서 정상 흐름 조건 시험에 기술된 바와 같이 측정되었다. 슬래시로 구분된 3개의 숫자는 ISO 4406:2017에 기술된 바와 같이 측정 및 규정된, ISO(International Organization for Standardization) 청정도 코드를 나타낸다.

도 5는 10 마이크론 효율 등급을 갖는 Donaldson Synteq XP™ 합성 액체 매체(상단) 또는 실시예 2에 기술된 필터 매체(효율층(10 마이크론 효율 등급을 갖는 Donaldson Synteq XP™ 합성 액체 매체), 연속 미세 섬유층, 및 지지층)를 포함하는 필터 요소에 대한 순환 흐름 조건 하에서의 β 비율 대 입자 크기를 도시한 것이다. 베타 비율은 실시예에서 순환 흐름 조건에 기술된 바와 같이 측정되었다. 슬래시로 구분된 3개의 숫자는 ISO 4406:2017에 기술된 바와 같이 측정 및 규정된, ISO(International Organization for Standardization) 청정도 코드를 나타낸다.

도 6a 및 도 6b는 실시예 5에 추가로 기술된 바와 같이, 하나 이상의 연속 미세 섬유층 및 지지층을 포함하는 복합체에 대한 복합체 최대 기공 크기(도 6a) 또는 복합체 평균 흐름 기공 크기(도 6b)에 대해 플롯팅된 초기 압력 강하를 도시한 것이다. 삼각형은 시험 전반에 걸쳐 미세 섬유 구조적 무결성을 유지한 샘플을 나타내며, 사각형은 시험 동안 미세 섬유의 블로우-아웃을 겪은 샘플을 나타낸다.

도 7은 실시예 6에 기술된 샘플에 대한 누적 흐름 기공 크기 분포를 도시한 것이다.

도 8a는 지지층 상에 연속 미세 섬유층의 예시적인 단면 이미지를 도시한 것이다. 도 8b 내지 도 8d는 실시예에 추가로 기술된 바와 같이, 연속 미세 섬유층 두께를 측정하는 방법의 예시적인 이미지를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0054] 본 개시내용은 압력 강하의 상응하는 증가, 즉, 필터 매체를 통해 유체를 강제로 통과시키는 데 필요한 압력의 증가 없이 필터 매체 효율에 대한 유량 변화(예를 들어, 동적 흐름 조건 동안 일어남)의 역효과를 최소화하는 필터 매체를 기술한다. 본 개시내용은 또한 필터 매체를 제조하는 방법을 기술한다.
- [0055] **동적 흐름 조건에 대한 필터 매체의 설계의 과제**
- [0056] 본 개시내용은 압력 강하의 상응하는 증가 없이 필터 매체 효율에 대한 유량 변화의 역효과를 최소화하는 필터 매체를 기술한다. 이러한 유량 변화는 예를 들어, 동적 흐름 조건 동안에 일어날 수 있다. 동적 흐름 조건은 예를 들어, 순환 흐름 조건을 포함한다. 그러나, 본원에서 추가로 논의되는 바와 같이, 필터 매체 설계는 또한, 다른 액체 적용에서 성능을 개선시키기 위해 사용될 수 있다.
- [0057] 효율을 유일한 성능 기준으로 하여 필터가 설계된 경우에, 모든 여과 요구를 쉽게 해결할 수 있을 것이다. 그러나, 대부분의 적용의 경우, 압력 및 필터 수명이 또한 고려되어야 하고, 원하는 효율에 대해 균형을 이루어야 한다.
- [0058] 예를 들어, 0.5 μm 보다 큰 모든 입자 100%를 제거할 수 있는 필터를 설계하는 것은 쉽지만, 이러한 필터 설계는, 필터를 통해 유체를 밀어내는 데 필요한 압력이 비합리적으로 높은 수준이거나 필터가 실용적이지 않게 짧은 간격으로 교체되어야 한다면 실용적이지 않을 것이다. 더욱 특정의 예에서, 자동차의 오일 필터가 엔진을 완벽하게 깨끗하게 유지하더라도, 필터를 통해 유체를 밀어 내기 위해 필터가 엔진 동력의 대부분을 필요로 하고 차량에 연료를 재공급할 때마다 교체해야 하는 경우, 이는 상업적으로 그리고 실제로도 실현 불가능할 것이다.
- [0059] 본원에 기술된 필터 매체가 효율 성능을 어떻게 개선시키는지의 예시를 제공하기 위해, 먼저 필터 매체가 오염물을 수집하는 방법 및 수집이 필터 매체를 통해 유체가 흐를 때 필터 매체에 대해 압력에 미치는 영향을 기술하는 것이 도움이 된다.
- [0060] 필터 매체는 필터 매체의 성분들 사이에 공간을 포함하며, 이는 또한, 필터 매체의 최상부 표면 상에 오염물을 수집할 수 있다. 오염물이 상단 필터 매체에 또는 상단 필터 매체 상의 공간에 수집됨에 따라, 필터 매체를 가

로질러 유체를 밀어 내는 데 필요한 압력은 유체가 통과하는 공간이 작아지고 그 수가 적어지기 때문에 증가한다. 작업 액체 필터 매체(특히, 유압식에서)의 수명 종료는 대개 특정 액체 흐름이 필터 매체를 통과하는 동안 생성되는 최대 압력에 의해 규정된다. 이에 따라, 오염물이 수집될수록, 압력 강하는 증가하며, 필터 매체의 다공도, 즉 전체 체적에 대한 다공성 매체에서의 공간의 체적의 비율은 감소한다.

[0061] 다공도가 감소할수록, 이는 압력 강하에 대한 지배적인 기여자가 되며, 이에 따라, 액체 필터에 대한 수명 종료를 규정하는 주요 파라미터가 된다. 이에 따라, 유압 필터 매체에서 더 긴 수명을 달성하기 위해, 필터 매체에 의해 오염물이 수집되는 방법을 관리하는 것이 바람직하다. 오염물을 단일 위치(예를 들어, 매체의 표면 상)에 수집되는 것과는 반대로, 오염물이 수집되는 위치를 분산시킴(예를 들어, 매체의 깊이를 통해 이용 가능한 더 많은 공간을 확보함에 의한 것을 포함함)은 필터 매체의 다공성을 더 오래 유지시키고, 매체를 통해 액체를 통과시키는 데 필요한 압력을 감소시키고, 필터 매체의 수명을 연장시킨다. 매체 깊이에 걸쳐 오염물이 수집되는 위치를 분산시키는 필터 매체 설계는 깊이 로딩 필터 매체로 불리워진다.

[0062] 필터 매체의 깊이 전반에 걸쳐 더 높은 다공성은 필터 매체를 사용하는 동안 오염물을 수집할 수 있는 더 많은 공간을 허용한다. 가장적으로 가장 오래 지속되는 필터 매체는 100% 다공성인 매체이다. 그러나, 이러한 장점은 단지 가설인데, 왜냐하면, 체적의 일부가 오염물을 포착하고 유지하기 위해 무엇인가에 의해 채워져야 하기 때문이다. 이에 따라, 원하는 효율 및 강도를 달성하는 데 필요한 특성을 갖는 필터 물질을 제공하면서 가능한 한 높은 다공성을 갖는 것이 바람직하다.

[0063] 액체 유압 여과에서, 주요 여과 메커니즘은 크기 배제이다. 크기 배제 동안, 오염물은, 오염물의 치수보다 더 작은 치수를 갖는 기공에 트랩핑될 때 필터 매체에 의해 포집된다. 필터 매체의 깊이 전반에 걸쳐 분포된, 기공 크기의 넓은 분포는 필터 매체의 두께 내에서 오염물의 분포를 허용한다. 기공들은 무작위로 이격될 수 있거나, 이러한 것들은 구배 또는 다른 패턴 구조를 형성할 수 있다. 패턴(또는 이의 결여)에 관계없이, 원하는 효과는 필터 매체의 깊이를 통해 가능한 한 많은 오염물을 분산시키는 것이다.

[0064] 크기 배제에 의한 수집을 위해 설계된 필터 매체는 실험실 시험에서 정상 흐름 조건 하에서 잘 작동하는 것으로 나타났다. 그러나, 대부분의 유압 흐름 적용에서, 필터 매체를 통한 유량은 가변적이고, 순환 흐름 패턴을 가질 수 있다. 이러한 가변 흐름 조건 동안, 가장 통상적으로 동적 힘으로 불리워지는 변화하는 힘은 필터 매체 구조 및 필터 매체에 의해 포집된 오염물 둘 모두에 적용된다. 이러한 동적 힘은 필터 매체가 오염물을 포집하는 방식을 변경하여 전체 효율을 감소시킨다.

[0065] 이론에 의해 얽매이고자 하는 것은 아니지만, 상이한 힘이 필터 매체에 적용될 때 재방출되는 오염물의 치수보다 더 작은 치수를 갖는 기공에서 이전에 트랩핑된 오염물로 인해 가변 흐름 조건 동안 관찰된 전체 효율의 감소가 발생하는 것으로 여겨진다.

[0066] 결과적으로, 정상 흐름 조건 하에서 특정 효율 성능에 대해 등급화된 필터는 종종 가변(예를 들어, 순환) 흐름 조건 동안에 성능 저하되며, 이러한 필터는 더 많은 오염물이 필터를 통해 다운스트림 출력으로 통과되도록 한다. 필터의 다운스트림에서 오염물의 증가는 유압 시스템의 마모 증가 및/또는 중요한 유압 부품의 수명 단축을 야기시킬 수 있다.

[0067] 이에 따라, 이러한 유압 시스템의 사용자는 가변 흐름 조건 하에서 신뢰성 있게 수행되도록 설계된 유압유 여과 매체를 갖는 것이 바람직하다.

[0068] 가변 흐름 조건 하에서 매체의 효율을 증가시키는 하나의 수단은 필터 매체의 두께를 증가시키는 것이다. 증가된 두께(또는 깊이)를 제공함으로써, 특정 오염물을 포착할 수 있는 더 많은 기회가 제공된다. 그러나, 필터 매체가 너무 두꺼워지면, 이는 전통적인 주름진 구성과 같이, 한정된 공간에 이를 패킹하기 어렵게 된다. 또한, 특정 오염물을 포획할 확률이 두께를 증가시킴으로써 개선되더라도, 오염물은 여전히 매체를 통과할 수 있다.

[0069] 가변 흐름 조건 하에서 매체의 효율을 증가시키는 다른 수단은 필터 매체의 기공 크기를 감소시키는 것이다. 그러나, 상기에 주지된 바와 같이, 기공 크기를 줄이면 필터 매체가 용량 한도에 더 빨리 도달하게 한다. 또한, 더 작은 기공 크기는 오염물이 포집되기 전에 액체를 매체를 통해 통과시키는 데 더 큰 압력이 필요하게 할 수 있고, 특정 체적의 오염물이 포집된 후 액체를 매체를 통해 통과시키는 데 확실히 더 큰 압력을 야기할 것이다.

[0070] 본원에 기술된 필터 매체는 다층 구조를 제공함으로써 이러한 한계를 극복하고자 한다. 개별적으로 각 층이 불량한 성능을 가질 수 있지만, 층의 오염은 가변 흐름 조건(예를 들어, 순환 흐름 조건을 포함함) 하에서 개선된 성능을 제공한다.

- [0071] **필터 매체**
- [0072] 일 양태에서, 본 개시내용은 지지층, 연속 미세 섬유층, 및 효율층을 포함하는 필터 매체를 기술한다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 효율층과 지지층 사이에 위치되며, 효율층은 필터 매체의 업스트림 측면 상에 위치된다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 표면 로딩층으로서 작용한다. 일부 구현예에서, 효율층은 깊이-로딩층으로서 작용한다.
- [0073] 상기에 주지된 바와 같이, 깊이-로딩층 단독은 이의 낮은 강도 및 넓은 기공 크기 분포로 인해 가변 흐름 조건 하에서 불량한 효율을 갖는다. 연속 미세 섬유층 단독은, 필터 매체를 통해 액체를 통과시키는 데 필요한 압력이 오염물이 수집되는 거의 즉시 증가하기 시작하기 때문에 표면 로딩층으로서 작용하는 경우 가변 흐름 조건 하에서 매우 짧은 수명을 가질 것이다. 그리고, 지지층 단독은 이의 효율이 실제적으로 존재하지 않기 때문에 가변 흐름 조건 하에서 필터 매체로서 사용하기에 적절하지 않을 것이다.
- [0074] 그러나, 본원에 추가로 기술된 바와 같이 선택된 특징과 조합하여, 지지층, 연속 미세 섬유층, 및 효율층은 필터 매체 효율에 대한 가변 흐름 조건의 역효과를 최소화하고, 상업적으로 또는 실제적으로 실행 불가능한 압력 강하 증가를 나타내지 않는 필터 매체를 제공한다.
- [0075] 예를 들어, 본원에 추가로 기술되는 바와 같이, 표면 로딩층으로서 작용하는 연속 미세 섬유층은 입자가 필터 매체를 통과하는 것을 방지한다. 추가적으로, 연속 미세 섬유층이 매우 얇기 때문에, 이는 두꺼운 매체만큼 압력 강하를 증가시키지 않는다. 또한, 연속 미세 섬유층을 적절한 저장도 층(즉, 깊이 로딩층으로서 작용하는 효율층)과 조합함으로써, 필터 매체의 수명이 연장될 수 있다.
- [0076] **필터 매체의 추가적인 선택적 구성**
- [0077] 상기에 주지된 바와 같이, 필터 매체는 연속 미세 섬유층 및 효율층을 포함한다. 그러나, 일부 구현예에서, 필터 매체는 다수의 연속 미세 섬유층 및 다수의 효율층을 포함할 수 있다. 예를 들어, 일 구현예에서, 필터 매체는 필터 매체의 업스트림 측면 상에 위치한 제1 효율층, 제1 효율층의 다운스트림 측면 상에 위치한 제1 연속 미세 섬유층, 제1 연속 미세 섬유층의 다운스트림 측면 상에 위치한 제2 효율층, 및 제2 효율층의 다운스트림 측면 상에 위치한 제2 미세 섬유층을 포함할 수 있다. 지지층은 통상적으로, 가장 다운스트림에 있는 연속 미세 섬유층의 다운스트림 측면 상에 위치될 것이다(도 1b, 좌측 패널 참조).
- [0078] 예를 들어, 다른 구현예에서, 필터 매체는 필터 매체의 업스트림 측면 상에 위치한 제1 효율층, 제1 효율층의 다운스트림 측면 상에 위치한 제1 연속 미세 섬유층, 제1 연속 미세 섬유층의 다운스트림 측면 상에 위치한 제2 효율층, 제2 효율층의 다운스트림 측면 상에 위치한 제2 미세 섬유층, 제1 연속 미세 섬유층의 다운스트림 측면 상에 위치한 제3 효율층, 및 제3 효율층의 다운스트림 측면 상에 위치한 제3 연속 미세 섬유층을 갖는다. 지지층은 통상적으로, 가장 다운스트림 연속 미세 섬유층의 다운스트림 측면 상에 위치될 것이다(도 1b, 중간 패널 참조).
- [0079] 일부 구현예에서, 필터 매체는 필터 매체의 업스트림 측면 상에 위치한 하나 초과와 효율층, 및 효율층의 다운스트림 측면 상에 위치한 연속 미세 섬유층을 포함할 수 있다(도 1b, 우측 패널 참조). 추가적인 효율층은 예를 들어, 필터 매체의 용량(및 이에 따라, 수명)을 증가시키거나 압력 강하를 개선시키기 위해 사용될 수 있다. 이러한 추가적인 효율층은 또한, 로딩층으로서 지칭될 수 있다. 지지층, 연속 미세 섬유층, 효율층, 및 제2 효율층(또는 로딩층)을 포함하는 필터 매체의 예시적인 구현예는 실시예 6에 기술되고 특성규명한다.
- [0080] **필터 매체의 특징**
- [0081] 일부 구현예에서, 본원에 기술된 필터 매체는 압력 강하를 손상시키지 않으면서 연속 미세 섬유층 또는 층들이 없는 매체와 비교하여 효율 증가를 달성하며, 즉, 본원에 기술된 필터 매체의 압력 강하는 연속 미세 섬유층 또는 층들이 없는 필터 매체의 압력 강하의 150% 이내, 100% 이내, 50% 이내, 20% 이내, 15% 이내, 또는 10% 이내이다.
- [0082] 일부 구현예에서, 본원에 기술된 필터 매체는 연속 미세 섬유층 또는 층들이 없고 압력 강하를 손상시키지 않는 지지층이 없는 매체와 비교하여 효율 증가를 달성하며, 즉, 본원에 기술된 필터 매체의 압력 강하는 연속 미세 섬유층 또는 층들이 없고 지지층이 없는 필터 매체의 압력 강하의 150% 이내, 100% 이내, 50% 이내, 20% 이내, 15% 이내, 또는 10% 이내이다.
- [0083] 예를 들어, 예시적인 구현예에서, 필터 매체의 압력 강하는 효율층 또는 층들 단독에 의해 관찰된 압력 강하(즉, 연속 미세 섬유층 또는 층들이 없고 지지층이 없는 필터 매체의 압력 강하)의 50% 내지 150%의 범위

이내이다.

- [0084] 일부 구현예에서, 본원에 기술된 필터 매체는 정상 흐름 조건 하에서 연속 미세 섬유층이 없는 매체와 비교하여 순환 흐름 조건 하에서 동등한 효율을 달성한다. 바람직하게는, 이러한 효율은 상당한 압력 강하 페널티 없이 달성된다. 예를 들어, 압력 강하는 연속 미세 섬유층 또는 층들이 없는 및 지지층이 없는 필터 매체의 압력 강하의 150% 이내, 100% 이내, 50% 이내, 20% 이내, 15% 이내, 또는 10% 이내에 속한다.
- [0085] 일부 구현예에서, 본원에 기술된 필터 매체는 순환 흐름 조건 하에서 적어도 5, 적어도 7, 또는 적어도 10의 전체 $\beta_{10 \mu m}$ 를 나타낸다. 필터 매체는 최대 50, 최대 100, 최대 200, 최대 300, 최대 500, 최대 1000, 최대 1500, 또는 최대 2000의 전체 $\beta_{10 \mu m}$ 를 추가로 나타낼 수 있다. 예를 들어, 전체 $\beta_{10 \mu m}$ 는 5 내지 2000 범위, 5 내지 200 범위, 또는 5 내지 100 범위일 수 있다.
- [0086] 순환 흐름 조건은 플랫폼 시트 성능을 시험할 때를 제외하고 ISO/CD 23369 Edition 1을 이용하여 평가될 수 있으며, 시험은 단일패스 모드에서 실행되며, 시험은 25°C에서 실행되어야 한다. 매체를 통한 유속은 10초 사이클에서 5 mm/초 내지 1.25 mm/초 사이에서 사이클링될 수 있다. ISO 12103-1, Medium Test Dust는 입자로서 유용할 수 있다. 10 mg/L의 엡스트립 입자 농도가 사용될 수 있다. 연속 입자 농도 측정은 6초마다 수집될 수 있다. 이는 1000 피코지멘스(picosiemens)/미터(pS/m) 내지 1500 pS/m 범위까지 유체 전도도를 제어하는 데 유용할 수 있다.
- [0087] 일부 구현예에서, 필터 매체의 섬유 중 하나 이상은 필터 매체의 정전기 전하를 변경하기 위해 선택 또는 처리될 수 있다. 전하는 통상적으로, 폴리머의 표면에 또는 부근에 트래핑된 양전하 또는 음전하의 층, 또는 폴리머의 벌크에 저장된 전하 클라우드를 포함한다. 전하는 또한, 분자의 쌍극자의 정렬로 동결된 분극 전하를 포함할 수 있다. 물질을 전기 전하로 처리하는 방법은 당업자에 의해 널리 공지되어 있다. 이러한 방법은 예를 들어, 열적, 액체-접촉, 전자빔, 플라즈마, 및 코로나 방전 방법을 포함한다.
- [0088] **지지층 및 연속 미세 섬유층 복합체의 평균 최대 기공 크기 및 평균 중간 흐름 기공 크기**
- [0089] 상기에 기술된 바와 같이, 필터 매체는 지지층 및 연속 미세 섬유층을 포함한다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 다수의 연속 미세 섬유층을 포함할 수 있다. 이러한 지지층 및 연속 미세 섬유층 또는 층들은 복합체를 형성할 수 있다. 복합체는 적어도 하나의 연속 미세 섬유층을 포함한다.
- [0090] 일부 구현예에서, 필터 매체는 최대 20 μm , 바람직하게는, 최대 15 μm , 및 더욱 바람직하게는, 최대 14 μm 의 복합체 평균 최대 기공 크기를 갖는다. 일부 구현예에서, 필터 매체의 복합체 최대 기공 크기는 적어도 0.1 μm 이다. 본원에서 사용되는 "복합체 평균 최대 기공 크기"는 지지층에 인접한 층에 존재하는 지지층 및 임의의 연속 미세 섬유층을 포함하는 복합체의 평균 최대 기공 크기를 지칭한다.
- [0091] 일부 구현예에서, 필터 매체는 최대 11 μm , 바람직하게는, 최대 9 μm , 및 더욱 바람직하게는, 최대 6 μm 의 복합체 평균 중간 흐름 기공 크기 또는 P50을 갖는다. 일부 구현예에서, 필터 매체의 복합체 평균 중간 흐름 기공 크기 또는 P50은 적어도 0.1 μm 이다. 본원에서 사용되는 "복합체 평균 중간 흐름 기공 크기"는 지지층 및 지지층에 인접한 층에 존재하는 임의의 연속 미세 섬유층을 포함하는 복합체의 평균 중간 흐름 기공 크기를 지칭한다.
- [0092] 일부 구현예에서, 복합체 평균 최대 기공 크기 및/또는 복합체 평균 중간 흐름 기공 크기는 바람직하게는, 모세관 흐름 기공측정법을 이용하여 결정된다.
- [0093] 이론에 의해 엡메이코자 하는 것은 아니지만, 다른 인자들 중에서, 복합체 평균 최대 기공 크기 및 복합체 평균 중간 흐름 기공 크기가 미세 섬유 직경, 작은 및 큰 미세 섬유의 상대적 양, 및 복합체 모폴로지(예를 들어, 층상 또는 혼합방사)에 따라 달라지는 것으로 여겨진다.
- [0094] 일부 구현예에서, 복합체는 효율층의 평균 흐름 기공 크기와 유사한 평균 흐름 기공 크기를 가질 수 있다. 예를 들어, 일부 구현예에서, 복합체의 평균 흐름 기공 크기(P50)는 인접한 효율층의 평균 흐름 기공 크기(P50)의 1%, 2%, 3%, 5%, 10%, 20%, 30%, 50%, 100%, 또는 200% 이내일 수 있다.
- [0095] 실시예 5에 기술된 바와 같이, 필터 매체의 복합체 평균 최대 기공 크기는 액체 여과 동안 필터 매체가 적어도 20 psi 압력 강하를 견디는 능력과 상관관계가 있을 수 있는데, 이는 동일한 조건을 견딜 수 없는 필터 매체보다 더 양호한 필터 성능을 나타낸다.
- [0096] 필터 매체의 복합체 평균 최대 기공 크기가 액체 여과 동안 필터 매체가 적어도 20 psi 압력 강하를 견디는 능

력과 상관관계가 있을 수 있지만, 복합체 평균 최대 기공 크기는 때때로, 매체가 결합 또는 일반적이지 않은 큰 최대 기공을 포함하는 경우 부합되지 않는 값을 제공한다. 이에 따라, 복합체의 기공 크기 범위 및 기공 크기 분포를 더 잘 이해하기 위해, 하기에 기술되는 바와 같이 추가적인 값이 또한 시험되었다.

[0097] 지지층 및 연속 미세 섬유층을 포함하는 복합체의 P95/P50 비율

[0098] 일부 구현예에서, 지지층 및 연속 미세 섬유층으로부터 형성된 복합체는 최대 1.8, 최대 1.9, 또는 최대 2의 P95/P50 비율을 갖는다.

[0099] 미세 섬유층의 기공 크기가 복합체의 P95/P50 비율의 대부분의 값을 제어하지만, 지지층과 연속 미세 섬유층 간의 상호작용은 또한 성능에 영향을 미친다. 이론에 의해 엇매이고자 하는 것은 아니지만, 이러한 상호작용은 복합체 기공 크기 측정을 미세 섬유층 단독의 기공 크기 측정보다 더욱 유용하게 만들 것으로 여겨진다.

[0100] P50의 값은 유체의 50%가 그러한 직경 이하의 기공을 통해 흐르는 기공의 직경을 반영한다. P95의 값은 유체의 95%가 그러한 직경 이하의 기공을 통해 흐르는 기공의 직경을 반영하며, 더 큰 P95/P50의 비율은 일반적으로, 비교적 더 큰 기공이 존재하고 기공 크기의 범위가 더 큼을 반영한다.

[0101] 이론에 의해 엇매이고자 하는 것은 아니지만, 2보다 큰 P95/P50 비율을 갖는 복합체가 순환 흐름 하에서 충분한 효율을 제공하지 않을 것으로 여겨진다. 2 미만의 P95/P50 비율이 (강도 증가로 인해) 압력 강하의 증가를 제공하지만, 연속 미세 섬유층이 매우 얇기 때문에(예를 들어, 50 μm 미만), 상응하는 압력 강하는 허용 가능한 한계 내에서 유지될 수 있다.

[0102] 일부 구현예에서, 복합체는 적어도 1의 P95/P50 비율을 갖는다.

[0103] 미세 섬유층에 인접한 효율층의 P95/P50 비율

[0104] 일부 구현예에서, 효율층은 적어도 1.8, 적어도 1.9, 또는 적어도 2의 P95/P50 비율을 갖는다.

[0105] 이론에 의해 엇매이고자 하는 것은 아니지만, 1.8 미만의 P95/P50 비율을 갖는 복합체가 원하지 않게 높은 압력 강하를 초래할 것으로 예상되는 범위에서 강도를 나타낼 것으로 여겨진다. 또한, P95/P50가 감소함에 따라 강도가 증가하기 때문에, 복합체에 의해 포집될 수 있는 입자의 수가 또한 감소된다.

[0106] 일부 구현예에서, 효율층은 최대 2.5, 최대 3, 최대 4, 최대 5, 최대 10, 최대 15, 또는 최대 20의 P95/P50 비율을 갖는다.

[0107] 이론에 의해 엇매이고자 하는 것은 아니지만, 20보다 큰 P95/P50 비율은 더 큰 기공 크기를 갖는 매체 층을 초래하고, 이에 따라, 원하는 입자 크기(예를 들어, 1 μm 내지 100 μm 범위의 입자 크기)를 포집하는 데 필요한 크기의 너무 적은 기공을 초래할 것으로 예상된다.

[0108] 예를 들어, 효율층은 1.8 내지 20의 범위, 2 내지 10의 범위, 또는 2 내지 5 범위의 P95/P50 비율을 갖는다.

[0109] 일부 구현예에서, 복합체의 P95/P50 비율의 범위의 최대치가 효율층의 P95/P50 비율을 포함하는 범위의 최소치 이하인 것이 바람직하다. 일부 구현예에서, 복합체의 P95/P50 비율은 효율층의 P95/P50 비율 이하인 것이 바람직하다.

[0110] 예를 들어, 예시적인 구현예에서, 복합체의 P95/P50 비율은 최대 1.8이며, 효율층의 P95/P50 비율은 적어도 1.8이다. 다른 예시적인 구현예에서, 복합체의 P95/P50 비율은 최대 1.9이며, 효율층의 P95/P50 비율은 적어도 1.9이다. 또 다른 예시적인 구현예에서, 복합체의 P95/P50 비율은 최대 2이며, 효율층의 P95/P50 비율은 적어도 2이다.

[0111] 일부 구현예에서, 복합체의 P95/P50 비율의 최대치가 효율층의 P95/P50 비율의 최소치 미만인 것이 바람직하다. 예를 들어, 예시적인 구현예에서, 복합체의 P95/P50 비율은 최대 1.8이며, 효율층의 P95/P50 비율은 적어도 2이다. 다른 예시적인 구현예에서, 복합체의 P95/P50 비율은 최대 1.9이며, 효율층의 P95/P50 비율은 적어도 2이다.

[0112] 예를 들어, 일부 구현예에서, 미세 섬유층에 인접한 효율층은 복합체의 P95/P50 비율보다 최대 1.5배, 최대 2배, 최대 3배, 최대 4배, 최대 5배, 최대 6배, 최대 7배, 최대 8배, 최대 9배, 또는 최대 10배 더 큰 P95/P50 비율을 가질 수 있다.

[0113] 기공 크기 분포의 중첩

- [0114] 일부 구현예에서, 효율층 및 복합체(지지층 및 미세 섬유층을 포함함)의 기공 크기 분포는 중첩한다. 필터 매체가 하나 초과 효율층을 포함하는 경우에, 미세 섬유층에 인접한 효율층 및 복합체(지지층 및 미세 섬유층을 포함함)의 기공 크기 분포는 중첩한다. 이론에 의해 엄매이고자 하는 것은 아니지만, 기공 크기 분포의 이러한 중첩은 필터의 수명을 증가시킬 것으로 여겨진다.
- [0115] 복합체의 기공 크기가 효율층의 기공 크기보다 더 작기 때문에 효율층 및 복합체의 기공 크기 분포가 중첩하지 않을 때, 미세 섬유층은 효율층에 의해 포집되지 않은 크기의 입자를 포집한다. 이러한 포집은 또한, 압력 강하의 증가, 및 결과적으로, 더 짧은 매체 수명을 초래한다.
- [0116] 복합체의 기공 크기가 효율층의 기공 크기보다 더 크기 때문에 효율층 및 복합체의 기공 크기가 중첩하지 않는 경우, 미세 섬유층은 효율의 원하는 증가를 제공하지 못할 것이다.
- [0117] 유사하게는, 효율층 및 복합체의 기공 크기가 이의 전체 범위에 걸쳐 중첩한 경우에, 미세 섬유층은 효율의 원하는 증가를 제공하지 못할 수 있다.
- [0118] 이에 따라, 일부 구현예에서, 복합체의 P95는 바람직하게는, 효율층의 P5 및 P50의 값에 의해 제공된 범위 내에 속한다.
- [0119] 실시예 6에 나타난 바와 같이, 복합체의 P95가 미세 섬유층에 인접한 효율층의 P5 및 P50의 값에 의해 제공된 범위 미만 속할 때, 필터 매체의 얻어진 압력 강하는 높은데(23.2 kPa), 이는 미세 섬유층 및 지지층을 포함하지 않는 필터 매체의 압력 강하의 150%를 초과한다.
- [0120] 이론에 의해 엄매이고자 하는 것은 아니지만, 인접한 효율층의 P5 및 P50의 값에 의해 제공된 범위 내에 속하는 P95를 갖는 복합체를 사용하면 얻어진 필터 매체가 효율층의 깊이 로딩 특징 및 복합체의 연속 미세 섬유층의 표면 로딩 특징 둘 모두를 활용할 수 있을 것으로 여겨진다. 효율층만을 사용할 때 관찰된 동적 흐름 조건 동안 효율의 손실은 연속 미세 섬유층의 더 높은 강도 및 낮은 기공 크기로 인해 청구된 매체에서 관찰되지 않는다. 그러나, 연속 미세 섬유층 단독이 원하는 효율을 달성하기 위해 사용된 경우 나타나는 높은 압력 강하가 또한 방지된다.
- [0121] **필터 요소**
- [0122] 일부 구현예에서, 본원에 개시된 필터 매체는 와이어 지지체를 포함하는 필터 요소에 포함될 수 있다. 와이어 지지체는 지지층의 다운스트림에 위치될 수 있다.
- [0123] 일부 구현예에서, 예를 들어, 필터 요소에 포함된 필터 매체를 포함하는 필터 매체는 주름이 있다.
- [0124] 예시적인 필터 요소는 평판 필터, 카트리지 필터, 또는 다른 여과 부품을 포함한다. 이러한 필터 요소의 예는 미국특허 제6,746,517호; 제6,673,136호; 제6,800,117호; 제6,875,256호; 제6,716,274호; 및 제7,316,723호에 기술된다.
- [0125] **사용 방법**
- [0126] 일부 구현예에서, 본 개시내용의 필터 매체는 예를 들어, 유체 스트림을 포함하는 유체를 여과하기 위해 사용될 수 있다. 유체는 공기, 가스, 및 액체를 포함한다. 일부 구현예에서, 본 개시내용의 필터 매체는 유체 스트림으로부터 미립자를 제거하기 위해 사용될 수 있다.
- [0127] 일부 구현예에서, 본 개시내용의 필터 매체는 공기를 여과하기 위해 사용될 수 있다. 본 개시내용의 필터 매체가 공기를 여과하기 위해 사용될 때를 포함하는 일부 구현예에서, 필터 매체는 필터 요소에서 다른 층의 업스트림에 위치될 수 있다.
- [0128] 일부 구현예에서, 본 개시내용의 필터 매체는 가스를 여과하기 위해 사용될 수 있다. 가스상 스트림은 예를 들어, 공기 및/또는 산업용 폐가스를 포함할 수 있다. 예시적인 구현예에서, 본 개시내용의 필터 매체는 에어로졸로서, 그 안에 실질적인 양의 혼입 오일을 지니는 디젤 엔진의 크랭크케이스로부터 블로우바이 가스(blow-by gas)를 여과하기 위해 사용될 수 있다. 추가 예시적인 구현예에서, 본 개시내용의 필터 매체는 가스 터빈에서 사용될 수 있다.
- [0129] 일부 구현예에서, 본 개시내용의 필터 매체는 액체를 여과하기 위해 사용될 수 있다. 본 개시내용의 필터 매체가 액체를 여과하기 위해 사용될 때를 포함하는 일부 구현예에서, 필터 매체는 필터 요소에서 다른 층의 다운스트림에 위치될 수 있다. 예시적인 액체는 예를 들어, 수성 액체, 유압유, 오일, 연료, 윤활제 등을 포함할 수

있다. 수성 액체는 천연 및 인공 스트림, 예를 들어, 유출물, 냉각수, 공정수 등을 포함할 수 있다.

[0130] 일부 구현예에서, 본 개시내용의 필터 매체는 예를 들어, 유압 응용을 포함하는 유량이 변하는 적용에서 사용하기에 특히 매우 적합할 수 있다. 예를 들어, 순환 흐름 조건을 포함하는 유량 변화는, 유량 변화가 입자가 매체 개구를 통해 통과할 여러 기회를 갖게 하기 때문에 필터 매체 성능 및 특히, 필터 매체 효율에 대한 역효과를 갖는다.

[0131] 본 발명 당시에, 필터 매체 성능에 대한 다양한 유량의 효과는 통상적으로, 필터 매체의 효율을 증가시킴으로써 최소화되었지만, 필터 매체의 효율 증가는 또한, 압력 강하의 상응하는 증가, 즉, 필터 매체를 통해 유체를 강제 통과시키는 데 필요한 압력의 증가를 초래하였다. 이러한 압력 강하 증가는 필터가 (예를 들어, 바이패스 밸브를 통해) 바이패싱되게 하고, 에너지 소비를 증가시키고, 필터 수명을 단축시키는 더 많은 기회를 초래한다. 대조적으로, 본 개시내용의 필터 매체는 압력 강하를 손상시키지 않으면서 순환 흐름 조건 하에서 효율 증가를 달성할 수 있다.

[0132] 연속 미세 섬유층

[0133] 연속 미세 섬유층은 최대 10 마이크로미터(μm)의 직경을 갖는 연속 미세 섬유를 포함한다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 단일층을 포함한다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 다수의 연속 미세 섬유층을 포함한다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층이 다수의 층을 포함할 때, 다수의 층은 상이한 직경의 미세 섬유를 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층이 다수의 층을 포함할 때, 하나 이상의 층은 층 내에 상이한 직경을 갖는 연속 미세 섬유를 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층이 다수의 층을 포함할 때, 각 층은 상이한 직경의 연속 미세 섬유들의 상이한 조합을 포함할 수 있다.

[0134] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 표면 로딩층으로서 작용한다.

[0135] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 적어도 0.05 μm , 적어도 0.1 μm , 적어도 0.2 μm , 적어도 0.5 μm , 또는 적어도 1 μm 의 직경을 갖는 섬유를 포함할 수 있다.

[0136] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 최대 1.5 μm , 최대 2 μm , 최대 3 μm , 최대 4 μm , 최대 5 μm , 최대 6 μm , 최대 7 μm , 최대 8 μm , 최대 9 μm , 또는 최대 10 μm 의 직경을 갖는 섬유를 포함할 수 있다. 예를 들어, 예시적인 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 0.1 μm 내지 5 μm 의 범위, 0.5 μm 내지 5 μm 의 범위, 1 μm 내지 5 μm 의 범위, 또는 1 μm 내지 2 μm 의 범위의 직경을 갖는 섬유를 포함한다. 예를 들어, 연속 미세 섬유가 타원형 형상을 가질 때를 포함하는 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유는 바람직하게는, 1 μm 내지 5 μm 범위의 직경을 갖는 섬유를 포함할 수 있다. 예를 들어, 연속 미세 섬유가 상이한 직경의 섬유들의 혼합물을 포함하지 않을 때를 포함하는 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유는 0.2 μm 내지 1.5 μm 범위의 직경을 갖는 섬유를 포함할 수 있다.

[0137] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 타원형(원형을 포함함) 형상을 갖는 섬유를 포함할 수 있다. 예를 들어, 섬유는 적어도 2:1(예를 들어, 페투치니(fettucine)와 같음) 및 최대 1:1(예를 들어, 스파게티(spaghetti)와 같음)의 단면 주축(폭):단면 부축(높이)을 가질 수 있다.

[0138] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 바람직하게는, 1 μm 내지 5 μm 범위의 직경, 및 적어도 1.5:1 및 최대 1:1의 단면 주축(폭):단면 부축(높이)을 갖는 섬유를 포함할 수 있다.

[0139] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 적어도 10%, 적어도 11%, 적어도 12%, 적어도 13%, 적어도 14%, 적어도 15%, 적어도 20%, 또는 적어도 25%의 강도를 갖는다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 최대 15%, 최대 20%, 최대 25%, 최대 30%, 최대 35%, 또는 최대 40%의 강도를 갖는다. 예시적인 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 15% 내지 30% 범위의 강도를 갖는다.

[0140] 연속 미세 섬유층의 강도(c)는 하기 방정식을 이용하여 무차원 섬유 항력 파라미터, $F_{1.0}^*$ 으로부터 계산될 수 있다: $F_{1.0}^* = 4.3548e^{8.8822c}$. $F_{1.0}^*$ 은 실시예에 추가로 기술된, 변형된 Kirsch-Fuchs 방정식으로부터 계산될 수 있다.

[0141] 혼합된 직경 미세 섬유

[0142] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 상이한 직경의 섬유들의 혼합물을 포함할 수 있다.

[0143] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 2개의 상이한 직경의 섬유들을 포함할 수 있다. 연속 미세 섬유층이 2개의 상이한 직경의 섬유들을 포함할 때, "작은" 섬유 직경 미세 섬유의 평균 직경 대 "큰" 섬유 직경 미세 섬유

의 평균 직경의 비(작은 미세 섬유 직경:큰 미세 섬유 직경)는 적어도 1:3일 수 있다(즉, 큰 미세 섬유의 평균 섬유 직경은 작은 미세 섬유의 평균 섬유 직경의 3배임).

- [0144] 일부 구현예에서, "작은" 섬유 직경 섬유의 평균 직경 대 "큰" 섬유 직경 섬유의 평균 직경의 비(작은 섬유 직경:큰 섬유 직경)는 1:3 내지 1:6의 범위일 수 있다. 예를 들어, 예시적인 구현예에서, 연속 미세 섬유는 0.2 μm 내지 0.3 μm 범위의 평균 직경을 갖는 제1 미세 섬유, 및 0.9 μm 내지 1.1 μm 범위의 평균 직경을 갖는 제2 미세 섬유를 포함할 수 있다. 다른 예에서, 제1 미세 섬유의 평균 직경은 0.25 μm 일 수 있으며, 제2 미세 섬유의 평균 직경은 1 μm 일 수 있다. 또 다른 예에서, 제1 미세 섬유의 평균 직경은 0.25 μm 일 수 있으며, 제2 미세 섬유의 평균 직경은 1.4 μm 일 수 있다.
- [0145] 연속 미세 섬유층이 상이한 직경의 섬유들의 혼합물을 포함하는 구현예에서, 상이한 직경의 섬유들은 연속 미세 섬유층의 단일 계층 내에서 함께 혼합 또는 혼합방사될 수 있다.
- [0146] 연속 미세 섬유층이 상이한 직경의 섬유들의 혼합물을 포함하는 구현예에서, 상이한 직경의 섬유들은 연속 미세 섬유층에 상이한 계층을 형성할 수 있다. 상이한 직경의 섬유가 연속 미세 섬유층에서 상이한 계층을 형성할 때, 더 큰 섬유는 더 작은 섬유의 증착 전에 지지체 상에 증착되어, 연속 미세 섬유층 내에 구배(gradient)(예를 들어, 기공 크기 및 강도의 구배를 포함함)를 생성할 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 상이한 직경의 섬유가 연속 미세 섬유층에서 상이한 계층을 형성할 때, 더 큰 및 더 작은 섬유는 상이한 특징을 갖는 다수의 층을 형성하기 위해 증착될 수 있다. 이러한 구조의 예시적인 구현예는 도 2a 및 도 2h 내지 도 2m에 도시되어 있다. 상이한 직경의 섬유들의 혼합물을 포함하는 연속 미세 섬유층의 추가 예시적인 구현예는 이와 함께 동일한 날짜에 출원된 발명의 명칭이 FILTER MEDIA LAYERS INCLUDING MIXED DIAMETER FINE FIBERS인 공동 계류 출원 (Attorney Docket No. 0444.000110W001)에 제공되었다.
- [0147] 일부 구현예에서, "큰" 미세 섬유는 적어도 0.6 μm , 더욱 바람직하게는, 0.6 μm 초과와 평균 직경을 갖는다. 일부 구현예에서, "큰" 미세 섬유는 적어도 0.7 μm , 적어도 0.8 μm , 또는 적어도 0.9 μm 의 평균 직경을 갖는다. 일부 구현예에서, "큰" 미세 섬유는 바람직하게는, 적어도 1 μm 또는 1 μm 초과와 평균 직경을 갖는다. "큰" 미세 섬유는 최대 1.1 μm , 최대 1.2 μm , 최대 1.3 μm , 최대 1.4 μm , 최대 1.5 μm , 최대 2 μm , 최대 3 μm , 최대 4 μm , 최대 5 μm , 또는 최대 10 μm 의 평균 직경을 가질 수 있다. 지지층 상에 증착된 큰 미세 섬유를 포함하는 연속 미세 섬유층의 예시적인 이미지는 도 2b에 도시되어 있다.
- [0148] 연속 미세 섬유층이 "큰" 미세 섬유 및 "작은" 미세 섬유를 포함하는 구현예에서, 큰 미세 섬유는 작은 미세 섬유의 평균 섬유 직경의 적어도 3배의 평균 직경을 가질 수 있다. 이러한 구현예에서, 작은 미세 섬유는 최대 0.3 μm , 최대 0.4 μm , 최대 0.5 μm , 또는 최대 0.6 μm 의 평균 직경을 가질 수 있다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층의 작은 미세 섬유의 평균 섬유 직경은 적어도 0.2 μm 일 수 있다.
- [0149] 일부 구현예에서, 큰 미세 섬유는 작은 미세 섬유의 직경보다 적어도 0.2 μm , 적어도 0.3 μm , 또는 적어도 0.4 μm 보다 더 큰 직경을 가질 수 있다. 상기에 주지된 바와 같이, 큰 미세 섬유의 평균 섬유 직경이 작은 미세 섬유의 평균 섬유 직경의 3배일 때에도, 큰 미세 섬유 및 작은 미세 섬유 중 어느 하나 또는 둘 모두는 평균 직경을 제공하는 다양한 크기의 섬유를 포함할 수 있다. 큰 미세 섬유 및 작은 미세 섬유가 예를 들어, 크기 분포를 포함할 때, 가장 작은 직경의 큰 미세 섬유의 직경은 가장 큰 직경의 작은 미세 섬유의 직경보다 적어도 적어도 0.2 μm , 적어도 0.3 μm , 또는 적어도 0.4 μm 더 클 수 있다. 일부 이러한 구현예에서, 큰 미세 섬유 및 작은 미세 섬유는 바이모달 분포를 형성할 수 있다. 일부 구현예에서, 큰 미세 섬유는 작은 미세 섬유의 직경보다 최대 1 μm , 최대 2 μm , 또는 최대 3 μm 더 큰 직경을 가질 수 있다.
- [0150] 연속 미세 섬유층이 "큰" 미세 섬유 및 "작은" 미세 섬유를 포함하는 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 적어도 0.5% 및 최대 20% 큰 미세 섬유, 더욱 바람직하게는, 적어도 1% 및 최대 10% 큰 미세 섬유, 또는 더욱 더 바람직하게는, 적어도 5% 및 최대 7% 큰 미세 섬유를 포함할 수 있다. 예를 들어, 적어도 3% 및 최대 9% 큰 미세 섬유, 또는 적어도 4% 및 최대 8% 큰 미세 섬유를 포함하는 추가적인 범위가 또한 유용할 수 있다. 이론에 의해 얽매이고자 하는 것은 아니지만, 미세 섬유의 제2 층에서 큰 미세 섬유의 비율의 최적화가 작은 미세 섬유 구조를 방해하고 효율의 상응하는 손실을 초래하지 않으면서 작은 미세 섬유에 대한 지지체를 제공할 것으로 여겨진다.
- [0151] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 "큰" 미세 섬유 및 "작은" 미세 섬유를 포함할 수 있으며, 연속 미세 섬유층은 다수의 층을 포함할 수 있다. 예시적인 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 큰 미세 섬유를 포함하는 미세 섬유의 제1 층, 및 작은 미세 섬유를 포함하는 미세 섬유의 제2 층을 포함한다. 다른 예시적인 구현예에서, 연

속 미세 섬유층은 큰 미세 섬유를 포함하는 미세 섬유의 제1 층, 및 큰 미세 섬유 및 작은 미세 섬유를 포함하는 미세 섬유의 제2 층을 포함한다. 일부 구현예에서, 미세 섬유의 제1 층은 지지층 상에 증착될 수 있으며, 미세 섬유의 제2 층은 미세 섬유의 제1 층 상에 증착된다.

[0152] **연속 미세 섬유층의 특성**

[0153] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 바람직하게는, 좁은 분포의 기공 크기를 갖는다.

[0154] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 적어도 0.005 g/m², 적어도 0.01 g/m², 적어도 0.05 g/m², 적어도 0.1 g/m², 적어도 0.5 g/m², 적어도 1 g/m², 적어도 1.5 g/m², 적어도 2 g/m², 또는 적어도 2.5 g/m²의 평량을 갖는다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 최대 1.5 g/m², 최대 2 g/m², 최대 2.5 g/m², 최대 3 g/m², 최대 3.5 g/m², 최대 4 g/m², 최대 4.5 g/m², 최대 5 g/m², 최대 10 g/m², 최대 15 g/m², 최대 20 g/m², 최대 25 g/m², 최대 50 g/m²의 평량을 갖는다. 예시적인 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 적어도 0.1 g/m² 및 최대 20 g/m²의 평량을 갖는다. 다른 예시적인 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 적어도 0.1 g/m² 및 최대 1 g/m²의 평량을 갖는다. 추가 예시적인 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 평량 0.43 g/m²을 갖는다. 상이한 직경의 섬유가 층상화될 때, 연속 미세 섬유층의 평량은 가산적일 것이다.

[0155] 미세 섬유의 평량은 하기 방정식에 따라, 미세 섬유의 질량 및 스크립의 면적으로부터 계산될 수 있다: 미세 섬유층의 총 평량 = (미세 섬유의 질량)/(스크립의 면적). 미세 섬유의 질량은 하기 방정식에 따라 섬유를 제조하기 위해 사용되는 방사 조건 및 폴리머로부터 계산될 수 있다: 미세 섬유의 질량 = (용액 중 %w/v 폴리머) x (펌프 속도) x (방사 시간).

[0156] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 연속 미세 섬유층의 가장 큰 미세 섬유의 적어도 평균 직경의 두께이다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 적어도 0.2 μm, 적어도 0.3 μm, 적어도 0.4 μm, 적어도 0.5 μm, 적어도 0.6 μm, 적어도 0.7 μm, 적어도 0.8 μm, 적어도 0.9 μm, 또는 적어도 1 μm의 두께를 갖는다.

[0157] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 연속 미세 섬유층의 가장 큰 미세 섬유의 평균 직경을 갖는 수 개의 섬유의 두께인 두께를 갖는다. 예를 들어, 연속 미세 섬유층은 적어도 2 μm, 적어도 3 μm, 적어도 4 μm, 또는 적어도 5 μm의 두께를 가질 수 있다.

[0158] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 최대 5 μm, 최대 10 μm, 최대 30 μm, 또는 최대 50 μm의 두께를 갖는다.

[0159] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층의 총 두께는 주사 전자 현미경(SEM)을 이용하여 측정될 수 있다. 예를 들어, 적어도 연속 미세 섬유층 및 지지층을 포함하는 샘플은 (예를 들어, 액체 질소 중에서) 냉동되어 있는 동안 샘플을 단면화시킴으로써 SEM에 대해 제조될 수 있다. 미세 섬유층 전에 지지층이 절단되면서 샘플이 배향되는 동안 샘플을 단면화하는 것이 유용할 수 있다. 또한, 샘플이 액체 질소 중에 침지되어 있는 동안 샘플을 단면화하는 것이 유용할 수 있다. 사용될 수 있는 예시적인 배율은 1000x이다. SEM 이미지에서 미세 섬유 섹션의 윤곽을 잡고 다시 음영처리함으로써 샘플 두께의 결정을 돕기 위해 소프트웨어를 사용하는 것이 유용할 수 있다. 다시 음영화된 이미지는 이후에, 이미지에서 미세 섬유 섹션의 최대 두께를 결정하기 위해 사용될 수 있다. 일부 구현예에서, 미세 섬유층의 총 두께는 동일한 샘플의 5개의 별도의 이미지로부터 적어도 5개의 최대 두께를 평균처리함으로써 결정될 수 있다.

[0160] **연속 미세 섬유층의 섬유의 특성**

[0161] 연속 미세 섬유층은 미세 섬유를 포함한다. 이러한 미세 섬유는 섬유-형성 폴리머 물질을 포함한다. 일부 구현예에서, 미세 섬유는 섬유-형성 폴리머 물질만을 방사함으로써 제조될 수 있다. 일부 구현예에서, 미세 섬유는 다른 물질과 조합하여 섬유-형성 폴리머 물질을 방사함으로써 제조될 수 있다.

[0162] 다양한 다른 물질과 혼합 또는 블렌딩된 폴리머 물질을 고려하는 미세 섬유 기술은 미국특허 제6,743,273호(Chung *et al.*); 미국특허 제6,924,028호(Chung *et al.*); 미국특허 제6,955,775호(Chung *et al.*); 미국특허 제7,070,640호(Chung *et al.*); 미국특허 제7,090,715호(Chung *et al.*); 미국특허공개 제2003/0106294호(Chung *et al.*); 미국특허 제6,800,117호(Barris *et al.*); 및 미국특허 제6,673,136호(Gillingham *et al.*)에 개시된다. 추가적으로, 미국특허 제7,641,055호(Ferrer *et al.*)에서, 수불용성 고강도 폴리머 물질은 폴리설폰 폴리머를 폴리비닐 피롤리돈 폴리머와 혼합 또는 블렌딩하여 미세 섬유 물질을 전기방사하는 데 사용되는 단일상 폴리머 알로이(alloy)를 형성함으로써 제조된다.

[0163] 연속 미세 섬유는 임의의 적합한 폴리머로 제조된 섬유를 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 폴리아미드는 연속 미세 섬유의 폴리머 물질로서 유용할 수 있다. 폴리아미드 축합 폴리머의 하나의 유용한 부류는 나일론 물질이

다. 용어 "나일론"은 모든 장쇄 합성 폴리아미드에 대한 일반 용어이다. 통상적으로, 나일론 명칭은 나일론-6,6
 에서와 같이 일련의 숫자를 포함하는데, 이는 출발 물질이 C6 디아민 및 C6 이산임을 나타낸다(제1 자리수는 C6
 디아민을 나타내며, 제2 자리수는 C6 디카복실산 화합물을 나타냄). 다른 나일론은 소량의 물의 존재 하에서 ϵ -
 -카프로락탐의 중축합에 의해 제조될 수 있다. 이러한 반응은 선형 폴리아미드인 나일론-6(ϵ -아미노카프로산으
 로도 알려진, 환형 락탐으로부터 제조됨)을 형성한다. 또한, 나일론 코폴리머가 또한 고려된다. 예시적인 나일
 론 물질은 나일론-6, 나일론-6,6, 나일론-6,10, 이들의 혼합물 또는 코폴리머를 포함한다.

[0164] 코폴리머는 반응 혼합물에서 다양한 디아민 화합물, 다양한 이산 화합물 및 다양한 환형 락탐 구조물을 조합하
 고, 이후에 폴리아미드 구조에 무작위로 정위된 모노머 물질을 갖는 나일론을 형성함으로써 제조될 수 있다. 예
 를 들어, 나일론-6, 6-6, 10 물질은 헥사메틸렌 디아민 및 C₆ 및 C₁₀ 이산 블렌드로부터 제조된 나일론이다. 나
 일론-6-6,6-6,10은 ϵ -아미노카프로산, 헥사메틸렌 디아민, 및 C₆ 및 C₁₀ 이산 물질의 블렌드의 공중합에 의해
 제조된 나일론이다. 본원에서, 용어 "코폴리머"는 2개 이상의 상이한 모노머로부터 제조된 폴리머이고, 테르폴
 리머 등을 포함한다.

[0165] 일부 구현예에서, 폴리설펜은 연속 미세 섬유용 폴리머 물질로서 유용할 수 있다. 예시적인 폴리설펜은 폴리설펜
 폰(PS), 폴리에테르설펜(PES), 및 폴리페닐설펜(PPSF), 및 이들의 혼합물을 포함한다.

[0166] 일부 구현예에서, 셀룰로스 유도체를 포함하는 폴리머 물질은 연속 미세 섬유용 폴리머 물질로서 유용할 수 있
 다. 이러한 폴리머의 예는 에틸 셀룰로스, 하이드록실 에틸 셀룰로스, 셀룰로스 아세테이트(셀룰로스 디아세테
 이트(DAC) 및 셀룰로스 트리아세테이트(TAC)를 포함함), 셀룰로스 아세테이트 부티레이트, 셀룰로스 아세테이트
 프로피오네이트, 셀룰로스 아세테이트 프탈레이트, 및 이들의 혼합물을 포함한다.

[0167] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유용 폴리머 물질은 추가적으로 또는 대안적으로, 폴리프로필렌(PP), 폴리비닐피
 롤리돈(PVP), 폴리(4-비닐 피리딘)(P4VP), 폴리비닐리덴 플루오라이드(PVDF), 또는 폴리테트라플루오로에탄
 (PTFE, 테플론으로도 알려짐), 또는 이들의 혼합물을 포함할 수 있다.

[0168] 일부 구현예에서, 수지성 알데하이드로 가교된 폴리머는 예를 들어, 국제공개 WO 2013/043987 A1호에 기술된,
 연속 미세 섬유용 폴리머 물질로서 유용할 수 있다.

[0169] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 필터 매체(예를 들어, 지지층 또는 효율층 둘 모두를 포함함)에서 다른
 층 중 하나 이상의 강도보다 더 높은 강도를 갖는다. 높은 강도를 갖는 층이 통상적으로 압력 강하 증가를 야기
 시키지만, 이론에 의해 얇매이고자 하는 것은 아니지만, 매우 얇은 연속 미세 섬유층을 제공하면, 통상적으로
 관찰되는 상응하는 압력 강하 없이 효율 증가를 제공하는 데 도움이 되는 것으로 사료된다.

[0170] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 효율층의 평균 흐름 기공 크기와 유사한 평균 흐름 기공 크기를 갖는다.
 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 효율층의 기공 크기 분포보다 더 좁은 기공 크기 분포를 갖는다.

[0171] 일부 구현예에서, 미세 섬유는 국제특허공개 WO 2014/164130호에 추가로 기술된, 예를 들어, 섬유-형성 공정
 에서 또는 후처리 공정에서, 서로 반응할 수 있는 적어도 2개의 반응성 첨가제 및 섬유-형성 폴리머 물질을 조합
 함으로써 제조될 수 있다. 적어도 2개의 반응성 첨가제는 섬유-형성 폴리머와 선택적으로 반응성이다.

[0172] 일부 구현예에서, 미세 섬유는 섬유-형성 폴리머 물질 및 수지성 알데하이드 조성물, 예를 들어, 멜라민-포름알
 데하이드 수지를 조합함으로써 제조될 수 있다.

[0173] 일부 구현예에서, 수지성 알데하이드 조성물은 "폴리머-반응성 수지성 알데하이드 조성물"을 포함한다. "폴리머
 -반응성 수지성 알데하이드 조성물"은 미국특허 제9,587,328호에 추가로 기술된, 알콕시 기를 포함한다. 최종
 섬유에서, 폴리머-반응성 수지성 알데하이드 조성물의 적어도 일부분은 폴리머를 가교하는 데 관련될 것이고,
 선택적으로 자가-가교에 관련될 수 있다. 섬유-형성 폴리머 물질은 또한, 반응성 기를 포함한다. 이러한 맥락에
 서, "반응성"은 폴리머가 미세 섬유를 제조하는 데 사용되는 폴리머-반응성 수지성 알데하이드 조성물의 알콕시
 기에 의해 가교될 수 있는 하나 이상의 작용기(예를 들어, 활성 수소 기)를 포함함을 의미한다.

[0174] 일부 구현예에서, 수지성 알데하이드 조성물은 "폴리머-비-반응성 수지성 알데하이드 조성물"을 포함한다. 폴리
 머-비-반응성 수지성 알데하이드 조성물은 미국특허 제9,435,056호에 추가로 기술된 자가-가교를 위한 반응성
 기를 포함한다. 최종 섬유에서, 폴리머-비-반응성 수지성 알데하이드 조성물의 적어도 일부분은 자가-가교에 관
 여될 것이다.

[0175] 본원에서 사용되는 "수지" 또는 "수지성(resinous)"은 특히, 섬유 형성 동안 미세 섬유의 표면으로 이동할 수

있는 특성의 모노머, 올리고머, 및/또는 폴리머를 지칭한다. 본원에서, 용어 "수지성 알데하이드 조성물"은 출발 물질뿐만 아니라 최종 섬유에서의 물질을 지칭한다.

[0176] **연속 미세 섬유층을 형성하는 방법**

[0177] 다른 양태에서, 본 개시내용은 연속 미세 섬유층을 제조하는 방법을 기술한다.

[0178] 연속 미세 섬유층은 임의의 적합한 방법에 의해 형성될 수 있다. 예를 들어, 본 개시내용의 미세 섬유는 정전기 방사, 강제 방사, 습식 방사, 건식 방사, 용융 방사, 압출 방사, 직접 방사, 겔 방사, 해도법(islands-in-the-sea method)의 사용 등을 포함하는 다양한 기술을 이용하여 제조될 수 있다.

[0179] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층의 성분은 용액 또는 용융 형태로 조합될 수 있다. 특정 구현예에서, 미세 섬유는 용액 또는 분산물로부터 전기방사된다. 예를 들어, 폴리머 물질 및 수지성 알데하이드 조성물은 전기방사를 위해 적합한 적어도 하나의 일반 용매 또는 용매 블렌드에서 분산 가능하거나 용해 가능하다.

[0180] 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 지지층 상에 형성될 수 있다. 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 효율층 상에 형성될 수 있다.

[0181] 상이한 직경의 섬유가 연속 미세 섬유층에서 상이한 계층을 형성할 수 있는 일부 구현예에서, 더 큰 섬유는 더 작은 섬유의 증착 전에 지지체 상에 증착될 수 있다. 층의 수에 따라, 추가적으로 또는 대안적으로, 더 작은 섬유는 더 큰 섬유의 증착 전에 지지체 상에 증착될 수 있다.

[0182] 상이한 직경의 섬유가 연속 미세 섬유층에서 동일한 계층을 형성할 수 있는 일부 구현예에서, 섬유는 동시에 형성될 수 있다.

[0183] 미세 섬유는 예를 들어, 정전기 또는 용융 방사 형성 동안 지지층 상에 수집되고, 종종 섬유 제조 후에 열처리된다. 바람직하게는, 연속 미세 섬유층은 섬유층으로서 투과성 굵은 섬유상 매체 층의 제1 표면 상에 섬유층으로서 배치된다.

[0184] 적합한 폴리머 및 폴리머 농도는 연속 미세 섬유층에 대해 원하는 크기 및 다른 특성을 기반으로 당업자에 의해 선택될 수 있다. 예를 들어, 일부 구현예에서, 섬유는 바람직하게는, 필터에 사용되는 유체(예를 들어, 유압유, 연료, 윤활제)와 같이 사용될 수 있을 것이다. 섬유는 유체 또는 그 안의 임의의 다른 성분 및 첨가제와 반응하지 않고 (미세 섬유 구조가 유체와 단순한 접촉 시에 화학적으로 또는 물리적으로 손상되지 않도록) 유체 중에서 불용성인 경우 유체와 같이 사용 가능한 것으로 고려된다. 예시적인 구현예에서, 폴리머 용액은 실시예에 기술된 바와 같이, 용액 1을 포함한다. 예시적인 구현예에서, 폴리머 용액은 실시예에 기술된 바와 같이, 용액 2를 포함한다.

[0185] 일부 구현예에서, 상이한 직경의 미세 섬유가 혼합방사될 때, 섬유는 동시에 형성될 수 있다. 예를 들어, 2개(또는 그 이상)의 섬유가 전기방사에 의해 형성될 때, 섬유는 예를 들어, 2개(또는 그 이상)의 시린지의 사용에 의한 것을 포함하여, 동시에 공동-방사에 의해 형성될 수 있으며, 여기서, 각 시린지는 상이한 폴리머 용액을 포함한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 각 시린지는 상이한 시린지 펌프 공급 속도를 사용할 수 있다. 일부 구현예에서, 상이한 직경의 미세 섬유가 혼합방사될 때, 섬유는 각 폴리머 용액의 매우 짧은(예를 들어, 최대 10초, 최대 20초, 또는 최대 30초) 펄스를 사용하여 섬유의 형성을 교번함으로써 형성될 수 있다.

[0186] 일부 구현예에서, 상이한 직경의 섬유들이 층상일 때, 섬유는 섬유의 형성을 교번화함으로써 형성될 수 있다. 예를 들어, 2개(또는 그 이상)의 섬유가 전기방사에 의해 형성될 때, 섬유는 예를 들어, 2개(또는 그 이상)의 시린지를 사용하는 것을 포함하여 각 섬유를 교대로 방사시킴으로써 형성될 수 있으며, 여기서, 각 시린지는 상이한 폴리머 용액을 포함한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 각 시린지는 상이한 시린지 펌프 공급 속도를 사용할 수 있다. 일부 구현예에서, 상이한 직경의 섬유들이 층상일 때, 섬유는 적어도 30초의 각 폴리머 용액의 펄스를 이용하여 섬유의 교번 형성으로 형성될 수 있다.

[0187] 임의의 적합한 방법은 작은 미세 섬유 및 큰 미세 섬유의 층들의 조합을 형성하기 위해 사용될 수 있다. 층상 섬유 구조를 형성하기 위해 사용될 수 있는 예시적인 방법은 표 1의 세트 A5, 세트 B, 세트 D5, 세트 E, 세트 I5, 또는 세트 J의 방법들 중 하나 이상을 포함한다. 혼합방사 섬유 구조를 형성하기 위해 사용될 수 있는 예시적인 방법은 표 1의 세트 A6, 세트 D, 세트 D6, 세트 I, 또는 세트 L의 방법들 중 하나 이상을 포함한다. 일부 구현예에서, 층상 섬유 구조 및 혼합방사 섬유 구조 모두를 포함하는 층들의 조합이 형성될 수 있다. 이러한 구조를 형성하기 위한 예시적인 방법은 실시예에 기술된다.

- [0188] **효율층**
- [0189] 효율층은 부직포 필터 매체이다.
- [0190] 일부 구현예에서, 효율층은 바람직하게는, 깊이-로딩층으로서 작용한다.
- [0191] 예시적인 부직포 필터 매체는 웨트-레이드 수지-부재 매체, 웨트-레이드 수지-결합 유리 매체, 멜트블로운 매체, 웨트-레이드 셀룰로스 매체, 및 에어-레이드 유리 매체를 포함한다.
- [0192] 예시적인 웨트-레이드 수지-부재 매체는 10 마이크로미터 효율 등급을 갖는 Synteq XP™ 합성 액체 매체(Duramax P164378, Donaldson Company, Inc., Minneapolis, MN) 및 5 마이크로미터 효율 등급을 갖는 Synteq XP™ 합성 액체 매체(Duramax P165332, Donaldson Company, Inc., Minneapolis, MN)를 포함한다.
- [0193] 예시적인 웨트-레이드 수지-결합 유리 매체는 Lydall LyPore 패밀리, 예를 들어, LyPore XL Fluid Power 9104(Lydall, Inc., Manchester, CT)에서의 매체; Ahlstrom 마이크로유리 패밀리, 예를 들어, MFPS1301(Ahlstrom-Munksjo, Helsinki, Finland)에서의 매체; 및 H&V 수압 매체, 예를 들어, 등급 1313(Hollingsworth & Vose, East Walpole, MA)을 포함한다.
- [0194] 예시적인 멜트블로운 매체는 Lydall LyPore MB 패밀리, 예를 들어, LyPore MB9031(Lydall, Inc., Manchester, CT)에서의 매체; 및 H&V Meltblown 패밀리, 등급 PF23040(Hollingsworth & Vose, East Walpole, MA)에서의 매체를 포함한다.
- [0195] 예시적인 웨트레이드 셀룰로스 매체는 Ahlstrom 연료 매체 패밀리, 예를 들어, 등급 100P-68(Ahlstrom-Munksjo, Helsinki, Finland)에서의 매체; 및 H&V 연료 매체 패밀리, 예를 들어, 등급 FS6314(Hollingsworth & Vose, East Walpole, MA)에서의 매체를 포함한다.
- [0196] 예시적인 에어 레이드 매체는 Johns Manville로부터의 공기 여과 매체, 예를 들어, Evalith XLG-85(Johns Manville, Denver, CO)에서의 매체를 포함한다.
- [0197] 일부 구현예에서, 효율층은 바람직하게는, 습식-레이드 매체이다.
- [0198] 일부 구현예에서, 효율층은 2-성분 섬유 및 효율 섬유를 포함하며, 여기서, 효율 섬유는 2-성분 섬유보다 더 작은 직경을 갖는다. 일부 구현예에서, 효율층은 마이크로피브릴화된 셀룰로스를 추가로 포함할 수 있다.
- [0199] 일부 구현예에서, 효율층은 연속 미세 섬유층의 강도 미만의 강도를 갖는다.
- [0200] 일부 구현예에서, 효율층은 적어도 3%, 적어도 4%, 적어도 5%, 적어도 6%, 적어도 7%, 적어도 8%, 적어도 9%, 또는 적어도 10%의 강도를 갖는다. 일부 구현예에서, 효율층은 최대 8%, 최대 9%, 최대 10%, 최대 11%, 최대 12%, 최대 13%, 최대 14% 또는 최대 15%의 강도를 갖는다. 예시적인 구현예에서, 효율층은 7% 내지 12% 범위의 강도를 갖는다. 일부 구현예에서, 효율층의 강도는 하기 방정식을 이용하여 계산된다: $c = BW / \rho Z$, 여기서, BW는 평량이며, ρ 는 섬유의 밀도이며, Z는 매체의 두께이다. 효율층이 상이한 섬유를 포함하는 경우, 섬유의 질량 비율은 밀도(ρ)를 결정하기 위해 사용될 수 있다. 평량은 TAPPI T410 om-08에 따라 측정될 수 있다. 두께는 TAPPI T411 om-15에 따라 측정될 수 있다.
- [0201] 일부 구현예에서, 효율층은 적어도 0.05 mm, 적어도 0.1 mm, 적어도 0.2 mm, 또는 적어도 0.3 mm의 두께를 갖는다. 일부 구현예에서, 효율층은 최대 0.5 mm, 최대 1 mm, 최대 5 mm, 최대 10 mm, 최대 25 mm, 또는 최대 50 mm의 두께를 갖는다. 일부 구현예에서, 효율층은 0.2 mm 내지 50 mm 범위의 두께를 갖는다. 일부 구현예에서, 효율층은 0.2 mm 내지 1 mm 범위의 두께를 갖는다. 일부 구현예에서, 효율층은 0.2 mm 내지 0.5 mm 범위의 두께를 갖는다. 두께는 TAPPI T411 om-15에 따라 측정될 수 있다.
- [0202] 상기에 주지된 바와 같이, 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 효율층의 평균 흐름 기공 크기와 유사한 평균 흐름 기공 크기를 갖는다. 이론에 의해 얇매이고자 하는 것은 아니지만, 연속 미세 섬유층의 평균 흐름 기공 크기가 효율층의 평균 흐름 기공 크기보다 훨씬 더 작은 경우, 더 큰 비율의 입자는 연속 미세 섬유층에 의해 캡처되어 필터 수명을 감소시킬 것으로 여겨진다. 다른 한편, 연속 미세 섬유층의 평균 흐름 기공 크기가 효율층의 평균 흐름 기공 크기보다 훨씬 더 큰 경우에, 효율층은 높은 강도를 가져야 하며, 필터는 다시 낮은 용량으로 인해 감소된 수명을 가질 것이다.
- [0203] 평균 흐름 기공 크기가 필터 매체의 원하는 효율 및 여과되는 입자의 크기를 기초로 하여 선택될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

- [0204] 예시적인 구현예에서, 효율층은 적어도 1 μm , 적어도 5 μm , 적어도 10 μm , 적어도 15 μm , 또는 적어도 20 μm 의 평균 흐름 기공 크기를 갖는다. 예시적인 구현예에서, 효율층은 최대 5 μm , 최대 10 μm , 최대 15 μm , 최대 20 μm , 최대 25 μm , 최대 30 μm , 또는 최대 35 μm 의 평균 흐름 기공 크기를 갖는다. 특정의 예시적인 구현예에서, 효율층 섬유는 10 μm 내지 25 μm 의 평균 흐름 기공 크기 범위를 갖는다. 일부 구현예에서, 평균 흐름 기공 크기는 바람직하게는, 실시예에 기술된 바와 같이, 모세관 흐름 기공측정법을 이용하여 결정된 평균 중간 흐름 기공 크기이다.
- [0205] 일부 구현예에서, 효율층은 인접한 연속 미세 섬유층의 기공 크기의 분포보다 더 넓은 기공 크기의 분포를 갖는다.
- [0206] 상기에 주지된 바와 같이, 일부 구현예에서, 연속 미세 섬유층은 인접한 효율층의 기공 크기 분포보다 더 좁은 기공 크기 분포를 갖는다.
- [0207] 일부 구현예에서, 수지성 바인더 성분은 효율층을 위해 적절한 강도를 얻는 데 필수적인 것은 아니다. 일부 구현예에서, 수지성 바인더 성분은 효율층에 포함되지 않는다.
- [0208] **2-성분 섬유**
- [0209] 2-성분 섬유는 임의의 적합한 2-성분 섬유 및 2-성분 섬유들의 조합을 포함할 수 있다. 용어 "2-성분 섬유"는 융점을 갖는 적어도 하나의 열가소성 바인더 폴리머 부분 및 바인더 폴리머 부분과 상이한 및 더 높은 융점을 갖는 제2 열가소성 구조 폴리머 부분을 갖는 섬유를 의미한다. 이러한 섬유의 물리적 구성은 통상적으로 "사이드-바이-사이드(side-by-side)" 또는 "피복-코어" 구조이다. 사이드-바이-사이드 구조에서, 2개의 열가소성 폴리머 수지는 통상적으로 사이드-바이-사이드 구조의 연결 형태로 압출된다. 더 낮은 용융 폴리머는 바인더로서 작용하며, 더 높은 용융 폴리머는 구조 물질로서 작용한다. 피복-코어 구조에서, 코어는 더 높은 구조적 섬유 융점을 함유하며, 피복은 더 낮은 결합층 융점을 함유한다. 일부 구현예에서, 2-성분 섬유는 바람직하게는, 피복-코어 구조를 갖는다.
- [0210] 2-성분 섬유의 낮은 융점 폴리머는 열 성형 공정 동안, 섬유가 낮은 융점 폴리머가 융합되고 섬유를 온전한 웹에 결합시킬 수 있는 온도까지 가열되는 융점을 가질 수 있다. 통상적으로, 2-성분 섬유의 높은 융점 폴리머는 웹에 구조적 보존성을 제공하고 열적 결합 온도에서 또는 사용 온도에서 용융되지 않는 물질이다.
- [0211] 예를 들어, 일 구현예에서, 2-성분 섬유는 적어도 100 $^{\circ}\text{C}$, 적어도 120 $^{\circ}\text{C}$, 또는 적어도 140 $^{\circ}\text{C}$ 의 융점을 갖는 낮은 융점 폴리머를 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 낮은 융점 폴리머는 140 $^{\circ}\text{C}$ 내지 160 $^{\circ}\text{C}$ 범위의 융점을 갖는다. 2-성분 섬유는 적어도 235 $^{\circ}\text{C}$ 또는 적어도 240 $^{\circ}\text{C}$ 의 융점을 갖는 높은 융점 폴리머를 추가로 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 낮은 융점 폴리머는 240 $^{\circ}\text{C}$ 내지 260 $^{\circ}\text{C}$ 범위의 융점을 갖는다.
- [0212] 다른 구현예에서, 2-성분 섬유는 적어도 50 $^{\circ}\text{C}$, 적어도 60 $^{\circ}\text{C}$, 또는 적어도 70 $^{\circ}\text{C}$ 의 융점을 갖는 낮은 융점 폴리머를 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 낮은 융점 폴리머는 70 $^{\circ}\text{C}$ 내지 115 $^{\circ}\text{C}$ 범위의 융점을 갖는다. 2-성분 섬유는 적어도 200 $^{\circ}\text{C}$, 적어도 220 $^{\circ}\text{C}$ 또는 적어도 240 $^{\circ}\text{C}$ 의 융점을 갖는 높은 융점 폴리머를 추가로 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 높은 융점 폴리머는 240 $^{\circ}\text{C}$ 내지 260 $^{\circ}\text{C}$ 범위의 융점을 갖는다.
- [0213] 이론에 의해 얹매이고자 하는 것은 아니지만, 2-성분 섬유의 비교적 저융점 중량 폴리머가 시트, 매체, 또는 필터 성형 조건 하에서 용융하여 2-성분 섬유, 및 시트, 매체, 또는 필터 제조 물질에 존재하는 다른 섬유가 기계적으로 안정한 시트, 매체, 또는 필터에 결합하는 반면에, 2-성분 섬유의 비교적 높은 용융 폴리머는 용융되지 않고, 결과적으로 웹 내의 다른 섬유들을 떨어뜨려 유지하기 때문에, 비교적 높은 용융 폴리머는 열 성형 공정 동안 효율층의 저장도 구조를 유지하는 데 도움이 되는 것으로 여겨진다.
- [0214] 일부 구현예에서, 효율층은 제1의 2-성분 섬유 및 선택적 제2의 2-성분 섬유를 포함할 수 있다. 제1의 2-성분 섬유와 상이한 특징을 갖는 제2의 2-성분 섬유는 섬유를 시트, 층 및/또는 필터 매체로 용이하게 성형하는 것을 개선시킬 수 있다.
- [0215] 예를 들어, 제1의 2-성분 섬유는 적어도 100 $^{\circ}\text{C}$, 적어도 120 $^{\circ}\text{C}$, 또는 적어도 140 $^{\circ}\text{C}$ 의 융점을 갖는 낮은 융점 폴리머를 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 낮은 융점 폴리머는 140 $^{\circ}\text{C}$ 내지 160 $^{\circ}\text{C}$ 범위의 융점을 갖는다. 제1의 2-성분 섬유는 적어도 235 $^{\circ}\text{C}$ 또는 적어도 240 $^{\circ}\text{C}$ 의 융점을 갖는 높은 융점 폴리머를 추가로 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 낮은 융점 폴리머는 240 $^{\circ}\text{C}$ 내지 260 $^{\circ}\text{C}$ 범위의 융점을 갖는다. 제2의 2-성분 섬유는 적어도 50 $^{\circ}\text{C}$, 적어도 60 $^{\circ}\text{C}$, 또는 적어도 70 $^{\circ}\text{C}$ 의 융점을 갖는 낮은 융점 폴리머를 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 낮은 융점 폴리머는 70 $^{\circ}\text{C}$ 내지 115 $^{\circ}\text{C}$ 범위의 융점을 갖는다. 제2의 2-성분 섬유는 적어도 200 $^{\circ}\text{C}$, 적어도 220 $^{\circ}\text{C}$ 또

는 적어도 240℃의 용점을 갖는 높은 용점 폴리머를 추가로 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 높은 용점 폴리머는 240℃ 내지 260℃ 범위의 용점을 갖는다.

[0216] 2-성분 섬유는 통상적으로, 5 μm 내지 50 μm 범위, 종종 10 μm 내지 20 μm 범위의 섬유 직경을 갖는다. 2-성분 섬유는 통상적으로, 0.1 밀리미터(mm) 내지 20 mm 범위의 길이를 가지고, 종종, 약 0.2 mm 내지 약 15 mm의 길이를 갖는다.

[0217] 2-성분 섬유는 예를 들어, 폴리올레핀(예를 들어, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 등); 폴리에스테르(예를 들어, 폴리에틸렌 테레프탈레이트, PET, 폴리-부틸렌 테레프탈레이트, PBT 등); 나일론(예를 들어, 나일론 6, 나일론 6,6, 나일론 6,12 등)을 다양한 열가소성 물질을 포함하는 임의의 적합한 물질로부터 제조될 수 있다. 적절한 용점을 가질 수 있는 임의의 열가소성 수지는 2-성분 섬유에서 사용될 수 있는 반면, 더 높은 용융 폴리머는 섬유의 더 높은 용융 부분에서 사용될 수 있다. 2-성분 섬유는 예를 들어, PET/PET 또는 나일론 6/PET를 갖는 나일론 6,6 구조/상이한 용점의 성분 또는 나일론을 가질 수 있다.

[0218] 예시적인 2-성분 섬유는 폴리올레핀/폴리에스테르(피복/코어) 2-성분 섬유를 포함할 수 있으며, 이에 의해, 폴리올레핀, 예를 들어, 폴리에틸렌 피복은 코어, 예를 들어, 폴리에스테르 또는 폴리에스테르/폴리에스테르 또는 나일론/나일론 물질보다 낮은 온도에서 용융한다. 통상적인 열가소성 폴리머는 폴리올레핀, 예를 들어, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리부틸렌, 및 이들의 코폴리머; 폴리테트라플루오로에틸렌; 폴리에스테르, 예를 들어, 폴리에틸렌 테레프탈레이트; 비닐 아세테이트, 예를 들어, 폴리비닐 아세테이트, 폴리비닐 클로라이드 아세테이트; 폴리비닐 부티랄; 아크릴 수지, 예를 들어, 폴리아크릴레이트, 및 폴리 메틸 아크릴레이트, 폴리 메틸 메타크릴레이트; 폴리아미드, 예를 들어, 나일론; 폴리비닐 클로라이드, 폴리비닐리덴 클로라이드; 폴리스티렌; 폴리비닐 알코올; 폴리우레탄; 셀룰로스 수지, 예를 들어, 셀룰로스 니트레이트, 셀룰로스 아세테이트, 셀룰로스 아세테이트 부티레이트, 에틸 셀룰로스 등; 임의의 상기 물질의 코폴리머, 예를 들어, 에틸렌-비닐 아세테이트 코폴리머, 에틸렌-아크릴산 코폴리머, 스티렌-부타디엔 블록 코폴리머, Kraton 고무 등을 포함한다.

[0219] 효율 섬유

[0220] 효율 섬유는 임의의 적합한 물질로 제조될 수 있다. 예를 들어, 효율 섬유는 유리, 금속, 실리카, 폴리머 섬유, 또는 다른 관련된 섬유, 또는 이들의 혼합물을 포함할 수 있다. 효율 섬유는 통상적으로, 일성분 섬유이다(즉, 개개 섬유는 통상적으로, 단일 조성물로 제조됨). 효율 섬유는 0.1 μm 내지 50 μm 범위, 또는 더욱 바람직하게는 0.1 μm 내지 10 μm 범위의 직경을 가질 수 있다.

[0221] 일부 구현예에서, 효율 섬유는 유리 섬유를 포함한다.

[0222] 일부 구현예에서, 효율 섬유는 유리 이외의 물질의 짧은 절단 미세 섬유를 포함한다. 일부 구현예에서, 효율 섬유는 바람직하게는, 유리 섬유를 포함하지 않는다.

[0223] 짧은 절단 미세 섬유는 예를 들어, 친수성, 소수성, 친유성, 또는 소유성 섬유를 포함할 수 있다.

[0224] 짧은 절단 미세 섬유는 천연 발생 면, 리넨, 울, 다양한 셀룰로스 및 단백질 함유 천연 섬유, 또는 예를 들어, 레이온, 아크릴, 아라미드, 나일론, 폴리올레핀, 폴리에스테르 섬유를 포함하는 합성 섬유를 포함하는 다양한 물질 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0225] 마이크로피브릴화된 셀룰로스

[0226] 일부 구현예에서, 효율층은 마이크로피브릴화된 셀룰로스를 포함할 수 있다. 예를 들어, 효율 섬유가 짧은 절단 미세 섬유일 때, 효율층은 마이크로피브릴화된 셀룰로스를 포함할 수 있다. 짧은 절단 미세 섬유가 합성 샘플 섬유를 포함할 때를 포함하는 일부 구현예에서, 효율층은 마이크로피브릴화된 셀룰로스를 포함할 수 있다.

[0227] 본원에서 마이크로피브릴화된 셀룰로스(MFC)는 문헌[G. Chinga-Carrasco in Nanoscale Research Letters, 2011, 6:417: "MFC 물질은 (1) 나노피브릴, (2) 피브릴 미세물(fibrillar fine), (3) 섬유 단편, 및 (4) 섬유를 포함할 수 있다. 이는 MFC가 반드시 마이크로피브릴, 나노피브릴 또는 임의의 다른 셀룰로스 나노-구조와 동의어가 아님을 시사한다. 그러나, 적절히 생성된 MFC 물질은 주요 성분으로서, 나노-구조, 즉, 나노피브릴을 함유한다"]에서 규정된 그러한 물질을 지칭한다. 이러한 성분의 직경(또는 마이크로피브릴화된 셀룰로스 섬유의 경우, "측면 치수")은 그러한 동일한 문헌의 표 1에서 재현되고, 하기와 같다: (1) 나노피브릴(0.1 μm 미만); (2) 피브릴 미세물(1 μm 미만); (3) 섬유 또는 섬유 단편(10 μm 내지 50 μm).

[0228] 또한, 본원에서 사용되는 용어 "마이크로피브릴화된 셀룰로스"는 건식 미분된 셀룰로스(미분화된 셀룰로스 또는

초미세 셀룰로스로도 지칭됨)를 포함하지 않고, 미국특허 제5,554,287호에 기술된 바와 같이, 산 가수분해에 의해 비정질 부분을 제거함으로써 얻어진 미정질 셀룰로스를 포함하지 않는다.

- [0229] 특정 구현예에서, 사용되는 마이크로피브릴화된 셀룰로스 섬유는 "트리 구조(tree structure)"(미국특허공개 제 2012/0043038호에 기술됨)를 가지지 않으며, 여기서, 기술된 피브릴화 공정은 섬유 표면의 외부 및 내부 세그먼트가 주요 섬유 구조로부터 부분적으로 탈착되게 하고, 주요 섬유 구조에 하나의 세그먼트에 의해 부착된 피브릴이 된다. 이러한 피브릴은 예를 들어, 페이퍼 구조에서 다른 섬유에 부착하기 위해 섬유 상에 더 많은 구조를 제공한다. 특정 구현예에 대하여, 이는 바람직하지 않다.
- [0230] 통상적으로, 본 개시내용의 여과 매체를 위한 유용한 마이크로피브릴화된 셀룰로스 섬유는 최대 4 μm 의 측면 치수(예를 들어, 2차원에서 폭)를 갖는다. 통상적으로, 유용한 마이크로피브릴화된 셀룰로스 섬유는 적어도 700 나노미터(nm)의 측면 치수를 갖는다.
- [0231] 특정 구현예에서, 대부분(즉, 50% 초과)의 마이크로피브릴화된 셀룰로스 섬유는 최대 4 마이크론의 측면 치수를 갖는다. 특정 구현예에서, 대부분(즉, 50 퍼센트 초과)의 마이크로피브릴화된 셀룰로스 섬유는 700 nm 내지 4 마이크론의 측면 치수를 갖는다.
- [0232] **지지층**
- [0233] 필터 매체의 지지층(본원에서 기관으로도 지칭됨)은 연속 미세 섬유층의 제조 동안 또는 연속 미세 섬유층의 사용 동안, 또는 둘 모두에서 연속 미세 섬유층을 위한 지지체를 제공하기에 적합한 임의의 물질을 포함할 수 있다. 지지층은 임의의 적합한 다공성 물질을 포함하거나 이로 제조될 수 있다.
- [0234] 통상적으로, 섬유성 물질은 지지층을 위해 사용될 것이다. 지지층의 섬유는 천연 섬유 및/또는 합성 섬유로 제조될 수 있다. 적합한 섬유는 셀룰로스 섬유, 유리 섬유, 금속 섬유, 또는 합성 폴리머 섬유, 또는 이들의 조합 또는 혼합물을 포함할 수 있다.
- [0235] 특정 구현예에서, 지지층은 적어도 5 마이크론, 또는 적어도 10 마이크론의 평균 직경을 갖는 섬유를 포함한다. 일부 구현예에서, 지지층은 최대 250 마이크론의 평균 직경을 갖는 섬유를 포함할 수 있다.
- [0236] 일부 구현예에서, 지지층은 적어도 0.005 인치(125 마이크론) 두께, 및 종종 적어도 0.01 인치(250 마이크론) 두께이다. 일부 구현예에서, 지지층은 최대 0.03 인치(750 마이크론) 두께이다.
- [0237] 일부 구현예에서, 지지층은 적어도 8 g/m^2 , 적어도 10 g/m^2 , 적어도 15 g/m^2 , 또는 적어도 20 g/m^2 의 평량을 갖는다. 일부 구현예에서, 지지층은 최대 70 g/m^2 , 최대 100 g/m^2 , 또는 최대 150 g/m^2 의 평량을 갖는다. 예시적인 구현예에서, 지지층은 8 g/m^2 내지 150 g/m^2 범위의 평량을 갖는다. 다른 예시적인 구현예에서, 지지층은 15 g/m^2 내지 100 g/m^2 범위의 평량을 갖는다. 평량은 TAPPI T410 om-08에 따라 측정될 수 있다.
- [0238] 일부 구현예에서, 지지층은 적어도 5%, 적어도 10%, 적어도 20%, 적어도 25%, 적어도 30%, 또는 적어도 40%의 강도를 갖는다. 일부 구현예에서, 지지층은 최대 10%, 최대 20%, 최대 25%, 최대 30%, 최대 40%, 또는 최대 50%의 강도를 갖는다. 예시적인 구현예에서, 지지층은 10% 내지 40% 범위의 강도를 갖는다. 다른 예시적인 구현예에서, 지지층은 20% 내지 30% 범위의 강도를 갖는다. 일부 구현예에서, 지지층의 강도는 하기 방정식을 이용하여 계산된다: $c = BW/\rho Z$, 여기서, BW는 평량이며, ρ 는 섬유의 밀도이며, Z는 매체의 두께이다. 효율층이 상이한 섬유를 포함하는 경우에, 섬유의 질량 비율은 밀도(ρ)를 결정하기 위해 사용될 수 있다. 평량은 TAPPI T410 om-08에 따라 측정될 수 있다. 두께는 TAPPI T411 om-15에 따라 측정될 수 있다.
- [0239] 일부 구현예에서, 지지층은 적어도 5 μm , 적어도 10 μm , 적어도 15 μm , 적어도 20 μm , 또는 적어도 25 μm 의 평균 흐름 기공 크기를 갖는다. 일부 구현예에서, 지지층은 최대 10 μm , 최대 15 μm , 최대 20 μm , 최대 25 μm , 최대 30 μm , 최대 35 μm , 최대 40 μm , 최대 50 μm , 최대 60 μm , 최대 70 μm , 최대 80 μm , 또는 최대 90 μm 의 평균 흐름 기공 크기를 갖는다. 예시적인 구현예에서, 지지층은 10 μm 내지 25 μm 범위의 평균 흐름 기공 크기를 갖는다. 일부 구현예에서, 평균 흐름 기공 크기는 바람직하게는, 모세관 흐름 기공측정법을 이용하여 결정된 평균 흐름 기공 크기이다.
- [0240] 일부 구현예에서, 지지층은 최대 10 μm , 최대 15 μm , 최대 20 μm , 최대 25 μm , 최대 30 μm , 최대 35 μm , 최대 40 μm , 최대 50 μm , 최대 60 μm , 최대 70 μm , 최대 80 μm , 최대 90 μm , 최대 100 μm , 또는 최대 150 μm 의 최대 기공 크기를 갖는다. 예시적인 구현예에서, 지지층은 최대 90 μm 의 최대 기공 크기를 갖는다.
- [0241] 일부 구현예에서, 지지층(예를 들어, 나일론 스크립)의 최대 기공 크기는 모세관 흐름 기공측정법에 따라 결정

될 수 있다.

- [0242] 일부 구현예에서, 지지층은 바람직하게는, 일관된 매체 구조를 포함하며, 즉, 매체의 특징(예를 들어, 기공 크기, 강도, 평량, 또는 두께, 또는 그러한 특징들의 조합, 또는 매체의 이러한 특징들 각각을 포함함)은 매체의 길이 및 폭을 가로질러 일관성이 있다. 예를 들어, 예시적인 구현예에서, 평균 흐름 기공 크기의 편차는 매체의 길이 및 폭에 걸쳐 30%, 더욱 바람직하게는, 25%, 및 더욱 더 바람직하게는, 15%를 넘지 않을 수 있다.
- [0243] 이론에 의해 얽매이고자 하는 것은 아니지만, 연속 미세 섬유층의 미세 섬유의 섬유 직경, 연속 미세 섬유층 또는 층들의 두께, 및 지지층의 최대 기공 크기 간의 상호작용이 구조적으로 건조하고 효율적인 매체를 달성하는데 중요한 것으로 여겨진다. 예를 들어, 지지층의 최대 기공 크기가 특정 크기(예를 들어, 90 μm)를 초과하는 경우, 미세 섬유 직경이 특정 크기 미만인 경우, 및/또는 미세 섬유 두께가 작은 경우 연속 미세 섬유층이 충분히 높은 압력 강하에서 여과 동안 구조적으로 손상되지 않기 때문에, 높은 평량(예를 들어, 60 g/m^2 초과)의 지지층의 사용만으로는 구조적으로 건전한 매체를 초래하지 못한다. 예를 들어, 88 μm 의 최대 기공 크기를 갖는 지지층 상의 연속 미세 섬유층을 위해 더 작은 미세 섬유(예를 들어, 최대 500 nm의 평균 직경을 가짐)가 사용되었을 때, 연속 미세 섬유층의 평량의 증가는 매체를 통해 유체를 이동시키기 위해 지속 불가능한 높은 압력을 필요로 하는 것으로 밝혀졌으며, 반대로, 연속 미세 섬유층의 평량의 감소는 여과 동안 층이 구조적으로 손상되게 한다. 88 μm 의 최대 기공 크기를 갖는 지지층 상에 증착된 연속 미세 섬유층에서 섬유의 적어도 하나의 섬유 크기를 (예를 들어, 적어도 600 nm, 더욱 바람직하게는, 적어도 900 nm의 평균 직경까지) 증가시켜 매체의 효율을 감소시켰지만, 섬유 크기의 증가는 또한, 압력 강하를 감소시켰고, 사용 동안 구조적으로 손상되지 않은 구조적으로 건전한 매체를 초래하였다.
- [0244] 지지층은 임의의 적합한 물질로 형성될 수 있다. 지지층을 위한 적합한 물질의 예는 스펀본드, 웨트레이드, 카디드, 또는 펄트-블로운 부직포 물질, 또는 예를 들어, 스펀본드-펄트블로운-스펀본드를 포함하는 이의 조합을 포함한다. 섬유는 직조물 또는 부직포의 형태일 수 있다. 합성 부직포의 예는 폴리에스테르 부직포, 나일론 부직포, 폴리올레핀(예를 들어, 폴리프로필렌) 부직포, 폴리카보네이트 부직포, 또는 이의 블렌딩된 또는 다성분 부직포를 포함한다. 시트-유사 지지층(예를 들어, 셀룰로스, 합성, 및/또는 유리 또는 조합 웹)은 필터 지지층의 통상적인 예이다. 적합한 지지층의 다른 예는 스펀본드에서 폴리에스테르 또는 2성분 폴리에스테르 섬유 또는 폴리프로필렌/폴리에틸렌 테레프탈레이트, 또는 폴리에틸렌/폴리에틸렌 테레프탈레이트 2성분 섬유를 포함한다.
- [0245] 일부 구현예에서, 지지층은 바람직하게는, 폴리머 섬유를 포함할 수 있다. 폴리머 섬유의 폴리머 또는 폴리머들은 연속 미세 섬유층의 폴리머에 대한 이의 접착을 위해 선택될 수 있다. 일부 구현예에서, 폴리머 섬유는 나일론 섬유 또는 폴리에스테르 섬유를 포함할 수 있다. 예를 들어, 연속 미세 섬유층이 나일론 미세 섬유를 포함하는 경우, 지지층은 바람직하게는, 나일론을 포함할 수 있다.
- [0246] 일부 구현예에서, 지지층은 바람직하게는, 스펀본드 섬유를 포함할 수 있다. 스펀본드 지지층은 기공 크기의 큰 변화를 나타내지만, 반면에 저가이고 견고한 층이며, 이는 이를 필터 매체에서 지지층으로서 사용하기에 특히 적합하게 할 수 있다.
- [0247] 일부 구현예에서, 지지층은 높은 투과성, 높은 인장 강도, 및 작은 균일한 기공 크기를 나타내는 얇은 매체(예를 들어, 0.5 mm 미만)이다.
- [0248] 예시적인 구현예에서, 지지층은 CEREX 23200(Cerex Advanced Fabrics, Inc., Cantomont, FL)을 포함한다. CEREX 23200은 나일론 6,6을 포함하고, 8.4 mil(0.21 mm)의 두께, 67.8 g/m^2 의 평량, 28%의 강도, 및 615.1의 강도 당 투과성을 갖는다.
- [0249] 실시예에 기술된 바와 같이, 모세관 흐름 기공측정법을 이용하여, CEREX 23200은 66.4 $\mu\text{m} \pm 21.9 \mu\text{m}$ 의 평균 최대 기공 크기, 51.4 $\mu\text{m} \pm 12.1 \mu\text{m}$ 의 평균 흐름 기공 크기, 및 29.1 $\mu\text{m} \pm 9.7 \mu\text{m}$ 의 평균 최소 기공 크기를 갖는 것으로 확인되었다.
- [0250] 본 발명은 청구항에서 규정된다. 그러나, 하기에는 비제한적인 예시적인 양태의 비-배타적인 목록이 제공된다. 이러한 양태의 특징들 중 임의의 하나 이상은 본원에 기술된 다른 예, 구현예, 또는 양태의 임의의 하나 이상의 특징과 조합될 수 있다.
- [0251] **예시적인 양태**
- [0252] 양태 1은 지지층; 최대 50 μm 의 두께를 갖는 연속 미세 섬유층; 및 효율층을 포함하는 필터 매체이며, 여기서,

지지층 및 연속 미세 섬유층을 포함하는 복합체는 최대 1.8, 최대 1.9, 또는 최대 2의 P95/P50 비율을 가지며, 효율층은 적어도 1.8, 적어도 1.9, 또는 적어도 2의 P95/P50 비율을 가지며; 복합체의 P95의 값은 효율층의 P5 및 P50의 값에 의해 제공된 범위 내에 속한다.

- [0253] 양태 2는 복합체가 1보다 큰 P95/P50 비율을 갖는, 양태 1의 필터 매체이다.
- [0254] 양태 3은 효율층이 최대 10, 최대 15, 또는 최대 20의 P95/P50 비율을 갖는, 양태 1 또는 2의 필터 매체이다.
- [0255] 양태 4는 연속 미세 섬유층이 적어도 2 μm 의 두께를 갖는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0256] 양태 5는 연속 미세 섬유층의 두께가 주사 전자 현미경(SEM)에 의해 측정되는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0257] 양태 6은 연속 미세 섬유층이 효율층과 지지층 사이에 위치되어 있는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0258] 양태 7은 효율층이 필터 매체의 업스트림 측면 상에 위치되어 있는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0259] 양태 8은 필터 매체가 제2 효율층을 추가로 포함하는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0260] 양태 9는 제2 효율층이 효율층에 인접하여 및 이의 업스트림에 위치되어 있는, 양태 8의 필터 매체이다.
- [0261] 양태 10은 효율층이 웨트-레이드 수지-부재 매체, 웨트-레이드 수지-결합 유리 매체, 멜트블로운 매체, 웨트-레이드 셀룰로스 매체, 또는 에어-레이드 유리 매체를 포함하는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0262] 양태 11은 효율층이 웨트-레이드 매체를 포함하는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0263] 양태 12는 효율층이 2-성분 섬유 및 효율 섬유를 포함하며, 효율 섬유는 2-성분 섬유보다 더 작은 직경을 갖는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0264] 양태 13은 효율 섬유가 유리 섬유를 포함하는, 양태 12의 필터 매체이다.
- [0265] 양태 14는 효율 섬유가 짧은 절단 미세 섬유를 포함하는, 양태 12 또는 13의 필터 매체이다.
- [0266] 양태 15는 효율층이 마이크로피브릴화된 셀룰로스 섬유를 포함하는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0267] 양태 16은 연속 미세 섬유층이 최대 10 마이크로미터(μm)의 직경을 갖는 섬유를 포함하는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0268] 양태 17은 연속 미세 섬유층이 적어도 1 마이크로미터(μm)의 직경을 갖는 섬유를 포함하는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0269] 양태 18은 연속 미세 섬유층이 타원형 형상을 갖는 섬유를 포함하는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0270] 양태 19는 연속 미세 섬유층이 상이한 직경의 섬유들의 혼합물을 포함하는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0271] 양태 20은 상이한 직경의 섬유들이 연속 미세 섬유층의 단일 계층 내에서 혼합된, 양태 19의 필터 매체이다.
- [0272] 양태 21은 상이한 직경의 섬유들이 연속 미세 섬유층에서 상이한 계층을 형성하는, 양태 19 또는 20의 필터 매체이다.
- [0273] 양태 22는 상이한 직경의 섬유가 큰 미세 섬유 및 작은 미세 섬유를 포함하며, 큰 미세 섬유는 작은 미세 섬유의 평균 섬유 직경의 적어도 3배의 평균 직경을 갖는, 양태 19 내지 21 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0274] 양태 23은 연속 미세 섬유층이 큰 미세 섬유를 포함하는 미세 섬유의 제1 층, 및 작은 미세 섬유를 포함하는 미세 섬유의 제2 층을 포함하는, 양태 22의 필터 매체이다.
- [0275] 양태 24는 큰 미세 섬유가 적어도 1 μm 의 평균 직경을 갖는, 양태 22 또는 23의 필터 매체이다.
- [0276] 양태 25는 큰 미세 섬유가 작은 미세 섬유의 직경보다 적어도 0.2 μm , 적어도 0.3 μm , 또는 적어도 0.4 μm 더

큰 직경을 갖는, 양태 22 내지 24 중 어느 하나의 필터 매체이다.

- [0277] 양태 26은 연속 미세 섬유가 폴리아미드를 포함하는, 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0278] 양태 27은 지지층이 스펀본드층을 포함하는 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0279] 양태 28은 총합 $\beta_{10 \mu m}$ 가 순환 흐름 조건 하에서 적어도 5, 적어도 7, 또는 적어도 10인 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체이다.
- [0280] 양태 29는 순환 흐름 조건이 플랫폼 시트 성능을 시험할 때를 제외하고 ISO/CD 23369 Edition 1을 이용하여 평가되며, 시험이 단일패스 모드에서 실행되며, 시험은 25℃에서 실행되며; 매체를 통한 유속은 10초 사이클에서 5 mm/초 내지 1.25 mm/초 사이에서 사이클링되며; ISO 12103-1, Medium Test Dust는 10 mg/L의 업스트림 입자 농도를 제공하며; 연속 입자 농도 측정은 6초마다 수집되며; 유체 전도도는 1000 피코지멘스/미터(pS/m) 내지 1500 pS/m 범위까지 제어되는, 양태 28의 필터 매체이다.
- [0281] 양태 30은 이전 양태들 중 어느 하나의 필터 매체를 포함하는 필터 요소이다.
- [0282] 양태 31은 와이어 지지체가 지지층의 다운스트림에 위치되어 있는, 양태 30의 필터 요소이다.
- [0283] 양태 32는 유체를 여과하기 위해 양태 1 내지 29의 필터 요소 또는 양태 30 또는 31의 필터 요소를 사용하는 방법이다.
- [0284] 양태 33은 유체가 공기, 가스, 및 액체를 포함하는, 양태 32의 방법이다.
- [0285] 양태 34는 유체가 유압유, 오일, 연료, 또는 윤활제를 포함하는, 양태 32 또는 33의 방법이다.
- [0286] 본 발명은 하기 실시예에 의해 예시된다. 특정 예, 물질, 양, 및 절차가 본원에 기재된 바와 같은 본 발명의 범위 및 사상에 따라 광범위하게 해석되어야 하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0287] 실시예
- [0288] **폴리머 용액의 제조**
- [0289] 용액 1을 제조하기 위해, 나일론 코폴리머 수지(SVP 651(Shakespeare Co., Columbia, SC), 45% 나일론-6, 20% 나일론-6,6 및 25% 나일론-6,10을 포함한 21,500 내지 24,800의 수평균 분자량을 갖는 테르폴리머(또한 표 3 참조))를 알코올(에탄올, 190 proof)에 용해하고, 60℃까지 가열하여 9% 나일론 고형물 용액을 제조하였다. 냉각 후에, 멜라민-포름알데하이드 수지(CYMEL 1133, Cytec Industries, West Paterson, NJ)를 용액에 첨가하여, 20:100 중량부의 멜라민-포름알데하이드 수지 대 나일론의 중량비를 달성하였다. 멜라민-포름알데하이드 수지는 가교제로서 작용한다. 추가적으로, 파라-톨루엔 설폰산(7%, 폴리머 고형물을 기준으로 함)을 용액에 첨가하였다. 용액을 균일해질 때까지 교반하였다. 용액 1을 사용하여 0.25 μm 섬유를 제조하였다.
- [0290] 용액 2를, 17% 나일론 고형물 용액을 사용하는 것을 제외하고, 용액 1에 대해 기술된 바와 같이 제조하였다(그리고 또한, 20:100 중량부의 멜라민-포름알데하이드 수지 대 나일론의 중량비를 초과하였다). 용액 2을 사용하여 1 μm 섬유를 제조하였다.
- [0291] 용액 1 및 용액 2 각각에 대한 30 $\pm$ 5 cP 및 300 $\pm$ 5 cP의 점도 값을 Fisher Scientific Model 8005 온도-제어 수조와 함께 Brookfield LV DV-I Prime 점도계로 25℃에서 측정하였다.
- [0292] 용액 3을 제조하기 위해, 코폴리아미드(Grillex D 1523A, EMS-Griltech, Switzerland)를 에탄올, 벤질 알코올 및 물의 용매 혼합물(중량 기준 에탄올:벤질 알코올:물 16:1:1) 중에 용해하고, 60℃까지 가열하여 21%(w/w) 용액을 제조하였다. 용액 3은 Fisher Scientific Model 8005 온도-제어 수조와 함께 Brookfield LV DV-I Prime 점도계로 25℃에서 측정된 473 $\pm$ 10 cP의 점도를 가졌다. 용액 3을 사용하여 1.4 μm 섬유를 제조하였다.
- [0293] **펜던트 낙하(Pendant Drop)에 의한 샘플의 제조**
- [0294] 샘플을 펜던트 드롭 장치, 즉, 폴리머 용액이 채워진 시린지를 이용하여 제조하였다. 고전압을 시린지에 부착된 니들에 가하고, 폴리머 용액을 명시된 펌프 속도로 펌핑하였다. 니들로부터 폴리머 용액의 방울이 나올 때, 이는 정전기장의 영향 하에서 테일러 콘을 형성한다. 충분히 높은 전압에서, 확장되는 테일러 콘으로부터 제트를 방출하였고, 미세 섬유를 수집기로서 작용하는 회전 만드렐에 부착된 매체에 형성 및 증착하였다.
- [0295] 0.075 mL/분의 펌프 속도로 폴리머 용액 또는 용액들을 전달하는 시린지 또는 시린지들로부터 4 인치 거리 및 24 kV의 전압으로 전기방사함으로써 (직경 4 인치를 가지고 300 rpm으로 회전하는) 실린더 둘레에 랩핑된 지지

층 상에 섬유를 형성하였다. 전기방사 후, 형성된 미세 섬유를 140℃에서 10분 동안 열처리하였다.

방법 1:

동일한 펌프 속도(0.075 mL/분)에서 동일한 기간(5분) 동안 전달된, 2개의 상이한 시린지로부터 2개의 상이한 전기방사 전구체 용액(용액 1 및 용액 2)을 공동-방사함으로써 70 g/m²의 평량 및 28%의 강도를 갖는 0.2 mm 두께의 스펀본드 나일론 스크림(Media Grade 23200, Cerex Advanced Fibers, Cantonment, FL) 상에 혼합된 섬유층을 증착하였다. 단일 시린지로부터 용액 1 또는 용액 2를 방사하여 단지 작은 미세 섬유 또는 큰 미세 섬유만을 포함하는 층을 각각 생성함으로써 동일한 펌프 속도 및 기간을 이용하여 2개의 대조군 샘플을 별도로 제조하였다.

모든 샘플을 합성 후 처리하여 가교를 통해 견고성을 개선하였다. 전기방사 후, 형성된 섬유를 140℃에서 10분 동안 열처리하였다.

방법 2:

동일한 펌프 속도(0.075 mL/분)에서 동일한 기간 동안 전달된, 2개의 상이한 시린지로부터 용액 1 및 용액 2를 공동-방사함으로써 70 g/m²의 평량 및 28%의 강도를 갖는 0.2 mm 두께의 스펀본드 나일론 스크림(Media Grade 23200, Cerex Advanced Fibers, Cantonment, FL) 상에 일련의 혼합된 섬유층을 증착하였다. 2개의 시린지로부터 용액 1 또는 용액 2를 공동-방사하여 단지 작은 미세 섬유 또는 큰 미세 섬유만을 포함하는 층 각각을 제조함으로써 동일한 펌프 속도 및 기간을 사용하여 2개의 대조군 샘플을 별도로 제조하였다. 방법 1과는 대조적으로, (하나의 시린지 대신에) 2개의 시린지로부터의 용액 1 또는 용액 2의 공동-방사는 대조군 샘플과 혼합된 섬유층을 포함하는 샘플 간에 더욱 유사한 평량을 야기시켰다.

모든 샘플을 합성 후 처리하여 가교를 통해 견고성을 개선하였다. 전기방사 후, 형성된 섬유를 140℃에서 10분 동안 열처리하였다.

방법 3:

동일한 펌프 속도(0.075 mL/분)에서 그리고 교대로 표 1의 타이밍 시퀀스에 따라 전달된, 용액 1 또는 용액 2를 함유한 2개의 시린지 중 하나로부터 교대로("펄싱된") 방사시킴으로써 70 g/m²의 평량 및 28%의 강도를 갖는 0.2 mm 두께의 스펀본드 나일론 스크림(Media Grade 23200, Cerex Advanced Fibers, Cantonment, FL) 상에 상이한 직경의 섬유를 갖는 일련의 섬유층을 증착하였다.

모든 샘플을 합성 후 처리하여 가교를 통해 견고성을 개선하였다. 전기방사 후, 형성된 섬유를 140℃에서 10분 동안 열처리하였다.

방법 4:

2-단계 절차를 이용하여 70 g/m²의 평량 및 28%의 강도를 갖는 0.2 mm 두께의 스펀본드 나일론 스크림(Media Grade 23200, Cerex Advanced Fibers, Cantonment, FL) 상에서 일련의 혼합된 섬유 구조물을 증착하였다.

제1 단계에서, (0.075 mL/분)의 펌프 속도에서 2분 동안 용액 2를 전달함으로써 후속 섬유를 위한 하부 지지층으로서 작용하기 위해 큰 미세 섬유(0.43 g/m² 적용 범위에 해당함)를 스크림 상에 증착하였다.

제2 단계에서, 동일한 펌프 속도(0.075 mL/분)에서 그리고 교대로 표 1의 타이밍 시퀀스에 따라 전달된, 용액 1 또는 용액 2(각각 작은 미세 섬유 및 큰 미세 섬유에 대해)를 함유한 2개의 시린지 중 하나로부터 교대로("펄싱된") 방사시킴으로써 혼합 직경의 미세 섬유 층을 증착하였다.

0.65 내지 0.86 g/m² 범위의 근사치 총 평량을 갖는 모든 샘플을 합성 후 처리하여 가교를 통해 견고성을 개선하였다. 전기방사 후, 형성된 섬유를 140℃에서 10분 동안 열처리하였다.

방법 5

2-단계 절차를 이용하여 70 g/m²의 평량 및 28%의 강도를 갖는 0.2 mm 두께의 스펀본드 나일론 스크림(Media Grade 23200, Cerex Advanced Fibers, Cantonment, FL) 상에 작은 미세 섬유 성분으로부터의 다양한 평량 기여를 갖는 일련의 구조물을 증착하였다.

제1 단계에서, (0.075 mL/분)의 펌프 속도에서 2분 동안 용액 2를 전달함으로써 후속 섬유를 위한 하부 지지층으로서 작용하기 위해 큰 미세 섬유(0.43 g/m² 적용 범위에 해당함)를 스크림 상에 증착하였다.

[0313] 제2 단계에서, 0.075 mL/분의 펌프 속도로 용액 1을 전달함으로써 작은 미세 섬유층을 증착하였다. 작은 미세 섬유층의 평량은 0.09 g/m², 0.10 g/m², 0.22 g/m², 0.31 g/m², 0.45 g/m², 또는 0.56 g/m²이었고, 48초, 60초, 120초, 168초, 240초, 또는 300초의 전기방사 기간을 각각 이용함으로써 달성되었다. 전기방사 후, 형성된 섬유를 140℃에서 10분 동안 열처리하였다.

[0314] [표 1]

[0315] **필수된 전기방사 시퀀스**

샘플 ID	필수된 방사 시퀀스 (2분 총 시간)	평량 (g/m ²)	구조 및 조성*
세트 A	2분, 용액 1만	0.65	100% 작은 미세 섬유
세트 A5	102 초 용액 1 + 18 초 용액 2	0.68	증상, 2% 큰 미세 섬유
세트 A6	(51 초 용액 1+ 9 초 용액 2) x2	0.68	혼합방사, 2% 큰 미세 섬유
세트 B	90 초 용액 1+ 30 초 용액 2	0.71	증상, 5% 큰 미세 섬유
세트 D	(30 초 용액 1+ 10 초 용액 2) x3	0.71	혼합방사, 5% 큰 미세 섬유
세트 D5	72 초 용액 1+ 48 초 용액 2	0.74	증상, 7% 큰 미세 섬유
세트 D6	(18 초 용액 1+ 12 초 용액 2) x4	0.74	혼합방사, 7% 큰 미세 섬유
세트 E	1분용액 1+ 1분용액 2	0.76	증상, 10% 큰 미세 섬유
세트 I	(10 초 용액 1+ 10 초 용액 2) x6	0.76	혼합방사, 10% 큰 미세 섬유
세트 I5	42 초 용액 1+ 78 초 용액 2	0.79	증상, 16% 큰 미세 섬유
세트 I6	(14 초 용액 1+ 26 초 용액 2) x3	0.79	혼합방사, 16% 큰 미세 섬유
세트 J	30 초 용액 1+ 90 초 용액 2	0.81	증상, 20% 큰 미세 섬유
세트 L	(10 초 용액 1+ 30 초 용액 2) x3	0.81	혼합방사, 20% 큰 미세 섬유
세트 M	2분, 용액 2만	0.86	100% 큰 미세 섬유

*큰 미세 섬유(섬유 카운트 기준)의 비율은 하기 섬유 비율 계산 섹션에 기술된 바와 같이, 작은(용액 1) 및 큰(용액 2) 미세 섬유의 직경, 전구체 방사 용액 중의 % 고형물, 및 시린지 펌프 공급 속도 및 방사 시간으로부터 추정됨.

[0316]

[0317] **방법 6**

[0318] 다양한 크기의 미세 섬유를 갖는 다수의 층을 포함하는 일련의 매체 샘플을 제조하였다. 샘플은 큰 미세 섬유의 베이스층을 포함하고, 이어서, 작은 미세 섬유층을 포함하고, 상단에 큰 미세 섬유층을 포함하였다(큰/작은/큰, 또는 L/S/L). 대안적으로, 샘플은 큰 미세 섬유의 베이스층을 포함하고, 이어서, 작은 미세 섬유층, 이후에, 혼합방사 작은 미세 섬유 및 큰 미세 섬유의 층을 포함하고, 상단에 큰 미세 섬유층을 포함하였다(큰/작은/혼합방사/큰, 또는 L/S/혼합방사/L).

[0319] 용액 2를 2분 동안 방사함으로써 스크림 상에 큰 미세 섬유(0.43 g/m² 적용 범위에 해당함)를 증착시켰다. 이론에 의해 얇매이고자 하는 것은 아니지만, 큰 미세 섬유가 후속 섬유층을 위한 하부 지지층으로서 작용할 것으로 여겨진다. 다음으로, 용액 1을 2분 동안 방사함으로써 작은 미세 섬유의 제2 층(0.22 g/m² 적용 범위에 해당함)을 증착시켰다. 포함하는 경우에, 표 1의 타이밍 시퀀스에 따라, 작은 미세 섬유 및 큰 미세 섬유 각각에 대해 용액 1 또는 용액 2를 함유한 시린지로부터 교대로("필수된") 방사함으로써 작은 미세 섬유 및 큰 미세 섬유들 모두를 포함한 중간(혼합방사)층을 첨가하였다. 마지막으로, 용액 2를 2분 동안 방사함으로써 큰 미세 섬유의 상단층(0.43 g/m² 적용 범위에 해당함)을 증착하였다. 모든 용액을 0.075 mL/분의 펌프 속도로 전달하였다.

[0320] 1.31 내지 1.52 g/m² 범위의 대략적 총 평량을 갖는 모든 샘플을 합성 후 처리하여 가교를 통해 견고성을 개선하였다. 전기방사 후, 형성된 섬유를 140℃에서 10분 동안 열처리하였다.

[0321] **방법 7**

[0322] 큰 미세 섬유의 베이스층 및 작은 미세 섬유 및 큰 미세 섬유의 혼합방사 층을 포함하는 일련의 매체 샘플을 또한 제조하였다.

- [0323] 먼저, 용액 2를 2분간 0.075 mL/분의 펌프 속도로 방사함으로써 큰 미세 섬유를 포함하는 제1 미세 섬유층(0.43 g/m² 적용 범위에 해당함)을 70 g/m²의 평량 및 28%의 강도를 갖는 0.2 mm 두께의 스펀본드 나일론 스크림(Media Grade 23200, Cerex Advanced Fibers, Cantonment, FL) 상에 증착하였다. 다음으로, 동일한 펌프 속도(0.075 mL/분)에서 동일한 기간(2.5분 또는 4.5분) 동안 전달된, 2개의 상이한 시린지로부터 2개의 상이한 전기 방사 전구체 용액(용액 1 및 용액 2)을 공동-방사함으로써 혼합방사 작은 미세 섬유 및 큰 미세 섬유를 포함하는 제2 미세 섬유층을 증착하였다.
- [0324] 모든 샘플을 합성 후 처리하여 가교를 통해 견고성을 개선하였다. 전기방사 후, 형성된 섬유를 140℃에서 10분 동안 열처리하였다.
- [0325] **방법 8A**
- [0326] 단일 크기 섬유 구조물(공칭 섬유 직경 1.4 μm, 평량 0.67 g/m² 적용 범위)을 4인치의 니들-대-수집기 거리에서 24 kV 바이어스에서 2.5분 동안 방사를 통해 70 g/m²의 평량 및 28%의 강도를 갖는 0.2 mm 두께의 스펀본드 나일론 스크림(Media Grade 23200, Cerex Advanced Fibers, Cantonment, FL) 상에 0.075 mL/분의 펌프 속도로 전달된 폴리머 용액(중량 기준으로 에탄올:벤질 알코올:물 16:1:1의 용매 혼합물 중 21% w/w Griltech D 1523A(EMS-Griltech AG, Switzerland))(용액 3)으로부터 증착하였다.
- [0327] **방법 8B**
- [0328] 단일 크기 섬유 구조물(공칭 섬유 직경 1 μm, 평량 2.59 g/m² 적용 범위)을 4인치의 니들-대-수집기 거리에서 24 kV 바이어스에서 12분 동안 방사를 통해 70 g/m²의 평량 및 28%의 강도를 갖는 0.2 mm 두께의 스펀본드 나일론 스크림(Media Grade 23200, Cerex Advanced Fibers, Cantonment, FL) 상에 0.075 mL/분의 펌프 속도로 전달된 폴리머 용액(에탄올 중 17% w/w SVP 651(표 3 참조))(용액 2)으로부터 증착하였다.
- [0329] **방법 8C**
- [0330] 단일 크기 섬유 구조물(공칭 섬유 직경 1.4 μm, 평량 4.02 g/m² 적용 범위)을 4인치의 니들-대-수집기 거리에서 24 kV 바이어스에서 15분 동안 방사를 통해 나일론 스크림(Cerex, 70 g/m²) 상에 0.075 mL/분의 펌프 속도로 전달된 폴리머 용액(중량 기준으로 에탄올:벤질 알코올:물 16:1:1의 용매 혼합물 중 21% w/w Griltech D 1523A(EMS-Griltech, Switzerland))(용액 3)으로부터 증착하였다.
- [0331] **방법 9:**
- [0332] 4인치의 니들-대-수집기 거리에서 24 kV 바이어스에서 2분 동안 용액 3을 방사함으로써 큰 미세 섬유(0.54 g/m² 적용 범위에 해당함)를 스크림 상에 증착하였다.
- [0333] 다음으로, 4인치의 니들-대-수집기 거리에서 24 kV 바이어스에서 2분 동안 용액 1을 방사함으로써 작은 미세 섬유의 제2 층(0.22 g/m² 적용 범위에 해당함)을 증착하였다.
- [0334] 4인치의 니들-대-수집기 거리에서 24 kV 바이어스에서 2분 동안 용액 3을 방사함으로써 큰 미세 섬유의 제3 층(0.54 g/m² 적용 범위에 해당함)을 증착하였다.
- [0335] 마지막으로, 4인치의 니들-대-수집기 거리에서 24 kV 바이어스에서 2분 동안 용액 3을 방사함으로써 큰 미세 섬유의 상단층(0.54 g/m² 적용 범위에 해당함)을 증착하였다.
- [0336] **매체 핸드시트의 제조**
- [0337] 30 cm × 30 cm 시트에 형성되었을 때 필요한 평량을 표적화하기 위해 성분 섬유를 계량함으로써 핸드시트를 제조하였다. FORMAX 12" × 12" 스테인리스 스틸 시트 몰드(Catalog No. G-100, Adirondack Machine Corporation, Hudson Falls, NY)를 핸드시트 형성자로서 사용하였고, 형성자의 하단에서 균일한 부직포 스크림 층에 100 μm보다 작은 기공을 배치함으로써 제조하였다(제거 가능한 형성 와이어를 사용하지 않았다). 형성자를 이후에 차가운 수돗물로 거의 완전히 채웠지만, 추가 1.5 L의 물을 첨가할 수 있는 공간을 허용하였다. 1 mL의 Tide HE 세탁 비누(Procter & Gamble, Cincinnati, OH)를 핸드시트 형성자에서 물에 첨가하였다. 섬유를 제조하기 위해, 1 L의 차가운 수돗물을 200 mL의 수 중 5% 아세트산과 함께 Vitamix 블렌더에 첨가하였다. 계량된 섬유를 블렌더에 첨가하고, 180초 동안 중저 속도로 혼합하였다. 이후에, 블렌더의 함유물을 핸드시트 형성자에 첨가하고, 핸드시트 형성자의 함유물을 혼합하여 섬유가 균일하게 분포하도록 하였다. 핸드시트 형성자의 하단으로부터 물을 배수시켜, 섬유가 부직포 스크림 상에 수집될 때 시트를 형성할 수 있게 하였다. 물을 와이어 측면 상에서 진공 흡입을 이용하여 시트로부터 제거하고, 핸드시트(여전히 스크림 상에 있음)를 120℃에서 10분

동안 일측 핫 플레이트 고속 건조기(Model 135 Speed Dryer, Emerson Apparatus, Gorham, ME) 상에서 건조시켰다. 시트를 (스크립으로부터) 제거하고, 사용 전에 주변 조건까지 냉각시켰다.

[0338] **매체 특성규명**

[0339] **정상 흐름 조건 시험**

[0340] 평평한 시트 성능을 시험할 때, 시험 표준에서 요구되는 다중통과 모드 대신에 단일통과 모드에서 시험을 수행한 것을 제외하고, β 비율을 ISO 16889:2008을 사용하여 정상 흐름 조건 하에서 평가하였다(필터 요소의 여과 성능을 평가하기 위한 유압유 출력-필터-다중-통과 방법). 시험 표준에서 요구하는 40℃ 대신에 25℃에서 시험을 실행하였다. 매체를 통한 흐름 속도는 5 mm/초이었다. ISO 12103-1, Medium Test Dust(Powder Technology, Inc., Arden Hills, MN)를 사용하여 업스트림 입자 농도가 10 mg/L임을 제공하였다. 연속 입자 농도 측정을 6초마다 수집하였다.

[0341] **순환 흐름 조건 시험**

[0342] 평평한 시트 성능을 시험할 때, 시험 표준에서 요구되는 다중통과 모드 대신에 단일통과 모드에서 시험을 수행한 것을 제외하고, β 비율을 ISO/CD 23369 Edition 1을 사용하여 순환 흐름 조건 하에서 평가하였다(순환 흐름 조건 하에서 필터 요소의 여과 성능을 평가하기 위한 유압유 출력-다중-통과 방법). 시험 표준에서 요구하는 40℃ 대신에 25℃에서 시험을 실행하였다. 매체를 통한 흐름 속도를 10초 사이클로 5 mm/초 내지 1.25 mm/초로 사이클링하였다(각 속도에서 대략 5초). ISO 12103-1, Medium Test Dust(Powder Technology, Inc., Arden Hills, MN)를 사용하여 업스트림 입자 농도가 10 mg/L임을 제공하였다. 연속 입자 농도 측정을 6초마다 수집하였다. 유체 전도도를 1000 내지 1500 피코지멘스/미터(pS/m)의 범위로 조절하였다.

[0343] **입자 카운터의 교정**

[0344] ISO 11171:2016(유압유 출력 - 액체를 위한 자동 입자 카운터의 교정)에 따른 ISO 시험 절차에서 사용하기 위해 입자 카운터를 교정하였다.

[0345] **압력 강하**

[0346] 압력 강하를 표 2에 나타난 시험 조건을 이용하여 ISO 3968:2017에 기술된 바와 같이 측정하였다.

[0347] **[표 2]**

[0348] **압력 강하 시험 조건**

유체	MIL5606 유압유
매체 면적	0.0507 m ²
유체 점도	22 센티스토크(cSt)
유체 온도	25℃

[0349]

[0350] **주사 전자 현미경(SEM)**

[0351] 표면을 Au:Pd 60:40 혼합물을 포함한 금 및 팔라듐 혼합물로 스퍼터-코팅함으로써 하향식 SEM 영상화를 위해 샘플을 제조하였다. 통상적으로, 5 kV 또는 10 kV 가속 전압을 사용하였고, 이미지를 2차 전자 검출기 또는 후방 산란 전자 검출기로 x500, x1000 및 x2500 배율로 수집하였다.

[0352] 지지층 상에 미세 섬유를 포함한 3 mm × 20 mm 샘플을 제조하고, 경질 표면 상에 계량 통(weighing tin)에서 샘플 미세 섬유를 아래로 배치하고, 통을 액체 질소로 채워서 샘플을 액침시킴으로써 단면 SEM 영상화를 위한 샘플을 제조하였다. 적어도 30초 후에, 단면을 노출시키기 위해 면도날을 사용하여 (액체 질소 중에 아직 액침된 상태로) 샘플을 절단하였다. 절단이 이루어지고 추가로 10 내지 20초가 경과한 후에, 샘플을 액체 질소로부터 꺼내고, SEM 영상화에 장착하였다. 이후에, 샘플을 60:40 Au:Pd로 스퍼터-코팅하였다. 통상적으로, 5 kV 가속 전압을 사용하고, 이미지를 2차 전자 검출기로 x1000 배율로 수집하였다.

[0353] **섬유 직경**

[0354] 하향식 SEM을 통해 섬유를 영상화하고 얻어진 현미경 사진에서 섬유 직경(또는 다른 관심 치수)을 측정함으로써 주사 전자 현미경(SEM)에 의한 섬유 직경 사이징을 수행하였다. 이미지 가공 소프트웨어, 예를 들어, ImageJ, (FIJI Is Just ImageJ (FIJI), 업데이트된 버전의 ImageJ), 및/또는 Trainable Weka Segmentation(ImageJ

plug-in)를 섬유 사이징을 위해 사용하였다. 섬유의 직경을 샘플에서 적어도 30개의 위치에서 측정하였다.

[0355] 미세 섬유층 두께

[0356] 미세 섬유 샘플의 두께를 상기에 기술된 바와 같이 준비된, 주사 전자 현미경(SEM)에 의해 SEM의 단면 분석을 통해 측정하였다. 샘플의 상이한 부분으로부터 적어도 5개의 이미지에서의 미세 섬유층의 두께를 FIJI를 이용하여 결정하였다. 상세하게는, 다각형 툴(polygon tool)을 이용하여 미세 섬유층의 상단 및 하단을 그리고, 선택된 미세 섬유 단면 외측의 면적을 제거하고, 선택된 미세 섬유 단면의 면적을 역치 수준 툴을 이용하여 백색으로 다시 컬러화하여 선택된 섹션의 경계선에서 섬유를 보완하고, 이미지에서 최대 두께를 측정 및 기록하였다. 이러한 최대값 중 5개를 10분의 1 마이크로론으로 반올림하고, 이후에, 미세 섬유 샘플의 두께를 제공하기 위해 평균처리하였다.

[0357] 회전 시간을 기반으로 한 섬유 비율 계산

[0358] (총 섬유 카운트 기준으로) 작은 및 큰 미세 섬유의 상대적인 양을 하기 식을 이용하여 결정하였다:

[0359] [식]

$$\% \text{ 큰 섬유} = 100 \times \frac{(V_L/D_L^2)}{((V_L/D_L^2) + (V_S/D_S^2))}$$

[0361] (상기 식에서, D_L 및 D_S 는 각각 큰 미세 섬유 및 작은 미세 섬유의 직경이며; V_L 및 V_S 는 각각 큰 미세 섬유 및 작은 미세 섬유를 포함하는 폴리머의 부피임). 부피(V)는 하기 식에 따라 작은 또는 큰 미세 섬유에 대해 계산된다:

[0362] [식]

$$V = \left(\% \frac{w}{v} \right) \times (\text{펌프 속도} \times \text{회전 시간}) \times \frac{1}{\rho}$$

[0364] (상기 식에서, ρ 는 작은 미세 섬유 또는 큰 미세 섬유를 포함하는 폴리머의 밀도이며, % w/v는 폴리머 용액의 부피 기준 당 질량 단위의 고형물 함량을 지칭함).

[0365] 현미경 관찰을 기반으로 한 섬유 비율 계산

[0366] 샘플 이미지를 SEM을 통해 적절한 배율(예를 들어, 500x, 1000x, 또는 2500x)로 획득하였다. 이미지 내에서 모든 섬유를 카운팅하고, 이후에, 25% 변동 내에서 그룹핑 직경을 기초로 하여 작은 미세 섬유 및 큰 미세 섬유로 분류함으로써 하나 이상의 섬유 집단의 존재를 결정하였다. 섬유 크기를 이미지 가공 소프트웨어, 예를 들어, ImageJ를 이용하여 측정하였다. 이미지 내에서 총 섬유(작은 및 큰 둘 모두) 카운트에 대한 작은 미세 섬유의 비율을 획득함으로써 작은 미세 섬유의 비율을 계산하였다.

[0367] 강도

[0368] 부직포층(예를 들어, 비-미세 섬유층, 또는 미세 섬유 및 비-미세 섬유층을 포함한 복합체를 포함함)의 강도(c)를 하기 식을 이용하여 계산하였다:

[0369] [식]

$$c = BW/\rho Z$$

[0371] (상기 식에서, BW는 평량이며, ρ 는 섬유의 밀도이며, Z는 매체의 두께임). 부직포층이 상이한 섬유를 포함하는 경우, 섬유의 질량비를 사용하여 밀도(ρ)를 결정할 수 있다.

[0372] 두께를 TAPPI T411 om-15(명칭: "Thickness (caliper) of paper, paperboard, and combined board")에 따라 측정하고, 1.5 psi의 풋 압력(foot pressure)을 사용하였다. 평량을 TAPPI T410 om-08을 이용하여 측정하였다.

[0373] 미세 섬유층의 두께의 측정의 어려움으로 인해, 미세 섬유층의 강도를 실험적으로 측정된 압력 강하 값을 이용한 Kirsch-Fuchs 방정식의 변형된 버전(adapted version)을 이용하여 계산하였다(Kirsch *et al.*, "Studies on Fibrous Aerosol Filters - III Diffusional Deposition of Aerosol in Fibrous Filter," Ann. Occup. Hyg.

1968; 11:299-304 참조). 압력 강하(ΔP 또는 dP)를 하기 액체 여과 성능 시험 섹션에 기술된 바와 같이, FFAST 벤치를 이용하여 결정하였다.

[0374] 먼저, 무차원 섬유 항력 파라미터 $F_{*1.0}$ 을 하기 변형된 Kirsch-Fuchs 방정식으로부터 계산하였다:

[0375] [식]

$$\Delta P = \frac{4 \left(\frac{BW}{\rho} \right) \mu U_{\infty}}{\pi D_f^2} F_{*1.0}^*$$

[0376]

[0377] (상기 식에서, BW는 평량이며, ρ 는 섬유의 밀도이며, μ 는 (압력 강하 시험을 위해 사용되는) 액체의 점도이며, U_{∞} 는 압력 강하 시험 동안 매체를 통한 액체의 속도이며, D_f 는 유효 섬유 직경임). ΔP 는 하기 액체 여과 성능 시험 섹션에 기술된 바와 같이 FFAST 벤치로부터 결정된다.

[0378] 둘째로, 강도(c)는 하기 식을 이용하여 $F_{*1.0}$ 으로부터 계산된다:

[0379] [식]

$$F_{*1.0} = 4.3548e^{8.8822c}$$

[0380]

[0381] 혼합 섬유 매체에 대하여, 유효 섬유 직경은 작은 및 큰 섬유의 상대적인 양을 설명하고, 하기 식으로부터 계산된다:

[0382] [식]

$$r_{eff} = \frac{\sum_{i=1}^N r_i^2 l_i}{\sum_{i=1}^N r_i l_i}$$

[0383]

[0384] (상기 식에서, r_{eff} 는 유효 섬유 반경이며, r_i 는 섬유 i 의 반경이며, l_i 는 섬유 i 의 분율 또는 상대적인 양임). 유효 섬유 직경 = $2r_{eff}$.

[0385] 미세 섬유층 또는 층들의 평량은 하기와 같이 계산된다:

[0386] [식]

[0387] 미세 섬유층의 총 평량 = (미세 섬유의 질량)/(스크림의 면적)

[0388] 미세 섬유의 질량은 하기와 같이 계산되었다:

[0389] [식]

[0390] 미세 섬유의 질량 = (용액 중 %w/v 폴리머) $\times$ (펌프 속도) $\times$ (방사 시간)

[0391] 미세 섬유를 제조하는 방법이 알려지지 않았을 때, 미세 섬유의 질량은, 스크림 또는 지지체로부터 미세 섬유를 (예를 들어, 필링 또는 탈라미네이션에 의해) 분리한 후에, 하기와 같이 계산될 수 있다:

[0392] [식]

[0393] 미세 섬유의 질량 = (매체 샘플의 총 질량) - (베어 스크림 또는 지지체의 질량)

[0394] **모세관 흐름 기공측정법(기공 크기 측정)**

[0395] 기공 크기 측정을 Porometer 3G(Quanachrome Instruments, Boynton Beach, CA) 상에서 연속 압력 스캔을 이용하여 모세관 흐름 기공측정법 방법에 의해 수행하였다.

[0396] **흐름 기공측정 방법 A**

[0397] 이러한 방법은 습윤 유체로서 Porofil 습윤 용액(Quantachrome Instruments, Anton Paar, Boynton Beach, FL)을 사용하였으며, 샘플을 습윤 및 건조 상태(먼저 습윤, 이후 건조) 둘 모두에서 시험하였다. 직경이 25 mm인 샘플을 0.0256 bar 내지 1.275 bar의 연속 압력 스캔으로 처리하여 1 μm 내지 100 μm 범위의 직경을 갖는 기공 크기를 결정하였다.

[0398] **흐름 기공측정 방법 B**

[0399] 이러한 방법은 20.1 다인/cm의 표면 장력 및 0의 습윤 접촉각을 갖는 실리콘 오일을 사용하였으며, 샘플을 습윤 및 건조 상태(먼저 건조, 이후 습윤) 둘 모두에서 시험하였다. 직경이 6 mm인 샘플을 선택된 연속 압력 스캔으로 처리하여 2% 내지 98% 범위의 대부분의 누적 기공 크기 분포를 측정하였다.

[0400] 두 방법 모두에 대하여, 샘플을 습윤 및 건조 동안, 저압에서 고압까지 시험하였다. 시험의 포화된 부분으로부터의 공기 흐름 및 샘플 압력은 통상적으로 습윤 곡선으로 불리워졌다. 256개의 데이터점을 건조 곡선 및 습윤 곡선 둘 모두에 대하여 압력의 스캔 범위에 걸쳐 수집하였다. 데이터점을 분당 대략 17개의 데이터점의 속도로 스캔에 걸쳐 수집하였다. 시험을 주변 조건(예를 들어, 20°C 내지 25°C)에서 수행하였다. 기공 크기 직경 정의를 조정하기 위해 비틀림 계수(tortuosity factor) 및/또는 형상 계수를 적용하지 않았다.

[0401] 흐름 기공측정 시험 절차는 건조 샘플에 대해 압력(통상적으로, x-축 상에 플롯팅함) 및 공기 흐름(통상적으로, y-축 상에 플롯팅함) 데이터 세트, 및 포화된(습윤) 샘플에 대해 압력 및 공기 흐름 데이터 세트를 수집한다. 이러한 2개의 데이터 세트는 일반적으로 건조 곡선 및 습윤 곡선으로 불리워진다. 즉:

[0402] 건조 곡선 = $V_{\text{건조}}$ = 압력에 따른 건조 샘플을 통한 공기 흐름

[0403] 습윤 곡선 = $V_{\text{습윤}}$ = 압력에 따른 포화된 샘플을 통한 공기 흐름

[0404] 모세관 이론을 기초로 하여, 샘플을 가로지르는 압력(ΔP)은 Young-Laplace 식을 이용하여 기공 직경(d)으로 변환될 수 있다:

[0405] [식]

$$d = \frac{4\gamma \cos \theta}{\Delta P} \times (\text{경험 인자})$$

[0406]

[0407] (상기 식에서,

[0408] r = 유체 표면 장력,

[0409] θ = 유체 접촉각,

[0410] d = 기공 직경,

[0411] ΔP = 샘플을 가로지르는 압력).

[0412] 이러한 변환은 기공 직경에 따라 건조 및 습윤 곡선을 규정할 수 있게 한다. 즉,

[0413] 건조 곡선 = $V'_{\text{건조}}$ = 직경에 따른 건조 샘플을 통한 공기 흐름

[0414] 습윤 곡선 = $V'_{\text{습윤}}$ = 직경에 따른 포화된 샘플을 통한 공기 흐름

[0415] 누적 흐름 기공 크기 분포(Q)는 기공 직경에 따른 건조 곡선에 대한 습윤 곡선의 비율로서 정의된다. 여기서,

[0416] [식]

$$Q(d) = \frac{V'_{\text{습윤}}}{V'_{\text{건조}}}$$

[0417]

[0418] 누적 분포는 0에서 100%까지의 증가 누적 분포로서, 또는 100%에서 0%까지 감소 누적 분포로서 나타낼 수 있다. 이러한 문헌에서 기공 크기는 증가 누적 흐름 기공 크기 분포로부터 규정된다. 여기서,

[0419] [식]

[0420]
$$\text{증가 누적 흐름 기공 분포} = 1 - Q(d)$$

[0421] 이러한 곡선을 따라 포인트를 더 잘 식별하기 위해, 이러한 문헌은 상응하는 기공 직경(d)과 일치하는 다양한 P(x%) 값을 규정한다:

[0422] [식]

[0423] $P(x\%) = d$

[0424] (상기 식에서, $x\% = 1 - Q(d)$ 임).

[0425] 예는 하기를 포함하지만, 이로 제한되지 않는다:

[0426] P5는 5%의 증가 누적 흐름 기공 분포를 갖는 기공 직경이다.

[0427] P10은 10%의 증가 누적 흐름 기공 분포를 갖는 기공 직경이다.

[0428] P50은 50%의 증가 누적 흐름 기공 분포를 갖는 기공 직경이다.

[0429] P90은 90%의 증가 누적 흐름 기공 분포를 갖는 기공 직경이다.

[0430] P95는 95%의 증가 누적 흐름 기공 분포를 갖는 기공 직경이다.

[0431] 최대 기공 크기가 보고된 경우에, 최대 기공 크기는 Auto Bubble Point(BP Auto Tolerance) 방법을 이용하여 Porometer 3G(Quanachrome Instruments, Boynton Beach, CA)를 이용한 포점을 검출함으로써 결정되었다. 이러한 방법에 따르면, 포점은 유체가 샘플을 통과하기 시작한 후에 발견되었으며, 3개의 연속 측정은 적어도 1%씩 증가하였다. 포점은 3개의 포인트의 이러한 시퀀스의 시작에서의 값이다.

[0432] **공기 여과 성능**

[0433] 4 인치 직경의 매체 샘플을 시험하도록 분당 14.7 리터(L/분)의 유량으로 0.3 μm 오일(비스(2-에틸헥실)세바케이트, Sigma-Aldrich) 방울(에어로졸)을 이용하여 입자 포집 효율을 측정하기 위해 고효율 평면 시트(HEFS) TSI Automated Filter Tester, Model 8127, 시험 벤치(TSI Incorporated, Shoreview, MN)로 공기 여과 성능을 평가하였다. TSI의 CertiTest Model 8127 Automated Filter Tester는 시험 필터, 호흡기 카트리지, 및 최신 미국 정부 및 산업 전체 사양에 따른 필터 매체에 대해 설계되었고, 42 CFR § 84의 표준(June 8, 1995)을 충족한다.

[0434] **액체 여과 성능 시험**

[0435] 액체 여과 성능을 하기 특징을 갖는 Flatsheet, High-Accuracy, Singlepass Two-fluid (FHAFT) 벤치로 평가하였다: 유량 제어: $\pm 2\%$ 오차에서 57 mL/분 내지 580 mL/분; 온도 제어: $\pm 0.25^\circ\text{C}$ 오차에서 25°C 내지 40°C ; dP 측정: $\pm 0.065\%$ 오차에서 0 psi 내지 25 psi; 입자 크기: 1.7 μm 내지 20 μm ; 최대 입자 농도: 1,000,000/mL; 희석 용량: 5:1 내지 100:1. 2인치 직경의 매체 샘플을 시험하기 위해 FHAFT 벤치를 유압유 중 리터 당 10 밀리그램(mg/L)의 농도 및 0.347 L/분의 유량으로 ISO 11171:2016에 따른 ISO Medium Test Dust를 이용하여 정적 모드에서 사용하였다. 특정 오염 입자 크기에 대한 매체 dP 및 효율에 대한 값(상업적으로 입수 가능한 입자 카운터, 상세하게는, PAMAS 4132 Particle Counting System for Liquids를 사용하여 측정함, ISO 11171:2016(유압유 출력 - 액체를 위한 자동 입자 카운터의 교정)에 따라, ISO Medium Test Dust로 교정됨)을 시험 기간 전반에 걸쳐 규칙적인 시간 기간(대략 7초마다)에 수집하였고, 이는 20 psi의 사전-설정된 최대 매체 dP에 도달시에 종결되었다(2개의 시험 매체 dP 센서로 측정됨: (A) 0 psi 내지 5 psi, $\pm 0.025\%$ 정확도 시차 압력 변환기; 높은 정확도, 낮은 범위 dP 센서 및 (B) 0 psi 내지 25 psi, $\pm 0.065\%$ 정확도 시차 압력 변환기; 낮은 정확도, 높은 범위 dP 센서).

[0436] 평평한 시트 성능을 시험할 때, 시험 표준에서 요구되는 다중통과 모드 대신에 단일통과 모드에서 시험을 수행한 것을 제외하고, 베타 비율을 ISO 16889:2008을 사용하여 정상 흐름 조건 하에서 평가하였다(필터 요소의 여과 성능을 평가하기 위한 유압유 출력-필터-다중-통과 방법). 유압유(Mobil Aero HF, MIL-PRF-5606)를 10 mg/L의 농도로 ISO 12103-1 A3 Medium Test Dust(Powder Technology, Inc., Arden Hills, MN)에 부었다. 시험 기간 전반에 걸쳐 7초 마다 순간 베타 값을 기록하였다. 20 psi의 말단 dP에 도달할 때 시험이 종료되었다.

[0437] **성능 지수**

[0438] 성능 지수는 사용되는 최소 에너지로 스트림의 특정 정화 수준을 제공하는 필터 매체의 성능 및 필터 매체 능력의 척도이다. 큰 성능 지수 값은 일반적으로, 더 작은 값보다 더 양호하다.

[0439] 성능 지수(FOM) 값을 분율 침투(fractional penetration)(P, 업스트림 카운트 및 다운스트림 카운트의 비율), 압력 강하(dP, 인치 H₂O) 및 먼 속도(u, fpm)로부터 계산하였다:

[0440] [식]

[0441]
$$FOM = (-\log_{10} P)/(dP/u)$$

[0442] 분율 침투(P), 압력 강하(dP) 및 먼 속도(u)를 상기에 기술된, HEFS TSI Automated Filter Tester, Model 8127, 시험 벤치를 이용하여 측정하였다.

[0443] **주사 전자 현미경(SEM)**

[0444] 금으로 스퍼터-코팅함으로써 SEM 이미징을 위해 샘플을 제조하였다. 통상적으로, 5 kV 또는 10 kV 가속 전압을 사용하였고, 이미지를 2차 전자 검출기 또는 후방산란 전자 검출기로 x500, x1000 및 x2500 배율로 수집하였다.

[0445] **실시예 1**

[0446] 전기방사를 이용하여 효율층으로서 10 마이크론 효율 등급을 갖는 Synteq XP™ 합성 액체 매체("10XP," Donaldson Company, Inc., Minneapolis, MN), 지지층(CEREX 23200, Cerex Advanced Fabrics, Inc., Cantomont, FL), 및 지지층 상에 증착된 연속 미세 섬유층을 조합함으로써 XP/미세 섬유/스크림 매체를 구성하였다. 연속 미세 섬유층(0.9 μm 직경을 가짐)을 SVP 651로부터 형성하였다(표 3 참조). 효율층은 최고 업스트림 층이었으며; 연속 미세 섬유층은 효율층의 다운스트림에 배치되었으며; 지지층(스크림)은 연속 미세 섬유층의 다운스트림에 배치되었다.

[0447] 층들을 서로의 위에 배치시키고, 필터 하우징에 배치하였다.

[0448] 베타 비율 대 입자 크기를 10 마이크론 효율 등급을 갖는 Synteq XP™ 합성 액체 매체("10XP," Duramax P164378, Donaldson Company, Inc., Minneapolis, MN), 5 마이크론 효율 등급을 갖는 Synteq XP™ 합성 액체 매체("5XP," Duramax P165332, Donaldson Company, Inc., Minneapolis, MN), 및 XP/미세 섬유/스크림 매체에 대해 정상 흐름 조건(정상 흐름 조건 시험에 기술된 바와 같음) 또는 순환 흐름 조건(순환 흐름 조건 시험에 기술된 바와 같음) 하에서 측정하였다. 결과는 도 3에 도시되어 있다.

[0449] 5 마이크론 효율 등급을 갖는 Synteq XP™ 합성 액체 매체 및 XP/미세 섬유/스크림 매체에 대해 유사한 효율이 관찰되었지만, XP/미세 섬유/스크림 매체, XP/미세 섬유/스크림 매체는 도 3b에 도시된 바와 같이, 개선된 압력 강하를 나타내었다.

[0450] **[표 3]**

SVP 수지의 보고된 물리적 특성

특성	ASTM 방법	단위	통상적인 값
비중	D-792	—	1.08
물 흡수 (24시간 침지)	D-570	%	2.5
경도	D-240	쇼어 D	65
융점	DSC	° C.(° F)	154 (309)
항복시 인장 강	D-638	MPa (kpsi)	50 (7.3)
파단시 신율	D-638	%	350
휨 모듈러스	D-790	MPa (kpsi)	180 (26)
체적 저항률	D-257	ohm-cm	10 ¹²

[0451]

[0452] **실시예 2**

[0453] XP/미세 섬유/스크림 매체를 실시예 1에 기술된 바와 같이 구성하였다. XP/미세 섬유/스크림 매체 및 10 마이크

론 효율 등급을 갖는 Synteq XP™ 합성 액체 매체(Donaldson Company, Inc., Minneapolis, MN)를 와이어 지지체 상에 배치시키고, 주름을 형성하여 필터 요소를 형성하였다. 이후에, 필터 요소를 정상 흐름 조건(정상 흐름 조건 시험에 기술된 바와 같음) 또는 순환 흐름 조건(순환 흐름 조건 시험에 기술된 바와 같음) 하에서 시험하였다. 결과는 도 4(정상 흐름 조건) 및 도 5(순환 흐름 조건)에 도시되어 있다.

[0454] 정상 흐름 조건 하에서, 미세 섬유층이 없는 Synteq XP™ 합성 액체 매체는 ISO(International Organization for Standardization) 청정도 코드(ISO 4406:2017에 기술된 바와 같이 측정 및 정의함)의 감소(22/21/17에서 18/14/4로)를 달성하였으며, 미세 섬유층의 첨가는 유사한 압력 강하에서 청정도 코드의 추가 감소(14/8/3으로)를 달성하였으며, 즉, XP/미세 섬유/스크립 매체를 포함한 필터 요소의 압력 강하는 미세 섬유가 없는 Synteq XP™ 합성 액체 매체를 포함한 필터 요소의 압력 강하의 20% 이내, 및 대개 10% 이내였다.

[0455] 동적 흐름 조건 하에서, 미세 섬유층이 없는 Synteq XP™ 합성 액체 매체는 청정도 코드의 더 적은 감소(22/21/17에서 22/18/8로)를 달성하였지만, 미세 섬유층의 첨가는 청정도 코드의 훨씬 더 큰 감소(22/21/17에서 18/14/4로)를 달성하였으며, 이는 다시, 유사한 압력 강하에서 정상 흐름 조건 하에서 미세 섬유층 없이 달성된 동일한 수준을 달성하였다.

[0456] **실시예 3**

[0457] 펜던트 낙하 샘플 제조 방법 3, 표 1 세트 A(스크립 상에 직접적으로 증착된 작은 미세 섬유) 및 펜던트 낙하 샘플 제조 방법 4, 표 1, 세트 A(스크립 상에 증착된 큰 미세 섬유층 상에 증착된 작은 미세 섬유)에 따라 매체를 제조하였다.

[0458] 스크립 상에 증착된 큰 미세 섬유층의 예시적인 이미지는 도 2b에 도시되어 있다.

[0459] 스크립 상에 직접적으로 증착된 작은 미세 섬유의 예시적인 이미지는 도 2c에 도시되어 있으며, 스크립 상에 증착된 큰 미세 섬유층 상에 증착된 작은 미세 섬유의 예시적인 이미지는 도 2d에 도시되어 있다(스크립 상에 증착된 큰 미세 섬유층 상에 증착된 작은 미세 섬유).

[0460] **실시예 4**

[0461] 펜던트 낙하 샘플 제조 방법 1에 따라 매체를 제조하였다. 얻어진 부직포는 1.64 g/m²의 이론적 평량을 갖는다.

[0462] 2개의 상이한 시린지로부터 각 단일 전기방사 전구체 용액을 공동-방사시킴으로써 제조된, 대조군 부직포 매체는 용액 1 및 용액 2 각각에 대해 0.56 g/m² 또는 1.08 g/m²의 이론적 평량을 갖는다.

[0463] 얻어진 매체의 SEM 이미지는 도 2e에 도시되어 있다.

[0464] **실시예 5**

[0465] FFAST 벤치 시험 동안 최대 20 psi의 복합체 샘플의 샘플 무결성(액체 여과 성능 시험 방법에 추가로 기술된 바와 같이, 0.56 피트/분 먼 속도에서)을 평가하고, 각 복합체의 초기 압력 강하를 복합체 최대 기공 크기에 대해 플롯팅하였다. 이러한 실시예에서 사용되는 "복합체"는 임의의 미세 섬유층(예를 들어, 미세 섬유의 제1층, 제2층 등을 포함함) 및 지지층을 지칭한다. 복합체는 적어도 하나의 미세 섬유층을 포함한다.

[0466] 각 샘플에 대한 복합체 평균 최대 기공 크기(P100) 및 복합체 평균 중간 흐름 기공 크기(P50)를 흐름 기공측정 방법 A에 따라 흐름 기공측정에 의해 측정하였다.

[0467] 각 샘플은 혼합된 직경 미세 섬유 및 기질을 포함하였다. 일부 샘플은 방법 1, 2 또는 3에 기술된 바와 같이 제조된, "큰" 미세 섬유 및 "작은" 미세 섬유를 포함한 미세 섬유층을 포함하였다. 일부 샘플은 연속 미세 섬유의 제1층 및 연속 미세 섬유의 제2층을 포함하였으며, 연속 미세 섬유의 제1층은 방법 4, 5, 6, 또는 7에 기술된 바와 같이 제조된, 제2 연속 미세 섬유층의 가장 작은 섬유의 평균 섬유 직경의 적어도 3배의 평균 직경을 갖는 미세 섬유를 포함하였다.

[0468] 결과는 도 6에 도시되어 있다. 삼각형은 FFAST 벤치 시험 전반에 걸쳐 미세 섬유 구조적 무결성을 유지한 샘플을 나타내며, 사각형은 FFAST 벤치 시험(베타 붕괴로 나타냄) 동안 미세 섬유 블로우-아웃(blow-out)을 나타내는 샘플을 나타낸다. 2개의 미세 섬유층, 즉, 제2 미세 섬유층의 가장 작은 섬유의 평균 섬유 직경의 적어도 3배의 평균 직경을 갖는 미세 섬유를 포함하는 제1층을 포함한 샘플은 채워진 형상으로 나타낸다. 혼합된 직경 섬유를 포함한 하나의 미세 섬유층을 포함한 샘플은 채워지지 않은 형상으로 나타낸다.

[0469] 단 하나의 미세 섬유층(즉, 방법 1, 2 또는 3을 이용하여 제조됨)을 갖는 대부분의 매체 샘플은 미세 섬유 손상

을 나타내었다(오픈 사각형으로 나타냄).

[0470] 단 하나의 미세 섬유층을 갖는 수 개의 매체 샘플은 FFAST 벤치 시험 중 동안 최대 20 psi를 존속하였다(오픈 삼각형으로 나타냄). 이론에 의해 얇매이고자 하는 것은 아니지만, 적용 범위(평량)가 매우 높았지만, 이러한 높은 평량이 더 높은 초기 압력 강하의 대가이기 때문에 미세 섬유층이 시험에서 생존한 것으로 여겨진다.

[0471] 대조적으로, 방법 4, 5, 6 또는 7을 사용하여 제조되고 2개의 미세 섬유층을 포함한 모든 매체 샘플은 미세 섬유 구조적 무결성을 유지하였다(채워진 삼각형으로 나타냄).

[0472] 결과는, 복합체 평균 최대 기공 크기(도 6a) 및 복합체 평균 중간 흐름 기공 크기(도 6b) 둘 모두가 FFAST 벤치 시험을 견디는 복합체의 능력과 상관관계가 있으며, 즉, 실험실 시험은 액체 여과 동안 적어도 20 psi 압력 강하를 견디는 복합체의 능력과 매우 상관관계가 있음을 예시하며, 이는 동일한 조건을 견딜 수 없는 필터 매체보다 더 양호한 필터 성능을 나타낸다.

[0473] 20 μm 에 달하는 복합체 평균 최대 기공 크기(P100)를 갖는 일부 매체 샘플이 FFAST 벤치 시험을 견뎠지만, 일부 매체 샘플이 시험에 실패하기 시작하는 전이 구역은 14 μm 내지 20 μm 의 복합체 평균 최대 기공 크기를 갖는 매체 샘플에 대해 관찰되었다.

[0474] 유사하게, 11 μm 에 달하는 복합체 평균 중간 흐름 기공 크기(P50)를 갖는 일부 매체가 FFAST 벤치 시험을 견뎠지만, 일부 매체 샘플이 시험에 실패하기 시작하는 전이 구역은 6 μm 내지 11 μm 의 복합체 평균 최대 기공 크기를 갖는 매체 샘플에 대해 관찰되었다.

[0475] 예를 들어, 11 μm 의 복합체 평균 최대 기공 크기를 갖는 큰 미세 섬유 지지체가 없는 샘플은 FFAST 벤치 시험에서 생존하지 못하였지만, 11 μm 의 복합체 평균 최대 기공 크기를 갖는 큰 미세 섬유 지지체는 FFAST 벤치 시험에서 생존할 수 있다. 더 큰 기공 크기를 갖는 미세 섬유 샘플을 사용할 수 있다는 것은 얻어진 복합체의 해로운 압력 강하 없이 효율의 미세 조절을 가능하게 한다.

[0476] 실시예 6

[0477] 미세 섬유 샘플 A, 미세 섬유 샘플 B, 및 미세 섬유 샘플 C(이들 각각은 또한, 상기에 기술된 바와 같이, 지지층을 포함함)를 형성하기 위해 펜던트 낙하 샘플 제조 방법 8A 내지 8C에 따라 미세 섬유층 및 지지층을 포함하는 복합체를 제조하였다.

[0478] 효율층 A를 형성하기 위해 매체 핸드시트의 제조 섹션에 기술된 바와 같이, 40 중량% 유리 섬유(Lauscha B-10-F, 공칭 섬유 직경 1 μm , Lauscha Fiber International (Lauscha, Germany)) 및 60 중량% 2성분 섬유(Teijin TJ04CN, Teijin Limited (Tokyo, Japan))를 포함한 효율층을 제조하였다.

[0479] 모세관 흐름 기공측정법 측정을 흐름 기공측정 방법 B에 따라, 미세 섬유 샘플 A, 미세 섬유 샘플 B, 미세 섬유 샘플 C, 및 효율층 A 상에서 수행하였다. 결과는 표 4 및 도 7에 도시되어 있다.

[0480] [표 4]

	P95	P90	P50	P10	P5	P95/P50	P95/P5
효율층 A	17.81 μm	15.73 μm	8.82 μm	5.40 μm	4.70 μm	2.02 μm	3.30 μm
미세 섬유 샘플 A	8.59 μm	7.69 μm	5.07 μm	3.89 μm	3.62 μm	1.70 μm	2.21 μm
미세 섬유 샘플 B	5.85 μm	5.54 μm	3.48 μm	2.29 μm	2.12 μm	1.68 μm	2.55 μm
미세 섬유 샘플 C	4.39 μm	4.06 μm	2.88 μm	1.70 μm	1.45 μm	1.52 μm	2.58 μm

[0481]

[0482] 로딩층 A를 형성하기 위해 매체 핸드시트 제조 섹션에 기술된 바와 같이, 40 중량% 유리 섬유(Lauscha B-26-R, 공칭 섬유 직경 2.4 μm , Lauscha Fiber International (Lauscha, Germany)) 및 60 중량% 2성분 섬유(Teijin TJ04CN, Teijin Limited (Tokyo, Japan))를 포함한 매체를 제조하였다.

[0483] 로딩층 A 및 효율층 A 둘 모두를 포함한 필터 매체의 성능을 정상 흐름 및 순환 흐름 조건 둘 모두 하에서 평가하였다. 결과는 표 5A에 나타나 있다. 표 5A의 결과로부터 알 수 있는 바와 같이, 미세 섬유층 없이 로딩층 및 효율층이 순환 흐름 조건 하에서 낮은 압력 강하(ΔP) 및 높은 효율에 의해 나타난 바와 같이 정상 흐름 조건 하에서 양호한 성능을 갖지만, 순환 흐름 조건 하에서, 효율은 급격하게 떨어졌다. 정상 흐름 조건 하에서, 매체는 고효율로 10 μm -직경 입자를 여과할 수 있었으며, 정상 흐름 조건 하에서, 동일한 직경 입자에 대한 효율은 50배 넘게 더 낮았다. 유사하게, 정상 흐름 조건 하에서, 매체는 9.3 μm -직경을 갖는 입자의 99%를 여과할 수 있었으며, 순환 흐름 조건 하에서, 동일한 99% 여과는 입자가 27 μm 직경을 갖지 않는 경우 달성될 수 없다.

[0484] 표 5b에 도시된 바와 같이, 특정 미세 섬유층(미세 섬유 샘플 A, 미세 섬유 샘플 B)의 첨가는 허용 가능한 압력 강하를 유지하면서 이러한 효율 손실을 "구조"할 수 있다. 대조적으로, 미세 섬유 샘플 C의 첨가는 원하지 않게 높은 압력 강하를 초래한다(로딩층 A 및 효율층 A 단독에 의해 나타낸 압력 강하의 3배 초과). 미세 섬유 샘플 C는 미세 섬유 샘플 C(4.39 μm)의 P95가 효율층 A의 P5 내지 P50 범위(4.70 μm 내지 8.82 μm) 내에 속하지 않도록 더 작은 기공 효율층 A를 갖는다. 대조적으로, 미세 섬유 샘플 A 및 미세 섬유 샘플 B 둘 모두는 효율층 A의 P5 내지 P50 범위(4.70 μm 내지 8.82 μm) 내에 속하는 P95를 갖는다.

[0485] 미세 섬유가 필터 매체를 통한 공기 흐름을 차단하기 때문에, 미세 섬유층(예를 들어, 미세 섬유 샘플 C에서와 같음)에서 매우 작은 기공 크기를 갖는 경우 압력 강하 증가를 야기시킨다. 또한, 이론에 의해 얽매이고자 하는 것은 아니지만, 효율층보다 훨씬 더 작은 미세 섬유층의 기공 크기를 갖는 경우 또한, 미세 섬유층이 효율층에 포착될 수 없는 크기의 입자를 포착하기 때문에 덜 효율적인 것으로 여겨진다. 대조적으로, 미세 섬유층 및 효율층의 기공 크기가 중첩할 때, 미세 섬유층은 또한, 효율층에 의해 포착될 수 있는 크기의 입자를 포착한다.

[0486] [표 5A]

시험 조건	필터 매체의 층	깨끗한 ΔP	전체 $\beta_{10 \mu\text{m}}$	β_{100}
정상 흐름	로딩층 A / 효율층 A	7.6 kPa	152	9.3 μm
순환 흐름	로딩층 A / 효율층 A	7.2 kPa	2.39	27 μm

[0487]

[0488] [표 5B]

시험 조건	필터 매체의 층	깨끗한 ΔP	전체 $\beta_{10 \mu\text{m}}$	β_{100}
순환 흐름	로딩층 A / 효율층 A / 미세 섬유 샘플 A	10.3 kPa	8.53	17 μm
순환 흐름	로딩층 A / 효율층 A / 미세 섬유 샘플 B	15.8 kPa	129	9.5 μm
순환 흐름	로딩층 A / 효율층 A / 미세 섬유 샘플 C	23.2 kPa	2470	4.1 μm

[0489]

[0490] 실시예 7

[0491] 방법 9에 따라 제조된 샘플을 "미세 섬유층 두께" 방법에 따라 분석하였다. 예시적인 이미지는 도 8a에 도시되어 있으며, 여기서, 미세 섬유층의 전체 깊이는 단면에서 볼 수 있으며, 지지층의 섬유는 이미지의 하단에서 일부 볼 수 있다.

[0492] 도 8b는 다각형 툴을 이용하여 미세 섬유 단면의 묘사를 도시한 것이다. 도 8c는 선택된 미세 섬유 단면 외측의 구역이 제거된 후 이미지를 도시한 것이다. 도 8d는 (선택된 섹션의 경계 상에서 섬유를 보상하기 위해) 역치 수준 툴을 사용하여 백색으로 다시 착색한 후 선택된 미세 섬유 단면적을 도시한 것이며, 점선은 측정되고 기록된 이미지에서 최대 두께(5.97 μm)를 나타낸다. 이러한 최대 값 중 5개는 마이크론의 1/10으로 반올림한 후에, 이러한 반올림된 값은 평균처리되었다. 결과는 표 6에 나타나 있다.

[0493] [표 6]

	최대 두께(μm)	반올림값
샘플 1	5.97	6
샘플 2	8.17	8.2
샘플 3	7.203	7.2
샘플 4	6.941	6.9
샘플 5	4.702	4.7
평균 미세 섬유층 두께		6.6

[0494]

[0495] 본원에서 인용된 모든 특허, 특허출원, 및 간행물, 및 전자적으로 입수 가능한 자료의 완전한 개시내용은 참조로 포함된다. 본 출원의 개시내용과 본원에 참조로 포함된 임의의 문헌의 개시내용(들) 사이에 임의의 불일치가 존재하는 경우에, 본 출원의 개시내용이 우선해야 한다. 하기 상세한 설명 및 실시예는 단지 이해의 명확성을

위해 제공되었다. 이로부터 불필요한 제한이 이해되어서는 안된다. 당업자에게 명백한 변형이 청구범위에 의해 규정된 본 발명 내에 포함될 것이므로, 본 발명은 도시되고 기술된 정확한 세부사항으로 제한되지 않는다.

도면

도면1a

효율층	(저강도)
	(고강도)
	미세 섬유층
지지층	
와이어 지지체	

효율층	(저강도)
	(고강도)
미세 섬유층	

효율층	(저강도)
	(고강도)
미세 섬유층	
지지층	

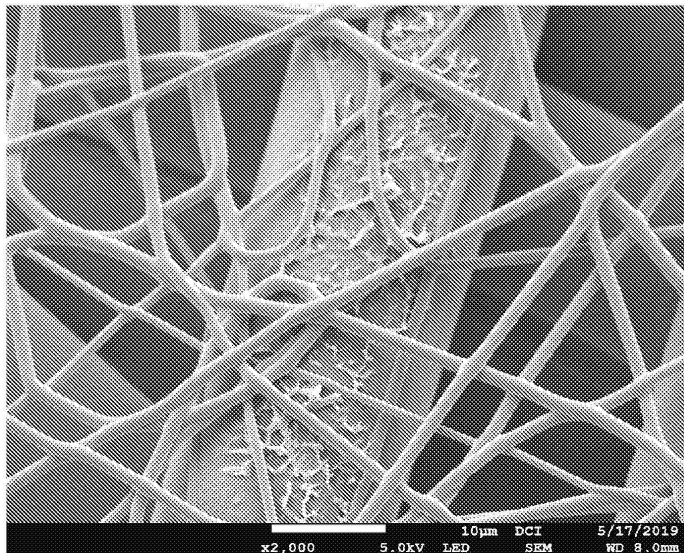
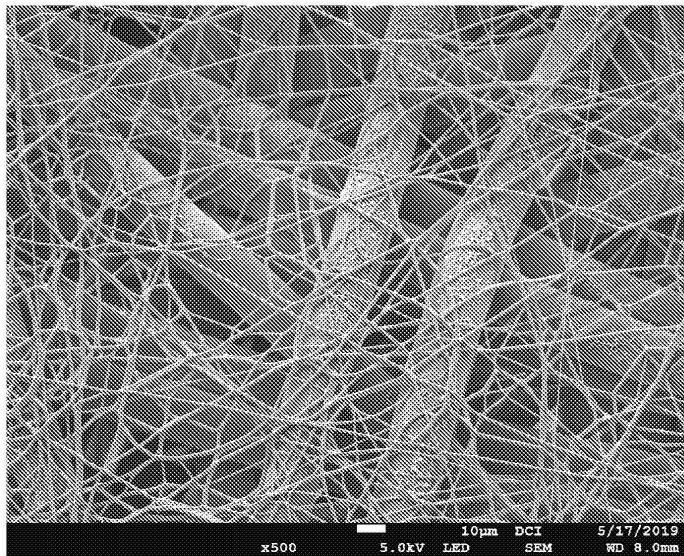
도면1b

효율층	(저강도)
미세 섬유층	(고강도)
효율층	(저강도)
미세 섬유층	(고강도)
효율층	(저강도)
미세 섬유층	(고강도)
지지층	

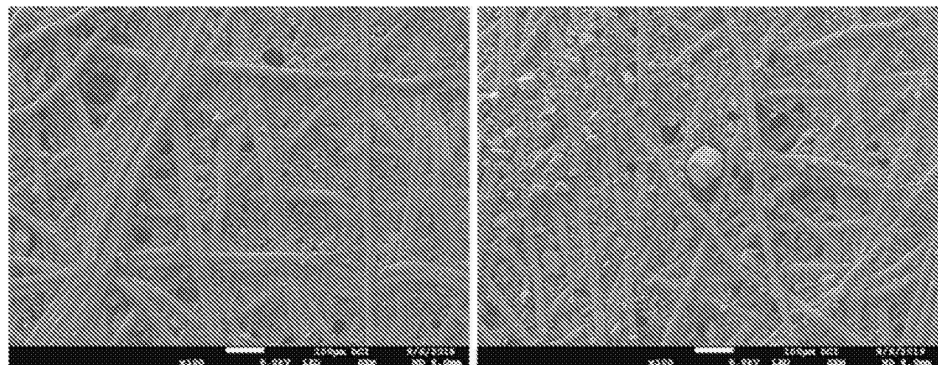
도면2a

큰 섬유
혼합된 섬유
작은 섬유
큰 섬유

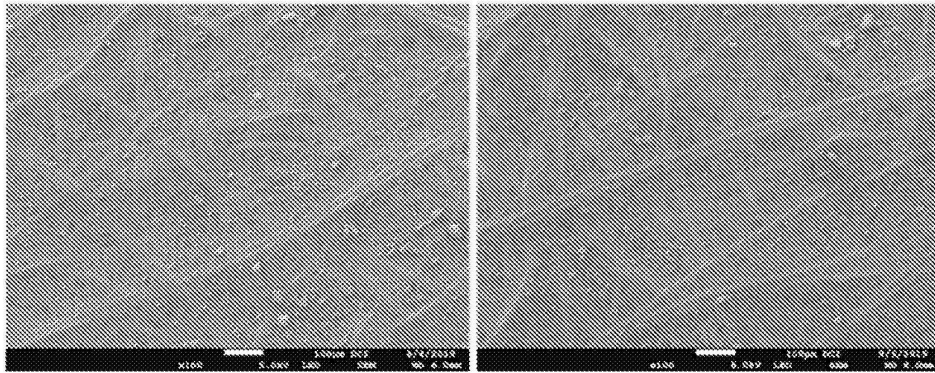
도면2b



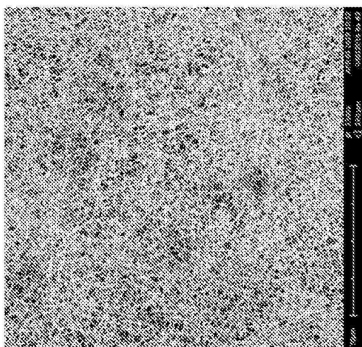
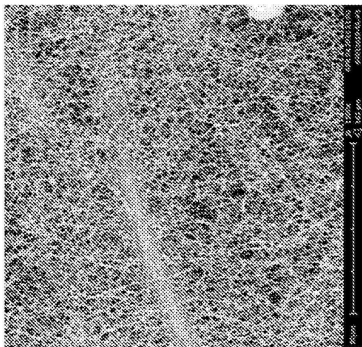
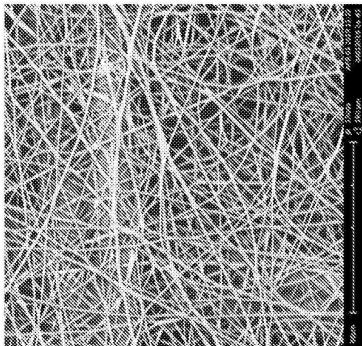
도면2c



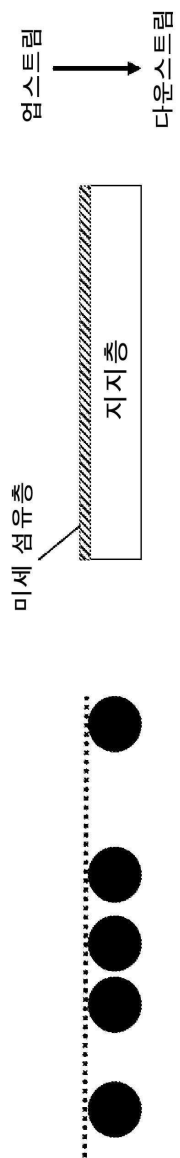
도면2d



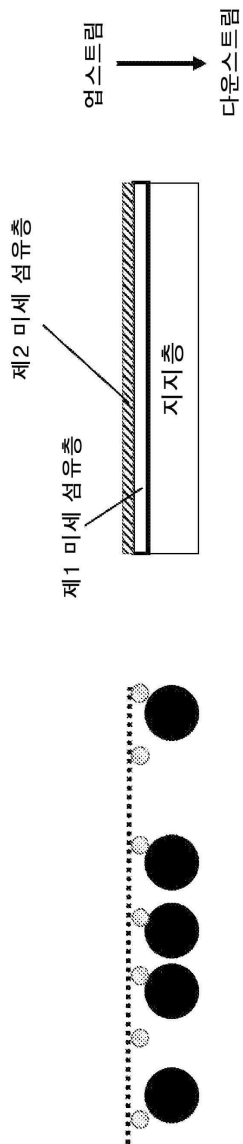
도면2e



도면2f



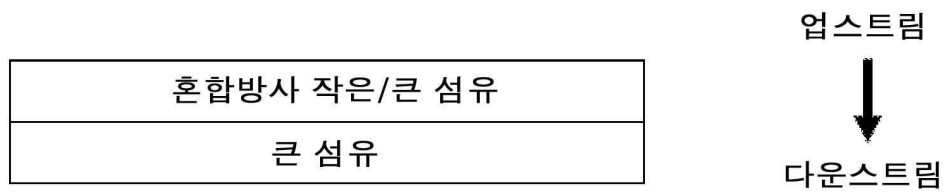
도면2g



도면2h



도면2i



도면2j

큰 섬유
작은 섬유
큰 섬유



도면2k

큰 섬유
혼합방사 작은/큰 섬유
큰 섬유



도면2l

큰 섬유
작은 섬유
큰 섬유
작은 섬유
큰 섬유

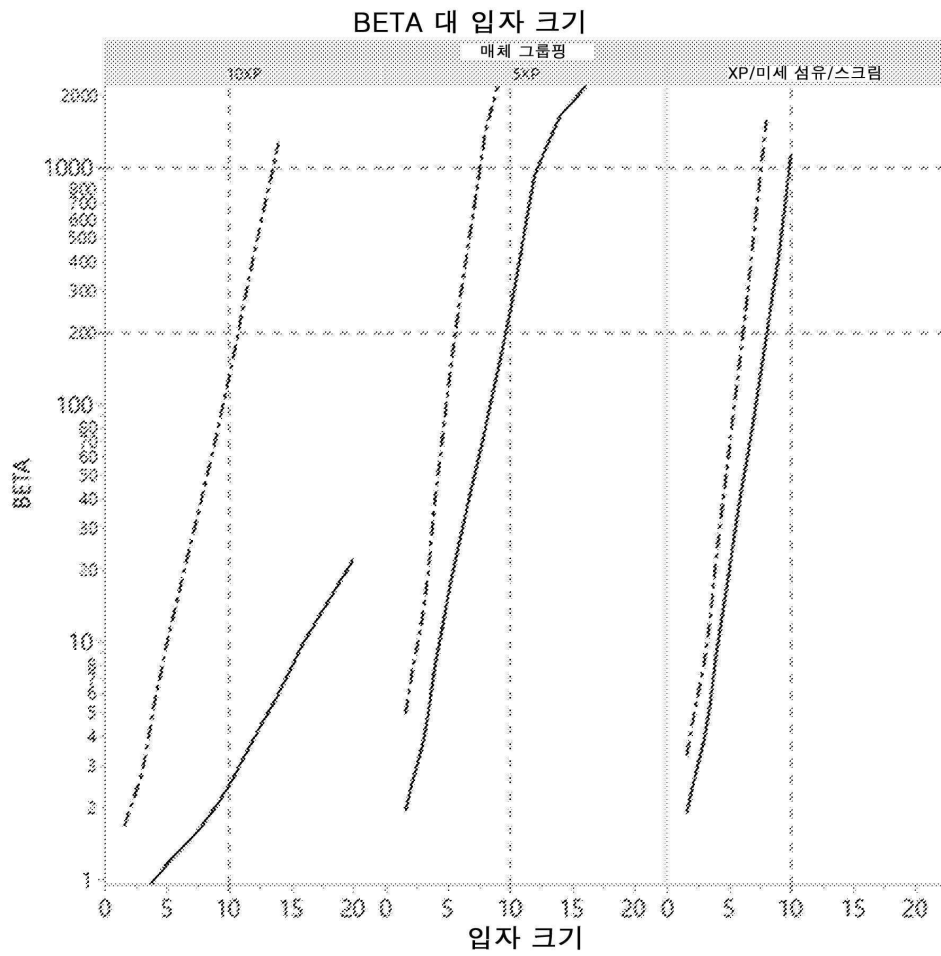


도면2m

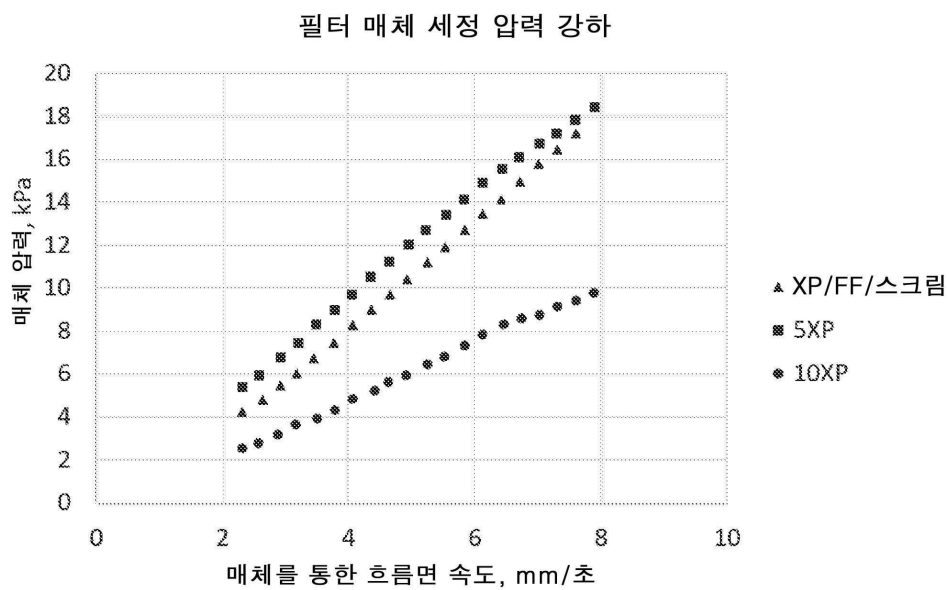
큰 섬유
혼합방사 작은/큰 섬유
작은 섬유
큰 섬유



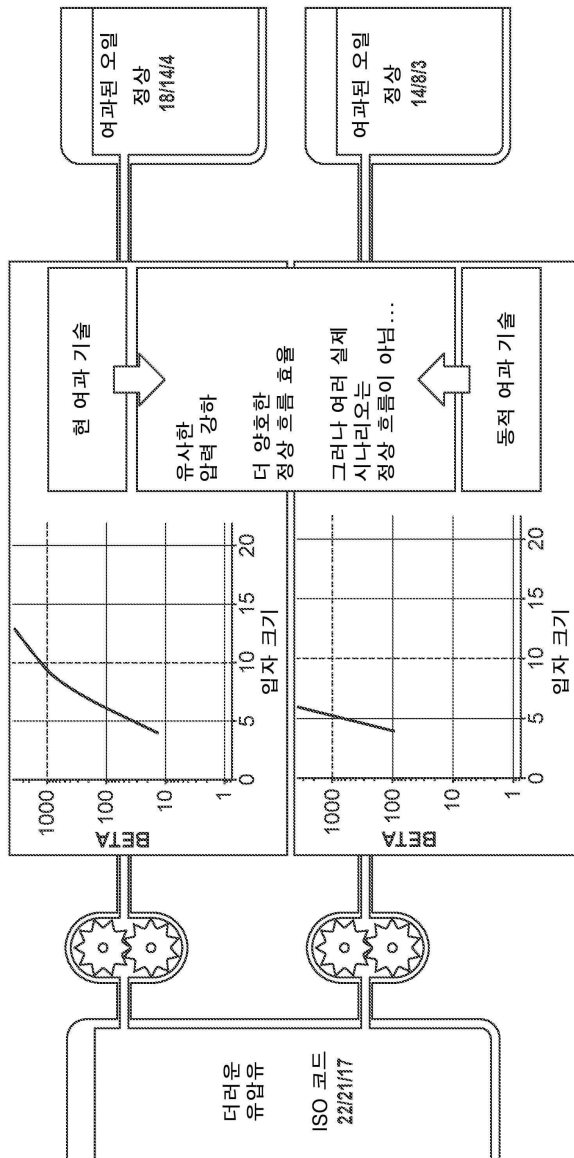
도면3a



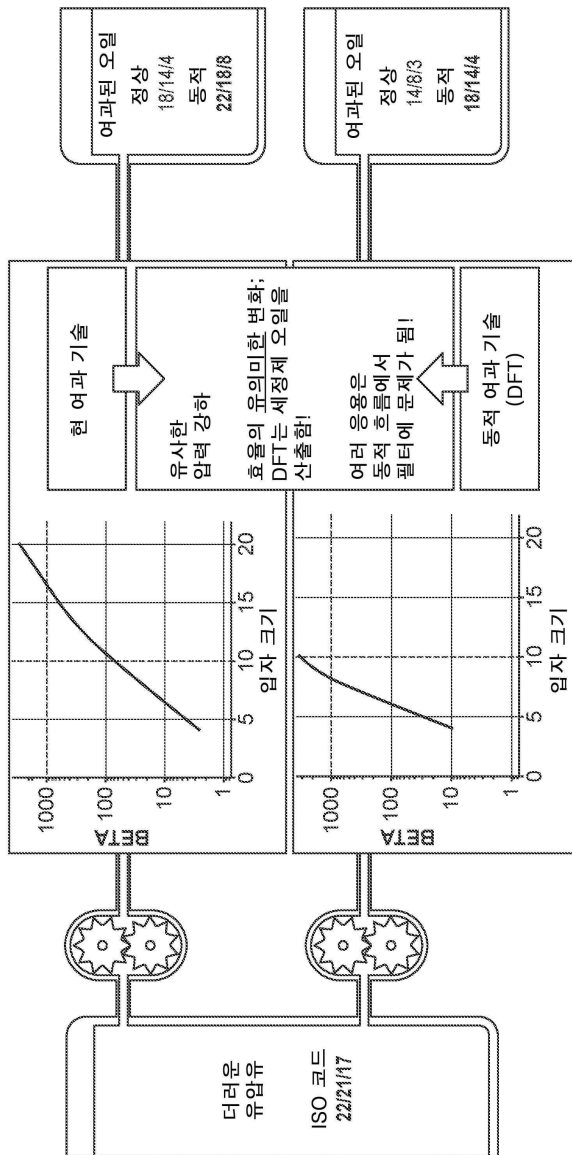
도면3b



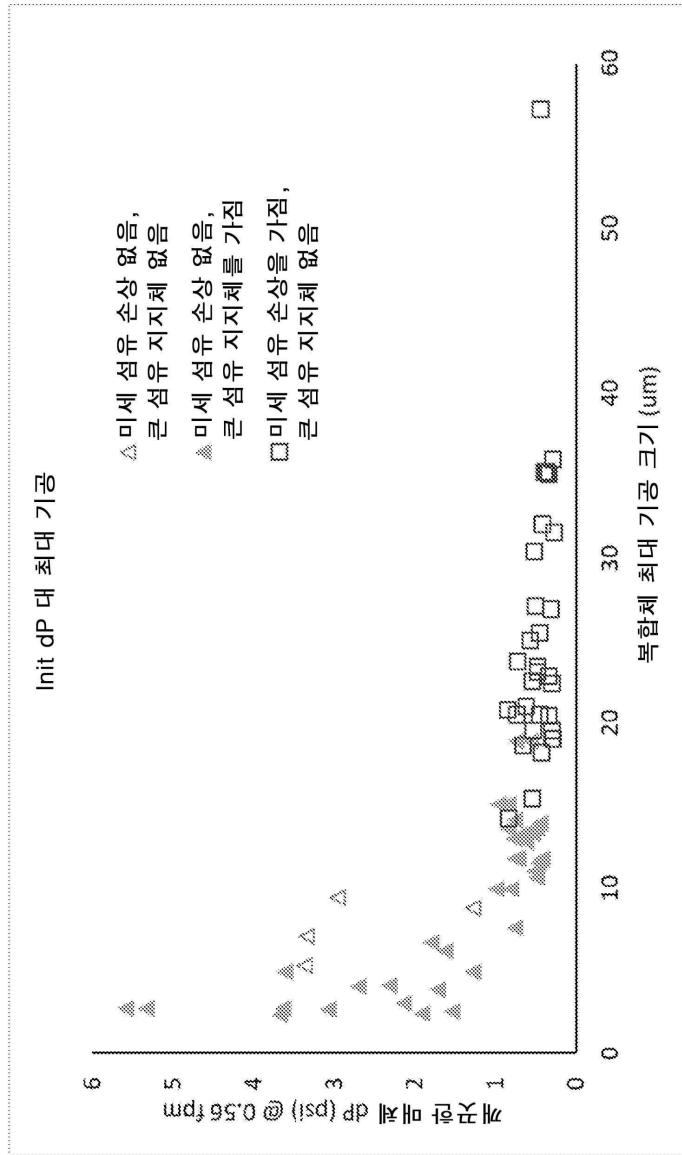
도면4



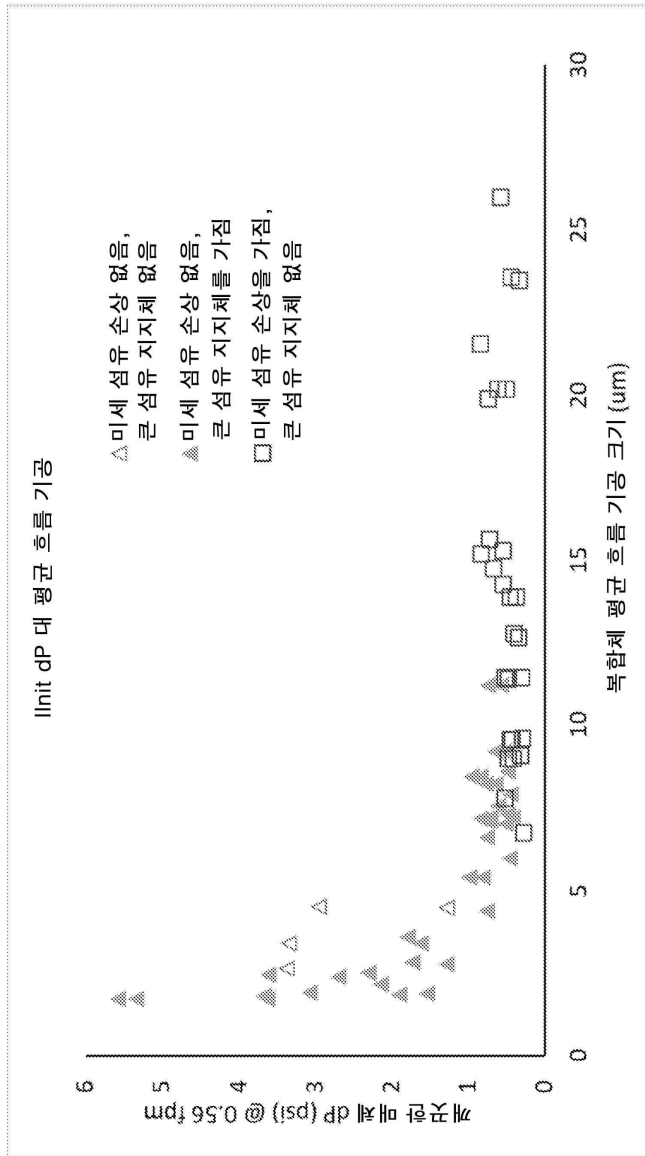
도면5



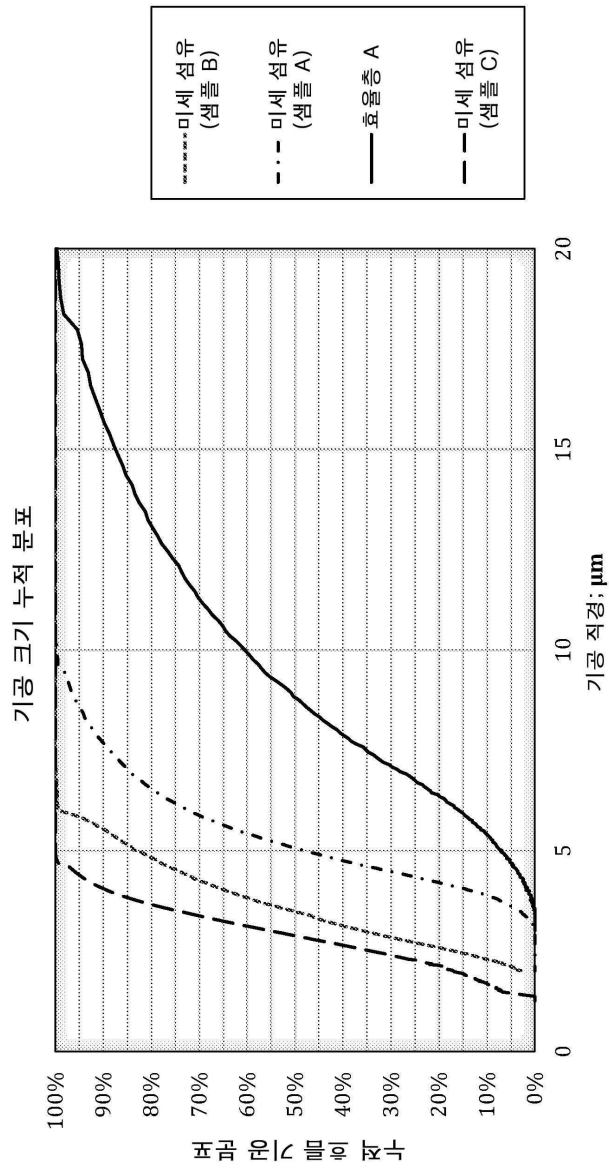
도면6a



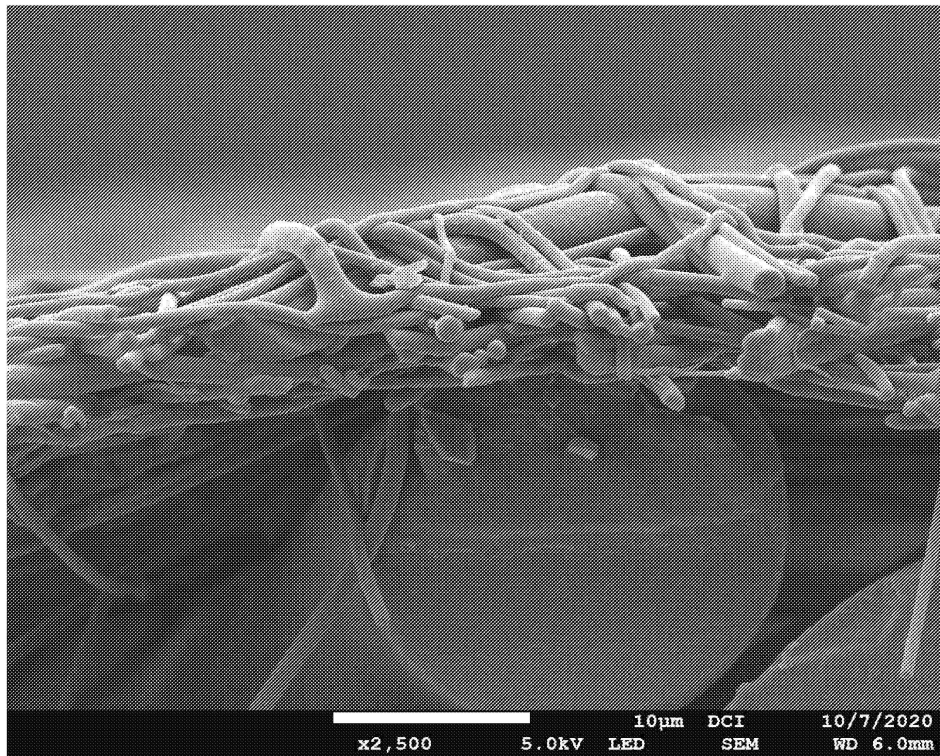
도면6b



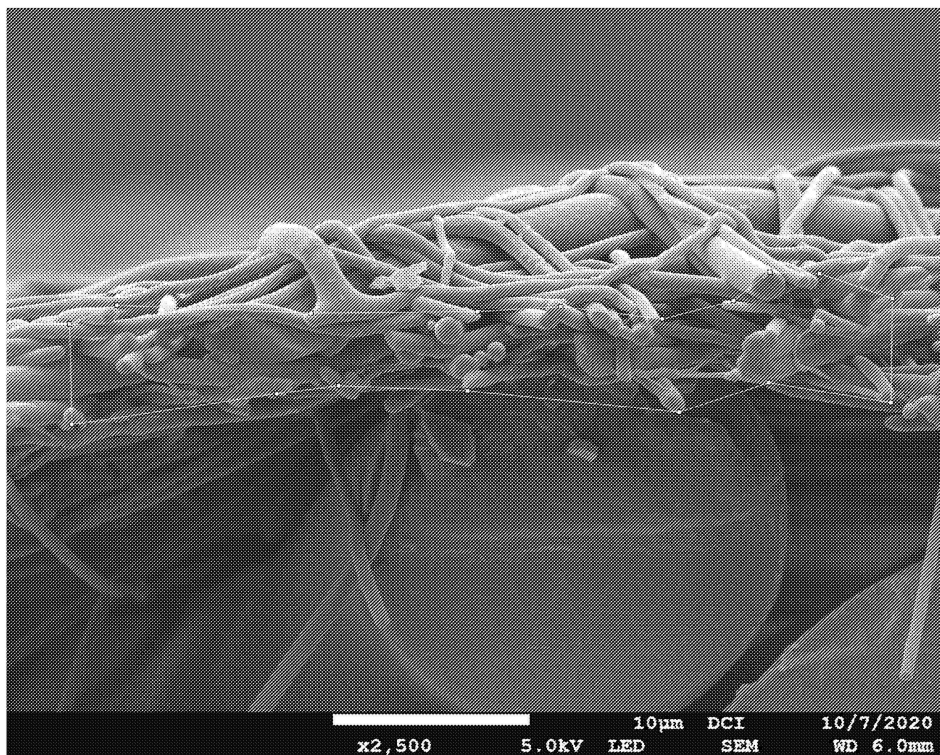
도면7



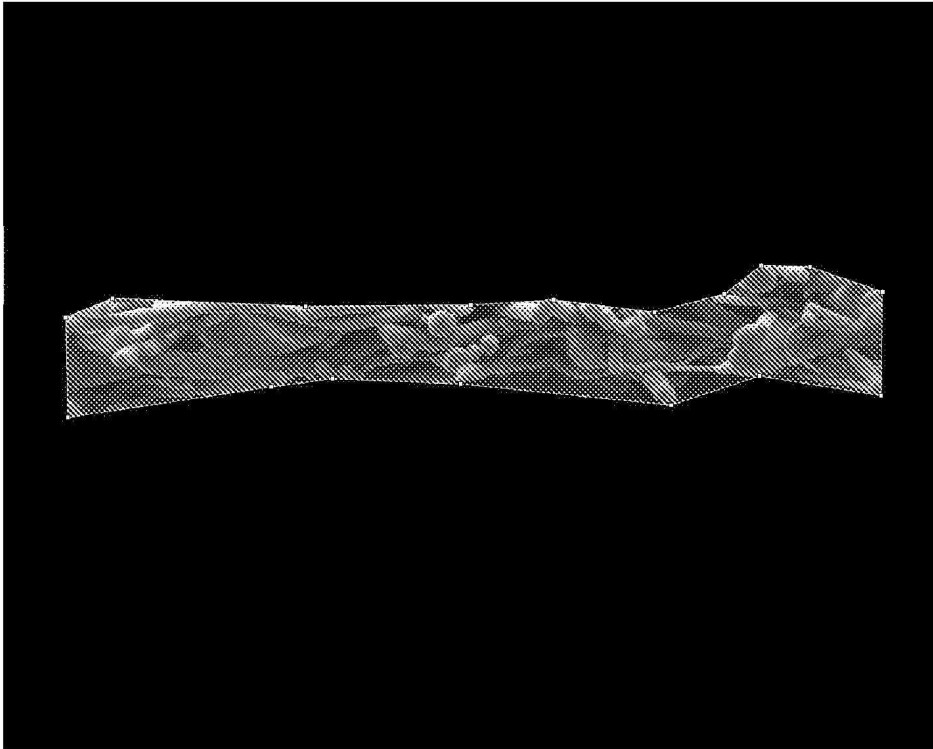
도면8a



도면8b



도면8c



도면8d

