

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2020-0082331
(43) 공개일자 2020년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B03C 5/00 (2006.01) C12M 1/42 (2017.01)
C12Q 1/24 (2017.01)
(52) CPC특허분류
B03C 5/005 (2013.01)
C12M 1/42 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0172815
(22) 출원일자 2018년12월28일
심사청구일자 2018년12월28일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
장재성
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
한창호
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
특허법인 무한

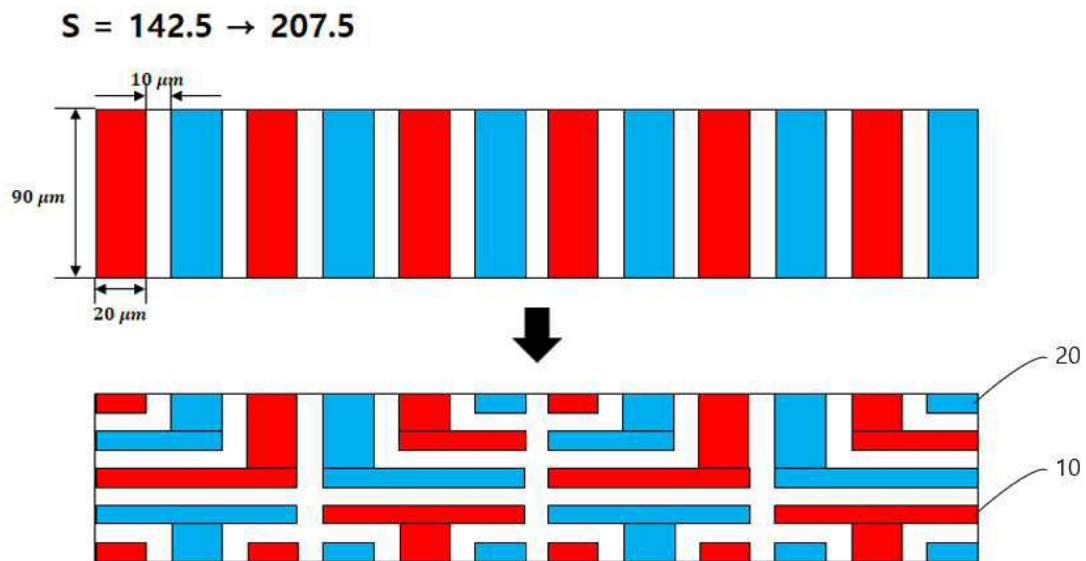
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극

(57) 요약

본 발명의 일 측면에 따르는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극은, 채널의 하면에 서로 면적이 동일하게 형성되는 제1 전극부 및 제2 전극부를 포함하고, 상기 채널의 길이 방향의 중앙에서 상기 채널을 수직으로 가로지르는 선을 기준으로 상기 제1 전극부와 제2 전극부는 복수 개 전극들이 각각 이격 형성되며 서로 간에 대칭을 형성하고, 전위가 가해진 상태에서, 상기 채널로 평균 속도 1.02 mm/s 미만 또는 4.08 mm/s 초과 유속으로 입자가 포함된 유체를 이동시킬 때 보다, 평균 속도 1.02 mm/s 내지 4.08 mm/s의 유속으로 입자가 포함된 유체를 이동시킬 때 입자 채집 효율이 더 우수한 것이다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

C12Q 1/24 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711070434
 부처명 과학기술정보통신부
 연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터
 연구사업명 방송통신산업기술개발사업
 연구과제명 자가충전형 초소형 전국단위 위치추적 시스템 원천기술개발
 기 여 율 1/2
 주관기관 울산과학기술원
 연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1.180015.01
 부처명 미래창조과학부
 연구관리전문기관 울산과학기술원
 연구사업명 울산과학기술원연구운영비지원
 연구과제명 생화학 및 화학재난 감시 긴급대응 기술 및 장비개발
 기 여 율 1/2
 주관기관 울산과학기술원
 연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

채널의 하면에 서로 면적이 동일하게 형성되는 제1 전극부 및 제2 전극부를 포함하고,

상기 채널의 길이 방향의 중앙에서 상기 채널을 수직으로 가로지르는 선을 기준으로 상기 제1 전극부와 제2 전극부는 복수 개 전극들이 각각 이격 형성되며 서로 간에 대칭을 형성하고,

전위가 가해진 상태에서, 상기 채널로 평균 속도 1.02 mm/s 미만 또는 4.08 mm/s 초과 유속으로 입자가 포함된 유체를 이동시킬 때 보다, 평균 속도 1.02 mm/s 내지 4.08 mm/s 의 유속으로 입자가 포함된 유체를 이동시킬 때 입자 채집 효율이 더 우수한 것인,

유전영동기반 입자 채집 장치용 전극.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 전극부 및 제2 전극부는, IDE(채널 길이 방향의 수직으로 배치되는 복수 개의 일자형 전극)를 이산화한 뒤, 최대 전기장 세기를 구현하도록 계산된 형태로 형성되는 것인,

유전영동기반 입자 채집 장치용 전극.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 전극부 및 제2 전극부에 포집되는 채집 입자의 양은, 2 Vpp 이상의 전위를 가하였을 때 IDE(채널 길이 방향의 수직으로 배치되는 복수 개의 일자형 전극)를 이용하였을 경우의 1.5 배 이상인 것인,

유전영동기반 입자 채집 장치용 전극.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 채널의 길이 방향 가장자리에는 제1 전극부 및 제2 전극부의 개별 전극들이 각각 교차하여 형성되는 것이고,

상기 채널의 길이 방향 가장자리에 형성되는 제1 전극부 및 제2 전극부의 개별 전극들의 길이 방향 폭(W)은 모두 동일한 것인,

유전영동기반 입자 채집 장치용 전극.

청구항 5

제1항에 있어서,

제1 전극부 및 제2 전극부를 형성하는 개별 전극들 간의 간격은 균일하며, 상기 채널의 길이 방향 가장자리의 제1전극부의 길이 방향 폭의 40 % 내지 120 % 인 것인,

유전영동기반 입자 채집 장치용 전극.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제1 전극부 및 상기 제2 전극부 각각 간의 길이 방향 이격 거리는, 상기 길이 방향에 수직한 방향의 이격 거리보다 짧은 것인,

유전영동기반 입자 채집 장치용 전극.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 입자 분리 및 채집 장치용 전극은, 전기장이 가해져 길이 방향의 일 단부에서 타 단부로 유체를 이동시키며 상기 유체에 포함된 입자를 분리 및 채집하는 장치에 이용되는 것인,

유전영동기반 입자 채집 장치용 전극.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 채널의 길이 방향의 중앙을 기준으로 구분된 좌우의 영역 각각에서,

상기 채널의 길이 방향의 일 단부로부터 타 단부로 향하는 1/4 지점 및 3/4 지점에서 상기 채널을 수직으로 가로지르는 선을 기준으로 상기 제1 전극부의 복수 개 전극들 및 제2 전극부의 복수 개 전극들은 대칭을 형성하는 것인,

유전영동기반 입자 채집 장치용 전극.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 채널의 길이 방향의 일 단부로부터 타 단부로 향하는 1/4 지점부터 상기 채널의 길이 방향의 중앙까지의 영역에서,

상기 제1 전극은 위에서 내려다본 평면도를 기준하여, ‘ㄴ’ 형태 전극 및 상기 ‘ㄴ’ 형태 전극 하부에 형성된 ‘ㄱ’ 형태 전극을 형성하고,

상기 제2 전극은 위에서 내려다본 평면도를 기준하여,

(i) 상기 제1 전극의 ‘ㄴ’ 형태 전극을 둘러싸고 더 크게 형성되는 ‘ㄴ’ 형태 전극;

(ii) 상기 제2 전극의 ‘ㄴ’ 형태 전극 하부이고, 제1 전극의 ‘ㄱ’ 형태 전극의 좌우 하단부에 동일한 크기의 직사각형 두개로 형성되는 하부 블록 전극; 및

(iii) 상기 제1전극의 ‘ㄴ’ 형태 전극의 우측 상단부에 상기 블록 전극과 동일한 크기로 형성되는 상부 블록 전극;을 포함하는 것인,

유전영동기반 입자 채집 장치용 전극.

청구항 10

제1항에 있어서,
상기 채널의 하면은 길이가 높이의 3.5 배 내지 5.0 배 인 것인,
유전영동기반 입자 채집 장치용 전극.

청구항 11

제1항의 입자 채집 장치용 전극을 포함하고,
상기 입자 채집 장치용 전극에 전위를 적용하고 입자를 포함하는 유체를 흐르게 하여 상기 유동하는 입자를 채집하는 것인,
유전영동 기반 입자 채집 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,
상기 유체의 유속은 평균 속도 0.51 mm/s 내지 5.1 mm/s 인 것인,
유전영동 기반 입자 채집 장치.

청구항 13

제11항에 있어서,
상기 입자는 박테리아 입자인 것인,
유전영동 기반 입자 채집 장치.

청구항 14

제1항의 유전영동기반 채집 장치용 전극을 포함하는 유전영동기반 입자 채집 장치에 전위를 가하고 채집 대상 입자를 포함하는 유체를 흐르게 하여 입자를 채집하는 것이고,
상기 유체의 유속은 평균 속도 0.51 mm/s 내지 5.1 mm/s 인 것인,
유전영동기반 방식을 이용한 입자 채집 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,
상기 유체의 유속은 평균 속도 1.02 mm/s 내지 4.08 mm/s 인 것인,
유전영동기반 방식을 이용한 입자 채집 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 유전영동기반 입자 분리 및 채집 장치용 전극에 관한 것으로 더욱 상세하게는 우수한 분리 및 채집 효율을 갖는 유전영동기반 입자 분리 및 채집 장치용 전극에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0003] 유전영동이란 자유전하를 띠지 않은 유전입자가 불균일한 전기장 하에서 전기장의 크기가 크거나 혹은 작은 곳으로 움직이는 현상을 의미한다. 일반적으로 이러한 유전영동 현상으로 얻을 수 있는 힘의 크기는 매우 작아서 종래의 일반 기계 시스템에서는 사용되는 예가 거의 없었으나 최근들어 초소형 정밀 기계 시스템(Micro Electro Mechanical System; MEMS) 분야가 발전함에 따라 전체적인 시스템의 크기가 작아지면서 그 활용이 급격하게 증가하고 있다.
- [0004] 상기한 유전영동 현상은 바이오-MEMS 분야에서 사용되는 예가 많은데, 예를 들면 죽은 세포와 살아있는 세포의 분리, 암 세포와 정상 세포의 분리, 서로 다른 크기나 종류의 입자 분리, 입자, 세포 및 액체 방울 등의 이송, 트래핑 및 이송 경로의 변경 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.
- [0006] 상기와 같은 특징의 유전영동 현상은 별도의 이동수단이 없어도 단순히 전극 만으로 작동이 가능하고 샘플을 라벨링할 필요가 없고, 특히 MEMS의 경우에는 10V 이하의 작은 전압에서도 작동이 가능하므로 다른 방법에 비하여 안정성이 높고, 세포 분리 등의 경우에 성공율이 매우 높은 장점이 있어 다양한 방식들의 구성들이 제안되고 있다.
- [0007] 예를 들면, 공개특허 제2008-0087404호에는 하부 기관과, 상기 하부 기관의 윗면에 평행하게 적층되는 복수의 띠 형상의 제 1 전극과, 상기 하부 기관의 윗면 가장자리에 형성되어 소정의 유전입자를 포함하는 유체를 담지하는 스페이서와, 상기 스페이서 위에 형성되어 상기 하부 기관을 덮는 상부 기관과, 상기 상부 기관의 아랫면의 적어도 일부에 도포되는 제 2 전극을 포함하는 3차원 전극 구조를 갖는 유전영동 장치의 구성이 개시되어 있다.
- [0009] 또한 공개특허 제2009-0002980호에는 미소입자를 포함하는 미세유체가 이동하는 유로; 전압원에서 인가되는 전압으로 미소입자를 유전영동으로 이동되도록 전기장을 형성하는 전극; 및 상기 전기장을 변형시켜 양의 유전영동으로 미소 입자를 집중시키도록 구비되는 절연체 구조물; 을 포함하여 이루어지는 미소입자 처리장치의 구성이 개시되어 있다.
- [0010] 상기한 바와 같이, 유전 영동 기반의 입자 분리 장치는 일반적으로 채널 바닥에 있는 일자형 전극(interdigitated electrodes; IDE)에 교류 전압을 가하여, 채널을 통과하는 입자를 입자의 전기적 성질에 따라 분리 또는 채집하는 방식으로 다양한 입자들을 분리 또는 채집할 수 있는 장점이 있어, 미세 입자들의 분리 및 채집에 널리 사용되고 있다.
- [0012] 그러나 상기 방법에 따른 분리 장치는 유속이 작은 경우 입자의 분리 성능이 뛰어나지만 유속이 빠른 경우, 입자에 미치는 전기력보다 유동에 의한 관성력이 더 커, 분리 및 채집 효율이 떨어지는 단점이 있어, 본 출원인은 특허출원 제2014-0029285를 출원한 바 있다.
- [0013] 상기 특허는 내부에 형성된 채널의 측벽에 격벽을 설치하여 낮은 유속에서는 종래와 비슷한 채집 효율을 나타내고, 유체 유속이 증가하는 경우 격벽에 의하여 입자의 관성력을 감소시켜, 유속의 영향을 최소화하여 유속의 상승에 따른 채집 및 입자 분리 효율의 감소를 예방하는 효과가 있다.
- [0015] 상기 특허는 격벽을 추가하여 분리성을 향상시킨 구성이나, 실제 상용화를 위해서는 추가적인 입자의 분리 및 채집 효율 향상에 대한 방법이 필요하였다.
- [0017] 상기 특허에서 전극은 채널 길이 방향의 수직으로 다수 개를 배치한 종래의 IDE 방식으로 구현하였었는데, 본 발명자는 추가적인 입자 채집 효율 향상을 기대하기 위하여 오랜 연구 끝에 채집 효율을 극대화할 수 있는 형태를 변형시킨 유전영동 전극 구조와 그를 이용한 입자의 채집 방식을 개발하였고, 여기에서 이를 제안하고자 한

다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0019] 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 단점을 극복하기 위한 연구 끝에 도출된 것으로, 동일한 채널 구조와 동일한 전극 영역 하에서 손쉬운 방법으로 전기장의 세기를 극대화하여 최고의 입자 채집 효율을 달성할 수 있는 새로운 형태의 미세 전극 구조를 제안하고 이를 적용한 유전영동기반 입자 분리 및 채집 장치용 전극과 입자 채집 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.
- [0020] 본 발명의 목적 중 하나는 새롭게 디자인된 전극 구조와 그 전극이 적용된 입자 채집 방법을 제안함으로써 종래 입자 채집 효율이 낮아서 산업 현장에의 적용이 곤란하였던 문제를 해결하고, 유전영동기반 방식의 입자 분리 기술의 적용을 다양한 산업 영역에까지 확대하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0022] 본 발명의 일 측에 따르는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극은, 채널의 하면에 서로 면적이 동일하게 형성되는 제1 전극부 및 제2 전극부를 포함하고, 상기 채널의 길이 방향의 중앙에서 상기 채널을 수직으로 가로지르는 선을 기준으로 상기 제1 전극부와 제2 전극부는 복수 개 전극들이 각각 이격 형성되며 서로 간에 대칭을 형성하고, 전위가 가해진 상태에서, 상기 채널로 평균 속도 1.02 mm/s 미만 또는 4.08 mm/s 초과의 유속으로 입자가 포함된 유체를 이동시킬 때 보다, 평균 속도 1.02 mm/s (유량 100 nl/min) 내지 4.08 mm/s (400 nl/min)의 유속으로 입자가 포함된 유체를 이동시킬 때 입자 채집 효율이 더 우수한 것이다.
- [0023] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 채널로 유량 100 nl/min 미만 또는 400 nl/min 초과의 유량으로 입자가 포함된 유체를 이동시킬 때 보다, 유량 100 nl/min 내지 400 nl/min의 유량으로 입자가 포함된 유체를 이동시킬 때 입자 채집 효율이 더 우수한 것이다.
- [0024] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제1 전극부 및 제2 전극부는, IDE(채널 길이 방향의 수직으로 배치되는 복수 개의 일자형 전극)를 이산화 한 뒤, 최대 전기장 세기를 구현하도록 계산된 형태로 형성되는 것일 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제1 전극부 및 제2 전극부에 포집되는 채집 입자의 양은, 2 Vpp 이상의 전위를 가하였을 때 IDE(채널 길이 방향의 수직으로 배치되는 복수 개의 일자형 전극)를 이용하였을 경우의 1.5 배 이상인 것일 수 있다.
- [0026] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 채널의 길이 방향 가장자리에는 제1 전극부 및 제2 전극부의 개별 전극들이 각각 교차하여 형성되는 것이고, 상기 채널의 길이 방향 가장자리에 형성되는 제1 전극부 및 제2 전극부의 개별 전극들의 길이 방향 폭(W)은 모두 동일한 것일 수 있다.
- [0027] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제1 전극부 및 제2 전극부를 형성하는 개별 전극들 간의 간격은 균일하며, 상기 채널의 길이 방향 가장자리에 형성되는 제1전극부의 개별 전극들의 길이 방향 폭의 40 % 내지 120 % 인 것일 수 있다.
- [0028] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제1 전극부 및 제2 전극부 각각 간의 길이 방향 이격 거리는, 상기 길이 방향에 수직한 방향의 이격 거리보다 짧은 것일 수 있다.
- [0029] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 입자 분리 및 채집 장치용 전극은, 전기장이 가해져 길이 방향의 일 단부에서 타 단부로 유체를 이동시키며 상기 유체에 포함된 입자를 분리 및 채집하는 장치에 이용되는 것일 수 있다.
- [0030] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 채널의 길이 방향의 중앙을 기준으로 구분된 좌우의 영역 각각에서, 상기 채널의 길이 방향의 일 단부로부터 타 단부로 향하는 1/4 지점 및 3/4 지점에서 상기 채널을 수직으로 가로지르는 선을 기준으로 상기 제1 전극부 및 제2 전극부는 대칭을 형성하는 것일 수 있다.
- [0031] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 채널의 길이 방향의 일 단부로부터 타 단부로 향하는 1/4 지점부터 상기 채널의 길이 방향의 중앙까지의 영역에서, 상기 제1 전극은 위에서 내려다본 평면도를 기준하여, 'ㄴ' 형태 전

극 및 상기 'ㄴ' 형태 전극 하부에 형성된 'ㅌ' 형태 전극을 형성하고, 상기 제2 전극은 위에서 내려다본 평면도를 기준하여, (i) 상기 제1 전극의 'ㄴ' 형태 전극을 둘러싸고 더 크게 형성되는 'ㄴ' 형태 전극; (ii) 상기 제2 전극의 'ㄴ' 형태 전극 하부이고, 제1 전극의 'ㅌ' 형태 전극의 좌우 하단부에 동일한 크기의 직사각형 두 개로 형성되는 하부 블록 전극; 및 (iii) 상기 제1 전극의 'ㄴ' 형태 전극의 우측 상단부에 상기 블록 전극과 동일한 크기로 형성되는 상부 블록 전극;을 포함하는 것일 수 있다.

[0032] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 채널의 하면은 길이가 높이의 3.5 배 내지 5.0 배 인 것일 수 있다.

[0034] 본 발명의 다른 일 측에 따르는 유전영동 기반 입자 채집 장치는, 본 발명의 일 실시예에 따르는 입자 채집 장치용 전극을 포함하고, 상기 입자 채집 장치용 전극에 전위를 적용하고 입자를 포함하는 유체를 흐르게 하여 상기 유동하는 입자를 채집하는 것일 수 있다.

[0035] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 유체의 유속은 평균 속도 0.51 mm/s (유량 50 nl/min) 내지 5.1 mm/s (500 nl/min) 인 것일 수 있다.

[0036] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 입자는 박테리아 입자를 포함하는 것일 수 있다.

[0038] 본 발명의 또 다른 일 측에 따르는 유전영동기반 방식을 이용한 입자 채집 방법은, 본 발명의 일 실시예에 따르는 유전영동기반 채집 장치용 전극을 포함하는 유전영동기반 입자 채집 장치에 전위를 가하고 채집 대상 입자를 포함하는 유체를 흐르게 하여 입자를 채집하는 것이고, 상기 유체의 유속은 평균 속도 0.51 mm/s 내지 5.1 mm/s 인 것일 수 있다.

[0039] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 유체의 유속은 평균 속도 1.02 mm/s 내지 4.08 mm/s 인 것일 수 있다.

[0040] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 입자는 박테리아 입자를 포함하는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0042] 본 발명에 따른 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극은 일반적으로 많이 사용하는 일자형 전극(IDE) 구조를 변형하여, 이산화된 전극에서 전기장의 세기를 계산한 후, 전기장의 세기가 가장 센 전극 구조를 참고하여 창의적으로 개발한 새로운 형태의 미세 전극을 제공하는 것이다.

[0044] 또한 본 발명의 일 측에 따르면, 단순히 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극의 형상과 구조를 제안하는 것에 그치지 않고, 그 전극 구조에 최적화된 입자 채집용 유체의 유속을 제안함으로써 미세입자 채집 효율을 한차례 더 끌어올린 효과가 있다.

[0045] 본 발명에서 제안하는 전극 구조와 그에 적용되는 유체의 제어를 이용하면, 커다란 설계 변경 없이 간단한 방법으로도 유전영동 방식에 기반하여 효율적으로 미세입자를 채집할 수 있다.

[0046] 나아가, 본 발명에서 제안하는 기술을 이용할 경우, 유전영동 기반의 미세입자 분리 기술을 다양한 산업 영역에 까지 확장하여 적용할 수 있는 가능성이 열릴 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0048] 도 1은, 종래의 입자 채집 장치에서 일반적으로 많이 이용되던 IDE(채널 길이 방향의 수직으로 배치되는 복수개의 일자형 전극)의 구조를 나타내는 개략도이다.

도 2(a) 내지 도 2(d)는, 본 발명의 일 실시예에 따라서 IDE 전극이 이산화된 후 본 발명의 일 실시예에 해당하는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극이 도출되는 과정을 나타내는 그림이다.

도 3은, 본 발명의 비교예에 해당하는 IDE 전극과, 본 발명의 일 실시예에 해당하는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극을 나타내는 그림이다.

도 4는, 본 발명의 비교예에 해당하는 IDE 전극과, 본 발명의 일 실시예에 해당하는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극(MED)을 채용한 입자 채집 장치에서, 채널 높이의 1/2에서 측정된 전기장의 세기를 나타내는 사진이다.

도 5는, 본 발명의 비교예에 해당하는 IDE 전극과, 본 발명의 일 실시예에 해당하는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극(MED)을 채용한 입자 채집 장치에서, 2 Vpp, 2 MHz 및 400 nl/min조건 하에서 박테리아 입자가 채집된 정도를 나타내는 사진이다.

도 6(a) 및 도 6(b)는, 본 발명의 비교예에 해당하는 IDE 전극들과, 본 발명의 일 실시예에 해당하는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극(MED)들을 채용한 입자 채집 장치에서, 전기장을 가한 후 30 초가 지난 후 채널로 들어오는 박테리아 총 수 대비 채집된 박테리아의 양을 나타낸 그래프이다.

도 7은, 본 발명의 비교예에 해당하는 IDE 전극들과 일 실시예에 해당하는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극에서, Comsol 소프트웨어를 이용한 입자 추적 계산 결과를 나타내는 그래프들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0049] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 상세하게 설명한다. 다른 설명이 없는 한, 각 도면에 제시된 동일한 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0050] 아래 설명하는 실시예들에는 다양한 변경이 가해질 수 있다. 아래 설명하는 실시예들은 발명의 범위를 설명된 실시 형태로 한정하려는 것이 아니며, 본 출원을 통해 권리로서 청구하고자 하는 범위는 이들에 대한 모든 변경, 균등 물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0051] 실시예에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 실시예를 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0052] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0053] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0055] 본 발명에 따른 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극은 내부에 공간이 형성되는 채널의 바닥면에 형성되는 것이다. 상기 채널을 통하여 유체가 흘러가면서 유체 내부에 포함된 입자들은 상기 전극을 통하여 인가되는 전원에 의하여 발생하는 유전영동력에 의하여 상기 전극면에 채집된다. 본 발명에서 제안하는 입자 채집 장치용 전극은 이와 같은 입자를 분리하고 채집하는 유전영동기반 입자 채집 장치에 적용되는 것이다.
- [0057] 본 발명에서는 채널 길이 방향의 수직으로 배치되는 복수 개의 일자형 전극(이하 IDE로 지칭)을 설정하고, 상기 IDE를 이산화한 후, 전기장 세기를 계산하는 과정을 거쳐 최종적으로 전극 모델을 결정하고, 그 중 입자 채집 실험을 거쳐 최종적으로 입자 채집 장치용 전극을 제공하는 것이다.
- [0058] 이하에서는 도면을 참조하여, 도출 과정과 효율이 증대된 정도를 통해 본 발명에서 제안하는 입자 채집 장치용 전극에 대한 결과물을 상세히 설명한다.
- [0059] 도 1은, 종래의 입자 채집 장치에서 일반적으로 많이 이용되던 IDE(채널 길이 방향의 수직으로 배치되는 복수 개의 일자형 전극)의 구조를 나타내는 개략도이다.
- [0060] 본 발명의 일 측면에서는 도 1에 도시된 것과 같은 IDE를 대체하고 더 효율적으로 입자를 채집할 수 있는 전극

디자인을 제안한다. 본 발명에서 제안하는 전극 디자인은 초기 설정된 IDE 모델(전극의 수, 전극의 폭과 높이, 전극의 폭 대비 전극 간의 간격의 비율 등)을 변수로 하여, 상술한 것과 같이 이산화 및 전기장 세기 계산 과정과 반복 실험을 통해 높은 유전영동력이 효율적으로 구현되는 형태를 찾아낸 것이다.

[0061] 일 예로서 상기 IDE는 동일한 폭으로 동일한 간격으로 배치될 수 있고, 연결되는 전원의 극성은 교차하여 반복 배열되는 형태로 배치될 수 있다. 즉, +, -, + 와 같이 배치될 수 있으며, 또는 -, +, - 와 같이 배치될 수 있다.

[0062] 일 예로서, 상기 IDE는 동일한 폭으로 동일한 간격을 가지는 총 6 개 내지 18개의 전극으로 구성될 수 있다.

[0063] 일 예로서, 상기 IDE는 각각의 전극의 폭에 비해 각 전극 사이의 간격(gap)이 더 좁은 것일 수 있다. 바람직한 일 예로서, 상기 IDE 는 각각의 전극의 폭은 동일하고 각 전극 사이의 간격은 각각의 전극의 폭의 1/5 내지 2/3 인 것일 수 있다. 바람직한 일 예로서는 상기 비는 1/2 인 것일 수 있다. 다만, 본 발명이 이러한 전극 디자인에 필연적으로 제한되는 것은 아니다.

[0064] 본 발명에서는 도 2 및 도 3과 같이 동일한 극은 동일한 색으로 표시하여 제안하였다. 필요한 경우에는 상기 IDE는 서로 다른 폭과 균일하지 않은 간격으로 배치되고 디자인 될 수도 있다.

[0065] 도 2(a) 내지 도 2(d)는, 본 발명의 일 실시예에 따라서 IDE 전극이 이산화된 후 본 발명의 일 실시예에서 제공하는 것과 같은 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극이 도출되는 과정을 나타내는 그림이다.

[0066] 도 2(a)에 나타난 것과 같은 IDE 전극을 일 예로 들어 설명하면, 도 2(b)와 같이 행과 열을 각각의 구획대로 구분 분할하고, 이산화하고 재배열한다. 다만, 이 과정에서 도 2(c)에 나타난 것과 같이 타 전극으로 둘러쌓여 고립된 전극이 발생하는 구조는 배제하였다.

[0067] 그 후 도 2(d)에 나타난 것과 같이 모든 이산화 및 재배열된 전극들에 전위를 가하여 구현되는 전기장을 계산하고, 가장 높은 전기장을 구현하는 이산화된 전극 형태를 찾고, 도출된 이산화된 전극 형태에서 인접한 같은 극들을 연결하여 최종적으로 본 발명에서 제안하고자 하는 전극 디자인을 확보하였다.

[0068] 상기 전기장을 계산하는 단계는, 즉, 전체 이산화된 전극에 전원 상태를 설정하는 전원 설정 단계와, 설정된 전원 상태에 이산화된 전극을 서로 연결하는 전극 연결단계, 그리고 연결된 이산화된 전극을 기초로 전기장 세기를 계산하는 S팩터 계산 단계를 포함하여 수행될 수 있다. S팩터 계산 단계에서는 상기 전원 설정 단계에서 설정된 전극 상태를 기초로 전기장 세기를 나타내는 팩터를 계산하는 것일 수 있다.

[0069] 상기 전원 설정 단계는 각 이산화된 전극의 전원 상태를 + 또는 -로 할당하는 단계로 각 전원 상태를 50%로 할당하는 것일 수 있으며, 이 때 이산화된 전극 중 측면에 연결되지 못하여 전원의 인가가 불가한 상태는 제외하였다.

[0070] 상기 전기장을 계산하는 과정에서는 이산화된 전극을 2차원의 그리드로 이산화하고, 라플라스 방정식과 경계조건을 적용하여 전기장의 세기를 계산하였고, 최종적으로 유전영동력 팩터 값(S)을 도출하였다. 그 과정에서 이용되었던 주요 수식은 다음과 같다.

[0072] 라플라스 방정식:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0$$

[0073]

[0075] 라플라스 방정식에 FDM(Finite Difference Method)의 적용:

$$\left. \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \right|_i = \frac{V_{i-1} + V_{i+1} - 2V_i}{h^2}$$

$$\left. \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right|_i = \frac{V_{i-n} + V_{i+n} - 2V_i}{h^2}$$

[0076]

[0077] 전기장의 세기 계산:

$$E_{x,i}^2 = \left(-\frac{V_{i+1} - V_{i-1}}{2h} \right)^2$$

$$E_{y,i}^2 = \left(-\frac{V_{i+n} - V_{i-n}}{2h} \right)^2$$

[0078]

[0080] 단위 팩터 계산:

$$S_i = E_{x,i}^2 + E_{y,i}^2$$

[0081]

[0083] 전기장의 세기 또는 유전영동력 팩터 S의 계산:

[0084]

$$S = \sum_i S_i A_i = \delta^2 \sum_i S_i$$

[0086] 상술한 것과 같은 과정을 통하여, 본 발명에서는 특정한 IDE 전극 모델로부터 가장 효율적으로 유전영동력을 구현할 수 있는 전극 디자인을 확보하고, 이에 대하여 하기와 같이 구체적으로 설명, 제안한다.

[0088] 도 3은, 본 발명의 비교예에 해당하는 IDE 전극과, 본 발명의 일 실시예에 해당하는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극을 나타내는 그림이다.

[0089] 본 발명의 일 실시예에서는, 도 3에서 나타내는 것과 같이 높이 90 μm , 제1 전극부 및 제2 전극부의 각 전극의 폭 20 μm , 제1 전극부 및 제2 전극부의 각 전극 간의 이격된 간격 10 μm 인 IDE 전극에서부터 출발하여 본 발명에서 제안하는 높은 효율로 입자를 채집할 수 있는 전극 구조를 설계하고 이를 제안한다. 다만, 상기 도 3에 나타나 있는 높이, 폭 및 이격된 간격은 일 예에 불과하며, 본 발명의 기술 사상이 이에 필연적으로 제한되는 것은 아니다.

[0090] 하기에서는 도 3에 도시된 것과 같이 대단히 특수한 형태로 구현되는 본 발명의 유전영동력 기반 입자 채집 장치용 전극에 대하여 보다 상세히 설명한다.

[0092] 본 발명의 일 측에 따르는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극은, 채널의 하면에 서로 면적이 동일하게 형성되는 제1 전극부 및 제2 전극부를 포함하고, 상기 채널의 길이 방향의 중앙에서 상기 채널을 수직으로 가로지르는 선을 기준으로 상기 제1 전극부(10, 도 3(아래)의 빨간색 전극부)와 제2 전극부(20, 도 3(아래)의 하늘색 전극부)는 복수 개 전극들이 각각 이격 형성되며 서로 간에 대칭을 형성하고, 전위가 가해진 상태에서, 상기 채널로 평균 속도 1.02 mm/s (유량 100 nl/min) 미만 또는 4.08 mm/s (400 nl/min) 초과로 유속으로 입자가 포함된 유체를 이동시킬 때 보다, 평균 속도 1.02 mm/s (유량 100 nl/min) 내지 4.08 mm/s (400 nl/min) 의 유속으로 입자가 포함된 유체를 이동시킬 때 입자 채집 효율이 더 우수한 것이다.

- [0093] 최적의 입자 채집량을 확보하기 위해서는 유속이 중요한 요소인데, 이는 유량에 좌우되는 인자 값이다. 본 발명에서 제안하는 전극이 적용된 환경에서는, 평균 속도 1.02 mm/s 내지 4.08 mm/s 의 유속으로 입자가 포함된 유체를 이동시킬 때 입자 채집 효율이 더 우수할 수 있다.
- [0095] 또한, 상기 유속은 유량에 의해 좌우되는 인자일 수 있다. 본 발명의 일 실시예의 전극 구조 하에서는 유량이 증가할수록 유속이 증가하는 정비례 관계를 나타낸다.
- [0097] 이 때, 본 발명에서 제안하는 전극이 적용된 환경에서는, 100 nl/min 내지 400 nl/min의 유량을 적용한 경우 그 외의 경우에 비해 입자 채집 효율이 더 우수할 수 있다. 상기 유량은 바람직하게는 100 nl/min 내지 350 nl/min 인 것일 수 있다.
- [0098] 본 발명의 이러한 특징은 채널 내 전극의 구조로부터 발생하는 특징이며, 본 발명의 일 실시예에 따르는 전극의 구조, 배치, 가해지는 전압과 제안된 유체의 유속(유량)이 모두 반영되어 최적의 입자 채집 효율을 구현할 수 있다.
- [0100] 본 발명에서 제안하는 전극은 제1 전극부와 복수 개의 제2 전극부로 구성된다. 제1 전극부와 제2 전극부는 각각 복수 개 전극들로 구성되며, 상기 복수 개 전극들은 서로 이격 형성된다.
- [0101] 이 때, 채널의 길이 방향의 중앙에 가상으로 수직의 선을 그을 경우, 수직의 선의 왼쪽과 오른쪽 간에는 서로 전극 구조가 대칭을 형성하는 것일 수 있다. 상기 대칭은, 제1 전극부와 제2 전극부가 상호간에 대응되도록 형성된다. 즉, 상기 상호간에 대응되는 형성이란, 상기 수직의 선의 왼쪽 영역의 특정 공간에 제1 전극부의 전극이 형성되어 있다고 할 때, 상기 특정 공간에 대칭되는 상기 수직의 선의 오른쪽 영역의 공간에는, 제2 전극부의 전극이 상기 제1 전극부의 전극과 동일한 형태로 좌우 반전되어 형성됨을 의미한다. 이는 도 3에서 제안되는 본 발명의 전극 구조를 통해 그 의미를 쉽게 이해할 수 있다.
- [0102] 본 발명에서 제안하는 전극의 구조는 채널 내 유체의 유속이 평균 속도 1.02 mm/s (유량 100 nl/min) 내지 평균 속도 4.08 mm/s(400 nl/min)로 형성될 때 높은 입자 채집 효율을 기대할 수 있다. 바람직하게는 상기 채널 내 유체의 유속이 1.02 mm/s 내지 3.57 mm/s 로 형성될 때 높은 입자 채집 효율을 기대할 수 있다.
- [0103] 물론, 본 발명의 일 실시예에 따르는 입자 채집 장치용 전극은 평균 속도 1.02 mm/s (유량 100 nl/min) 또는 4.08 mm/s (400 nl/min) 초과인 경우의 유속이 형성되더라도 기존의 IDE 전극에 비하면 압도적으로 높은 입자 채집 효율을 나타낸다.
- [0104] 즉, 본 발명에서 제안하는 전극 구조체는 평균 속도 1.02 mm/s 내지 3.57 mm/s 유속이 형성되는 채널에 구현할 경우 최적의 성능을 구현할 수 있으나, 반드시 유체의 유속이 평균 속도 1.02 mm/s 내지 3.57 mm/s 로 형성되는 경우에만 이용 가능한 것은 아니며, 본 발명에서 제안하는 전극에 관한 기술 사상이 이에 제한되는 것을 의미하는 것은 아니다.
- [0106] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제1 전극부 및 제2 전극부는, IDE(채널 길이 방향의 수직으로 배치되는 복수 개의 일자형 전극)를 이산화 한 뒤, 최대 전기장 세기를 구현하도록 계산된 형태로 형성되는 것일 수 있다.
- [0108] 본 발명의 일 측면에서는 이산화하기 전 IDE의 구조와 이산화한 후 전극을 설계하는 과정을 포함하여 전극 구조를 한정함으로써, 본 발명에서 제안하는 이산화된 후의 전극 구조에 대하여 그 특징을 설명한다.
- [0109] 이산화 및 전극 구조의 재조합 과정은 본 발명의 전극을 도출하기 위한 과정으로서 필연적인 의미가 있으며, 해당 전극의 이산화 및 재조합 과정은 본 발명의 전극 구조를 도출하기 위하여 필연적으로 수반되어야 하는 과정이다.
- [0110] 본 발명을 설계함에 앞서 본 발명자는 수많은 IDE 모델을 가지고서 이산화 및 계산 및 전극 재 조립 과정을 거쳐 다양한 전극 구조와 그에 따른 전기장 세기를 확인하였다. 본 발명은 그 치열한 연구 결과물 중 하나로서,

IDE 모델에 비해 급격하게 그 효율이 증대되는 전극 디자인을 개발하고, 그에 대하여 제안하는 것이다.

- [0112] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제1 전극부 및 제2 전극부에 포집되는 채집 입자의 양은, 2 Vpp 이상의 전위를 가하였을 때, 이산화하기 전 IDE(채널 길이 방향의 수직으로 배치되는 복수 개의 일자형 전극)를 이용하였을 경우의 1.5 배 이상인 것일 수 있다.
- [0113] 본 발명에서 제안하는 전극은 이산화하기 전의 설정된 IDE 전극 구조를 이용하였을 경우에 비해 입자 채집 효율이 1.5배 이상일 수 있다. 즉, 본 발명에서 제안하는 전극을 이용하면 종래에 이용되던 일자형 전극을 이용하는 것에 비해, 2 Vpp 이상의 전위가 가해졌을 때, 입자 채집 효율이 적어도 50 % 이상 증가되는 것이다.
- [0115] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 채널의 길이 방향 가장자리에는 제1 전극부 및 제2 전극부의 개별 전극들이 각각 교차하여 형성되는 것이고, 상기 채널의 길이 방향 가장자리에 형성되는 제1 전극부 및 제2 전극부의 개별 전극들의 길이 방향 폭(W)은 모두 동일한 것일 수 있다.
- [0116] 상기 채널의 가장자리에 형성되는 전극들은 외부 전원과 연결을 형성할 수 있는 위치이기 때문에, 높은 효율을 전기장을 구현하는 전극을 설계하는 과정에 있어서 전제 조건과도 같은 의미가 있다.
- [0118] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제1 전극부 및 제2 전극부를 형성하는 개별 전극들 간의 간격은 균일하며, 상기 채널의 길이 방향 가장자리에 형성되는 제1전극부의 개별 전극들의 길이 방향 폭의 40 % 내지 120 % 인 것일 수 있다.
- [0119] 본 발명에서는 제1 전극부 및 제2 전극부 간의 간격을 채널의 길이 방향 가장자리에 형성되는 제1 전극부의 개별 전극들의 길이 방향 폭을 기준하여 적절한 수준으로 제어되는 것일 수 있다. 이는, 본 발명에서 유전 영동력 팩터를 증가시키는 중요한 요인 중 하나가 될 수 있다.
- [0122] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제1 전극부 및 제2 전극부를 구성하는 개별 전극들 각각 간의 길이 방향 이격 거리는, 상기 길이 방향에 수직한 방향의 이격 거리보다 짧은 것일 수 있다.
- [0123] 상기 제1 전극부 및 제2 전극부를 구성하는 개별 전극들 각각 간의 길이 방향과 수직 방향의 이격 비율은 본 발명에서 유전영동력의 크기를 증가시키는데 있어서 중요한 요소일 수 있다. 본 발명에서 제안하는 전극 구조는, 바람직하게는 길이 방향이 높이 방향보다 긴 하면을 가지는 채널에 적용될 때, 길이 방향 이격 거리와 수직 방향 이격 거리보다 짧은 구조를 통하여 최적의 유전영동력을 구현할 수 있다.
- [0125] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 입자 분리 및 채집 장치용 전극은, 전기장이 가해져 길이 방향의 일 단부에서 타 단부로 유체를 이동시키며 상기 유체에 포함된 입자를 분리 및 채집하는 장치에 이용되는 것일 수 있다.
- [0126] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 채널의 길이 방향의 중앙을 기준으로 구분된 좌우의 영역 각각에서, 상기 채널의 길이 방향의 일 단부로부터 타 단부로 향하는 1/4 지점 및 3/4 지점에서 상기 채널을 수직으로 가로지르는 선을 기준으로 상기 제1 전극부 및 제2 전극부는 대칭을 형성하는 것일 수 있다.
- [0127] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 채널의 길이 방향의 일 단부로부터 타 단부로 향하는 1/4 지점부터 상기 채널의 길이 방향의 중앙까지의 영역에서, 상기 제1 전극은 위에서 내려다본 평면도를 기준하여, 'ㄴ' 형태 전극 및 상기 'ㄴ' 형태 전극 하부에 형성된 'ㄱ' 형태 전극을 형성하고, 상기 제2 전극은 위에서 내려다본 평면도를 기준하여, (i) 상기 제1 전극의 'ㄴ' 형태 전극을 둘러싸고 더 크게 형성되는 'ㄴ' 형태 전극; (ii) 상기 제2 전극의 'ㄴ' 형태 전극 하부이고, 제1 전극의 'ㄱ' 형태 전극의 좌우 하단부에 동일한 크기의 직사각형 두 개로 형성되는 하부 블록 전극; 및 (iii) 상기 제1전극의 'ㄴ' 형태 전극의 우측 상단부에 상기 블록 전극과 동일한 크기로 형성되는 상부 블록 전극;을 포함하는 것일 수 있다.

- [0129] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 채널의 하면은 길이가 높이의 3.5 배 내지 5.0 배 인 것일 수 있다. 상기 채널의 하면은, 바람직하게는 길이가 높이의 3.6배 내지 4.0배 인 것일 수 있다.
- [0130] 상기 채널의 하면의 길이와 높이의 비율은 본 발명에서 유전영동력의 크기를 증가시키는데 있어서 중요한 요소 일 수 있다. 채널 하면의 길이가 높이에 비하여 지나치게 짧을 경우에는 전극 설계의 선택지가 좁아져 충분한 양의 입자 채집이 어려운 문제가 생길 수 있고, 지나치게 길 경우에는 채집 시간이 증가되며, 인가 전압 대비 채집 효율이 저하되는 문제가 생길 수 있다.
- [0131] 본 발명에서는 이와 같은 문제를 종합적으로 고려하여 가장 효율적으로 고성능 채집 성능을 구현할 수 있는 전극 구조를 제안하는 것이다.
- [0133] 본 발명의 다른 일 측면에서는 상술한 전극을 포함하는 유전영동 기반 입자 채집 장치를 제안한다.
- [0134] 본 발명의 다른 일 측에 따르는 유전영동 기반 입자 채집 장치는, 본 발명의 일 실시예에 따르는 입자 채집 장치용 전극을 포함하고, 상기 입자 채집 장치용 전극에 전위를 적용하고 입자를 포함하는 유체를 흐르게 하여 상기 유동하는 입자를 채집하는 것일 수 있다.
- [0135] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 유체의 평균 속도는 0.51 mm/s 내지 5.1 mm/s 인 것일 수 있다.
- [0136] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 입자는 박테리아 입자를 포함하는 것일 수 있다.
- [0138] 본 발명의 또 다른 일 측면에서는 상술한 전극과 유전영동 기반 입자 채집 장치를 이용하여 미세입자를 채집하는 방법에 대하여 제안한다.
- [0139] 본 발명의 또 다른 일 측에 따르는 유전영동기반 방식을 이용한 입자 채집 방법은, 본 발명의 일 실시예에 따르는 유전영동기반 채집 장치용 전극을 포함하는 유전영동기반 입자 채집 장치에 전위를 가하고 채집 대상 입자를 포함하는 유체를 흐르게 하여 입자를 채집하는 것이고, 상기 유체의 유속은 평균 속도 0.51 mm/s 내지 5.1 mm/s 인 것일 수 있다.
- [0140] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 유체의 유속은 평균 속도 1.02 mm/s 내지 4.08 mm/s 인 것일 수 있다. 본 발명의 더욱 바람직한 일 실시예에 따르면, 상기 유체의 유속은 평균 속도 1.02 mm/s 내지 3.57 mm/s 인 것일 수 있다.
- [0141] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 입자는 박테리아 입자를 포함하는 것일 수 있다.
- [0143] **실시예**
- [0144] 본 발명에서 제안하는 방법 및 전극의 형태에 따라, 정해진 채널의 면적 하에서 유전영동력이 대단히 높게 구현되어 고효율로 미세입자를 채집할 수 있는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극을 설계하고, 그를 포함하는 입자 채집 장치를 구성하여 다양한 조건에서 입자를 채집하고 효율을 확인하였다.
- [0145] 구체적으로, 먼저 IDE 전극을 설정하였는데, 본 발명자는 수많은 실험 끝에 면적 대비 우수한 효율 상승을 보인 IDE 전극 구조를 도출하고 이를 설계하였다. 본 발명자는, 그 중 일 예로서 도 3의 위에 제시된 그림과 같이, 길이 방향 폭이 20 μm 인 제1 전극부 및 제2 전극부의 개별전극들을 교차 배치하고 그 간격을 10 μm 로 설정하였다(IDE 구조). 도 3의 위에 제시된 IDE 구조가 본 발명의 비교예에 해당한다.
- [0146] 이를 통해 본 발명에서 설명된 이산화 및 전극 제조합 과정을 수행하였으며, 이를 통하여 도 3의 아래 그림과 같은 전극 구조를 도출하였다.
- [0147] 도 3의 아래 그림과 같이 도출된 전극 구조를 이용할 경우, 종래의 IDE를 이용한 경우에 비해 동일한 조건에서 S 값이 142.5 에서 207.5로 증가하여 정해진 채널 면적 하에서 대단히 우수한 유전영동력이 구현되는 것을 확인하였다.

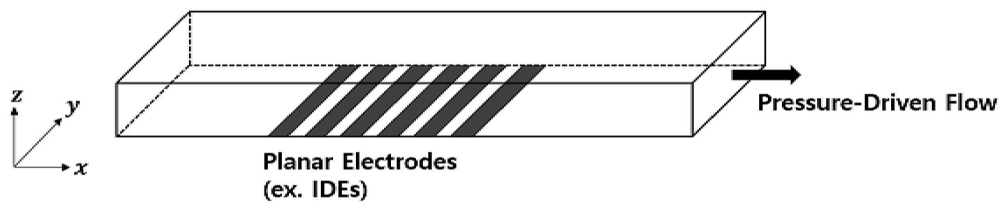
- [0149] 도 4는, 본 발명의 비교예에 해당하는 IDE 전극과, 본 발명의 일 실시예에 해당하는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극(MED)을 채용한 입자 채집 장치에서, 채널 높이의 1/2에서 측정된 전기장의 세기를 나타내는 사진이다.
- [0150] 도 4의 위 그림이 상술한 IDE 전극을 적용하였을 때 $\left| \frac{\partial |E|^2}{\partial z} \right|$ (V²/m³) 값에 따라 구현되는 시뮬레이션 결과이며, 아래 그림이 본 발명에서 제안하는 입자 채집 장치용 전극을 채용하였을 경우 구현되는 시뮬레이션 결과이다.
- [0152] 도 5는, 본 발명의 비교예에 해당하는 IDE 전극과, 본 발명의 일 실시예에 해당하는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극(MED)을 채용한 입자 채집 장치에서, 2 Vpp, 2 MHz 및 유속 400 nl/min 조건 하에서 박테리아 입자가 채집된 정도를 나타내는 사진이다. 파란색으로 보이는 것들이 박테리아 입자이다.
- [0153] Case: IDEs 가 본 발명의 비교예로 제작된 전극을 이용하였을 경우이며, Case: MED가 본 발명의 실시예로 제작된 전극을 이용하였을 경우이다. 0초에서와 30초가 지난 경우 입자의 채집 상태를 비교할 수 있다. 도 5는, 제안된 IDE와 MED 전극에 대하여 400 nl/min의 유량으로 2 MHz에서 2 Vpp의 전기 신호를 가한 경우 채집된 박테리아와 채널을 나타내고 있는 것으로서, 제일 우측 도면은 30초가 지난 후의 도면에서 0초 상태의 도면을 빼서 확보한, 즉 30초 간 변화된 박테리아 채집 효율을 확인할 수 있는 사진이다.
- [0155] 도 6(a) 및 도 6(b)는, 본 발명의 비교예에 해당하는 IDE 전극들과, 본 발명의 일 실시예에 해당하는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극(MED)들을 채용한 입자 채집 장치에서, 전기장을 가한 후 30 초가 지난 후 채널로 들어오는 박테리아 총 수 대비 채집된 박테리아의 양을 나타낸 그래프이다. Case 2로 제시된 IDEs 와 MED가 상술한 본 발명의 실시예에 따른 전극으로 실험한 결과이며, Case 1의 경우 또 다른 형태의 본 발명에서 제안하는 IDEs 및 그로부터 도출된 MED 를 이용하여 실험한 결과이다.
- [0156] 도 6(a)는 400 nl/min 의 유량을 흘려보냈을 때 각각의 인가 전압에서 채집되는 IDE 전극과 MED 전극들의 채집 효율을 나타내고 있으며, 두 비교예와 실시예의 경우 모두에서 인가 전압(Vpp)이 높아질수록 점점 증가하는 채집 효율을 보였으며, 비교예에 비해 실시예는 대단히 높은 수준의 채집 효율을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 상기 채집 효율은 IDE 전극을 이용한 비교예의 경우에 대비할 때, 적어도 1.4배, 많게는 30배 이상, 측정되지 않을 수준으로 박테리아 입자가 채집되는 것을 확인할 수 있었다.
- [0157] 도 6(b)의 경우 2 Vpp의 정해진 인가 전압 환경에서 유량 혹은 유속을 변경하며 박테리아 입자 채집 효율을 측정하였으며, 400 nl/min 유량에서는 유속이 너무 빠름으로 해서 Case 1 및 Case 2의 두 전극 구조 모두 그 효율이 저하되는 것을 확인할 수 있었다.
- [0159] 최적의 입자 채집량을 확보하기 위해서는 유속이 중요한 요소인데, 이는 유량에 좌우되는 인자 값이다. 본 채널 환경에서, 100 nl/min 의 유량을 적용한 경우 평균 속도 1.02 mm/s 의 유속을 나타내었고, 400 nl.min 의 유량을 적용한 경우 평균 속도 4.08 mm/s 의 유속을 나타내었다.
- [0161] 도 7에서는, 기존 IDE와 본 발명의 일 실시예에 해당하는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극에서, 입자 추적 시뮬레이션의 결과이다.
- [0162] 구체적으로는, 기존 IDE는 채집 성능이 채집 입자의 최초 위치에 결정되어, 유속이 상대적으로 작은 채널 면에 가까운 쪽에서 잡히나, 본 발명의 일 실시예에 해당하는 유전영동기반 입자 채집 장치용 전극에서는 전체적으로 균일하게 채집이 되어 채집 입자의 최초 위치에 상대적으로 덜 영향을 받는다. 이는 미세입자 조작 플랫폼에서 농도가 항상 일정할 수 없기에 기존 IDE에 비해 장점으로 받아들여진다.
- [0163] 이러한 과정들은 모두 본 발명의 전극 구조가, 단순한 설계 변경을 통해 도출된 것이 아니고 구체적인 이론의 적용에 더하여 무수한 반복 실험을 거듭한 끝에 도출된 결과물을 제안하는 것임을 의미하는 것이다.

[0165] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

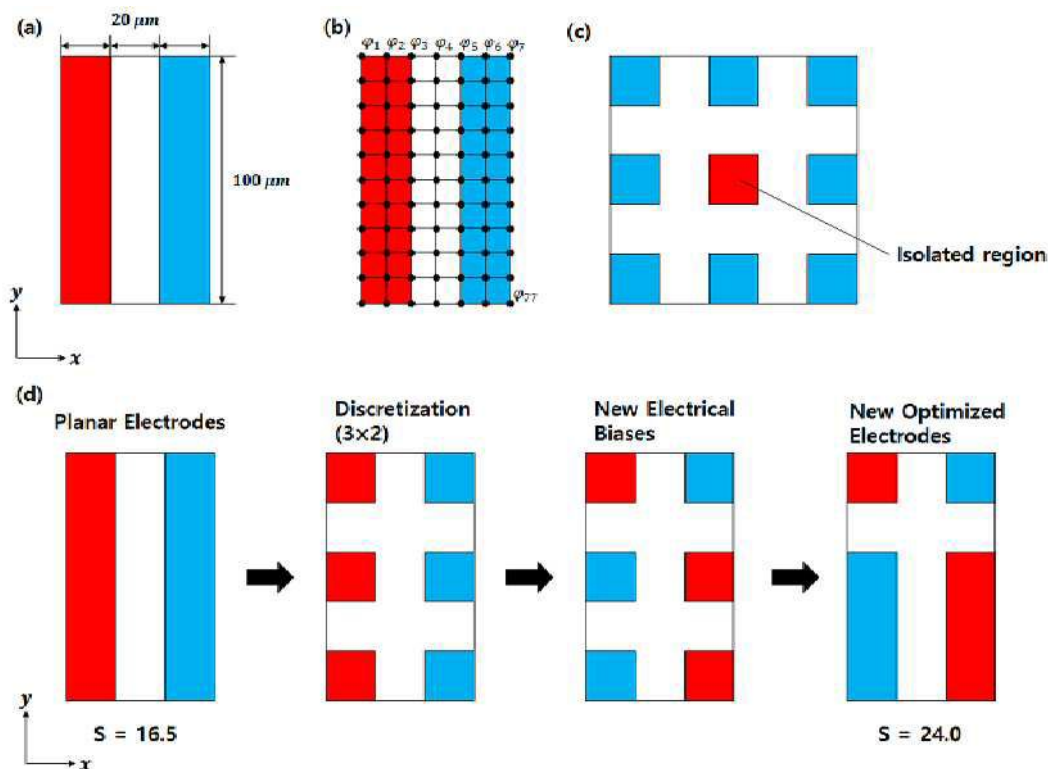
[0166] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

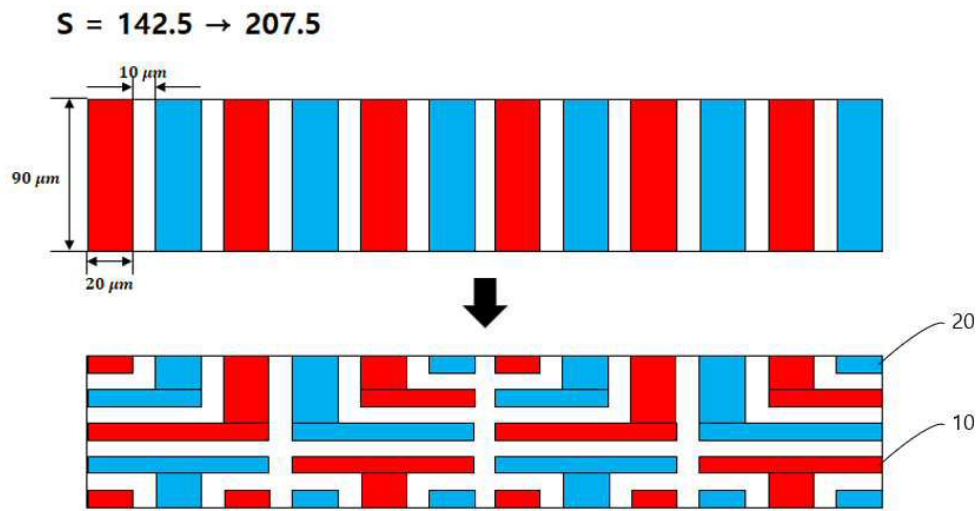
도면1



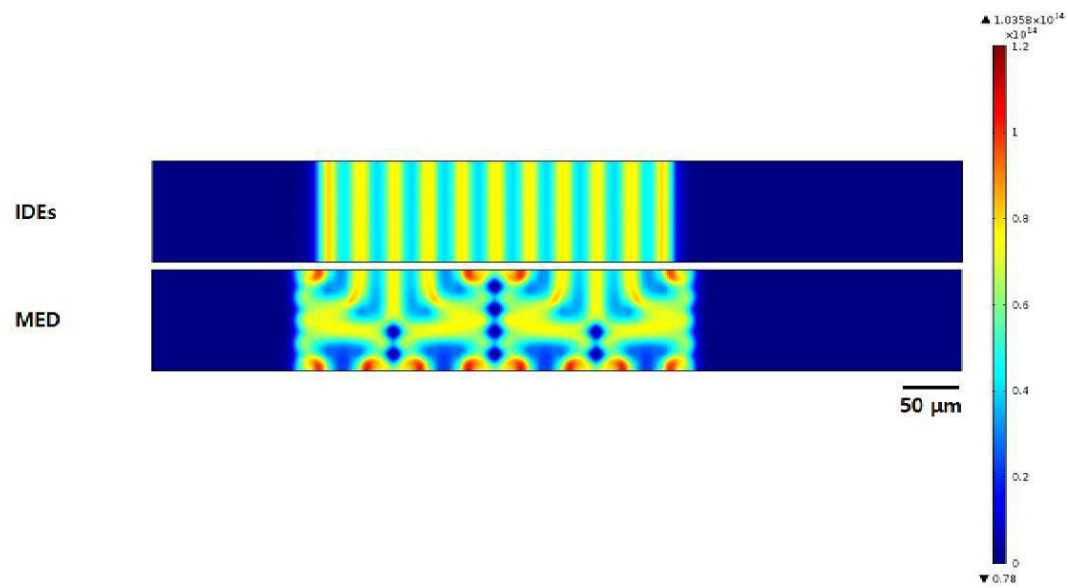
도면2



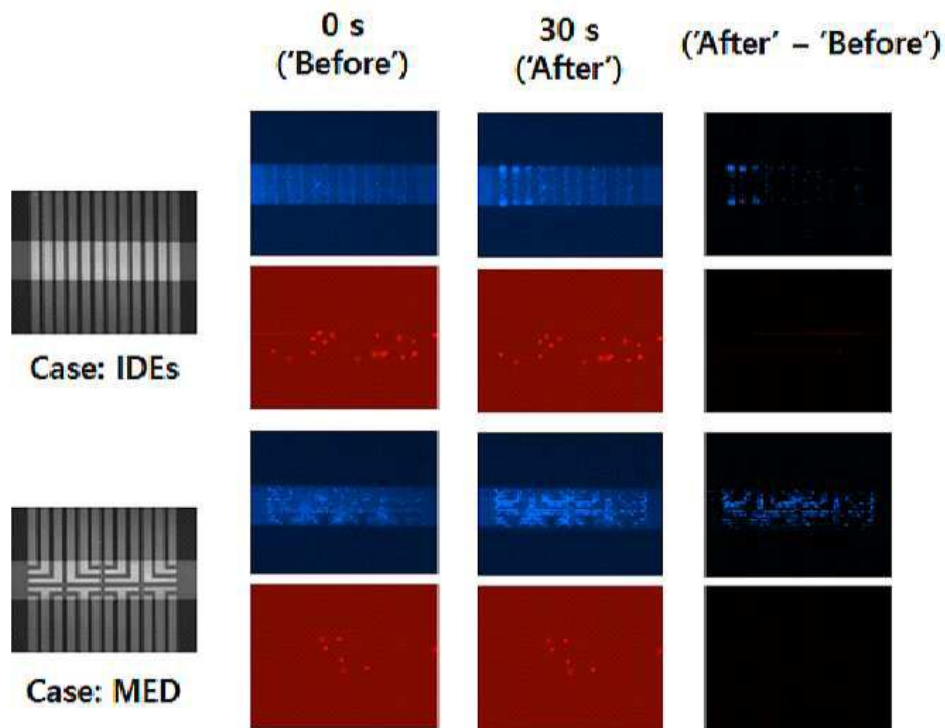
도면3



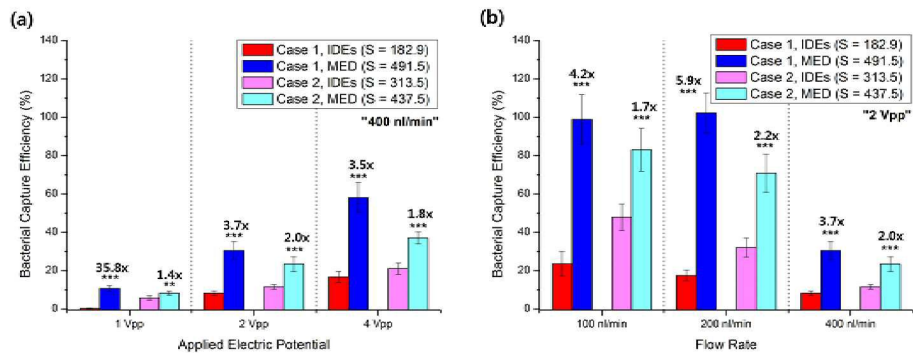
도면4



도면5



도면6



도면7

