



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년06월10일
(11) 등록번호 10-2263099
(24) 등록일자 2021년06월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 15/02 (2006.01) G01N 15/00 (2017.01)
G01N 15/06 (2006.01) G01N 15/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 15/0266 (2013.01)
G01N 15/0656 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0066435
(22) 출원일자 2020년06월02일
심사청구일자 2020년06월02일
(65) 공개번호 10-2021-0042798
(43) 공개일자 2021년04월20일
(30) 우선권주장
1020190125440 2019년10월10일 대한민국(KR)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020080105248 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
김용준
서울특별시 용산구 이촌로65길 8, 207동 1707호(이촌동, 한가람아파트)
(74) 대리인
김태현

전체 청구항 수 : 총 15 항

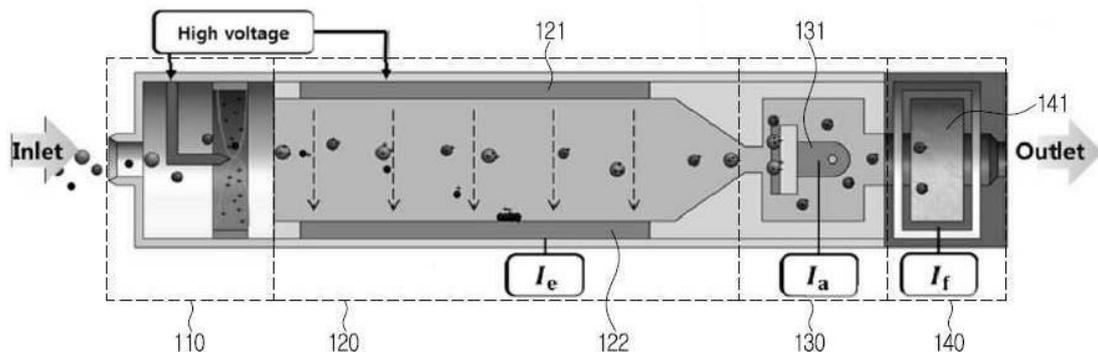
심사관 : 인치현

(54) 발명의 명칭 입자 분석 장치, 분석 방법 및 제조 방법

(57) 요약

입자 분석 장치, 분석 방법 및 제조 방법이 개시된다. 입자 분석 장치는 전원 공급 장치로부터 전원을 공급받고, 흡입된 공기 중에 포함된 입자를 하전시키는 하전기, 전기이동도에 기초하여 하전된 입자 중 기 설정된 전기이동도보다 큰 전기이동도의 입자를 포집하여 전기이동도 포집 입자 전류를 측정하는 전기이동도 입자 포집기, 하전된 입자의 관성력에 기초하여 전기이동도 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하는 공기역학적 입자 포집기, 공기역학적 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 필터 포집 입자 전류를 측정하는 필터 및 프로세서를 포함하고, 프로세서는 전기이동도 포집 입자 전류, 공기역학적 포집 입자 전류 및 필터 포집 입자 전류의 비에 기초하여 입자의 밀도를 산출할 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01N 15/1031 (2013.01)
 G01N 2015/0038 (2013.01)
 G01N 2015/0096 (2013.01)
 G01N 2015/0288 (2013.01)
 G01N 2015/1081 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020170117960 A
 KR1020030047379 A
 KR100931303 B1
 US20170350862 A1

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	SRFC-TA1803-05
과제번호	SRFC-TA1803-05
부처명	삼성전자(주)
과제관리(전문)기관명	삼성전자 미래기술육성센터
연구사업명	삼성미래기술육성사업
연구과제명	MEMS 기반 실시간 입자 밀도 측정기와 이를 이용한 고정밀 초미세먼지 측정 기술
기여율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2018.09.01 ~ 2020.08.31

명세서

청구범위

청구항 1

전원 공급 장치로부터 전원을 공급받고, 흡입된 공기 중에 포함된 입자를 하전시키는 하전기;

전기이동도에 기초하여 상기 하전된 입자 중 기 설정된 전기이동도보다 큰 전기이동도의 입자를 포집하여 전기이동도 포집 입자 전류를 측정하는 전기이동도 입자 포집기;

상기 하전된 입자의 관성력에 기초하여 상기 전기이동도 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하는 공기역학적 입자 포집기;

상기 공기역학적 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 필터 포집 입자 전류를 측정하는 필터; 및

프로세서;를 포함하고,

상기 프로세서는,

상기 전기이동도 포집 입자 전류, 상기 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류의 비에 기초하여 상기 입자의 밀도를 산출하는, 입자 분석 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 전기이동도 포집 입자 전류, 상기 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류를 합산한 포집 입자의 전체 전류를 산출하고, 상기 산출된 전체 전류에 대한 상기 전기이동도 포집 입자 전류의 비에 기초하여 평균 전기이동도 입경을 산출하며,

상기 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류를 합산한 포집 입자의 역학적 전체 전류를 산출하고, 상기 산출된 평균 전기이동도 입경 및 상기 산출된 역학적 전체 전류에 대한 상기 공기역학적 포집 입자 전류에 기초하여 상기 입자의 밀도를 산출하는, 입자 분석 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 프로세서는,

기 설정된 로그노멀 분포, 입자 분포의 기 설정된 분산값 및 상기 산출된 평균 전기이동도 입경에 기초하여 상기 입자의 총 수농도를 산출하는, 입자 분석 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 전기이동도 입자 포집기와 상기 공기역학적 입자 포집기 사이에 배치되고, 상기 전기이동도 입자 포집기로부터 상기 공기역학적 입자 포집기 방향으로 좁아지는 복수의 유로를 포함하는 멀티 오리피스가 형성된 노즐;을 더 포함하는 입자 분석 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 공기역학적 입자 포집기는,

상기 전기이동도 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 제1 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하는 제1 공기역학적 입자 포집기; 및

상기 제1 공기역학적 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 제2 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하는 제2 공기역학적 입자 포집기;를 포함하는, 입자 분석 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 측정된 전기이동도 포집 입자 전류, 제1 공기역학적 포집 입자 전류, 제2 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류에 기초하여 평균 전기이동도 입경, 입자 분포의 분산값 및 입자 밀도를 산출하는, 입자 분석 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 전기이동도 입자 포집기 및 상기 공기역학적 입자 포집기는 멤스(MEMS) 공정으로 하나의 칩 상에 일체로 형성되는, 입자 분석 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 전기이동도 입자 포집기는,

상기 하전된 입자가 이동하는 유로 방향과 수직한 방향에 서로 대향하도록 이격 배치되고, 판 형상으로 형성된 제1 및 제2 전극;

상기 제1 및 제2 전극은,

상기 전원 공급 장치로부터 기 설정된 전압을 인가받아 상기 제1 전극에서 상기 제2 전극 방향으로 균일한 전기장을 형성하고,

상기 제2 전극은,

기 설정된 전기이동도보다 큰 전기이동도의 입자를 포집하는, 입자 분석 장치.

청구항 9

흡입된 공기 중에 포함된 입자를 하전시키는 단계;

전기이동도에 기초하여 상기 하전된 입자 중 기 설정된 전기이동도보다 큰 전기이동도의 입자를 포집하여 전기이동도 포집 입자 전류를 측정하는 단계;

상기 하전된 입자의 관성력에 기초하여 상기 전기이동도 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하는 단계;

상기 공기역학적 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 필터 포집 입자 전류를 측정하는 단계; 및

상기 전기이동도 포집 입자 전류, 상기 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류의 비에 기초하여 상기 입자의 밀도를 산출하는 단계;를 포함하는 입자 분석 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 입자의 밀도를 산출하는 단계는,

상기 전기이동도 포집 입자 전류, 상기 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류를 합산한 포집 입자의 전체 전류를 산출하고, 상기 산출된 전체 전류에 대한 상기 전기이동도 포집 입자 전류의 비에 기초하여 평균 전기이동도 입경을 산출하며,

상기 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류를 합산한 포집 입자의 역학적 전체 전류를 산출

하고, 상기 산출된 평균 전기이동도 입경 및 상기 산출된 역학적 전체 전류에 대한 상기 공기역학적 포집 입자 전류에 기초하여 상기 입자의 밀도를 산출하는, 입자 분석 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

기 설정된 로그노멀 분포, 입자 분포의 기 설정된 분산값 및 상기 산출된 평균 전기이동도 입경에 기초하여 상기 입자의 총 수농도를 산출하는 단계;를 더 포함하는 입자 분석 방법.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하는 단계는,

상기 전기이동도 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 제1 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하고, 상기 제1 공기역학적 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 제2 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하는, 입자 분석 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 입자의 밀도를 산출하는 단계는,

상기 측정된 전기이동도 포집 입자 전류, 제1 공기역학적 포집 입자 전류, 제2 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류에 기초하여 평균 전기이동도 입경, 입자 분포의 분산값 및 입자 밀도를 산출하는, 입자 분석 방법.

청구항 14

제1 기관 상에 금속 박막을 코팅하는 단계;

상기 제1 기관 상에 코팅된 금속 박막을 패터닝하여 전기이동도 입자 포집기의 제1 포집 전극을 형성하는 단계;

제2 기관 상에 금속 박막을 코팅하는 단계;

상기 제2 기관 상에 코팅된 금속 박막을 패터닝하여 전기이동도 입자 포집기의 제2 포집 전극 및 공기역학적 입자 포집기의 충돌 전극을 형성하는 단계;

상기 제2 기관의 전극이 형성된 금속 박막 상에 감광성 필름을 코팅하는 단계;

상기 코팅된 감광성 필름을 패터닝하여 상기 전기이동도 입자 포집기의 영역 및 상기 공기역학적 입자 포집기의 영역을 형성하는 단계;

상기 패터닝된 감광성 필름을 플라즈마 처리하여 표면을 활성화시키는 단계; 및

상기 제1 기관 및 상기 제2 기관을 본딩하는 단계;를 포함하는 입자 분석 장치의 제조 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 본딩된 제1 기관 및 제2 기관 외부를 차폐 케이스로 패키징하는 단계;를 더 포함하는 입자 분석 장치의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 개시는 입자 분석 장치, 분석 방법 및 제조 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 공기 중에 포함된 입자의

[0001]

밀도 등을 실시간으로 분석할 수 있는 입자 분석 장치, 분석 방법 및 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 미세먼지, 그 중에서도 입자의 크기가 작은 초미세먼지는 낮은 농도라도 단기간에 인체에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 특히, 초미세먼지는 폐 또는 기관지 등에 걸러지지 않아 암, 폐기능 저하, 심혈관 질환 등을 유발할 수 있고, 피부에 직접 침투하여 아토피성 피부염 등 피부질환을 유발할 수 있다. 이에 따라, 초미세먼지에 대한 일반인들의 관심이 크게 증가하였고, 초미세먼지 농도 정보에 대한 수요도 증가하고 있다.
- [0003] 우리나라에서도 대기오염 측정소가 시 또는 구 단위로 설치되어 초미세먼지의 농도를 알려주는 광역 예보 시스템이 구축되어 있다. 그러나, 도심지역에서는 고층 건물들로 인해 공기의 흐름과 초미세먼지의 확산 양상이 매우 복잡하기 때문에 서로 인접한 지역 간에도 초미세먼지의 농도 편차가 크다. 이 때문에 일반적인 광역 예보 시스템을 통해서도 정확한 초미세먼지의 농도 분포를 파악하기 어려운 문제가 있다.
- [0004] 한편, 초미세먼지의 측정 기준단위는 질량농도(mass concentration)인데, 대부분의 질량농도 측정 장비들은 일정 시간 동안 초미세먼지를 포집한 이후 포집된 초미세먼지의 농도를 측정하는 방식을 사용하고 있다. 따라서, 실시간으로 초미세먼지의 농도를 파악할 수 없다는 문제가 있다.
- [0005] 이를 해결하기 위하여 실시간 측정이 가능한 탁도 측정기나 광학적 입자 계수기(Optical Particle Counter)가 사용되고 있다. 그러나, 탁도 측정기는 가격은 저렴하지만 그 신뢰도가 낮아 정확한 데이터를 얻을 수 없다는 문제가 있다. 광학적 입자 계수기 역시 초미세먼지의 평균 밀도를 임의의 값으로 일률 적용하여 질량농도를 환산하는데, 평균 밀도는 입자의 발생원, 조성, 공간, 시간에 따라 큰 차이가 있기 때문에 정확한 질량농도를 얻을 수 없다는 문제점이 있다. 정확한 평균 밀도 값을 얻기 위하여 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)나 ELPI(Electrical Low Pressure Impactor) 같은 고가의 분석 장비가 사용될 수도 있으나, 이들은 모두 숙련된 전문가들만 운영이 가능하며 대형이어서 운반이 어렵다는 한계가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 개시의 목적은 소형화 및 저가화가 가능하면서도, 현장에서 실시간으로 초미세먼지의 밀도를 정밀하게 측정할 수 있는 입자 분석 장치, 분석 방법 및 제조 방법을 제공 하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0007] 이상과 같은 목적을 달성하기 위한 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 입자 분석 장치는 전원 공급 장치로부터 전원을 공급받고, 흡입된 공기 중에 포함된 입자를 하전시키는 하전기, 전기이동도에 기초하여 상기 하전된 입자 중 기 설정된 전기이동도보다 큰 전기이동도의 입자를 포집하여 전기이동도 포집 입자 전류를 측정하는 전기이동도 입자 포집기, 상기 하전된 입자의 관성력에 기초하여 상기 전기이동도 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하는 공기역학적 입자 포집기, 상기 공기역학적 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 필터 포집 입자 전류를 측정하는 필터 및 프로세서를 포함하고, 상기 프로세서는 상기 전기이동도 포집 입자 전류, 상기 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류의 비에 기초하여 상기 입자의 밀도를 산출할 수 있다.
- [0008] 그리고, 상기 프로세서는 상기 전기이동도 포집 입자 전류, 상기 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류를 합산한 포집 입자의 전체 전류를 산출하고, 상기 산출된 전체 전류에 대한 상기 전기이동도 포집 입자 전류의 비에 기초하여 평균 전기이동도 입경을 산출하며, 상기 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류를 합산한 포집 입자의 역학적 전체 전류를 산출하고, 상기 산출된 평균 전기이동도 입경 및 상기 산출된 역학적 전체 전류에 대한 상기 공기역학적 포집 입자 전류에 기초하여 상기 입자의 밀도를 산출할 수 있다.
- [0009] 또한, 상기 프로세서는 기 설정된 로그노멀 분포, 입자 분포의 기 설정된 분산값 및 상기 산출된 평균 전기이동도 입경에 기초하여 상기 입자의 총 수농도를 산출할 수 있다.
- [0010] 한편, 입자 분석 장치는 상기 전기이동도 입자 포집기와 상기 공기역학적 입자 포집기 사이에 배치되고, 상기 전기이동도 입자 포집기로부터 상기 공기역학적 입자 포집기 방향으로 좁아지는 복수의 유로를 포함하는 멀티 오리피스가 형성된 노즐을 더 포함할 수 있다.

- [0011] 또는, 상기 공기역학적 입자 포집기는 상기 전기이동도 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 제1 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하는 제1 공기역학적 입자 포집기 및 상기 제1 공기역학적 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 제2 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하는 제2 공기역학적 입자 포집기를 포함할 수 있다.
- [0012] 그리고, 상기 프로세서는 상기 측정된 전기이동도 포집 입자 전류, 제1 공기역학적 포집 입자 전류, 제2 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류에 기초하여 평균 전기이동도 입경, 입자 분포의 분산값 및 입자 밀도를 산출할 수 있다.
- [0013] 한편, 상기 전기이동도 입자 포집기 및 상기 공기역학적 입자 포집기는 멤스(MEMS) 공정으로 하나의 칩 상에 일체로 형성될 수 있다.
- [0014] 그리고, 상기 전기이동도 입자 포집기는 상기 하전된 입자가 이동하는 유로 방향과 수직한 방향에 서로 대향하도록 이격 배치되고, 판 형상으로 형성된 제1 및 제2 전극, 상기 제1 및 제2 전극은 상기 전원 공급 장치로부터 기 설정된 전압을 인가받아 상기 제1 전극에서 상기 제2 전극 방향으로 균일한 전기장을 형성하고, 상기 제2 전극은 기 설정된 전기이동도보다 큰 전기이동도의 입자를 포집할 수 있다.
- [0015] 이상과 같은 목적을 달성하기 위한 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 입자 분석 방법은 흡입된 공기 중에 포함된 입자를 하전시키는 단계, 전기이동도에 기초하여 상기 하전된 입자 중 기 설정된 전기이동도보다 큰 전기이동도의 입자를 포집하여 전기이동도 포집 입자 전류를 측정하는 단계, 상기 하전된 입자의 관성력에 기초하여 상기 전기이동도 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하는 단계, 상기 공기역학적 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 필터 포집 입자 전류를 측정하는 단계 및 상기 전기이동도 포집 입자 전류, 상기 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류의 비에 기초하여 상기 입자의 밀도를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0016] 그리고, 상기 입자의 밀도를 산출하는 단계는 상기 전기이동도 포집 입자 전류, 상기 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류를 합산한 포집 입자의 전체 전류를 산출하고, 상기 산출된 전체 전류에 대한 상기 전기이동도 포집 입자 전류의 비에 기초하여 평균 전기이동도 입경을 산출하며, 상기 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류를 합산한 포집 입자의 역학적 전체 전류를 산출하고, 상기 산출된 평균 전기이동도 입경 및 상기 산출된 역학적 전체 전류에 대한 상기 공기역학적 포집 입자 전류에 기초하여 상기 입자의 밀도를 산출할 수 있다.
- [0017] 또는, 입자 분석 방법은 기 설정된 로그노멀 분포, 입자 분포의 기 설정된 분산값 및 상기 산출된 평균 전기이동도 입경에 기초하여 상기 입자의 총 수송도를 산출하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0018] 한편, 상기 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하는 단계는 상기 전기이동도 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 제1 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하고, 상기 제1 공기역학적 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 제2 공기역학적 포집 입자 전류를 측정할 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 입자의 밀도를 산출하는 단계는 상기 측정된 전기이동도 포집 입자 전류, 제1 공기역학적 포집 입자 전류, 제2 공기역학적 포집 입자 전류 및 상기 필터 포집 입자 전류에 기초하여 평균 전기이동도 입경, 입자 분포의 분산값 및 입자 밀도를 산출할 수 있다.
- [0020] 이상과 같은 목적을 달성하기 위한 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 입자 분석 장치의 제조 방법은 제1 기판 상에 금속 박막을 코팅하는 단계, 상기 제1 기판 상에 코팅된 금속 박막을 패터닝하여 전기이동도 입자 포집기의 제1 전극을 형성하는 단계, 제2 기판 상에 금속 박막을 코팅하는 단계, 상기 제2 기판 상에 코팅된 금속 박막을 패터닝하여 전기이동도 입자 포집기의 제2 전극 및 공기역학적 입자 포집기의 충돌 전극을 형성하는 단계, 상기 제2 기판의 전극이 형성된 금속 박막 상에 감광성 필름을 코팅하는 단계, 상기 코팅된 감광성 필름을 패터닝하여 상기 전기이동도 입자 포집기의 영역 및 상기 공기역학적 입자 포집기의 영역을 형성하는 단계, 상기 패터닝된 감광성 필름을 플라즈마 처리하여 표면을 활성화시키는 단계 및 상기 제1 기판 및 상기 제2 기판을 본딩하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0021] 그리고, 입자 분석 장치의 제조 방법은 상기 본딩된 제1 기판 및 제2 기판 외부에 차폐 케이스로 패키징하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0022] 이상 설명한 바와 같이, 본 개시의 다양한 실시 예에 따르면, 입자 분석 장치, 분석 방법 및 제조 방법은 공기 중 초미세먼지에 포함된 입자의 밀도를 실시간으로 정밀하게 측정할 수 있다.
- [0023] 입자 분석 장치, 분석 방법 및 제조 방법은 하나의 집적화된 칩에 내장될 수 있어 소형화 및 저비용 생산이 가능하고, 운반이 용이하며, 다양한 산업 분야에 용이하게 적용될 수 있다.
- [0024] 뿐만 아니라, 입자 분석 장치, 분석 방법 및 제조 방법은 정밀하게 계산된 밀도값을 이용하여 질량농도를 산출하기 때문에 임의의 밀도 값을 일률 적용하여 질량농도를 환산하던 종래의 방식에 비하여 질량농도 측정 정확도를 비약적으로 향상시킬 수 있다.
- [0025] 본 개시의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해 될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1은 본 개시의 일 실시 예에 따른 입자 분석 장치의 블록도이다.
- 도 2는 본 개시의 일 실시 예에 따른 입자 분석 장치를 설명하는 도면이다.
- 도 3은 본 개시의 일 실시 예에 따른 하전기를 설명하는 도면이다.
- 도 4는 본 개시의 일 실시 예에 따른 전기이동도 입경에 따른 단위 입자당 하전 수를 나타내는 그래프이다.
- 도 5는 본 개시의 일 실시 예에 따른 전기이동도 입자 포집기를 설명하는 도면이다.
- 도 6은 본 개시의 일 실시 예에 따른 전기이동도 입경에 따른 포집 효율을 나타내는 그래프이다.
- 도 7은 본 개시의 일 실시 예에 따른 공기역학적 입자 포집기 및 필터를 설명하는 도면이다.
- 도 8은 본 개시의 일 실시 예에 따른 공기역학적 입경에 따른 포집 효율을 나타내는 그래프이다.
- 도 9는 본 개시의 일 실시 예에 따른 멀티 오리피스가 형성된 노즐을 포함하는 입자 분석 장치를 나타내는 도면이다.
- 도 10은 전기이동도 입자 포집기에 일정한 주기로 고전압을 인가하는 일 실시 예를 설명하는 도면이다.
- 도 11은 본 개시의 다른 실시 예에 따른 입자 분석 장치를 설명하는 도면이다.
- 도 12는 본 개시의 일 실시 예에 따른 입자 분석 방법의 흐름도이다.
- 도 13a는 본 개시의 일 실시 예에 따른 기관에 금속 박막을 코팅하는 과정을 설명하는 도면이다.
- 도 13b는 본 개시의 일 실시 예에 따른 제1 기관의 패터닝 과정을 설명하는 도면이다.
- 도 13c는 본 개시의 일 실시 예에 따른 제2 기관의 패터닝 과정을 설명하는 도면이다.
- 도 13d는 본 개시의 일 실시 예에 따른 감광성 필름을 코팅하는 과정을 설명하는 도면이다.
- 도 13e는 본 개시의 일 실시 예에 따른 입자 분석 장치의 각 영역을 형성하는 과정을 설명하는 도면이다.
- 도 13f는 본 개시의 일 실시 예에 따른 입자 분석 장치를 제작하는 과정을 설명하는 도면이다.
- 도 14는 본 개시의 일 실시 예에 따른 전극이 형성된 MEMS 기반 입자 분석 장치를 나타내는 도면이다.
- 도 15는 본 개시의 일 실시 예에 따른 입자 분석 장치 제조 방법의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 다양한 실시 예를 보다 상세하게 설명한다. 본 명세서에 기재된 실시 예는 다양하게 변형될 수 있다. 특정한 실시 예가 도면에서 묘사되고 상세한 설명에서 자세하게 설명될 수 있다. 그러나, 첨부된 도면에 개시된 특정한 실시 예는 다양한 실시 예를 쉽게 이해하도록 하기 위한 것일 뿐이다. 따라서, 첨부된 도면에 개시된 특정 실시 예에 의해 기술적 사상이 제한되는 것은 아니며, 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 균등물 또는 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0028] 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 이러한 구성요소들은 상술한 용어에 의해 한정되지는 않는다. 상술한 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별

하는 목적으로만 사용된다.

- [0029] 본 명세서에서, "포함한다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 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 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다. 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0030] 한편, 본 명세서에서 사용되는 구성요소에 대한 "모듈" 또는 "부"는 적어도 하나의 기능 또는 동작을 수행한다. 그리고, "모듈" 또는 "부"는 하드웨어, 소프트웨어 또는 하드웨어와 소프트웨어의 조합에 의해 기능 또는 동작을 수행할 수 있다. 또한, 특정 하드웨어에서 수행되어야 하거나 적어도 하나의 제어부에서 수행되는 "모듈" 또는 "부"를 제외한 복수의 "모듈들" 또는 복수의 "부들"은 적어도 하나의 모듈로 통합될 수도 있다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0031] 본 개시의 설명에 있어서 각 단계의 순서는 선행 단계가 논리적 및 시간적으로 반드시 후행 단계에 앞서서 수행되어야 하는 경우가 아니라면 각 단계의 순서는 비제한적으로 이해되어야 한다. 즉, 위와 같은 예외적인 경우를 제외하고는 후행 단계로 설명된 과정이 선행단계로 설명된 과정보다 앞서서 수행되더라도 발명의 본질에는 영향이 없으며 권리범위 역시 단계의 순서에 관계없이 정의되어야 한다. 그리고 본 명세서에서 "A 또는 B"라고 기재한 것은 A와 B 중 어느 하나를 선택적으로 가리키는 것뿐만 아니라 A와 B 모두를 포함하는 것도 의미하는 것으로 정의된다. 또한, 본 명세서에서 "포함"이라는 용어는 포함하는 것으로 나열된 요소 이외에 추가로 다른 구성요소를 더 포함하는 것도 포괄하는 의미를 가진다.
- [0032] 본 명세서에서는 본 개시의 설명에 필요한 필수적인 구성요소만을 설명하며, 본 개시의 본질과 관계가 없는 구성요소는 언급하지 아니한다. 그리고 언급되는 구성요소만을 포함하는 배타적인 의미로 해석되어서는 아니되며 다른 구성요소도 포함할 수 있는 비배타적인 의미로 해석되어야 한다.
- [0033] 그 밖에도, 본 개시를 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 개시의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우, 그에 대한 상세한 설명은 축약하거나 생략한다. 한편, 각 실시 예는 독립적으로 구현되거나 동작될 수도 있지만, 각 실시 예는 조합되어 구현되거나 동작될 수도 있다.
- [0034] 도 1은 본 개시의 일 실시 예에 따른 입자 분석 장치의 블록도이고, 도 2는 본 개시의 일 실시 예에 따른 입자 분석 장치를 설명하는 도면이다. 도 1 및 도 2를 참조하여 설명한다.
- [0035] 도 1 및 도 2를 참조하면, 입자 분석 장치(100)는 하전기(110), 전기이동도 입자 포집기(120), 공기역학적 입자 포집기(130), 필터(140) 및 프로세서(150)를 포함할 수 있다.
- [0036] 하전기(110)는 흡입구를 통해 입자(예, 먼지, 미세먼지, 초미세먼지 등)를 포함하는 공기를 유입받을 수 있다. 예를 들어, 초미세먼지는 지름이 0.3 μm 이하인 나노 입자이거나 지름이 2.5 μm 내지 0.3 μm 사이인 마이크론 입자일 수 있다. 그리고, 하전기(110)는 전원 공급 장치(미도시)로부터 고전압을 인가받을 수 있다. 하전기(110)는 인가받은 고전압으로 유입된 입자를 하전시킬 수 있다. 즉, 흡입구를 통해 유입된 입자는 하전기(110)에서 하전될 수 있다. 하전기(110)에서 하전된 입자는 전기이동도 입자 포집기(120)로 이동할 수 있다.
- [0037] 전기이동도 입자 포집기(120)는 전기이동도에 기초하여 하전된 입자 중 기 설정된 전기이동도보다 큰 전기이동도의 입자를 포집할 수 있다. 전기이동도 입자 포집기(120)는 전류계를 포함하여 전기이동도 포집 입자 전류를 측정할 수 있다. 전기이동도 입자 포집기(120)는 하전된 입자의 이동 방향의 좌우측(또는, 상하측)에 이격하여 배치되는 두 개의 전극(121, 122)을 포함할 수 있다. 두 개의 전극(121, 122)은 판 형상으로 형성될 수 있다. 이격되어 배치된 판 형상의 전극(121, 122)은 전원 공급 장치로부터 고전압을 인가받을 수 있다. 고전압이 인가된 전극(121, 122) 사이에는 균일한 전기장이 형성될 수 있다. 하전된 입자가 전기장이 형성된 전극(121, 122) 사이를 통과할 때, 전기장에 의해 일정한 전기이동도보다 큰 전기이동도를 가지는 일부 입자는 전기이동도 입자 포집기(120)에서 포집될 수 있다. 포집된 일부 입자는 하전되어 있으므로 전기이동도 입자 포집기(120)는 포집된 입자로부터 전류를 측정할 수 있다. 전기이동도 입자 포집기(120)에서 측정된 전류는 전기이동도 포집 입자 전류(I_c)일 수 있다. 전기이동도 입자 포집기(120)에서 포집되지 않은 입자는 공기역학적 입자 포집기(130)로 이동할 수 있다.

- [0038] 공기역학적 입자 포집기(130)는 충돌 전극(131)을 포함하고, 충돌 전극(131)은 하전된 입자의 관성력에 기초하여 관성력이 큰 일부 입자를 포집할 수 있다. 공기역학적 입자 포집기(130)는 전류계를 포함하여 포집된 입자로부터 전류를 측정할 수 있다. 공기역학적 입자 포집기(130)에서 측정된 전류는 공기역학적 포집 입자 전류(I_a)일 수 있다. 공기역학적 입자 포집기(130)에서 포집되지 않은 입자는 필터(140)로 이동할 수 있다.
- [0039] 필터(140)는 필터 전극(141)을 포함할 수 있다. 필터 전극(141)은 전기이동도 입자 포집기(120) 및 공기역학적 입자 포집기(130)에서 포집되지 않은 나머지 입자를 포집할 수 있다. 필터(140)도 전류계를 포함하여 포집된 입자로부터 전류를 측정할 수 있다. 필터(140)에서 측정된 전류는 필터 포집 입자 전류(I_f)일 수 있다.
- [0040] 입자 분석 장치(100)로 공기와 함께 유입된 입자는 전기이동도 입자 포집기(120), 공기역학적 입자 포집기(130) 및 필터(140)에서 모두 포집될 수 있다. 따라서, 전기이동도 포집 입자 전류(I_e), 공기역학적 포집 입자 전류(I_a) 및 필터 포집 입자 전류(I_f)의 총 합은 하전기(110)에서 하전된 입자의 총 전류(I_{tot})와 같다. 그리고, 유입된 공기는 배출구를 통해 배출될 수 있다.
- [0041] 프로세서(150)는 전기이동도 입자 포집기(120), 공기역학적 입자 포집기(130) 및 필터(140)로부터 각각 전기이동도 포집 입자 전류, 공기역학적 포집 입자 전류 및 필터 포집 입자 전류를 입력받을 수 있다. 프로세서(150)는 입력받은 전기이동도 포집 입자 전류, 공기역학적 포집 입자 전류 및 필터 포집 입자 전류의 비에 기초하여 평균 전기이동도 입경, 평균 공기역학적 입경 입자의 평균 밀도, 평균 하전량, 입자 수농도, 입자 질량농도 등을 산출할 수 있다.
- [0042] 한편, 입자 분석 장치(100)는 입자 분리기(미도시)를 더 포함할 수 있다. 입자 분리기는 하전기(110) 전면부에 배치되어 공기와 함께 유입되는 입자 중 분석 대상 입자를 분리할 수 있다. 즉, 공기 중의 입자는 입자 분리기를 통과하면서 분석 대상 입자와 분석 대상이 아닌 입자로 분리될 수 있고, 분리된 분석 대상 입자는 입자 분석 장치(100)로 유입될 수 있다. 예를 들면, 입자 분리기는 관성력을 이용하여 특정 입자를 분리하는 가상 임팩터(Virtual Impactor)일 수 있다.
- [0043] 예를 들어, 분석 대상 입자는 지름의 크기가 $0.3\mu\text{m}$ 이하인 나노 입자일 수 있다. 입자 분리기는 분석 대상 입자가 나노 입자인 경우에, 분석을 위하여 공기 중의 입자 중에서 나노 입자를 선택적으로 분리할 수 있다. 일 실시 예로서, 입자 분리기는 공기가 유입되는 유입구, 유입구와 동일한 방향으로 연장되는 저속 유로, 및 유입구와 저속 유로에 수직한 방향으로 연장되는 고속 유로를 포함할 수 있다. 입자 분리기는 관성력을 이용하여 공기 중의 나노 입자를 선택적으로 분리할 수 있다. 구체적으로, 유입구로 유입된 공기 중의 입자 중 비교적 관성이 큰 마이크론 입자는 직선운동을 유지하여 저속 유로로 이동하고, 비교적 크기가 작은 나노 입자는 작은 관성으로 인해 고속 유로로 이동할 수 있다. 이에 따라, 공기 중에서 나노 입자만을 선택적으로 분리할 수 있다. 분리된 나노 입자는 고속 유로와 연결된 입자 분석 장치(100)로 유입될 수 있다.
- [0044] 또는, 분석 대상 입자는 지름의 크기가 $2.5\mu\text{m}$ 내지 $0.3\mu\text{m}$ 사이인 마이크론 입자이거나, 지름의 크기가 $2.5\mu\text{m}$ 이하인 입자이거나 또는 입자의 지름이 특정 범위에 포함되는 입자일 수도 있다. 예를 들면, 입자 분리기는 지름의 크기가 $2.5\mu\text{m}$ 이하인 입자들을 분리하여 입자 분석 장치(100)에 공급할 수 있고, 입자 분석 장치(100)는 분리된 입자의 밀도 등을 산출할 수 있다. 즉, 입자 분석 장치(100)는 어떤 입자에 대해서도 적용될 수 있고, 분석 대상인 입자의 크기는 분석의 목적에 따라 적절하게 선택될 수도 있다.
- [0045] 입자 분석 장치(100)의 구체적인 구성 및 입자를 분석하는 과정은 후술한다.
- [0046] 도 3은 본 개시의 일 실시 예에 따른 하전기를 설명하는 도면이고, 도 4는 본 개시의 일 실시 예에 따른 전기이동도 입경에 따른 단위 입자당 하전 수를 나타내는 그래프이다. 도 3 및 도 4를 참조하여 설명한다.
- [0047] 하전기(110)는 공기와 함께 유입된 입자를 전기적으로 하전시켜 하전된 입자를 생성할 수 있다. 예를 들면, 하전기(110)는 코로나 방전(Corona discharge)을 이용하여 입자를 하전시킬 수 있다. 코로나 방전은 기체 방전의 한 형태로, 팁 형태의 전극에 고전압이 가해지면 방전이 일어나는 현상이다. 하전기(110)는 팁 형태의 전극(111)과 링 형태의 전극(112)를 포함할 수 있다. 팁 형태의 전극(111)은 전도성 금속을 포함하는 방전 전극이고, 링 형태의 전극(112)은 전도성 금속을 포함하는 접지 전극일 수 있다. 예를 들어, 전도성 금속은 구리, 텅스텐, 알루미늄, 스테인레스 등을 포함할 수 있다.
- [0048] 흡입구를 통해 공기와 함께 입자가 입자 분석 장치(100)의 하전기(110)로 유입될 수 있다. 하전기(110)의 출구와 전기이동도 입자 포집기(120)의 입구는 연결될 수 있다. 따라서, 유입된 입자는 링 형태의 전극(112) 내부를

통과하여 전기이동도 입자 포집기(120)로 이동할 수 있다.

[0049] 도 3의 a는 팁 형태의 전극(111)과 링 형태의 전극(112) 영역을 확대한 도면이다. 링 형태의 전극(112)은 하전기(110) 내측면을 따라 배치될 수 있다. 링 형태의 전극(112)은 하전기(110) 내부 형태에 따라 원, 타원, 다각형 형태로 형성될 수 있다. 팁 형태의 전극(111)은 링 형태의 전극(112)과 이격되어 중앙 영역에 배치될 수 있다. 팁 형태의 전극(111)은 전원 공급 장치로부터 고전압을 인가받으면, 팁 말단부에서 링 형태의 전극(112)으로 코로나 방전을 발생시킬 수 있다. 팁 말단부 주변의 전자가 가속되어 공기 분자와 충돌하고, 충돌에 의해 공기 분자는 양이온과 전자로 분리될 수 있다. 분리된 양이온은 팁 형태의 전극(111)과 링 형태의 전극(112) 사이를 지나가는 입자에 부착되어 하전 입자를 생성할 수 있다.

[0050] 도 4를 참조하면, 일 실시 예에 따른 하전기(110)의 전기이동도 입경에 따른 단위 입자당 하전 수의 그래프가 도시되어 있다. 하전기(110)의 입자당 하전 수는 (식 1)과 같이 나타낼 수 있다.

[0052] (식 1)

$$n(d_e) = \alpha \cdot d_e^\beta$$

[0053]

[0054] 여기서, $n(d_e)$ 는 단위 입자당 하전 수 이고, α , β 는 상수이다.

[0056] 즉, 하전기(110)의 입자당 하전 수는 입자의 크기에 따른 power-law function으로 피팅될 수 있다. 하전기(110)에서 하전된 입자는 전기이동도 입자 포집기(120)로 이동할 수 있다.

[0057] 특정 입경을 가진 하전 입자에 의한 전류값은 (식 2)와 같이 나타낼 수 있고, 하전된 입자의 전체 전류값은 (식 3)과 같이 나타낼 수 있다.

[0059] (식 2)

$$I(d_e) = e \cdot n(d_e) \cdot Q \cdot N(d_e)$$

[0060]

[0061] 여기서 $I(d_e)$ 는 전류, e 는 단위 전하량, Q 는 유량을 의미한다.

[0063] (식 3)

$$I_{tot} = I_e + I_a + I_f = \int I(d_e) dd_e = e \cdot Q \int n(d_e) \cdot N(d_e) dd_e$$

[0064]

[0066] 도 5는 본 개시의 일 실시 예에 따른 전기이동도 입자 포집기를 설명하는 도면이고, 도 6은 본 개시의 일 실시 예에 따른 전기이동도 입경에 따른 포집 효율을 나타내는 그래프이다. 도 5 및 도 6을 참조하여 설명한다.

[0067] 전기이동도 입자 포집기(120)의 입구는 하전기(110)의 출구와 연결될 수 있다. 따라서, 하전기(110)에서 하전된 입자는 전기이동도 입자 포집기(120)로 이동될 수 있다. 하전된 입자는 전기이동도 입자 포집기(120)의 입구로 유입되고, 반대 방향에 위치한 출구로 유출될 수 있다(예, X축 방향으로 이동). 도 5에 도시된 바와 같이, 전기이동도 입자 포집기(120)의 입구의 단면적에 비해 전기 이동도 입자 포집기(120)의 내부 공간의 단면적은 넓을 수 있다. 따라서, 하전된 입자는 전기이동도 입자 포집기(120)의 내부 공간(채널)에서 퍼져서 출구 방향으로 이동할 수 있다. 전기이동도 입자 포집기(120)는 제1 전극(121) 및 제2 전극(122)을 포함할 수 있다. 제1 및 제2 전극(121, 122)은 구리, 텅스텐, 알루미늄, 스테인레스와 같은 전도성 금속을 포함할 수 있다. 제1 및 제2 전극(121, 122)은 하전된 입자가 이동하는 유로 방향과 수직한 위치에 배치될 수 있다. 제1 및 제2 전극(121, 122)은 서로 대향되도록 전기이동도 입자 포집기(120)의 내부 양면에 각각 배치될 수 있다. 제1 및 제2 전극(121, 122)은 판 형상으로 형성될 수 있다. 제1 및 제2 전극(121, 122)은 전원 공급 장치로부터 기 설정된 전압을 인가받을 수 있다. 예를 들어, 제1 전극(121)은 기 설정된 전압을 인가받고, 제2 전극(122)은 접지될 수 있다. 제1 및 제2 전극(121, 122)이 전압을 인가받으면, 전기이동도 입자 포집기(120)의 내부 공간에는 제1 전극(121)으로부터 제2 전극(122) 방향으로 균일한 전기장이 형성될 수 있다(예, Y축 방향). 형성된 전기장에 의해 양전하로 하전된 입자는 전기장의 방향으로 힘을 받을 수 있다. 하전된 입자는 공기의 흐름에 의한 제1 속도 벡터 성

분(예, X축 방향)과 전기장에 의한 제2 속도 벡터 성분(예, Y축 방향)을 가지고, 제1 속도 벡터 성분과 제2 속도 벡터 성분의 합 방향으로 이동할 수 있다. 제2 속도 벡터 성분의 크기가 큰 하전된 입자는 제2 전극(122) 방향으로 이동하여 제2 전극(122)에서 포집될 수 있다. 따라서, 제2 전극(122)은 기 설정된 전기이동도보다 큰 전기이동도의 입자를 포집할 수 있다. 한편, 제2 속도 벡터 성분의 크기가 작은 입자는 포집되지 않고 출구 방향으로 이동할 수 있다.

[0068] 제2 속도 벡터 성분의 크기는 (식 4)와 같이 하전된 입자의 전기이동도로 나타낼 수 있다. 즉, 전기이동도는 단위 전기장 내에서 하전된 입자의 속도를 의미하며, 전기이동도가 큰 입자일수록 전기장 방향의 속도가 클 수 있다.

[0070] (식 4)

$$Z_e(d_e) = \frac{enC}{3\pi\mu} \times \frac{1}{d_e}$$

[0071]

[0072] 여기서, Z_e 는 입자의 전기이동도, e 는 단위 전하량, C 는 커닝햄 미끌림 상수(slip correction factor), μ 는 기체 점도, n 은 입자에 붙은 전하 수, d_e 는 전기이동도 입경을 의미한다.

[0074] 따라서, (식 4)와 같이, 전기이동도 입경이 작은 입자는 전기이동도(제2 속도 벡터 성분)의 크기가 크고, 전기이동도 입경이 큰 입자는 전기이동도(제2 속도 벡터 성분)가 작을 수 있다. 따라서, 전기이동도 입경이 기 설정된 값 이하인 하전된 입자는 제2 전극(122)에 포집될 수 있고, 전기이동도 입경이 기 설정된 값을 초과하는 하전된 입자는 제2 전극(122)에 포집되지 않고 출구를 통해 공기역학적 입자 포집기(130)로 이동할 수 있다. 즉, 기 설정된 값은 제2 전극(122)에 포집되는 하전된 입자의 전기이동도 입경의 상한값일 수 있다.

[0075] 한편, 전기이동도 입자 포집기(120)에서 포집되는 하전 입자의 비율(포집 효율)(η_e)은 제1 전극(121)과 제2 전극(122) 간의 전압 차(또는, 제1 전극에 인가되는 전압)의 크기에 따라 조절될 수 있다. 전기이동도 입자 포집기(120)의 포집 효율은 (식 5)와 같이 표현될 수 있다.

[0077] (식 5)

$$\eta_e(d_e) = \frac{Z_e(d_e)L_e w_e}{Q_{air}h} V_e$$

[0078]

[0079] 여기서, η_e 는 포집 효율, Z_e 는 입자의 전기이동도, L_e 는 전기이동도 입자 포집기의 채널 길이, w_e 는 채널 폭, V_e 는 전기이동도 입자 포집기에 인가되는 전압, Q_{air} 는 샘플링 유량, h 는 채널 높이를 의미한다.

[0081] 도 6을 참조하면, 제1 전극(121)에 인가되는 전압을 증가시키면 제2 전극(122)에 포집되는 하전된 입자의 전기이동도 입경 상한값을 증가시킬 수 있다. 따라서, 전기이동도 입자 포집기(120)는 제1 전극(121)에 인가되는 전압의 크기를 조절함으로써 포집되는 하전된 입자의 전기이동도 입경 상한값을 선택적으로 제어할 수 있다. 따라서, 전기이동도 입자 포집기(120)는 나노 입자, 마이크론 입자, 그 외 입자 등 초미세먼지에 포함된 모든 입자에 대하여 전기이동도 입경을 기준으로 선택적으로 포집할 수 있다.

[0082] 제2 전극(122)에 포집된 하전 입자의 양은 전류값으로 측정될 수 있다. 즉, 포집된 하전 입자의 양에 따라 제2 전극(122)에서 측정되는 전류값(I_e)는 달라질 수 있다. 전기이동도 입자 포집기(120)의 출구와 공기역학적 입자 포집기(130)의 입구는 연결될 수 있다. 따라서, 전기이동도 입자 포집기(120)에서 포집되지 않은 하전된 입자는 공기역학적 입자 포집기(130)로 이동할 수 있다.

[0083] 도 7은 본 개시의 일 실시 예에 따른 공기역학적 입자 포집기 및 필터를 설명하는 도면이고, 도 8은 본 개시의 일 실시 예에 따른 공기역학적 입경에 따른 포집 효율을 나타내는 그래프이다. 도 7 및 도 8을 참조하여 설명한다.

[0084] 공기역학적 입자 포집기(130)의 입구는 전기이동도 입자 포집기(120)의 출구와 연결될 수 있다. 따라서, 전기이

동도 입자 포집기(120)에서 포집되지 않은 하전된 입자는 공기역학적 입자 포집기(130)로 이동할 수 있다. 본 개시에서 전기이동도 입자 포집기(120)의 출구로부터 공기역학적 입자 포집기(130)의 입구 부분을 노즐이라고 부르기로 한다. 노즐은 전기이동도 입자 포집기(120)의 출구의 단면적보다 공기역학적 입자 포집기(130)의 입구의 단면적이 좁게 형성될 수 있다. 즉, 도 7에 도시된 바와 같이, 전기이동도 입자 포집기(120)의 출구로부터 공기역학적 입자 포집기(130)의 입구의 형태(노즐의 형태)는 깔대기 형태로 형성될 수 있다. 전기이동도 입자 포집기(120)로부터 공기역학적 입자 포집기(130)로 이동하는 유로는 점차 좁아지는 깔대기 형태로 형성됨으로써 이동하는 하전된 입자는 가속될 수 있다. 공기역학적 입자 포집기(130)는 충돌 전극(131)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 충돌 전극(137)은 판 형상을 가지며, 구리, 텅스텐, 알루미늄, 스테인레스와 같은 전도성 금속을 포함할 수 있다. 충돌 전극(131)은 공기역학적 입자 포집기(130)로 이동한 하전된 입자의 흐름 방향에 수직인 방향으로 배치될 수 있다. 따라서, 공기역학적 입자 포집기(130)로 유입된 하전 입자의 이동 방향은 충돌 전극(131)과 수직인 방향에서 수평한 방향으로 바뀔 수 있다. 그러나, 공기역학적 입경이 큰 입자는 관성력이 크기 때문에 충돌 전극(131)과 수평 방향의 힘보다 이동하고 있는 방향의 힘이 더 클 수 있다. 따라서, 관성력이 큰 입자는 충돌 전극(131)에 포집될 수 있다. 즉, 공기역학적 입경이 기 설정된 값 이상인 하전된 입자는 충돌 전극(131)에 포집되고, 공기역학적 입경이 기 설정된 값 미만인 하전된 입자는 충돌 전극(131)을 우회하여 이동할 수 있다.

[0085] 충돌 전극(131)에 포집되는 입자의 수와 우회하는 입자의 수가 동일한 입자의 공기역학적 입경이 cut-off diameter이고, (식 6)과 같이 나타낼 수 있다.

[0087] (식 6)

$$d_{a,50} = \sqrt{\frac{9\mu W_a^2 t Stk_{50}}{\rho_p C_c Q_{air}}}$$

[0088] .

[0089] 여기서, $d_{a,50}$ 은 공기역학적 입경, μ 는 기체 점도, W_a 는 공기역학적 입자 포집기의 노즐 너비, Stk_{50} 은 cut-off diameter의 Stokes number, ρ_p 는 입자 밀도, C_c 는 커닝햄 미끌림 상수, Q_{air} 는 샘플링 유량이다.

[0091] (식 6)을 참고하여 공기역학적 입자 포집기의 형상이 설계될 수 있다. 또한, (식 6)은 공기역학적 입자 포집기(130)에서 측정된 전류(I_a)와 공기역학적 입자 포집기로 유입된 입자의 전류($I_a + I_f$)의 전류비에 기초하여 평균 공기역학적 입경을 산출하는데 이용될 수 있다.

[0092] 도 8에는 일 실시 예에 따른 공기역학적 입경에 따른 입자 포집 효율 그래프가 도시되어 있다. 즉, 관성력이 큰 입자일수록 포집 효율이 높기 때문에 입자의 입경이 커질수록 공기역학적 입자 포집기(130)의 포집 효율도 높아질 수 있다.

[0093] 충돌 전극(131)에 포집된 하전 입자의 양은 전류값으로 측정될 수 있다. 즉, 포집된 하전 입자의 양에 따라 충돌 전극(131)에서 측정되는 전류값(I_a)는 달라질 수 있다. 공기역학적 입자 포집기(130) 아래에는 필터(140)가 위치할 수 있다.

[0094] 필터(140)는 공기역학적 입자 포집기(130)에서 포집되지 않은 나머지 하전 입자를 모두 포집할 수 있다. 필터(140)는 필터 전극(141)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 필터 전극(141)은 판 형상으로 형성될 수 있고, 구리, 텅스텐, 알루미늄, 스테인레스와 같은 전도성 금속을 포함할 수 있다. 필터 전극(141)은 하전 입자의 흐름 방향과 수직인 방향으로 배치될 수 있다. 필터(141)에 포집된 하전 입자의 양을 전류값으로 측정될 수 있다. 즉, 포집된 하전 입자의 양에 따라 필터 전극(141)에서 측정되는 전류값(I_f)은 달라질 수 있다.

[0095] 상술한 바와 같이, 하전기(110)에서 하전된 입자는 전기이동도 입자 포집기(120), 공기역학적 입자 포집기(130) 및 필터(140)에서 각각 포집되고, 각 유닛은 전기이동도 포집 입자 전류(I_e), 공기역학적 포집 입자 전류(I_a) 및 필터 포집 입자 전류(I_f)를 측정할 수 있다. 하전된 입자는 각 유닛에서 모두 포집되기 때문에 하전된 입자의 총 전류(I_{tot})는 전기이동도 포집 입자 전류(I_e), 공기역학적 포집 입자 전류(I_a) 및 필터 포집 입자 전류(I_f)의 합

과 같다. 각 유닛에서 측정된 전기이동도 포집 입자 전류(I_e), 공기역학적 포집 입자 전류(I_a) 및 필터 포집 입자 전류(I_f)는 프로세서로 전달되고, 프로세서는 전달된 전류에 기초하여 입자의 밀도 등을 산출할 수 있다.

[0096] 도 9는 본 개시의 일 실시 예에 따른 멀티 오리피스가 형성된 노즐을 포함하는 입자 분석 장치를 나타내는 도면이다.

[0097] 도 9에 도시된 입자 분석 장치(100)에는 하전기(110), 전기이동도 입자 포집기(120), 공기역학적 입자 포집기(130), 필터(140) 및 노즐(160)이 포함되어 있다. 하전기(110), 전기이동도 입자 포집기(120), 공기역학적 입자 포집기(130) 및 필터(140)는 상술한 바와 동일하므로 중복되는 설명은 생략한다.

[0098] 노즐(160)은 전기이동도 입자 포집기(120)와 공기역학적 입자 포집기(130) 사이에 배치되고 전기이동도 입자 포집기(120)로부터 공기역학적 입자 포집기(130) 방향으로 좁아지는 복수의 유로를 포함하는 멀티 오리피스를 포함할 수 있다.

[0099] 진공 펌프가 오리피스의 압력을 감소시키는 경우, 압력차로 인해 오리피스에서 유속(입자를 포함하는 공기의 흐름 속도)이 발생되고, 압력차가 커질수록 유속은 증가될 수 있다. 그러나, 유속은 음속보다 커질 수 없기 때문에 오리피스 출구의 압력이 아무리 낮아지더라도 유속이 음속과 동일해지는 choked flow 현상이 발생할 수 있다. 유속이 음속과 등속도가 되므로 공기역학적 입자 포집기(130)로 일정한 유량이 공급될 수 있다. 따라서, 본 개시의 입자 분석 장치는 임계 오리피스를 형성함으로써 유량 센서없이 일정한 유량 공급이 가능하다. choked flow일 때 유량은 오리피스 노즐 폭, 노즐 개수 및 (식 7)을 이용하여 산출될 수 있다.

[0101] (식 7)

$$Q_{air} = c_o n_o w_o h \sqrt{\frac{\lambda_{air} P_{air}}{\rho_{air}} \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{\lambda + 1}{\lambda - 1}}}$$

[0102] .

[0103] 여기서, Q_{air} 는 유량, c_o 는 토출 계수(discharge coefficient) = 0.8(직사각형 형상의 오리피스인 경우), n_o 는 임계 오리피스 개수, w_o 는 임계 오리피스 폭, h 는 채널 높이, P_{air} 는 공기 압력(상압 1 atm), ρ_{air} 는 공기 밀도(상압 1.23 kg/m³), λ_{air} 는 공기의 비열비(specific heat ratio) = 1.4이다.

[0105] 노즐은 단일 오리피스일 수 있으나, 복수의 오리피스를 포함하는 멀티 오리피스로 구현된 노즐일 수 있다. 오리피스의 수가 증가할수록 전기이동도 입경 분석기의 후단부에 공기가 순환하는 구역을 최소화하여 분류 효율의 안정성이 증가될 수 있다. 일 실시 예로서, 유량 범위는 0.3 ~ 3 LPM 일 수 있고, (식 7)에 의해 노즐 개수가 산출될 수 있다.

[0106] 상술한 바와 같이, 본 개시의 입자 분석 장치의 각 구성은 포집된 전하 입자로부터 전류를 측정할 수 있다. 측정된 전류는 프로세서로 전달될 수 있다. 프로세서는 전달된 전류에 기초하여 입자를 분석할 수 있다. 즉, 입자 분석 장치는 전류만을 측정하여 입자를 분석할 수 있다. 먼저, 프로세서가 측정된 전류를 전달받고 밀도를 산출하는 과정을 설명한다.

[0107] 입자 분석 장치로 유입되는 입자의 크기 분포는 로그 정규 분포(log normal distribution)을 따른다고 가정하면 입자의 크기 분포는 (식 8)과 같이 표현될 수 있다.

[0109] (식 8)

$$N(d_e) = \frac{N_{tot}}{\sqrt{2\pi} \log \sigma \cdot d_e} \exp \left[\frac{\log d_e - \log d_{e,m}}{\log \sigma} \right]^2$$

[0110] .

[0111] 여기서, $N(d_e)$ 는 입자 크기 분포, N_{tot} 는 총 수농도, σ 는 분산값, $d_{e,m}$ 은 평균 전기이동도 입경이다.

[0113] 총 전류 대비 전기이동도 입자 포집기(120)에서 포집된 하전 입자에 의한 전류의 비(제1 전류비)는 (식 9)과 같

이 표현될 수 있다.

(식 9)

$$R_1 = \frac{I_e}{I_{tot}} = \frac{\int \eta_e(d_e) \cdot n(d_e) \cdot N(d_e) dd_e}{\int n(d_e) \cdot N(d_e) dd_e}$$

$$= \frac{\int_{d_{e,min}}^{d_{e,max}} \eta_e(d_e) \cdot n(d_e) \cdot \frac{1}{d_e} \exp\left(\frac{\log d_e - \log d_{e,m}}{\log \sigma}\right)^2 dd_e}{\int_{d_{e,min}}^{d_{e,max}} n(d_e) \cdot \frac{1}{d_e} \exp\left(\frac{\log d_e - \log d_{e,m}}{\log \sigma}\right)^2 dd_e}$$

여기서, η_e 는 전기이동도 입자 포집기의 포집 효율, $n(d_e)$ 는 단위 입자당 하전 수, d_e 는 전기이동도 입경, $d_{e,m}$ 은 평균 전기이동도 입경, σ 는 분산값을 의미한다.

상술한 바와 같이, 제1 전극에 인가되는 전압을 제어하면 포집 효율(η_e)은 제어될 수 있다. 단위 입자당 하전수 ($n(d_e)$)는 (식 1)로부터 획득될 수 있고, (식 6)에서 전기이동도 입경(d_e)은 상수로 취급될 수 있다. 분산값 (σ)은 특정한 값(예, 1.6 또는 1.8)으로 가정된다면, (식 9)에서 미지수는 입자의 평균 전기이동도 입경뿐이다. 따라서, (식 9)로부터 입자의 평균 전기이동도 입경($d_{e,m}$)이 산출될 수 있다.

공기역학적 입자 포집기로 유입된 하전 입자에 의한 전류 대비 공기역학적 입자 포집기에서 포집된 하전 입자에 의한 전류의 비(제2 전류비)는 (식 10)과 같이 표현될 수 있다.

(식 10)

$$R_2 = \frac{I_a}{I_a + I_f} = \frac{\int (1 - \eta_e(d_e)) \cdot \eta_a(d_a) \cdot n(d_e) \cdot N(d_e) dd_e}{\int (1 - \eta_e(d_e)) \cdot n(d_e) \cdot N(d_e) dd_e}$$

$$= \frac{\int_{d_{e,min}}^{d_{e,max}} (1 - \eta_e(d_e)) \cdot \eta_a(d_e, \rho_{eff}) \cdot n(d_e) \cdot \frac{1}{d_e} \exp\left(\frac{\log d_e - \log d_{e,m}}{\log \sigma}\right)^2 dd_e}{\int_{d_{e,min}}^{d_{e,max}} (1 - \eta_e(d_e)) \cdot n(d_e) \cdot \frac{1}{d_e} \exp\left(\frac{\log d_e - \log d_{e,m}}{\log \sigma}\right)^2 dd_e}$$

여기서, η_a 는 공기역학적 입자 포집기의 포집 효율이고, ρ_{eff} 는 밀도이다.

(식 10)은 밀도식 (식 11)을 변형하고 치환하여 표현될 수 있다.

(식 11)

$$\rho_{eff} = \frac{C_c(d_a) \cdot d_a^2}{C_c(d_e) \cdot d_e^2}$$

여기서, ρ_0 는 단위 밀도($1g/cm^3$), C_c 는 커닝햄 미끌림 상수, d_a 는 공기역학적 입경, d_e 는 전기이동도 입경이다.

따라서, 입자의 평균 전기이동도 입경($d_{e,m}$)은 (식 9)로부터 산출되므로, (식 10)으로부터 입자의 밀도가 산출될 수 있다. 즉, 입자 분석 장치는 측정된 전류만을 이용하여 입자의 평균 전기이동도 입경 및 밀도를 산출할 수 있다. 또한, 산출된 입자의 평균 전기이동도 입경과 (식 8)을 이용하여 총 수농도가 산출될 수 있다.

한편, 입자 분석 장치는 메모리(미도시)를 더 포함할 수 있다. 입자 분석 장치는 측정 전류(I_e , I_a , I_f)와 입자의 밀도(ρ_{eff})와의 관계를 데이터베이스로 생성하여 메모리에 저장할 수 있다. 즉, 프로세서는 측정할 때마다 밀도를 산출하지 않고, 데이터베이스로부터 밀도를 검색할 수 있다. 따라서, 입자 분석 장치는 밀도 산출 시간을 줄이고 연산 부하를 줄일 수 있다. 예를 들어, 입자 분석 장치는 제1 전류비(R_1)와 평균 전기이동도 입경

($d_{e,m}$)간의 관계 데이터 및 평균 전기이동도 입경($d_{e,m}$)과 제2 전류비(R_2)에 따른 유효 밀도(ρ_{eff})간의 관계 데이터를 메모리에 저장할 수 있다. 따라서, 입자 분석 장치는 측정 전류만 입력되면 즉시 밀도를 산출할 수 있다. 또한, 입자 분석 장치는 입자의 분석 정보를 사용자에게 제공하기 위한 출력부(미도시)를 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 출력부는 스피커 또는 디스플레이로 구현될 수 있다.

- [0134] 한편, 입자 분석 장치는 복수 개의 공기역학적 입자 포집기를 포함할 수도 있다.
- [0135] 도 10은 전기이동도 입자 포집기에 일정한 주기로 고전압을 인가하는 일 실시 예를 설명하는 도면이다.
- [0136] 상술한 바와 같이, 하전기에 인가된 고전압에 의해 입자 분석 장치로 유입된 입자는 하전될 수 있다. 그리고, 전기이동도 입자 포집기에 인가된 고전압에 의해 전기장이 형성되고, 발생된 전기장에 의해 전기이동도가 일정 크기 이상의 하전된 입자가 전기이동도 입자 포집기에 포집될 수 있다. 전기이동도 입자 포집기에 포집되지 않은 하전된 입자는 공기역학적 입자 포집기 또는 필터에 포집될 수 있다. 전기이동도 입자 포집기는 전기이동도 포집 입자 전류(I_e)를 측정하고, 공기역학적 입자 포집기는 공기역학적 포집 입자 전류(I_a)를 측정하며, 필터는 필터 포집 입자 전류(I_f)를 측정할 수 있다. 즉, 입자 분석 장치는 세 개의 전류계를 포함할 수 있다.
- [0137] 그러나, 도 10에 도시된 실시 예와 같이 기 설정된 주기로 전기이동도 입자 포집기에 고전압이 인가되는 경우, 두 개의 전류계를 이용하여 전기이동도 포집 입자 전류(I_e), 공기역학적 포집 입자 전류(I_a), 필터 포집 입자 전류(I_f)를 획득할 수 있다. 즉, 전기이동도 입자 포집기는 전류계를 포함하지 않고, 공기역학적 입자 포집기 및 필터에만 전류계가 포함될 수 있다.
- [0138] 구체적으로, 전원 공급 장치는 전기이동도 입자 포집기에 일정한 주기로 고전압을 인가할 수 있다. 일 실시 예로서, 도 10에 도시된 바와 같이, 전기이동도 입자 포집기에는 15초 간격으로 0V와 120V의 전압이 번갈아 인가될 수 있다. 상술한 시간 간격 및 인가 전압은 일 실시 예로서 전기이동도 입자 포집기에는 도 10의 실시 예와 다른 간격 및 전압이 인가될 수도 있다.
- [0139] 입자 분석 장치로 유입된 입자는 하전기에서 하전될 수 있다. 전기이동도 입자 포집기에 0V가 인가되는 경우, 전기이동도 입자 포집기에는 전기장이 형성되지 않는다. 따라서, 전기이동도 입자 포집기에서는 하전된 입자가 포집되지 않는다. 하전된 입자는 공기역학적 입자 포집기 및 필터에서 모두 포집될 수 있다. 따라서, 공기역학적 입자 포집기 및 필터에서 측정된 전류가 전체 전류(I_{tot})일 수 있다.
- [0140] 일정한 시간(예, 15 초)이 지나면, 전기이동도 입자 포집기에는 고전압(예, 120V)이 인가될 수 있다. 전기이동도 입자 포집기에 고전압이 인가되는 경우, 전기이동도 입자 포집기에는 전기장이 형성될 수 있다. 따라서, 전기이동도 입자 하전된 입자가 포집되지만, 전류계가 포함되지 않으므로 전기이동도 포집 입자 전류(I_e)를 직접 측정할 수는 없다. 전기이동도 입자 포집기에서 포집되지 않은 하전된 입자 중 일부는 공기역학적 입자 포집기에서 포집되고, 공기역학적 입자 포집기는 공기역학적 포집 입자 전류(I_a)를 측정할 수 있다. 포집되지 않은 나머지 하전된 입자는 필터에서 포집되고, 필터는 필터 포집 입자 전류(I_f)를 측정할 수 있다.
- [0141] 즉, 입자 분석 장치는 전기이동도 입자 포집기에 고전압이 인가되지 않은 경우(예, 0V 일 때), 전체 전류(I_{tot})를 획득할 수 있다. 그리고, 입자 분석 장치는 전기이동도 입자 포집기에 고전압이 인가되는 경우(예, 120V 일 때), 공기역학적 포집 입자 전류(I_a) 및 필터 포집 입자 전류(I_f)를 직접적으로 획득할 수 있다. 입자 분석 장치는 전체 전류(I_{tot})에서 포집 입자 전류(I_a) 및 필터 포집 입자 전류(I_f)를 감산하여 전기이동도 포집 입자 전류(I_e)를 간접적으로 획득할 수 있다. 따라서, 전기이동도 입자 포집기에 주기적으로 고전압이 인가됨으로써 입자 분석 장치는 직접적 및 간접적으로 전체 전류(I_{tot}), 전기이동도 포집 입자 전류(I_e), 공기역학적 포집 입자 전류(I_a) 및 필터 포집 입자 전류(I_f)를 획득할 수 있다. 획득된 전류 및 전류비에 기초하여 입자의 밀도 등을 분석하는 과정은 상술한 바와 동일하므로 구체적인 설명은 생략한다.
- [0142] 도 11은 본 개시의 다른 실시 예에 따른 입자 분석 장치를 설명하는 도면이다.
- [0143] 도 11을 참조하면, 입자 분석 장치(100a)는 하전기(110), 전기이동도 입자 포집기(120), 제1 공기역학적 입자 포집기(130a), 제2 공기역학적 입자 포집기(130b) 및 필터(140)를 포함할 수 있다. 각 구성의 구조 및 전류 측정 방식은 상술한 바와 동일하므로 구체적인 설명은 생략한다. 다만, 도 11의 입자 분석 장치(100a)는 제1 및 제2 공기역학적 입자 포집기(130a, 130b) 각각에서 전류가 측정되므로 하나의 수식을 더 얻을 수 있다. 도 11의

입자 분석 장치(100a)에서 전체 전류는 (식 12)와 같다.

[0145] (식 12)

$$I_{tot} = I_e + I_{a1} + I_{a2} + I_f = \int I(d_e) dd_e = e \cdot Q \int n(d_e) \cdot N(d_e) dd_e$$

[0146] 도 11의 입자 분석 장치(100a)에서 획득할 수 있는 전류비는 전체 전류(I_{tot}) 대비 전기이동도 포집 입자 전류비 (제1 전류비), 제1 공기역학적 입자 포집기로 유입된 전하 입자의 전류 대비 제1 공기역학적 포집 입자 전류비 (제2-1 전류비) 및 제2 공기역학적 입자 포집기로 유입된 전하 입자의 전류 대비 제2 공기역학적 포집 입자 전류비(제2-2 전류비)일 수 있다. 제1 내지 제2-2 전류비의 식은 (식 13) 내지 (식 15)로 표현될 수 있다.

[0150] (식 13)

$$R_1 = \frac{I_e}{I_{tot}} = \frac{\int \eta_e(d_e) \cdot n(d_e) \cdot N(d_e) dd_e}{\int n(d_e) \cdot N(d_e) dd_e} = \frac{\int_{d_{e,min}}^{d_{e,max}} \eta_e(d_e) \cdot n(d_e) \cdot \frac{1}{d_e} \exp\left(\frac{\log d_e - \log d_{e,m}}{\log \sigma}\right)^2 dd_e}{\int_{d_{e,min}}^{d_{e,max}} n(d_e) \cdot \frac{1}{d_e} \exp\left(\frac{\log d_e - \log d_{e,m}}{\log \sigma}\right)^2 dd_e}$$

[0153] (식 14)

$$R_2^{(2)} = \frac{I_{a1}}{I_{a1} + I_{a2} + I_f} = \frac{\int (1 - \eta_e(d_e)) \cdot \eta_a^{(1)}(d_a) \cdot n(d_e) \cdot N(d_e) dd_e}{\int (1 - \eta_e(d_e)) \cdot n(d_e) \cdot N(d_e) dd_e} = \frac{\int_{d_{e,min}}^{d_{e,max}} (1 - \eta_e(d_e)) \cdot \eta_a^{(1)}(d_e, \rho_{eff}) \cdot n(d_e) \cdot \frac{1}{d_e} \exp\left(\frac{\log d_e - \log d_{e,m}}{\log \sigma}\right)^2 dd_e}{\int_{d_{e,min}}^{d_{e,max}} (1 - \eta_e(d_e)) \cdot n(d_e) \cdot \frac{1}{d_e} \exp\left(\frac{\log d_e - \log d_{e,m}}{\log \sigma}\right)^2 dd_e}$$

[0156] (식 15)

$$R_2^{(2)} = \frac{I_{a2}}{I_{a2} + I_f} = \frac{\int (1 - \eta_e(d_e)) \cdot (1 - \eta_a^{(1)}(d_a)) \cdot \eta_a^{(2)}(d_a) \cdot n(d_e) \cdot N(d_e) dd_e}{\int (1 - \eta_e(d_e)) \cdot (1 - \eta_a^{(1)}(d_a)) \cdot n(d_e) \cdot N(d_e) dd_e} = \frac{\int_{d_{e,min}}^{d_{e,max}} (1 - \eta_e(d_e)) \cdot (1 - \eta_a^{(1)}(d_e, \rho_{eff})) \cdot \eta_a^{(2)}(d_e, \rho_{eff}) \cdot n(d_e) \cdot \frac{1}{d_e} \exp\left(\frac{\log d_e - \log d_{e,m}}{\log \sigma}\right)^2 dd_e}{\int_{d_{e,min}}^{d_{e,max}} (1 - \eta_e(d_e)) \cdot (1 - \eta_a^{(1)}(d_e, \rho_{eff})) \cdot n(d_e) \cdot \frac{1}{d_e} \exp\left(\frac{\log d_e - \log d_{e,m}}{\log \sigma}\right)^2 dd_e}$$

[0159] (식 13) 내지 (식 15)에서 미지수는 평균 전기이동도 입경($d_{e,m}$), 유효 밀도(ρ_{eff}) 및 분산값(σ)이다. 식이 3개 이고, 미지수가 3개이므로 (식 13) 내지 (식 15)를 이용하면, 평균 전기이동도 입경($d_{e,m}$), 유효 밀도(ρ_{eff}) 및 분산값(σ)을 산출할 수 있다. 즉, 도 11의 실시 예에 따른 입자 분석 장치(100a)는 분산값을 임의의 값으로 설정하지 않고 평균 전기이동도 입경 및 유효 밀도와 함께 정확한 값으로 산출할 수 있다.

[0160] 도 12는 본 개시의 일 실시 예에 따른 입자 분석 방법의 흐름도이다.

[0161] 도 12를 참조하면, 입자 분석 장치는 흡입된 공기 중에 포함된 입자를 하전시킬 수 있다(S1210). 예를 들어, 입자 분석 장치로 유입된 입자는 양이온으로 하전될 수 있다.

[0162] 입자 분석 장치는 전기이동도에 기초하여 하전된 입자 중 기 설정된 전기이동도보다 큰 전기이동도의 입자를 포집하여 전기이동도 포집 입자 전류를 측정할 수 있다(S1220). 기 설정된 전기이동도보다 작은 전기이동도의 입자는 포집되지 않을 수 있다. 입자 분석 장치는 하전된 입자의 관성력에 기초하여 전기이동도 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 공기역학적 포집 입자 전류를 측정할 수 있다(S1230). 그리고, 입자 분석 장치는 공기역학적 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 필터 포집 입자 전류를 측정할 수 있다(S1240).

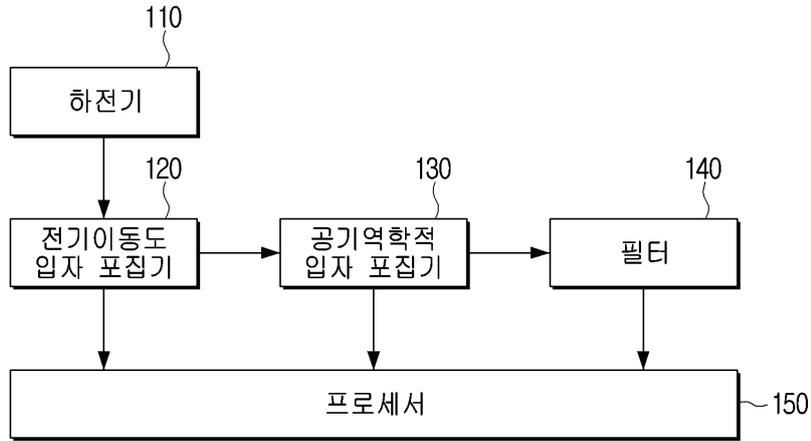
[0163] 입자 분석 장치는 전기이동도 포집 입자 전류, 공기역학적 포집 입자 전류 및 필터 포집 입자 전류의 비에 기초하여 입자의 밀도를 산출할 수 있다(S1250). 예를 들어, 입자 분석 장치는 전기이동도 포집 입자 전류, 공기역학적 포집 입자 전류 및 필터 포집 입자 전류를 합산한 포집 입자의 전체 전류를 산출하고, 산출된 전체 전류에 대한 전기이동도 포집 입자 전류의 비에 기초하여 평균 전기이동도 입경을 산출할 수 있다.

- [0164] 입자 분석 장치는 평균 전기이동도 입경을 산출한 뒤, 공기역학적 포집 입자 전류 및 필터 포집 입자 전류를 합산한 포집 입자의 역학적 전체 전류를 산출하고, 산출된 평균 전기이동도 입경 및 산출된 역학적 전체 전류에 대한 공기역학적 포집 입자 전류에 기초하여 입자의 밀도를 산출할 수 있다. 또한, 입자 분석 장치는 기 설정된 로그노멀 분포, 입자 분포의 기 설정된 분산값 및 산출된 평균 전기이동도 입경에 기초하여 입자의 총 수농도를 산출할 수도 있다.
- [0165] 한편, 입자 분석 장치는 복수의 공기역학적 입자 포집기를 포함할 수도 있다. 이 경우, 입자 분석 장치는 전기이동도 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 제1 공기역학적 포집 입자 전류를 측정하고, 제1 공기역학적 입자 포집기를 통과한 하전된 입자를 포집하여 제2 공기역학적 포집 입자 전류를 측정할 수 있다. 그리고, 입자 분석 장치는 측정된 전기이동도 포집 입자 전류, 제1 공기역학적 포집 입자 전류, 제2 공기역학적 포집 입자 전류 및 필터 포집 입자 전류에 기초하여 평균 전기이동도 입경, 입자 분포의 분산값 및 입자 밀도를 산출할 수도 있다.
- [0166] 지금까지 입자 분석 장치의 구성 및 입자를 분석하는 다양한 실시 예를 설명하였다. 아래에서는 입자 분석 장치의 제조 방법에 대해 설명한다.
- [0167] 도 13a 내지 도 13f는 본 개시의 일 실시 예에 따른 입자 분석 장치를 제조하는 과정을 설명하는 도면이다.
- [0168] 입자 분석 장치의 전기이동도 입자 포집기 및 공기역학적 입자 포집기는 맴스(Micro Electro Mechanical Systems, MEMS) 공정을 통해 하나의 칩 형태로 일체로 제작될 수 있다.
- [0169] 도 13a를 참조하면, 기판(10) 및 기판 상에 코팅된 금속 박막(20)이 도시되어 있다. 기판(10)에는 필요한 부분에 관통홀이 형성될 수 있고, 금속 박막(20)이 코팅될 수 있다. 예를 들어, 관통홀이 형성된 후 금속 박막(20)이 코팅될 수 있고, 금속 박막(20)이 코팅된 후 관통홀이 형성될 수도 있다. 또는 일부 관통홀이 형성되고, 금속 박막(20)이 코팅된 후에 다시 나머지 관통홀이 형성될 수도 있다. 금속 박막(20)이 코팅된 기판(10)은 제1 기판(10a) 및 제2 기판(10b)으로 제작될 수 있다.
- [0170] 도 13b에는 전극이 형성된 제1 기판(10a)이 도시되어 있다. 제1 기판(10a)에 코팅된 금속 박막을 패터닝하여 전극이 형성될 수 있다. 예를 들어, 제1 기판(10a)에 형성된 전극은 전기이동도 입자 포집기의 고전압이 인가되는 제1 전극(121)일 수 있다.
- [0171] 도 13c에는 전극이 형성된 제2 기판(10b)이 도시되어 있다. 도 13b와 유사한 방식으로 제2 기판(10b)에 코팅된 금속 박막을 패터닝하여 전극이 형성될 수 있다. 예를 들어, 제2 기판(10b)에 형성된 전극은 전기이동도 입자 포집기의 접지 전극인 제2 전극(122) 및 공기역학적 입자 포집기의 충돌 전극(131)일 수 있다.
- [0172] 도 13d에는 감광성 필름(30)이 코팅된 제2 기판(10b)이 도시되어 있다. 일 실시 예로서, 전극이 형성된 제2 기판(10b) 상에 감광성 필름(30)이 코팅될 수 있다. 또는, 전극이 형성된 제1 기판(10a) 및 제2 기판(10b) 상에 각각 감광성 필름(30)이 코팅될 수도 있다. 예를 들어, 감광성 필름(30)은 SU-8 필름을 포함할 수 있다. 감광성 필름(30)은 제1 기판(10a)와 제2 기판(10b)을 본딩시켜주고, 전기이동도 입자 포집기 및 공기역학적 입자 포집기의 채널을 형성시켜 주는 역할을 수행할 수 있다.
- [0173] 도 13e에는 채널이 형성된 제2 기판(10b)이 도시되어 있다. 제2 기판(10b)에 코팅된 감광성 필름은 패터닝되어 채널이 형성될 수 있다. 상술한 바와 같이, 채널은 포집기의 내부 공간을 의미할 수 있다. 도 13e를 참조하면 감광성 필름이 패터닝되어 전기이동도 입자 포집기의 채널(2)과 공기역학적 입자 포집기의 채널(3)이 형성되어 있다. 예를 들어, 제1 기판(10a)에도 감광성 필름이 코팅된 경우, 상술한 동일한 과정을 통해 제2 기판(10b)에 형성된 채널 영역과 대응되는 제1 기판(10a)의 영역에 채널이 형성될 수 있다. 감광성 필름(30)을 패터닝하여 채널 영역이 형성된 제2 기판(10b)(또는, 제1 및 제2 기판)은 플라즈마 처리가 됨으로써 감광성 필름(30)의 표면이 활성화될 수 있다. 감광성 필름(30)의 표면이 활성화된 제2 기판(10b)은 열과 압력이 인가된 상태에서 제1 기판(10a)과 본딩될 수 있다.
- [0174] 도 13f에는 완성된 입자 분석 장치가 도시되어 있다. 제1 기판(10a)에는 제1 전극(121)이 형성되어 있고, 제2 기판(10b)에는 제2 전극(122) 및 충돌 전극(131)이 형성될 수 있다. 제1 기판(10a)과 제2 기판(10b) 사이에 위치한 감광성 필름(30)은 제1 기판(10a) 및 제2 기판(10b)을 본딩시키고, 포집기의 채널을 형성시킬 수 있다. 본딩된 제1 및 제2 기판(10a, 10b)의 외부에는 차폐 케이스(40)가 패키징되고, 전류를 측정하거나 고전압을 인가하는 커넥터(50)가 각각의 전극에 연결될 수 있다.
- [0175] 도 14는 본 개시의 일 실시 예에 따른 전극이 형성된 MEMS 기반 입자 분석 장치를 나타내는 도면이다.

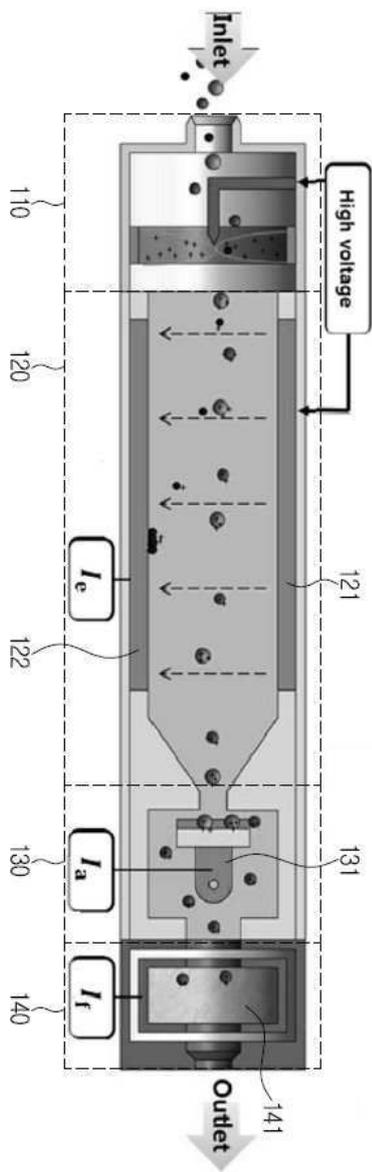
도면

도면1

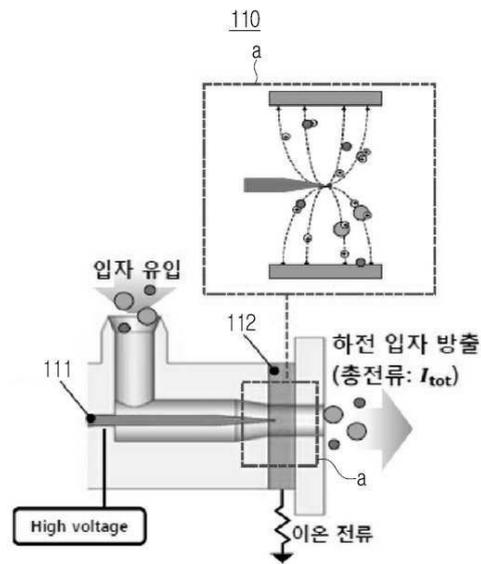
100



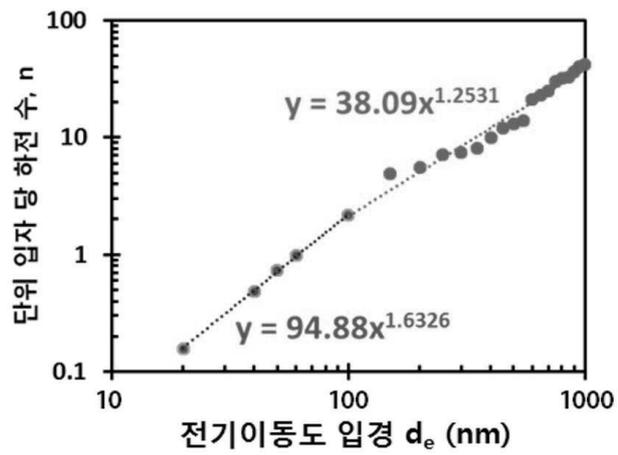
도면2



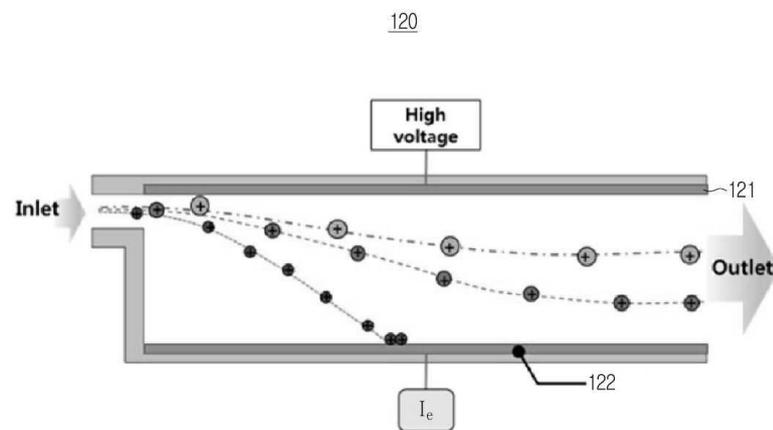
도면3



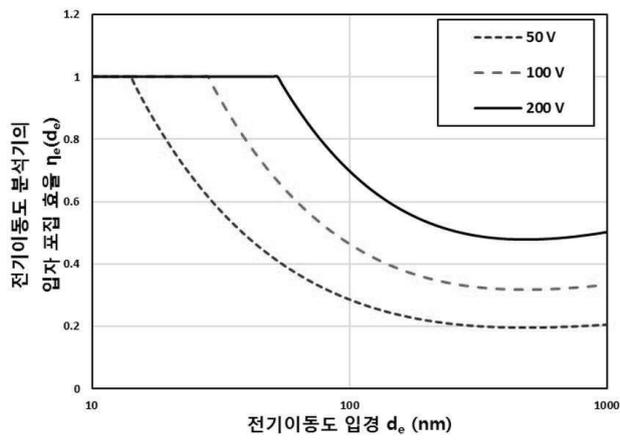
도면4



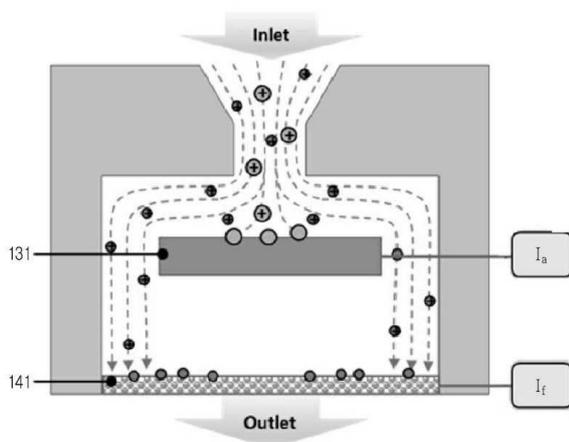
도면5



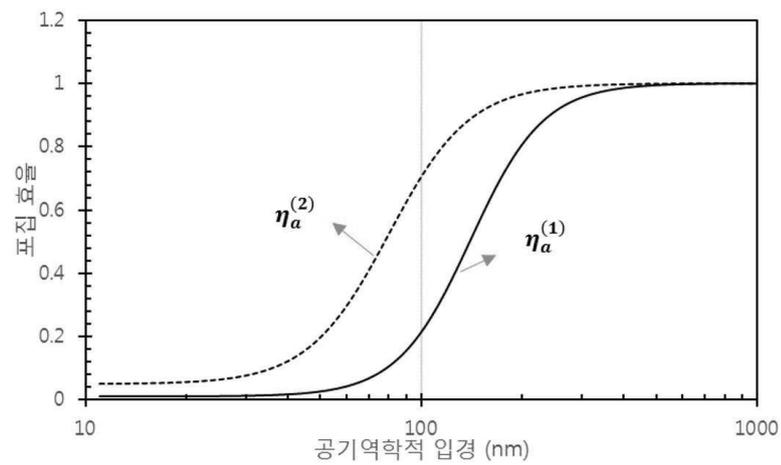
도면6



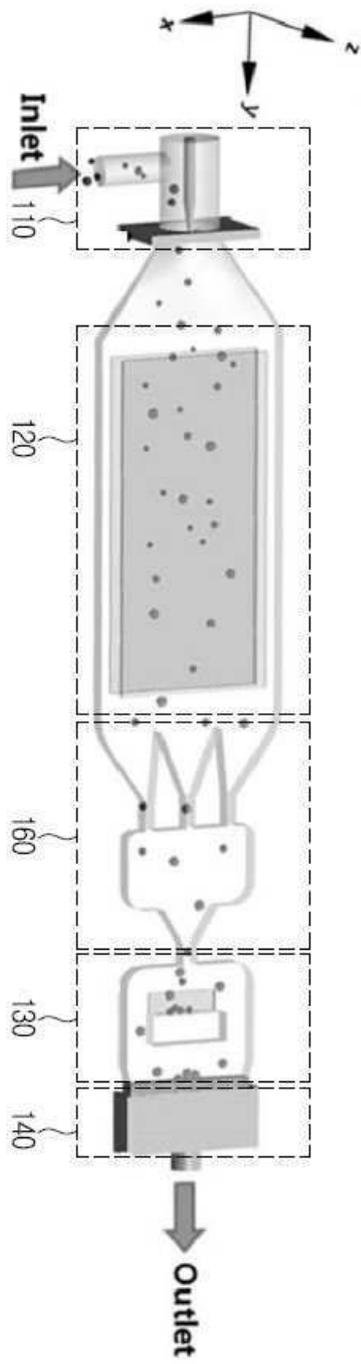
도면7



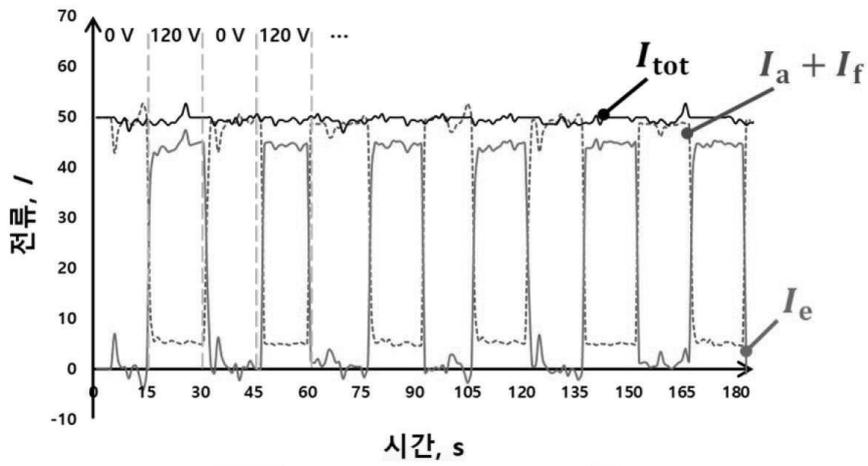
도면8



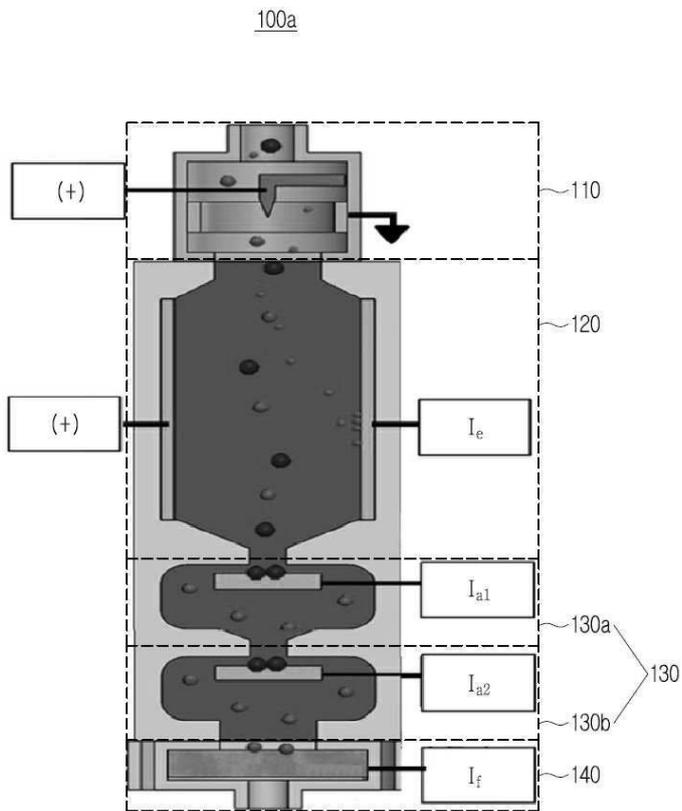
도면9



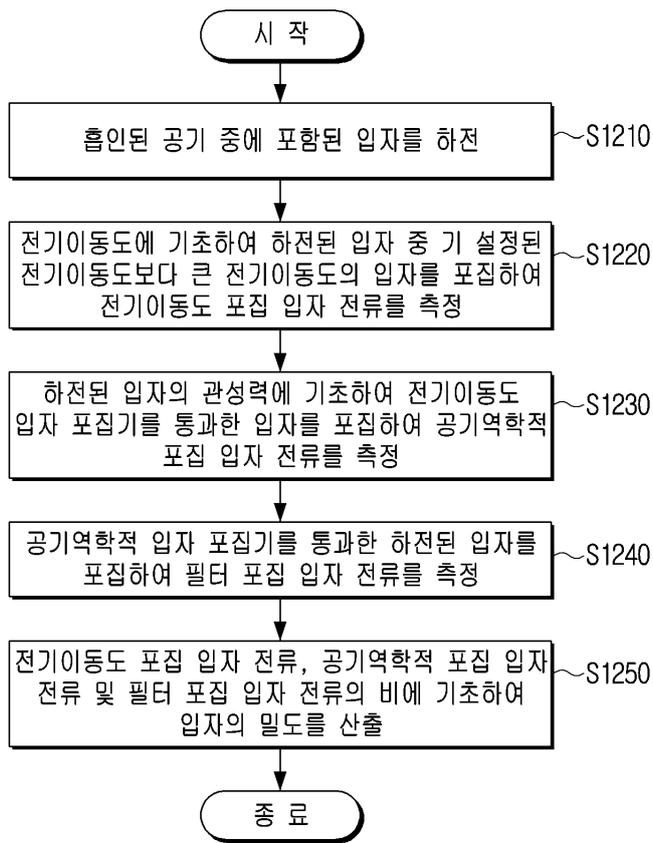
도면10



도면11



도면12



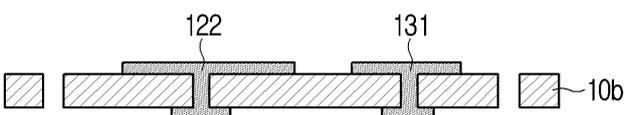
도면13a



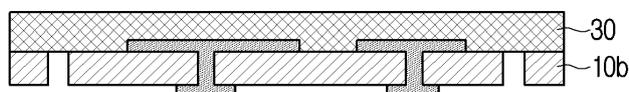
도면13b



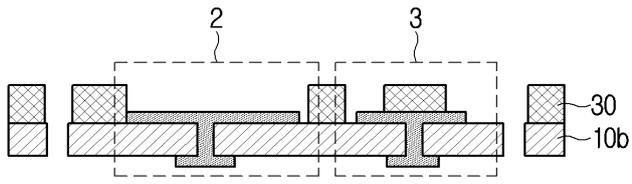
도면13c



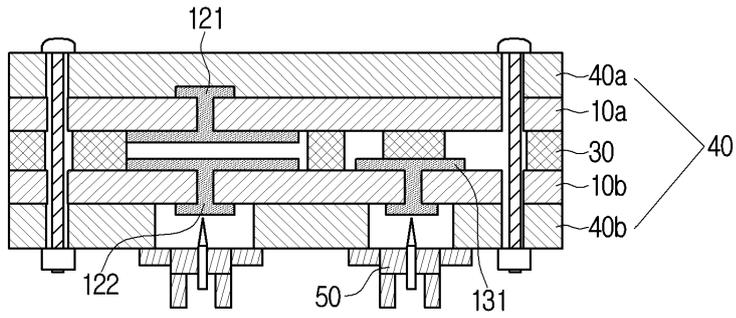
도면13d



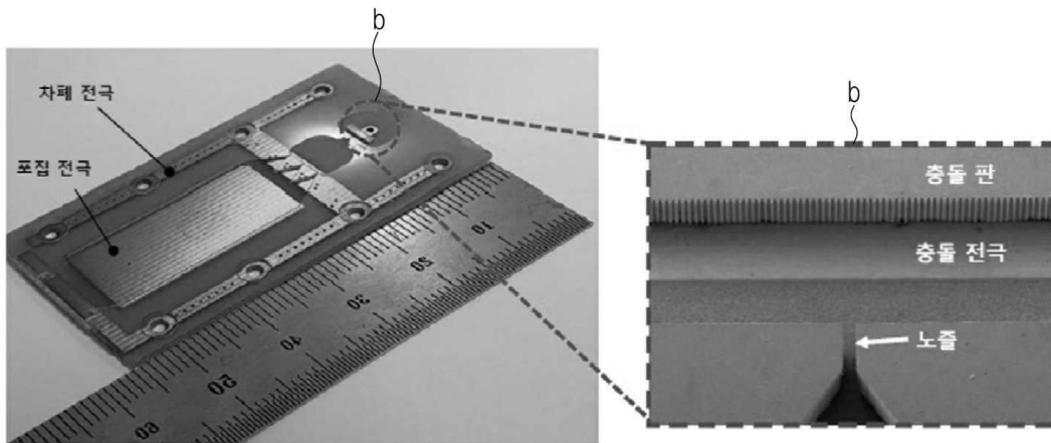
도면13e



도면13f



도면14



도면15

