



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0002108  
(43) 공개일자 2022년01월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01N 1/22 (2006.01) B01D 47/02 (2006.01)  
G01N 1/24 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01N 1/2214 (2013.01)  
B01D 47/022 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2021-0079746  
(22) 출원일자 2021년06월21일  
심사청구일자 2021년06월21일  
(30) 우선권주장  
1020200080339 2020년06월30일 대한민국(KR)

(71) 출원인  
세종대학교산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)  
(72) 발명자  
정재희  
경기도 남양주시 와부읍 덕소로2번길 39, 101동 605호(덕소강변삼익아파트)  
고현식  
서울특별시 동대문구 이문로 139, 404호(이문동)  
신재학  
경기도 성남시 분당구 동판교로 91, 409동 501호 (백현동, 백현마을4단지)  
(74) 대리인  
유병욱, 한승범

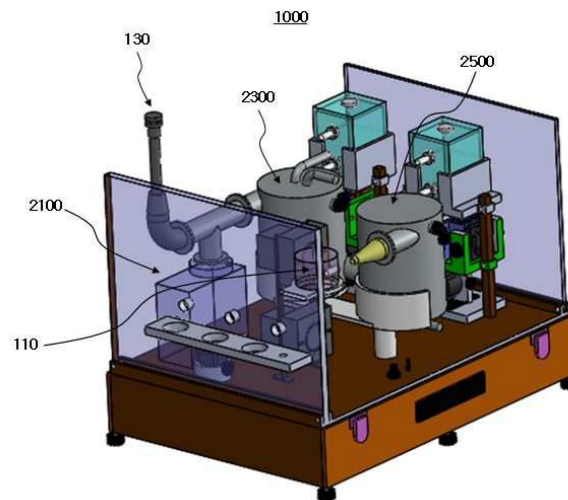
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 액화 포집 시스템

(57) 요약

본 발명에 따른 액화 포집 시스템은, 포집 대상물을 포함하는 공기가 공급되는 공기 주입부; 상기 공기 주입부에 서 공급된 포집 대상물을 포함하는 공기에 수증기를 공급하는 가습부; 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기를 가열하여 과포화 상태로 만드는 포화부; 과포화 상태인 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기를 냉각시키는 응축부; 및 상기 응축부에서 상기 포집 대상물을 포함하는 공기를 전달 받아 내면에 형성된 액막을 이용하여 상기 포집 대상물을 포집 배출하는 액화 포집부;를 포함할 수 있다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류

**G01N 1/2273** (2013.01)

**G01N 1/24** (2013.01)

**G01N 2001/2217** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711108947

과제번호 2019R1A2C2002398

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)

연구과제명 바이오미세먼지의 실시간 모니터링을 위한 초고속 마이크로콜로니 탐지 원천 기술

개발

기 여 율 1/2

과제수행기관명 세종대학교

연구기간 2021.03.01 ~ 2022.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415169909

과제번호 20012263

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국산업기술평가관리원

연구사업명 산업기술알키미스트프로젝트(R&D)

연구과제명 신체 보호형 스마트 수트 (유해물질을 자동으로 감지하여 인체를 상시보호할 수 있

는 경량 소프트 웨어러블 수트 개발)

기 여 율 1/2

과제수행기관명 한국기계연구원

연구기간 2021.05.01 ~ 2022.02.28

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

포집 대상물을 포함하는 공기가 공급되는 공기 주입부;  
상기 공기 주입부에서 공급된 포집 대상물을 포함하는 공기에 수증기를 공급하는 가습부;  
상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기를 가열하여 과포화 상태로 만드는 포화부;  
과포화 상태인 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기를 냉각시키는 응축부; 및  
상기 응축부에서 상기 포집 대상물을 포함하는 공기를 전달 받아 내면에 형성된 액막을 이용하여 상기 포집 대상물을 포집 배출하는 액화 포집부;  
를 포함하는 것을 특징으로 하는 액화 포집 시스템.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,  
상기 응축부는 상기 포집 대상물을 중심으로 수증기를 응축시켜서 상기 포집 대상물의 입자를 성장시키는 것을 특징으로 하는 액화 포집 시스템.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,  
상기 포화부는 이중 워터자켓을 순환하는 히팅워터를 이용하여 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기를 가열하거나 과포화 상태로 만드는 것을 특징으로 하는 액화 포집 시스템.

#### 청구항 4

제3항에 있어서,  
상기 포화부의 내부에는 히팅룸이 마련되고,  
상기 히팅룸으로 유입된 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기는 하향 사이클론 회전류를 형성하면서 상기 히팅룸 내부를 유동하는 동안 상기 이중 워터자켓을 흐르는 히팅워터와 열교환하는 것을 특징으로 하는 액화 포집 시스템.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,  
상기 포화부는,  
상기 히팅룸이 내부에 형성되는 본체;  
상기 히팅룸을 둘러싸도록 상기 본체에 형성되는 메인워터자켓; 및  
상기 히팅룸의 내부에 형성되며 상기 히팅룸의 상단에 매달린 형태로 형성되는 보조워터자켓;을 포함하는 것을 특징으로 하는 액화 포집 시스템.

## 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 히팅위터는 상기 메인위터자켓과 상기 보조위터자켓을 차례대로 통과하되, 상기 메인위터자켓의 하부로 유입되어 상기 메인위터자켓의 상부에서부터 유출된 후 상기 보조위터자켓의 상부로 유입되어 상기 보조위터자켓의 상부에서부터 유출되는 것을 특징으로 하는 액화 포집 시스템.

## 청구항 7

제5항에 있어서,

상기 응축부는 이중 위터자켓을 순환하는 쿨링위터를 이용하여 과포화 상태인 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기를 냉각하거나 응축시키는 것을 특징으로 하는 액화 포집 시스템.

## 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 응축부의 내부에는 쿨링룸이 마련되고,

상기 쿨링룸으로 유입된 과포화 상태인 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기는 상향 사이클론 회전류를 형성하면서 상기 쿨링룸 내부를 유동하는 동안 상기 이중 위터자켓을 흐르는 쿨링위터와 열교환하는 것을 특징으로 하는 액화 포집 시스템.

## 청구항 9

제8항에 있어서,

상기 응축부는,

상기 쿨링룸이 내부에 형성되는 본체;

상기 쿨링룸을 둘러싸도록 상기 본체에 형성되는 메인위터자켓; 및

상기 쿨링룸의 내부에 형성되되 상기 쿨링룸의 하단에서부터 기립한 형태로 형성되는 보조위터자켓;을 포함하는 것을 특징으로 하는 액화 포집 시스템.

## 청구항 10

제9항에 있어서,

상기 쿨링위터는 상기 메인위터자켓과 상기 보조위터자켓을 차례대로 통과하되, 상기 메인위터자켓의 하부로 유입되어 상기 메인위터자켓의 상부에서부터 유출된 후 상기 보조위터자켓의 하부로 유입되어 상기 보조위터자켓의 하부에서부터 유출되는 것을 특징으로 하는 액화 포집 시스템.

## 발명의 설명

## 기술 분야

본 발명은 바이러스와 같이 나노 사이즈의 포집 대상물을 성장시킨 후 입자 관성력과 초친수 표면처리를 이용하여 고농축으로 액화 포집하는 나노 입자 포집이 가능한 액화 포집 시스템을 제공한다.

[0001]

## 배경 기술

- [0002] 공기 중에 포함되어 있는 미세먼지 또는 부유미생물과 같은 에어로졸(aerosol)을 측정 및 검출하기 위하여, 에어로졸을 포집하기 위한 다양한 방법들이 개발되어 왔다.
- [0003] 가장 보편적인 에어로졸 포집 방법은 필터를 이용한 방식으로, 필터에 부착된 에어로졸을 수집하는 것이다. 그러나, 에어로졸을 탐지 및 검출하는 방법에 따라서, 액상의 시료를 사용해야하는 경우가 많다. 이 경우, 필터를 이용한 방식은 필터에 부착된 에어로졸을 액상으로 변환하기 위한 추가 처리 공정이 필요하다. 이러한 추가 처리 공정은 에어로졸 측정 및 검출을 비연속적으로 만들고, 측정 및 검출 시간을 늘리며, 비용을 발생시킨다. 또한, 부유미생물의 경우, 살아있는 미생물의 중요한 고유 특성인 생명성을 유지하기 어렵다.
- [0004] 또한, 대표적인 액상 에어로졸 포집 장치인 임핀저(Impinger)는 물과 같은 액체에 입자를 포집하는 원리를 이용하는데, 기존의 필터 방식의 에어로졸 포집 방법과 비교하여, 액상 변환을 위한 추가 처리 공정은 필요하지 않다. 그러나, 에어로졸 액상 포집과정에서 액막의 불균일성으로 인해 입자 손실이 발생하며 농축비가 낮은 문제점을 가지고 있다.
- [0005] 한편, 요즘 이슈가 되고 있는 신종코로나바이러스(COVID-19)는 그 크기가 80~100 nm 정도로 매우 작다. 이와 같이, 나노 사이즈의 바이러스를 검출할 수 있는 액화 포집 시스템에 대한 개발도 필요한 실정이다.
- [0006] 따라서, 공기 중의 미세먼지 또는 부유미생물과 같은 에어로졸 뿐만 아니라 바이러스까지 고농축으로 액상 포집할 수 있는 액화 포집 시스템에 대한 개발이 필요하다.
- [0007] 본 출원인은, 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명을 제안하게 되었다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0008] 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 공기 중의 에어로졸 뿐만 아니라 나노 사이즈의 바이러스를 입자 관성력과 초진수 액막을 이용하여 고농축으로 액화 포집할 수 있는 나노 입자 포집이 가능한 액화 포집 시스템을 제공한다.
- [0009] 본 발명은 나노미터 수준의 크기를 가지는 바이오 미세먼지 등의 포집 대상물을 응축하여 입자를 크게 함으로써 포집 대상물을 고농축 상태로 실시간 포집할 수 있는 액화 포집 시스템을 제공한다.

### 과제의 해결 수단

- [0010] 상기한 바와 같은 과제를 달성하기 위한 본 발명에 따른 액화 포집 시스템은, 포집 대상물을 포함하는 공기가 공급되는 공기 주입부; 상기 공기 주입부에서 공급된 포집 대상물을 포함하는 공기에 수증기를 공급하는 가습부; 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기를 가열하여 과포화 상태로 만드는 포화부; 과포화 상태인 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기를 냉각시키는 응축부; 및 상기 응축부에서 상기 포집 대상물을 포함하는 공기를 전달 받아 내면에 형성된 액막을 이용하여 상기 포집 대상물을 포집 배출하는 액화 포집부;를 포함할 수 있다.
- [0011] 상기 응축부는 상기 포집 대상물을 중심으로 수증기를 응축시켜서 상기 포집 대상물의 입자를 성장시킬 수 있다.
- [0012] 상기 포화부는 이중 워터자켓(Double water jacket)을 순환하는 히팅워터를 이용하여 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기를 가열하거나 과포화 상태로 만들 수 있다.
- [0013] 상기 포화부의 내부에는 히팅룸이 마련되고, 상기 히팅룸으로 유입된 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기는 하향 사이클론 회전류를 형성하면서 상기 히팅룸 내부를 유동하는 동안 상기 이중 워터자켓을 흐르는 히팅워터와 열교환할 수 있다.
- [0014] 상기 포화부는, 상기 히팅룸이 내부에 형성되는 본체; 상기 히팅룸을 둘러싸도록 상기 본체에 형성되는 메인워터자켓; 및 상기 히팅룸의 내부에 형성되되 상기 히팅룸의 상단에 매달린 형태로 형성되는 보조워터자켓;을 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 히팅워터는 상기 메인워터자켓과 상기 보조워터자켓을 차례대로 통과하되, 상기 메인워터자켓의 하부로 유

입되어 상기 메인워터자켓의 상부에서부터 유출된 후 상기 보조워터자켓의 상부로 유입되어 상기 보조워터자켓의 상부에서부터 유출될 수 있다.

- [0016] 상기 응축부는 이중 워터자켓(Double water jacket)을 순환하는 쿨링워터를 이용하여 과포화 상태인 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기를 냉각하거나 응축시킬 수 있다.
- [0017] 상기 응축부의 내부에는 쿨링룸이 마련되고, 상기 쿨링룸으로 유입된 과포화 상태인 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기는 상향 사이클론 회전류를 형성하면서 상기 쿨링룸 내부를 유동하는 동안 상기 이중 워터자켓을 흐르는 쿨링워터와 열교환할 수 있다.
- [0018] 상기 응축부는, 상기 쿨링룸이 내부에 형성되는 본체; 상기 쿨링룸을 둘러싸도록 상기 본체에 형성되는 메인워터자켓; 및 상기 쿨링룸의 내부에 형성되며 상기 쿨링룸의 하단에서부터 기립한 형태로 형성되는 보조워터자켓;을 포함할 수 있다.
- [0019] 상기 쿨링워터는 상기 메인워터자켓과 상기 보조워터자켓을 차례대로 통과하되, 상기 메인워터자켓의 하부로 유입되어 상기 메인워터자켓의 상부에서부터 유출된 후 상기 보조워터자켓의 하부로 유입되어 상기 보조워터자켓의 하부에서부터 유출될 수 있다.

### 발명의 효과

- [0020] 본 발명에 따른 액화 포집 시스템은 공기 중 일정 크기 범위의 에어로졸을 선별하여 고농축으로 액상 포집할 수 있으므로, 낮은 농도로 존재하는 실내 및 대기 에어로졸 측정 및 검출의 정확도를 높일 수 있다.
- [0021] 본 발명은 공기 중 에어로졸 포집 과정에서 포집되는 에어로졸의 크기와 농축비를 조절할 수 있다.
- [0022] 본 발명은 연속적이며 실시간으로 액화 포집된 에어로졸을 제공함에 따라, 실내 및 대기 에어로졸 측정 및 검출의 빈도를 높일 수 있고 신속히 대응할 수 있다.
- [0023] 본 발명은 액화 포집부의 내면에 안정적으로 균일한 액막을 형성할 수 있도록 내벽에 초친수성 표면처리를 적용하여 얇고 균일한 액막을 형성함에 따라 에어로졸 포집 효율을 높이고, 에어로졸 액화 포집 농축비를 향상시킬 수 있다.
- [0024] 본 발명은 포화부 및 응축부를 거치면서 포집 입자의 크기를 키울 수 있기 때문에 300 나노미터 이하의 바이러스와 같은 작은 입자도 용이하게 포집할 수 있다.
- [0025] 본 발명은 연동펌프를 자동화하여 액체 저장소로부터 액체를 액체 주입부를 통해 액화 포집부의 내부로 연속적으로 정량 공급해 주고, 액화 포집된 에어로졸 시료를 추출해줌으로써 실내 및 대기 에어로졸 측정 및 검출 분석 용이하다.
- [0026] 본 발명은 항온 장치와 결합하는 경우에는 날씨나 계절에 관계없이 최적의 물리적, 생물학적 수집환경을 제공할 수 있다.
- [0027] 본 발명은 무선통신 방식의 원격 장치를 통해 장치를 원격으로 감시 및 제어할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템의 구성을 예시적으로 도시한 도면이다.
- 도 2는 도 1에 따른 시스템의 포화부의 구성을 개략적으로 도시한 도면이다.
- 도 3은 도 2에 따른 포화부의 변형예를 개략적으로 도시한 도면이다.
- 도 4는 도 1에 따른 시스템의 응축부의 구성을 개략적으로 도시한 도면이다.
- 도 5는 도 1에 따른 시스템의 액화 포집부를 도시한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템의 구성을 예시적으로 도시한 도면이다.
- 도 7은 도 6에 따른 시스템의 요부를 도시한 도면이다.
- 도 8은 도 6에 따른 시스템의 가습부를 개략적으로 도시한 도면이다.
- 도 9는 도 6에 따른 시스템의 포화부의 내부를 도시한 단면도이다.

도 10은 도 6에 따른 시스템의 응축부의 내부를 도시한 단면도이다.

도 11은 도 6에 따른 시스템의 액화 포집부를 도시한 도면이다.

도 12는 도 5 및 도 11에 따른 액화 포집부의 내면에 형성된 초친수층을 초친수성 표면처리물질의 농도에 따라 보여주는 사진이다.

도 13은 도 12에 따른 초친수성 표면처리물질이 산화규소인 경우에, 산화규소의 농도에 따른 액화 포집부 내면의 접촉각과 산화규소의 무게 변화를 보여주는 그래프이다.

도 14는 액화 포집부의 내면에 표면처리된 산화규소의 열처리 온도에 따른 초친수 특성 및 코팅면의 내구성을 보여주는 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 명세서에 개시된 실시 예를 상세히 설명하되, 동일하거나 유사한 구성요소에 대해서는 동일, 유사한 도면 부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 이하의 설명에서 사용되는 구성요소에 대한 접미사 "부"는 명세서 작성의 용이함만이 고려되어 부여되거나 혼용되는 것으로서, 그 자체로서 구별되는 의미 또는 역할을 갖는 것은 아니다. 또한, 본 명세서에 개시된 실시 예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 명세서에 개시된 실시 예의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 명세서에 개시된 실시 예를 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐, 첨부된 도면에 의해 본 명세서에 개시된 기술적 사상이 제한되지 않으며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0030] 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0031] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0032] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0033] 본 출원에서, "포함한다" 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 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0034] 도면들은 개략적이고 축적에 맞게 도시되지 않았다는 것을 일러둔다. 도면에 있는 부분들의 상대적인 치수 및 비율은 도면에서의 명확성 및 편의를 위해 그 크기에 있어 과장되거나 감소되어 도시되었으며 임의의 치수는 단지 예시적인 것이지 한정적인 것은 아니다. 그리고 둘 이상의 도면에 나타나는 동일한 구조물, 요소 또는 부품에는 동일한 참조 부호가 유사한 특징을 나타내기 위해 사용된다.
- [0035] 본 발명의 실시예는 본 발명의 이상적인 실시예들을 구체적으로 나타낸다. 그 결과, 도면의 다양한 변형이 예상된다. 따라서 실시예는 도시한 영역의 특정 형태에 국한되지 않으며, 예를 들면 제조에 의한 형태의 변형도 포함한다.
- [0036] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템의 구성을 예시적으로 도시한 도면, 도 2는 도 1에 따른 시스템의 포화부의 구성을 개략적으로 도시한 도면, 도 3은 도 2에 따른 포화부의 변형예를 개략적으로 도시한 도면, 도 4는 도 1에 따른 시스템의 응축부의 구성을 개략적으로 도시한 도면, 도 5는 도 1에 따른 시스템의 액화 포집부를 도시한 도면, 도 6은 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템의 구성을 예시적으로 도시한 도면, 도 7은 도 6에 따른 시스템의 요부를 도시한 도면, 도 8은 도 6에 따른 시스템의 가습부를 개략적으로 도시한 도면, 도 9는 도 6에 따른 시스템의 포화부의 내부를 도시한 단면도, 도 10은 도 6에 따른 시스템의 응축부의 내부를 도시한 단면도, 도 11은 도 6에 따른 시스템의 액화 포집부를 도시한 도면, 도 12는 도 5 및 도 11에 따른 액화 포집부의 내면에 형성된 초친수층을 초친수성 표면처리물질의 농도에 따라 보여주는 사진, 도 13은 도 12에 따른 초친수성 표면처리물질이 산화규소인 경우에, 산화규소의 농도에 따른 액화 포집부 내면의 접촉각과 산화규소의 무게 변화를 보여주는 그래프, 도 14는 액화 포집부의 내면에 표면처리된 산화규소의 열처리 온도에 따른 초친수 특성 및 코팅면의 내구성을 보여주는 그래프이다.



- [0037] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)은, 액화 포집부(110); 포집 대상물을 포함하는 공기를 액화 포집부(110)에 공급하는 공기 주입부(130); 액체를 액화 포집부(110)에 공급하는 액체 주입부(140); 액체에 의해 포집된 상기 포집 대상물이 배출되는 포집 대상물 배출부(150); 및 포집 대상물이 제거되고 남은 공기가 배출되는 공기 배출부(160);를 포함할 수 있다.
- [0038] 이하에서, 포집 대상물은 공기 중에 있는 바이러스, 세균, 곰팡이와 같은 부유미생물을 포함하는 바이오에어로졸, 바이오 미세먼지, 기타 미세먼지 등의 에어로졸을 포함하는 개념으로서, 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집부(110)에 의해서 액화 포집되는 물체(물질)를 의미한다.
- [0039] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)은, 주입된 공기에 포함되어 있는 포집 대상물이 원심력에 의한 관성력 작용으로 인하여 액막에 의해 포집되는 액화 포집부(110), 액화 포집부(110)와 연결되어 에어로졸 등의 포집 대상물을 포함한 공기가 흡입되는 통로를 구비하는 공기 주입부(130), 액화 포집부(110)와 연결되어 액체를 주입하기 위한 액체 주입부(140), 액화 포집부(110)와 연결되어 포집 대상물이 액화 포집되고 남은 공기가 배출되는 공기 배출부(160) 및 액화 포집부(110)와 연결되어 액막에 포집 대상물이 포집된 액체를 배출하기 위한 포집 대상물 배출부(150)를 포함할 수 있다.
- [0040] 한편, 바이오 미세먼지 또는 에어로졸 등 포집 대상물을 포함하는 공기는 공기 주입부(130)를 통과한 후 밸브(170)를 통과하여 액화 포집부(110)로 이송될 수 있다. 이 때, 포집되는 공기 유량은 액화 포집부(110)에 연결되어 있는 공기 펌프(161)에 의해 결정될 수 있다.
- [0041] 액화 포집부(110)에 주입되는 액체는 주입 액체 보관소(148)에서 연동펌프(141)를 통해 액화 포집부(110)로 이송될 수 있다. 공기 중 포집 대상물은 액체 주입부(140)에서 액화 포집부(110)에 주입되는 액체에 의해 포집되며, 액화 포집된 포집 대상물은 액화 포집부(110)에 연결된 연동펌프(151)를 통해 포집 액체 보관소(158)로 이동될 수 있다.
- [0042] 각 연동펌프(141,151)를 제어함으로써 주입되고 배출되는 액체의 유량을 조절할 수 있다. 상기 연동펌프(141,151)는 On/Off 기능을 가지기 때문에 단방향 밸브 역할을 할 수 있다.
- [0043] 또한, 액화 포집부(110)의 내부를 세척하기 위한 필터(180)를 더 포함할 수도 있다. 필터(180)는 밸브(170)와 연결되거나 공기 주입부(130)와 연결될 수 있고, 깨끗한 공기를 액화 포집부(110)에 주입할 수 있도록 HEPA필터로 마련될 수 있다. 이와 같이, 필터(180)를 통하여 깨끗한 공기가 액화 포집부(110)로 주입됨에 따라 액화 포집부(110)를 세척할 수 있다.
- [0044] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)의 각 펌프(161,141,151)와 밸브(170)는 제어부(190)에 의해 제어될 수 있다. 여기서, 제어부(190)는 유선 통신부 또는 무선 통신부를 구비할 수 있다.
- [0045] 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)은 펌프(161,141,151)와 밸브(170) 등에 전원을 공급하는 전원부(미도시)를 포함할 수 있다.
- [0046] 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)은 300 나노미터 이하의 크기를 가지는 아주 미세한 입자(예를 들면, 바이러스 또는 바이오 미세먼지 등)까지도 포집할 수 있는데, 이를 위해 가습부(210), 포화부(230) 및 응축부(250)를 더 포함할 수 있다.
- [0047] 300 나노미터 이하의 미세한 입자는 매우 작기 때문에 그대로 포집하기 어려운 문제가 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)은 300 나노미터 이하의 미세 입자를 그대로 포집하는 대신 미세 입자의 크기를 크게 하여 포집함으로써 나노미터 수준의 작은 입자로 효율적으로 포집할 수 있고 샘플링할 수 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)은 나노미터 수준의 작은 입자를 연속적으로 액화 포집함으로써 농축까지 수행할 수 있고 샘플링 효율도 높일 수 있다.
- [0048] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)은 포집 대상물을 포함하는 공기를 공급하는 공기 주입부(130), 공기 주입부(130)에서 공급된 공기(포집 대상물을 포함하는 공기)에 다량의 수증기를 공급하는 가습부(210), 다량의 수증기와 포집 대상물이 과포화 상태로 균질하게 혼합되게 하는 포화부(230), 과포화된 수증기와 포집 대상물을 전달 받아 냉각 및 응축시키는 응축부(250) 및 응축부(250)에서 포집 대상물을 포함하는 공기를 전달 받아 내면에 형성된 액막을 이용하여 포집 대상물을 포집 배출하는 액화 포집부(110)를 포함할 수 있다.
- [0049] 도 2에 도시된 바와 같이, 공기에 포함된 포집 대상물은 공기 주입부(130)를 통해 흡입된 후 가습부(210), 포화



부(230)와 응축부(250)를 차례대로 거친 후 액화 포집부(110)에 주입되어 농축 및 샘플링될 수 있다.

[0050] 포화부(230)에서 포집 대상물은 과포화 상태의 응축기체(예를 들면, 수증기)에 노출된다. 과포화 상태의 응축기체(수증기)에 노출된 포집 대상물은 응축부(250)에서 급속히 냉각되면서 응축될 수 있다. 이때, 응축기체가 포집 대상물에 달라 붙기 때문에 포집 대상물의 크기가 커지게 된다. 즉, 포집 대상물이 응결핵의 역할을 함으로써 수증기가 포집 대상물 주변으로 뭉치면서 입자 성장이 일어나게 된다. 포집 대상물의 크기가 커짐에 따라 관성도 커지게 되며, 액상 포집부(110) 내에서 원심력에 의해 포집 대상물은 액상 포집될 수 있다.

[0051] 포집 대상물의 성장은 다음의 [수학식 1]로 표현될 수 있다.

### 수학식 1

$$\frac{d(d_p)}{dt} = \frac{4D_v M}{R \rho_p d_p} \left( \frac{P_\infty}{T_\infty} - \frac{P_d}{T_d} \right) \phi$$

[0052]

[0053] [수학식 1]에서  $d_p$ 는 포집 대상물의 크기를 나타낸다.  $d(d_p)/dt$ 는 포집 대상물의 시간에 따른 크기 변화를 나타낸다.  $D_v$ 는 기체확산계수,  $M$ 은 기체분자량,  $R$ 은 기체상수,  $\rho_p$ 는 포집 대상물의 입자 밀도를 나타낸다.  $P_\infty$ 는 기체 압력,  $T_\infty$ 는 기체 온도,  $P_d$ 는 포집 대상물 주위의 기체압력,  $T_d$ 는 포집 대상물의 입자온도를 나타낸다.  $\phi$ 는 Fuch 보정 계수이다.

[0054] 포집 대상물의 입자 주위의 기체의 압력과 포집 대상물의 입자 표면 내 기체 압력의 비가 포화비가 되며, 이 포화비가 클수록 포집 대상물(입자)은 성장하게 된다. 이러한 포화비는 공기 중 응축 기체의 절대량과 주위 온도로서 결정될 수 있다. 즉, 주입되는 응축 기체의 양과 주위 온도를 조절함으로써 나노 크기 영역의 포집 대상물의 입자 크기를 성장시키게 된다.

[0055] 상기한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)은 공기 주입부(130)와 액화 포집부(110) 사이에 가습부(210), 포화부(230) 및 응축부(250)를 차례대로 구비하여 300 나노미터 이하의 포집 대상물의 크기를 키움으로써, 나노미터 수준의 에어로졸을 포함하는 포집 대상물도 액화 포집할 수 있다.

[0056] 도 2에는 포화부(230)의 내부 구성이 개략적으로 도시되어 있다. 도 2를 참조하면, 포화부(230)는 단수 또는 복수개(적어도 하나)의 튜브(233)가 가열부(231)를 지나는 단면 형태를 가질 수 있다. 즉, 상하에 배치된 가열부(231) 사이에 적어도 하나의 튜브(233)가 지나가는 형태로 마련될 수 있다.

[0057] 포집 대상물은 적어도 하나로 마련된 튜브(233)의 내부(239)를 통과하게 된다. 히터 또는 코일 등을 포함하는 가열부(231)를 이용하여 튜브(233)를 가열한다. 이때, 가열부(231)와 튜브(233)는 써멀 그리스(Thermal Grease), 써멀 페이스트(Thermal Paste) 또는 구리 도체와 같은 열전도 물질(323)에 의해 열을 전달하고 전달받을 수 있다. 열전도 물질(323)이 튜브(233)를 둘러싸도록 마련되고 열전도 물질(323)의 상하에 가열부(231)가 위치할 수 있다. 이런 구조로 인해 가열부(231)에서 발생한 열이 튜브(233)로 바로 전달되는 것이 아니라, 열전도 물질(323)에 의해서 간접적으로 튜브(233)에 열이 전달된다.

[0058] 가열부(231)의 온도는 별도로 마련되는 온도제어부(237)에 의해 일정한 온도를 유지하도록 제어될 수 있다.

[0059] 튜브(233)는 구리 또는 SUS 계열로 만들어 질 수 있다. 이때, 튜브(233)의 외벽에 액체 흡수 물질(234)이 마련될 수도 있다. 튜브(233)의 외벽에 액체 흡수 물질(234)이 부착되거나 튜브(233)의 외벽을 감싸도록 액체 흡수 물질(234)이 마련될 수 있다.

[0060] 액체 흡수 물질(234)은 다공성 물질 또는 작은 섬모 다발 등의 구조를 가지기 때문에 액체를 흡수할 수 있고, 모세관 현상을 이용하여 액체 흡수 물질(234)에 고르게 액체를 이송할 수 있다. 즉, 가열된 튜브(233)에서 액체는 기화되며, 기화되는 만큼 사라지는 액체를 자동으로 채워질 수 있도록 하는 기능을 가진다. 이로부터, 튜브(233)의 내부는 기화된 액체로 인해 포화 상태가 되며, 포집 대상물은 포화 상태의 기체와 함께 혼합된 후 응축부(250)로 이동할 수 있다.

[0061] 도 3에는 도 2에 도시된 포화부(230)의 변형예에 따른 포화부(330)가 도시되어 있다.

[0062] 도 3을 참조하면, 포화부(330)는 가습부(340)를 포함할 수 있다. 즉, 도 1에 도시되어 있는 가습부와 포화부가

일체로 형성된 경우이다.

- [0063] 도 3에 도시된 포화부(330)는 도 2에 도시된 포화부(230)의 액체 흡수 물질(234) 대신, 가습기와 같은 기능을 하는 가습부(340)를 튜브(333)의 내부(339)와 연통되도록 연결하여 튜브(333)의 내부(339)를 흐르는 공기 내로 수분을 공급할 수 있다.
- [0064] 포화부(330)는 단수 또는 복수개(적어도 하나)의 튜브(333)가 가열부(331)를 지나는 단면 형태를 가진다. 즉, 상하에 배치된 가열부(331) 사이에 적어도 하나의 튜브(333)가 지나가는 형태로 마련될 수 있다. 가열부(331)의 온도는 별도로 마련되는 온도제어부(337)에 의해 일정한 온도를 유지하도록 제어될 수 있다.
- [0065] 또한, 포화부(330)는 튜브(333)의 내부(339)와 연통되는 가습부(340)를 포함할 수 있다. 가습부(340)는 물(W)이 들어 있는 용기(341)와 초음파 수증기 발생장치(343), 가습제어부(345) 및 물 보충부(344)를 포함할 수 있다. 용기(341)와 튜브(333)를 연결하는 연결배관(342)을 더 포함할 수 있다.
- [0066] 도 3에 도시된 포화부(330)와 같이, 초음파 수증기 발생장치(343)에 의해서 발생한 수분을 튜브(333)의 내부를 흐르는 공기 내로 공급함으로써, 고유량의 공기가 흐르는 튜브(333)의 내부(339)를 효과적으로 포화 상태로 만들 수 있다.
- [0067] 한편, 도 4에는 응축부(250)의 내부 구성이 개략적으로 도시되어 있다. 도 4를 참조하면, 응축부(250)는 포화부(230)와 비슷한 구성을 가지는데, 단수 또는 복수개(적어도 하나)로 마련되는 튜브(253)의 주위에 온도를 낮추기 위한 냉각부(251)가 마련될 수 있다. 튜브(253)는 냉각부(251) 내에 복수개가 나란히 마련되거나 냉각부(251)의 내부를 통과하는 단일의 관으로 마련될 수 있다.
- [0068] 냉각부(251)의 온도는 별도로 마련된 온도제어부(257)에 의해 조절될 수 있다. 냉각부(251)와 적어도 하나로 마련되는 튜브(253) 사이에 마련된 열전도 물질(252)에 의해서 냉각부(251)의 열이 튜브(253)에 전달될 수 있다.
- [0069] 포화부(230)와 다르게, 응축부(250)의 튜브(253)는 액체 흡수 물질 없이 순수하게 포화상태의 응축기체와 포집 대상물 입자만 튜브(253)의 내부(259)를 통과할 수 있다. 이때, 냉각된 응축기체는 과포화상태가 되며, 포집 대상물 입자에 응축기체가 달라 붙기 때문에 포집 대상물의 입자 성장이 일어날 수 있다. 이와 같이, 포집 대상물의 입자 크기는 커지게 되며, 크기가 커진 포집 대상물 입자는 응축부(250)의 후단에 마련된 액상 포집부(110)에서 액화 포집될 수 있다.
- [0070] 도 5를 참조하면, 액화 포집부(110)는 제1 몸체(111) 및 제1 몸체(111)의 하부에 마련되는 제2 몸체(120)를 포함할 수 있다.
- [0071] 제1 몸체(111)와 제2 몸체(120)는 일체로 형성될 수도 있지만, 별개로 분리 형성된 후 결합되는 것이 바람직하다.
- [0072] 도 5에 도시된 바와 같이, 제1 몸체(111)는 원통 형태로 형성되고 제2 몸체(120)는 원추 형태 또는 깔때기 형태로 형성될 수 있다. 여기서, 제1 몸체(111)와 제2 몸체(120)의 내부 공간에서 주입된 공기(포집 대상물을 포함하는 공기)가 유동하게 되는데, 공기가 유동하는 공간을 형성하는 제1 몸체(111)의 내면이 원통면을 형성하고 제2 몸체(120)의 내면이 원추면을 형성하면 충분하고, 제1 몸체(111)의 외면이 원통 형태를 가지거나 제2 몸체(120)의 외면까지 원추 형태를 가져야 하는 것은 아니다.
- [0073] 액화 포집부(110)의 제1 몸체(111)에 공기 주입부(130) 및 액체 주입부(140)가 연결될 수 있다. 이때, 공기 주입부(130)는 1개의 유로(미도시)를 통해 제1 몸체(111)에 연결되는 반면 액체 주입부(140)는 3개의 유로(미도시)를 통해 제1 몸체(111)에 연결되는 것이 바람직하다. 이때, 상기 4개 유로 중 이웃하는 유로 사이의 각도는 90도가 되도록 제1 몸체(111)와 연결되며, 공기 주입부(130)를 통해 주입된 공기(포집 대상물을 포함하는 공기)가 제1 몸체(111)와 제2 몸체(120)의 내부를 유동하면서 원심력이 발생할 수 있도록 상기 4개의 유로는 제1 몸체(111)의 반경 상에 위치하는 것이 아니라 제1 몸체(111)의 중심에서 편심되거나 원주면과 인접한 위치에 마련되는 것이 바람직하다. 제1 몸체(111)의 상면은 공기 배출부(160)와 연결될 수 있다.
- [0074] 공기 주입부(130)는 공기 중 100 마이크로미터 이상의 큰 입자를 제거하기 위한 분리망(미도시) 또는 임팩터(미도시)를 포함할 수 있다.
- [0075] 제2 몸체(120)는 그 내면을 따라서 공기가 나선형 흐름(S)을 형성할 수 있도록 충분한 길이를 가지는 원추 형태로 마련되는 것이 바람직하다. 액체 주입부(140)에서 주입된 액체는 제2 몸체(120)의 내면에 액막(L)을 형성하게 되는데, 제2 몸체(120)의 내면에 초친수층이 형성되기 때문에 액막(L)이 제2 몸체(120)의 내면 전체에 걸쳐

서 고르게 형성될 수 있다. 제1 몸체(111)를 통해 유입된 공기는 제2 몸체(120)의 하부에 형성된 배출공(122)을 향해 진행하면서 공기에 포함된 포집 대상물(A)은 액막(L)에 포집되어 액체와 함께 배출공(122)을 통해 배출된 뒤 포집 대상물 배출부(150)로 전달된다. 포집 대상물(A)이 포집되어 제거된 남은 공기는 공기 배출부(160)로 이동하게 된다.

- [0076] 상기한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)의 액화 포집부(110)는 내면에 고르게 형성된 액막(L)에 의해서 포집 대상물(A)을 제거하는 습식 사이클론(cyclone) 장치이다.
- [0077] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)은 액화 포집부(110)의 내벽이 초친수성 물질로 코팅 처리되기 때문에 포집 대상물을 고농축 상태로 포집할 수 있다. 이하에서는 액화 포집부(110)에 대해서 보다 자세하게 설명한다.
- [0078] 도 5에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집부(110)는 포집 대상물을 포함하는 공기 및 액체가 주입되는 제1 몸체(111) 및 제1 몸체(111)의 하부에 형성되며 액체에 의해 포집된 포집 대상물이 배출되는 제2 몸체(120)를 포함할 수 있다. 여기서, 주입된 공기(포집 대상물을 포함하는 공기)의 진행 방향을 따라 공기에 작용하는 원심력이 증가하도록 제2 몸체(120)의 내면은 점진적으로 감소하는 직경을 가지는 원추 형태로 마련되고, 포집 대상물은 액체에 의해 제2 몸체(120)의 내면에 전체적으로 균일하게 형성된 액막에 포집될 수 있다.
- [0079] 액화 포집부(110) 내로 주입된 포집 대상물은 제2 몸체(120)의 원추형 내면을 따라 공기와 함께 이동하며 원심력을 받게 된다. 이때, 제2 몸체(120)의 내면에는 액막이 형성되어 있는데, 내면에 초친수 표면처리기술을 적용함으로써 균일하고 안정한 상태의 액막을 만들 수 있다. 즉, 제2 몸체(120)의 내면 전체에 걸쳐서 고르게 액막을 형성할 수 있다.
- [0080] 포집 대상물은 원심력 및 입자 관성력에 의해 제2 몸체(12)의 반경 방향으로 이동하며, 최종적으로 액막 표면에 포집될 수 있다.
- [0081] 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)은 최적화된 공기 유량과 주입 액체 유량 조건 및 초친수 표면처리에 의해 포집 대상물의 포집 성능을 향상시키며, 주입되는 액체의 양을 현저히 줄일 수 있다. 포집된 포집 대상물의 농축비는 주입되는 공기 유량과 주입되는 액체의 유량으로 결정되므로, 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)에서는 포집 대상물의 농축비를 현저히 증가시킬 수 있다.
- [0082] 이하에서는 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(1000)에 대해서 설명한다.
- [0083] 도 6을 참조하면, 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(1000)은 포집 대상물을 포함하는 공기가 공급되는 공기 주입부(130); 공기 주입부(130)에서 공급된 포집 대상물을 포함하는 공기에 수증기를 공급하는 가습부(2100); 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기를 가열하여 과포화 상태로 만드는 포화부(2300); 과포화 상태인 상기 포집 대상물을 포함하는 공기와 수증기를 냉각시키는 응축부(2500); 및 응축부(2500)에서 상기 포집 대상물을 포함하는 공기를 전달 받아 내면에 형성된 액막을 이용하여 상기 포집 대상물을 포집 배출하는 액화 포집부(110);를 포함할 수 있다.
- [0084] 여기서, 공기 주입부(130), 액화 포집부(110)는 본 발명의 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(100)의 경우와 동일하므로, 반복적인 설명은 생략한다.
- [0085] 도 6에 도시된 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(1000)의 요부는 가습부(2100), 포화부(2300) 및 응축부(2500)인데, 도 7 내지 도 10에 보다 자세하게 도시되어 있다.
- [0086] 도 7 및 도 8을 참조하면, 가습부(2100)는 공기 주입부(130)를 통해 유입된 포집 대상물을 포함하는 공기에 다량의 수증기를 공급할 수 있다.
- [0087] 가습부(2100)는 물이 저장되는 물탱크(2120), 물탱크(2120)의 상단과 연통되는 수증기 통로(2130), 공기 주입부(130)와 포화부(2300)를 연결하며 연결배관(2130)이 중앙에 연결되는 이송배관(2110)을 포함할 수 있다.
- [0088] 가습부(2100)는 공기 주입부(130)를 통해 유입된 공기(포집 대상물을 포함한 공기) 중에 수증기(습기)를 추가하기 위한 가습 모듈이다.
- [0089] 가습부(2100)의 물탱크(2120) 내에는 저장된 물(W)에서 수증기(M)를 발생시키기 위한 수증기발생기(2150)가 마련될 수 있는데, 도 8에 도시된 바와 같이 물탱크(2120)의 하부면에 가 수증기발생기(2150)가 설치되는 것이 바람직하다.

- [0090] 수증기발생기(2150)는 초음파를 발생하여 수증기를 만들거나, 저장된 물을 가열하여 수증기를 만들 수도 있고, 공압(air pressure)을 가하여 스프레이 형태로 수증기를 만들 수도 있다. 이와 같이, 물탱크(2120)에 저장된 물에서 수증기를 발생시킬 수만 있다면, 수증기발생기(2150)의 형태 또는 작동 방식에 제한은 없다.
- [0091] 도 8을 참조하면, 물탱크(2120)의 내부에 저장된 물은 물탱크(2120)의 전체 공간을 다 채우는 것이 아니라 상부에 공간이 있도록 물탱크(2120)의 절반 정도까지 채워지는 것이 바람직하다. 이 상태에서 발생된 수증기(M)는 물탱크(2120)의 상부 공간을 채운 뒤 연결배관(2130)을 통해서 이송배관(2110)으로 유입되고, 공기(포집 대상물을 포함하는 공기)와 함께 이송배관(2110)을 따라 포화부(2300)로 이동하게 된다.
- [0092] 한편, 이송배관(2110)은 공기가 그 내부를 흐를 때 압력 차이가 발생할 수 있는 형태 또는 구조로 마련되는 것이 바람직하다. 이송배관(2110)의 내부를 흐르는 공기에 의해서 압력 차이가 발생하면, 그러한 압력 차이로 인해 물탱크(2120)에서 발생한 수증기(M)가 이송배관(2110) 내부로 원활하게 유입될 수 있다.
- [0093] 도 7에 도시된 바와 같이, 이송배관(2110)의 양단에는 연결을 위한 플랜지(미도시)가 형성될 수 있다.
- [0094] 포집 대상물을 포함하는 공기, 그리고 수증기는 포화부(2300)에 유입될 수 있다. 포화부(2300)는 온도를 높여서 공기와 수증기가 균질하게 혼합되게 하는 부분이다. 이를 위해서, 포화부(2300)에는 워터자켓(water jacket)이 마련될 수 있다.
- [0095] 도 7에는 포화부(2300)의 외부 형태가 도시되어 있고 도 9에는 포화부(2300)의 내부 구조가 도시되어 있다.
- [0096] 도 7 및 도 9를 참조하면, 포화부(2300)는 본체(2310), 공기와 수증기가 유출입되는 배관(2311, 2312), 히팅워터(heating water)가 유출입되는 배관(2322, 2323, 2324)을 포함할 수 있다.
- [0097] 가습부(2100)에서 나온 공기(포집 대상물을 포함하는 공기)와 수증기는 포화부(2300)의 본체(2310)에 연결되어 있는 유입배관(2311)을 통해 본체(2310)의 내부로 유입될 수 있다.
- [0098] 도 9를 참조하면, 본체(2310)의 내부에는 공기와 수증기가 균질하게 혼합될 수 있는 히팅룸(2330)이 형성되어 있다. 공기와 수증기가 유입되는 유입배관(2311)은 본체(2310) 또는 히팅룸(2330)의 위쪽에 형성되어 있고, 균질하게 혼합된 공기와 수증기가 유출되는 유출배관(2312)은 본체(2310) 또는 히팅룸(2330)의 아래쪽에 형성되어 있다.
- [0099] 위쪽에 마련된 유입배관(2311)을 통해 유입된 공기와 수증기는 히팅룸(2330) 내에서 균질하게 혼합된 뒤 아래쪽에 마련된 유출배관(2312)을 통해 배출될 수 있다.
- [0100] 히팅룸(2330) 내에서 공기(포집 대상물을 포함하는 공기)와 수증기는 균질하게 혼합되는데, 공기의 온도가 높아지면서 수증기가 과포화상태가 됨으로써 공기와 수증기가 균질하게 혼합될 수 있다.
- [0101] 여기서, 공기의 온도를 높이기 위해 히팅룸(2330)을 둘러싸도록 메인워터자켓(2320)이 마련될 수 있다. 또한, 히팅룸(2330)의 상부 가운데 부분에는 보조워터자켓(2325)이 마련될 수 있다. 메인워터자켓(2320)과 보조워터자켓(2325)의 내부를 흐르는 히팅워터에서 발생한 열이 히팅룸(2330)에 전달됨으로써 히팅룸(2330)에 유입된 공기의 온도를 높일 수 있다.
- [0102] 도 9를 참조하면, 히팅워터는 메인워터자켓(2320)으로 유입된 후에 보조워터자켓(2325)으로 유입될 수 있다. 이를 위해, 히팅부(미도시)에서 유출된 히팅워터는 메인워터자켓(2320)의 아래쪽에 연결되어 있는 메인유입관(미도시)을 통해 메인워터자켓(2320) 내에 유입되어 메인워터자켓(2320)을 채운 후 메인워터자켓(2320)의 위쪽에 연결되어 있는 메인유출관(2322)을 통해 유출될 수 있다. 메인유출관(2322)을 통해 유출된 히팅워터는 보조유입관(2323)을 통해 보조워터자켓(2325)으로 유입되어 보조워터자켓(2325)을 채운 후 보조유출관(2324)을 통해 유출될 수 있다. 보조워터자켓(2325)에서 유출된 히팅워터는 히팅룸(2330) 내의 공기와 열교환을 하여 온도가 낮아진 상태이기 때문에 상기 히팅부로 보내져서 다시 온도를 높이게 된다. 상기한 히팅워터의 순환은 반복적으로 일어나게 된다.
- [0103] 여기서, 메인워터자켓(2320)의 내부에 보조워터자켓(2325)이 배치된 형태를 가지기 때문에, 포화부(2300)에 이중 워터자켓(2320, 2325)이 구비된다고 볼 수도 있다.
- [0104] 상기한 히팅워터 순환구조를 가지는 메인워터자켓(2330) 및 보조워터자켓(2325)은 40~50℃의 히팅워터를 순환시켜서 히팅룸(2330)의 내부 온도를 높이고 균일하게 유지할 수 있다.
- [0105] 도 9에 도시된 바와 같이, 메인워터자켓(2320)은 히팅룸(2330)을 둘러싸는 형태로 마련되는 반면에 보조워터자



켓(2325)은 히팅룸(2330)의 상부 가운데 부분에 형성되어 있다. 즉, 보조워터자켓(2325)은 히팅룸(2330)의 상단에서부터 히팅룸(2330)의 내부를 향해 하향 돌출 형성되고, 보조워터자켓(2325)의 하단은 히팅룸(2330)의 내부에 매달린 형태로 마련될 수 있다. 따라서, 공기와 수증기는 유입배관(2311)을 통과하자마자 메인워터자켓(2320)과 보조워터자켓(2325) 사이의 공간에 위치하게 되는데, 이 공간에서 공기와 수증기는 메인워터자켓(2330)과 보조워터자켓(2325)에 의해서 가열될 수 있다.

[0106] 한편, 유입배관(2311)이 메인워터자켓(2330)과 보조워터자켓(2325) 사이의 공간을 향해 공기와 수증기를 공급하도록 형성되기 때문에 유입배관(2311)으로 유입된 공기와 수증기는 보조워터자켓(2325)을 둘레를 따라 흐를 수 밖에 없게 된다.

[0107] 또한, 히팅룸(2330)을 채운 공기와 수증기는 가열되어 과포화 상태가 된 후 히팅룸(2330)의 아래쪽에 형성된 유출배관(2312)을 통해 유출되어야 한다. 따라서, 히팅룸(2330) 내의 공기와 수증기의 유동은 사이클론 형태의 회전류를 발생시키게 된다. 즉, 공기와 수증기는 히팅룸(2330)의 상부에서부터 하부를 향해 사이클론 모양의 회전 유동을 하게 된다. 이와 같이 사이클론 형태의 회전류를 형성함으로써 공기와 히팅룸(2330) 내부의 열전달 및 공기와 과포화 수증기의 혼합 효과를 활성화하여 빠른 시간 내에 공기(포집 대상물을 포함하는 공기)와 수증기가 균일한 온도를 유지할 수 있다. 참고로, 히팅룸(2330) 내에서는 하향 사이클론 회전류가 형성될 수 있다.

[0108] 포화부(2300)의 히팅룸(2330) 내에서 과포화된 수증기와 공기는 균일한 상태로 혼합된 후 그 상태로 응축부(2500)에 유입될 수 있다.

[0109] 도 7에는 응축부(2500)의 외부 형태가 도시되어 있고 도 10에는 응축부(2500)의 내부 구조가 도시되어 있다.

[0110] 도 7 및 도 10을 참조하면, 응축부(2500)는 본체(2510), 공기와 과포화 수증기가 유출입되는 배관(2511, 2512), 쿨링워터(cooling water)가 유출입되는 배관(2521, 2522, 2523, 2524)을 포함할 수 있다.

[0111] 포화부(2300)에서 나온 공기(포집 대상물을 포함하는 공기)와 과포화 상태의 수증기는 응축부(2500)의 본체(2510)에 연결되어 있는 유입배관(2511)을 통해 본체(2510)의 내부로 유입될 수 있다.

[0112] 도 10을 참조하면, 본체(2510)의 내부에는 공기와 과포화 수증기가 냉각되는 쿨링룸(2530)이 형성되어 있다. 공기와 과포화 수증기가 균질하게 혼합된 상태로 유입되는 유입배관(2511)은 본체(2510) 또는 쿨링룸(2530)의 아래쪽에 형성되어 있고, 공기에 포함된 포집 대상물을 중심으로 응결된 수증기가 유출되는 유출배관(2512)은 본체(2510) 또는 쿨링룸(2530)의 위쪽에 형성되어 있다.

[0113] 아래쪽에 마련된 유입배관(2511)을 통해 유입된 공기와 과포화 수증기는 쿨링룸(2530) 내에서 냉각되고 포집 대상물 주변의 수증기가 포집 대상물에 묻혀져서 물방울로 응결된 뒤 위쪽에 마련된 유출배관(2512)을 통해 배출될 수 있다.

[0114] 쿨링룸(2530) 내에서 공기(포집 대상물을 포함하는 공기)와 과포화 수증기는 급속도로 냉각되는데, 공기 및 수증기의 온도가 낮아지면서 수증기가 포집 대상물 주변으로 뭉치게 됨으로써 포집 대상물의 입자가 커지고 성장하게 된다.

[0115] 여기서, 공기 및 수증기를 급속하게 냉각하기 위해 쿨링룸(2530)을 둘러싸도록 메인워터자켓(2520)이 마련될 수 있다. 또한, 쿨링룸(2530)의 하부 가운데 부분에는 보조워터자켓(2525)이 마련될 수 있다. 메인워터자켓(2520)과 보조워터자켓(2525)의 내부를 흐르는 쿨링워터가 쿨링룸(2530) 내의 과포화 공기 및 수증기로부터 열을 빼앗기 때문에 쿨링룸(2530)에 유입된 과포화 공기 및 수증기를 냉각시키고 온도를 낮출 수 있다.

[0116] 도 10을 참조하면, 쿨링워터는 메인워터자켓(2520)으로 유입된 후에 보조워터자켓(2525)으로 유입될 수 있다. 이를 위해, 쿨링부(미도시)에서 유출된 쿨링워터는 메인워터자켓(2520)의 아래쪽에 연결되어 있는 메인유입관(2521)을 통해 메인워터자켓(2520) 내에 유입되어 메인워터자켓(2520)을 채운 후 메인워터자켓(2520)의 위쪽에 연결되어 있는 메인유출관(2522, 도 7 참조)을 통해 유출될 수 있다. 메인유출관(2522)을 통해 유출된 쿨링워터는 보조유입관(2523)을 통해 보조워터자켓(2525)으로 유입되어 보조워터자켓(2525)을 채운 후 보조유출관(2524)을 통해 유출될 수 있다. 보조워터자켓(2525)에서 유출된 쿨링워터는 쿨링룸(2530) 내의 과포화 공기 및 수증기와 열교환을 하여 온도가 높아진 상태이기 때문에 상기 쿨링부로 보내져서 다시 온도를 낮추게 된다. 상기한 쿨링워터의 순환은 반복적으로 일어나게 된다.

[0117] 여기서, 메인워터자켓(2520)의 내부에 보조워터자켓(2525)이 배치된 형태를 가지기 때문에, 응축부(2500)에 이중 워터자켓(2520, 2525)이 구비된다고 볼 수도 있다.

- [0118] 상기한 쿨링워터 순환구조를 가지는 메인워터자켓(2530) 및 보조워터자켓(2525)은 5~15℃의 쿨링워터를 순환시켜서 쿨링룸(2530)의 내부 온도를 낮추고 균일하게 유지할 수 있다.
- [0119] 도 10에 도시된 바와 같이, 메인워터자켓(2520)은 쿨링룸(2530)을 둘러싸는 형태로 마련되는 반면에 보조워터자켓(2525)은 쿨링룸(2530)의 하부 가운데 부분에 형성되어 있다. 즉, 보조워터자켓(2525)은 쿨링룸(2530)의 하단에서부터 쿨링룸(2530)의 내부를 향해 상향 돌출 형성되고, 보조워터자켓(2525)의 상단은 쿨링룸(2530)의 내부에 서 있는 형태로 마련될 수 있다. 따라서, 과포화 공기와 수증기는 유입배관(2511)을 통과하자마자 메인워터자켓(2520)과 보조워터자켓(2525) 사이의 공간에 위치하게 되는데, 이 공간에서 공기와 수증기는 메인워터자켓(2530)과 보조워터자켓(2525)에 의해서 냉각될 수 있다.
- [0120] 한편, 유입배관(2511)이 메인워터자켓(2530)과 보조워터자켓(2525) 사이의 공간을 향해 과포화 공기와 수증기를 공급하도록 형성되기 때문에 유입배관(2511)으로 유입된 공기와 수증기는 보조워터자켓(2525)을 둘레를 따라 흐를 수밖에 없게 된다.
- [0121] 또한, 쿨링룸(2530)을 채운 과포화 공기와 수증기는 냉각되면서 포집 대상물을 중심으로 응축된 후 쿨링룸(2530)의 위쪽에 형성된 유출배관(2512)을 통해 유출되어야 한다. 따라서, 쿨링룸(2530) 내의 공기와 수증기(응축 수증기)의 유동은 사이클론 형태의 회전류를 발생시키게 된다. 즉, 공기와 수증기는 쿨링룸(2530)의 하부에서부터 상부를 향해 사이클론 모양의 회전 유동을 하게 된다. 이와 같이 사이클론 형태의 회전류를 형성함으로써 과포화 공기 및 수증기는 쿨링룸(2530) 내부의 열전달 및 냉각 효과를 활성화하여 빠른 시간 내에 포집 대상물을 중심으로 수증기가 응축되어 포집 대상물의 입자를 크게 만들 수 있다. 참고로, 쿨링룸(2530) 내에서는 상향 사이클론 회전류가 형성될 수 있다.
- [0122] 응축부(2500)는 나노미터 수준의 크기를 가지는 미세한 포집 대상물(바이오 미세먼지 등)의 입자를 크게 성장시킴으로써 액화 포집부(110)에서의 포집 효율을 높일 수 있다.
- [0123] 상기에서 설명한 바와 같이, 응축부(2500)는 포화부(2300)에서 가열되어 과포화 상태가 된 공기와 수증기를 급속히 냉각함으로써 공기와 수증기가 응축되고 그 결과 포집 대상물의 입자 성장을 유도할 수 있다. 이때, 포집 대상물은 응결핵의 역할을 하게 된다. 냉각됨에 따라 포집 대상물 주변의 공기와 수증기가 포집 대상물 쪽으로 뭉치면서 응축이 발생하여 입자가 성장하게 된다.
- [0124] 응축부(2500)의 쿨링룸(2530) 내에서 응축된 수증기와 공기는 균일한 상태로 액화 포집부(110)에 유입될 수 있다.
- [0125] 도 11은 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(1000) 내의 액화 포집부(110)의 작동 모습을 보여주는 도면이다. 원추 형태 또는 깔때기 형태의 내면을 가지는 제2 몸체(120)는 포집 대상물을 포함한 공기가 배출공(122)을 향해 아래 방향으로 진행할수록 원심 반경이 작아짐에 따라 원심력을 증가시킨다.
- [0126] 응축부(2500)에서 유입된 응축된 포집 대상물에 작용하는 원심력이 커지기 때문에 응축된 포집 대상물은 액화 포집부(110)의 제2 몸체(120)의 내면 쪽으로 이동하게 되고, 제2 몸체(120)의 내면에 전체적으로 고르게 형성된 액막에 응축된 포집 대상물이 포집됨으로써 포집 대상물은 농축된 상태로 샘플링되어 포집 대상물 배출부(150)로 배출될 수 있다.
- [0127] 본 발명자들은, 도 6 내지 도 11에서 설명한 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(1000)의 사용 전과 사용 후에 대한 입자 응축 성장에 대한 실시간 분석을 광학 입자 계수기(OPC: Optical Particle Counter)를 사용하여 측정해 보았다. 이때, 테스트 입자로는 KCI 입자를 사용하였다. 측정 결과는 다음 [표 1]과 같다.

표 1

광학 입자 계수기 측정	사용 전	사용 후	변화
입자수 농도 (0.3 $\mu$ m 이상)	27%	47%	20% 증가
입자수 농도 (0.3 $\mu$ m 이하)	73%	53%	20% 감소

- [0129] [표 1]에서 알 수 있듯이, 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(1000)의 사용 전 측정된 0.3 마이크론 이상의 입자는 약 27% 이지만, 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(1000)의 사용 후 측정된 0.3 마이크론 이상의 입자는 약 47%로 사용 전과 비교하여 검출율이 20% 정도 증가하는 것을 알 수 있다.
- [0130] 실제, 응축 성장된 입자는 기류 내 수증기의 과포화도가 유지된 상태에서 해당 크기를 유지할 수 있다. 따라서,



광학 입자 계수기(OPC)와 같은 일반 에어로졸 계측기의 측정 과정에서 입자의 증발로부터 해당 크기가 과소평가 될 가능성이 매우 높다.

- [0131] 그러나, 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 액화 포집 시스템(1000)은 이러한 응축 성장된 입자와 주변 기류가 바로 액화 포집부(110)로 유입되고, 액화 포집부(110)의 내벽에 형성된 액막에 바로 포집되기 때문에 입자의 증발 현상 없이 나노 크기의 입자를 농축하여 포집할 수 있다.
- [0132] 한편, 본 발명에 따른 액화 포집부(110, 이하, 도 5 및 도 11에 도시된 액화 포집부를 의미함)에는 액체가 연속적으로 주입될 수 있다. 액체를 주입하는 유로가 90도 간격으로 분산 배치되기 때문에 액화 포집부(110) 내로 고르게 액체 주입이 이루어질 수 있다. 포집 대상물이 포집된 후 남은 공기는 제1 몸체(111)의 상부를 통해 배출되고, 액막에 포집된 포집 대상물은 제2 몸체(120)의 하부로 이동되어 배출공(122)을 통해 액체와 함께 배출될 수 있다.
- [0133] 제2 몸체(120)에 내면에는 액막이 제2 몸체(120)의 내면 전체에 걸쳐서 고르게 형성됨을 알 수 있다. 이와 같이, 본 발명에 따른 액화 포집부(110)의 원추형 내면에 액막이 전체적이고 고르게 형성되는 이유는 원추형 내면에 초친수 표면처리가 되기 때문이다. 즉, 제2 몸체(120)의 내면에는 초친수층(super hydrophilic layer)이 형성될 수 있다.
- [0134] 상기 초친수층은 초친수성 표면처리물질을 제2 몸체(120)의 내면에 코팅 또는 도포하여 형성될 수 있다.
- [0135] 상기 초친수성 표면처리물질은 산화티타늄( $\text{TiO}_2$ ), 산화규소( $\text{SiO}_2$ ), 산화아연( $\text{ZnO}$ ), 나트륨( $\text{Na}$ ), 칼륨( $\text{K}$ ), 리튬( $\text{Li}$ ) 또는 세슘( $\text{Cs}$ ) 중 어느 하나가 이용될 수 있다. 즉, 상기 초친수층은 산화티타늄, 산화규소, 산화아연, 나트륨, 칼륨, 리튬 또는 세슘 중 어느 하나를 포함하는 초친수성 표면처리물질로 형성될 수 있다. 또한, 상기 초친수성 표면처리물질은  $\text{SnO}_2\text{-TiO}_2$  또는 금이 코팅된 실리카( $\text{Silica-coated AU}$ )가 이용될 수도 있다.
- [0136] 이하에서는, 상기 초친수성 표면처리물질이 산화규소( $\text{SiO}_2$ , Silica)인 경우를 예로써 설명한다. 다만, 상기 초친수성 표면처리물질이 산화규소에 한정되는 것은 아니다.
- [0137] 상기 초친수층은 제2 몸체(120)의 내면에 상기 초친수성 표면처리물질을 반복 코팅(coating)하거나 반복 적층(stack)하여 형성될 수 있다. 예를 들어, 상기 초친수성 표면처리물질을 포함하거나 녹은 용매에 제2 몸체(120)를 넣어서 제2 몸체(120)의 내면 전체에 용매를 묻힌 후 건조시키면 초친수성 표면처리물질이 제2 몸체(120)의 내면에 코팅될 수 있다. 이 상태에서 제2 몸체(120)를 용매에 다시 담근 후 건조시키는 과정을 반복하면, 제2 몸체(120)의 내면에 초친수성 표면처리물질이 반복 코팅 또는 반복 적층되어 초친수층이 형성될 수 있다.
- [0138] 상기 초친수성 표면처리물질의 농도가 증가할수록 상기 초친수층이 코팅된 제2 몸체(120) 내면의 친수성이 증가하게 된다. 도 12는 본 발명에 따른 액화 포집부(110) 내지 제2 몸체(120)의 내면에 형성된 초친수층을 보여주는 사진인데, 초친수성 표면처리물질의 농도에 따라 초친수층을 보여주는 주사전자현미경(SEM: Scanning Electron Micrograph) 촬영 사진이다. 도 12의 경우, 초친수층에 사용된 초친수성 표면처리물질은 산화규소(실리카, Silica)이다.
- [0139] 도 12를 참조하면, 산화규소의 농도가 증가할수록 산화규소 입자들이 표면을 점점 더 많이 코팅한다는 것을 확인할 수 있고, 산화규소의 농도가 20 wt%인 경우부터 모든 면이 코팅된 것을 확인할 수 있다. 좀더 자세히 살펴보면, 도 12의 (a)는 산화규소의 농도가 0.5 wt%인 경우에 제2 몸체(120)의 내면에 코팅된 산화규소의 SEM 사진을 보여주는데, 산화규소가 내면에 코팅된 부분과 코팅되지 않은 부분이 확연하게 구분되고 있다. 이때의 접촉각은 73도이다.
- [0140] 도 12의 (b)는 산화규소의 농도가 5 wt%인 경우에 제2 몸체(120)의 내면에 코팅된 산화규소의 SEM 사진을 보여주는데, (a) 보다는 산화규소가 코팅되지 않은 부분이 적지만 제2 몸체(120)의 내면 전체를 코팅한 상태는 아니다. 이때의 접촉각은 48도이다.
- [0141] 도 12의 (c)는 산화규소의 농도가 20 wt%인 경우에 제2 몸체(120)의 내면에 코팅된 산화규소의 SEM 사진이고, 도 12의 (d)는 산화규소의 농도가 40 wt%인 경우에 제2 몸체(120)의 내면에 코팅된 산화규소의 SEM 사진을 보여주는데, 제2 몸체(120)의 내면 전체가 거의 산화규소로 코팅된 것을 확인할 수 있다. 이때의 접촉각은 각각 42도와 30도이다.
- [0142] 한편, 도 13은 도 12에 따른 초친수성 표면처리물질이 산화규소인 경우에, 산화규소의 농도에 따른 액화 포집부

내면의 접촉각과 산화규소의 무게 변화를 보여주는 그래프이다.

- [0143] 도 13에 있어서, 가로축은 산화규소의 농도를 나타내고, 좌측 세로축은 액화 포집부(110) 또는 제2 몸체(120)의 내면에서의 접촉각을 나타내며, 우측 세로축은 산화규소의 코팅된 무게 증가량을 나타낸다.
- [0144] 도 13을 참조하면, 우선, 초친수성 표면처리 물질인 산화규소의 농도가 증가함에 따라 친수 특성이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 즉, 초친수성 표면처리 물질인 산화규소의 농도가 증가할수록 액화 포집부(110) 내면에서의 접촉각이 작아지는 것을 확인할 수 있다.
- [0145] 도 13을 참조하면, 초기에 산화규소의 농도가 증가함에 따라 친수 성능이 향상되지만(접촉각이 작아지지만), 10 ~ 20 wt%의 농도에서는 친수 성능의 변화가 거의 없다가 (접촉각이 거의 42도를 유지하다가), 그 후 농도가 증가함에 따라 다시 친수 성능이 향상됨(접촉각이 30도까지 감소함)을 확인할 수 있다. 이와 같이, 산화규소의 농도가 10 ~ 20 wt%인 과정 동안 액화 포집부(110)의 모든 내면이 산화규소로 코팅되고, 이후 농도에서는 내면을 코팅하고 남은 입자들이 코팅면 위에 추가로 축적되면서 거친 표면을 형성하여 접촉각의 감소를 일으킬 수 있다. 액화 포집부(110)의 내면의 거칠기가 증가하면 친수성 표면은 더욱 더 친수성 표면으로 변화하게 된다.
- [0146] 도 13에 있어서, 산화규소의 농도가 0~10 wt%인 구간을 제1 구간, 농도가 10~20 wt%인 구간을 제2 구간, 농도가 20~40 wt%인 구간을 제3 구간이라고 하면, 제1 구간은 초친수성 표면처리물질(산화규소)이 내면을 코팅하면서 친수 성능이 향상되는 구간(코팅에 의한 친수화 과정 구간)이고, 제2 구간은 초친수성 표면처리물질(산화규소)이 내면을 완전히 코팅하여 접촉각이 안정화되는 구간이며, 제3 구간은 초친수성 표면처리물질(산화규소)이 내면을 충분히 코팅한 후 초친수성 코팅층 위에 추가로 코팅되며 거친 표면을 형성하고 이로 인해 친수 성능이 향상되는 구간(거친 표면 형성으로 인한 친수화 과정 구간)이다.
- [0147] 따라서, 도 12 및 도 13을 참조하면, 액화 포집부(110)의 내면을 완전히 코팅하기 위한 초친수성 표면처리물질(산화규소)의 최소 농도는 20 wt%임을 알 수 있다. 이때의 접촉각은 42도이며, 단위면적당  $161.25 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 의 초친수성 표면처리물질이 코팅될 수 있다.
- [0148] 한편, 액화 포집부(110)의 내면에 초친수성 표면처리물질(산화규소)가 코팅된 상태에서 저온 열처리를 하지 않은 경우에는 초친수성 표면처리물질의 농도가 증가하더라도 초친수성 표면을 만들 수 없다. 이와 같이, 상기 초친수층 또는 초친수성 표면처리물질(산화규소)에 열처리를 가하여 액화 포집부(110) 또는 제2 몸체(120)의 내면과 상기 초친수층 또는 상기 초친수성 표면처리물질의 결합력을 높일 수 있다. 여기서, 액화 포집부(110) 또는 제2 몸체(120)의 내면과 상기 초친수층 또는 상기 초친수성 표면처리물질의 결합력은 열처리 온도에 영향을 받을 수도 있고 액화 포집부(110) 또는 제2 몸체(120)의 재질에 영향을 받을 수도 있다.
- [0149] 도 14의 (a)는 열처리 온도에 따른 향상된 초친수 특성을 보여주고, 도 14의 (b)는 열처리 온도에 따른 코팅면의 내구성을 보여준다.
- [0150] 우선, 내구성 테스트를 위해 초친수 처리된 표면(코팅면)을 초음파분쇄기(Sonicator)에서 넣은 후, 30분간 작동시켰을 때의 접촉각의 변화를 측정하였으며, 테스트 전후의 결과를 비교하여 코팅면의 내구성(Durability, %)을 평가하였다. 50 °C 이상 온도에서의 열처리는 초음파분쇄기를 이용한 내구성 테스트에도 버틸 수 있는 초친수성 표면처리물질(산화규소)의 결합력을 부여한다.
- [0151] 그 결과, 도 14의 (b)에 도시된 바와 같이, 초음파분쇄기 테스트 전후로 접촉각의 변화가 크지 않는다는 것을 확인하였다. 그러나, 50 °C에서 열처리만으로는 접촉각이 10도 정도가 되기 때문에 초친수성 표면을 만들 수 없다. 따라서, 10도 이하의 접촉각을 가지는 초친수성 표면을 형성함과 동시에 코팅면의 내구성도 가지기 위해서는 100 °C가 최적의 열처리 온도라는 것을 알 수 있다.
- [0152] 또한, 액화 포집부(110)에 사용되는 소재와 산화규소의 상호작용으로 인해 저온 열처리 공정만으로 손쉽게 내구성 있는 초친수성 표면을 만들 수 있다. 이를 위해, 본 발명에 따른 액화 포집부(110)는 폴리카보네이트(Polycarbonates)를 포함하여 투명한 소재로 마련될 수 있다. 액화 포집부(110)를 투명한 소재로 형성함으로써 액화 포집부(110)의 내부에서 일어나는 포집 대상물의 액화 포집 과정을 가시화할 수 있다.
- [0153] 액화 포집부(110)는 제1 몸체(111)와 제2 몸체(120)가 모두 폴리카보네이트와 같은 투명한 재질로 마련되거나, 적어도 제2 몸체(120)가 폴리카보네이트와 같은 투명한 재질로 마련될 수 있다.
- [0154] 액화 포집부(110) 또는 제2 몸체(120)는 내부의 가시화가 가능하도록 투명한 재질로 마련되거나 초친수성 표면처리물질인 산화규소와의 결합력이 큰 재질로 마련될 수 있다.

[0155] 다만, 경우에 따라서 액화 포집부(110)는 알루미늄 또는 스테인리스 스틸(SUS) 등의 금속 재질로 마련될 수도 있다.

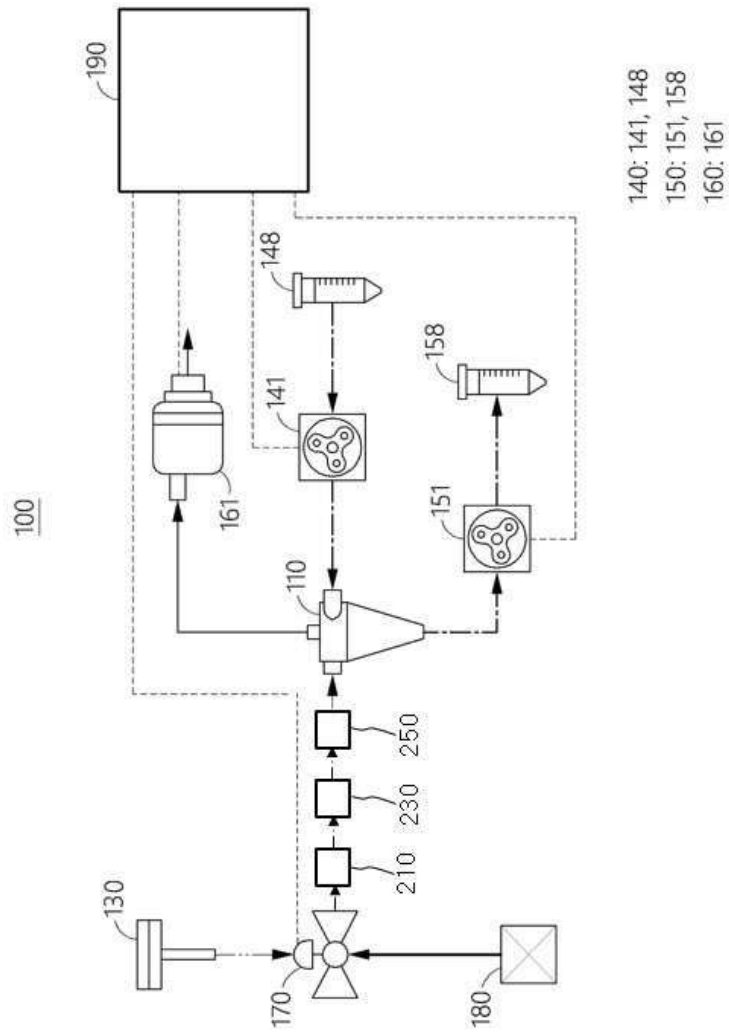
[0157] 이상과 같이 본 발명의 일 실시예에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 청구범위뿐 아니라 이 청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

### 부호의 설명

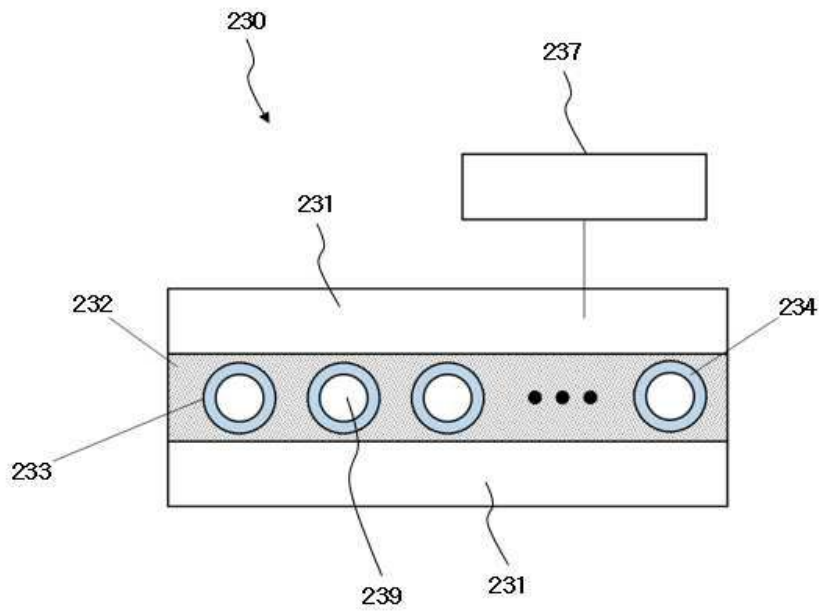
[0158] 100,1000: 액화 포집 시스템  
 110: 액화 포집부    130: 공기 주입부  
 140: 액체 주입부    150: 포집 대상물 배출부  
 160: 공기 배출부    190: 제어부  
 210,2100: 가습부    230,330,2300: 포화부  
 250,2500: 응축부    2320,2520: 메인워터자켓  
 2325,2525: 보조워터자켓

도면

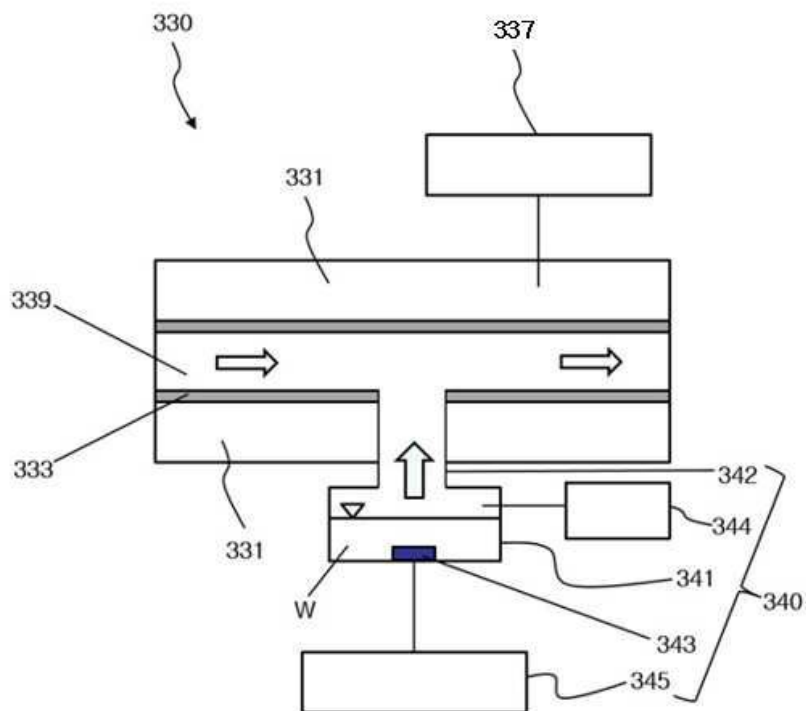
도면1



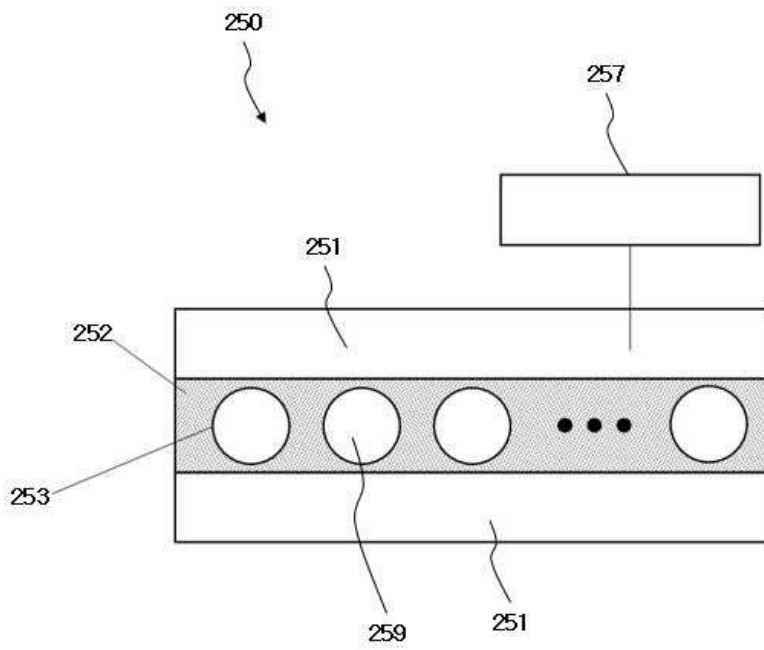
도면2



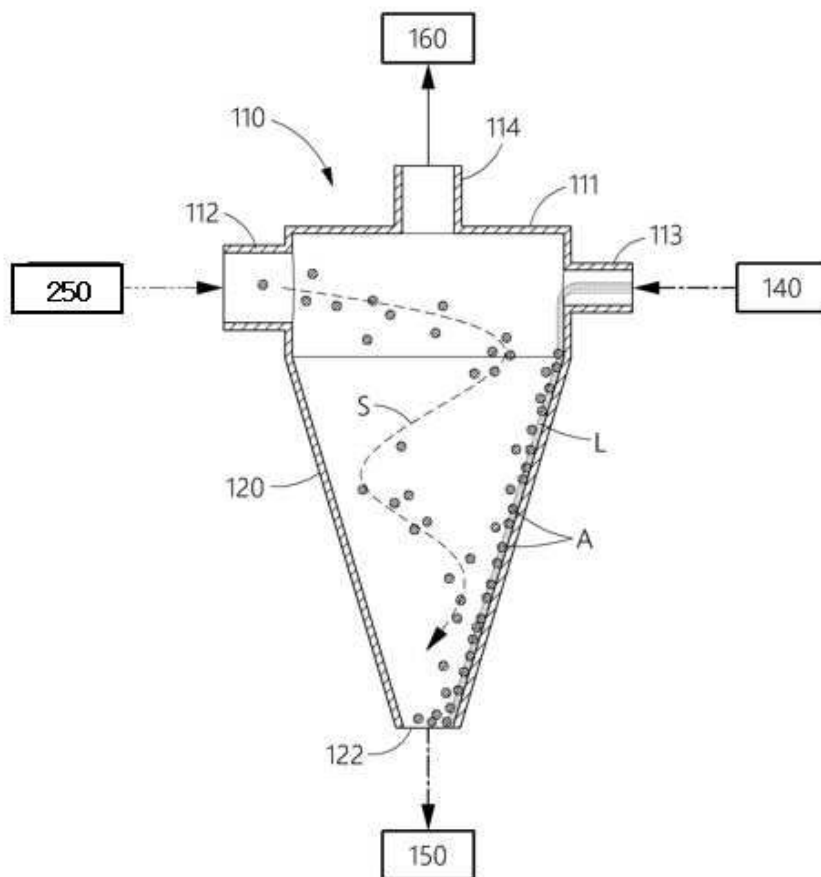
도면3



도면4

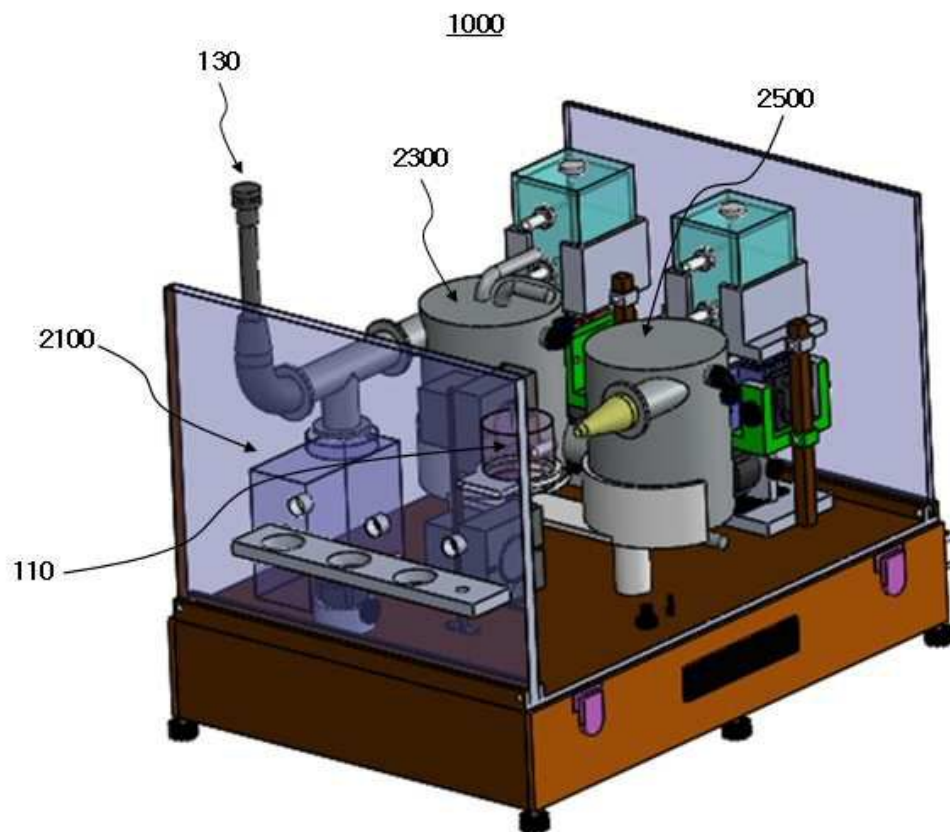


도면5

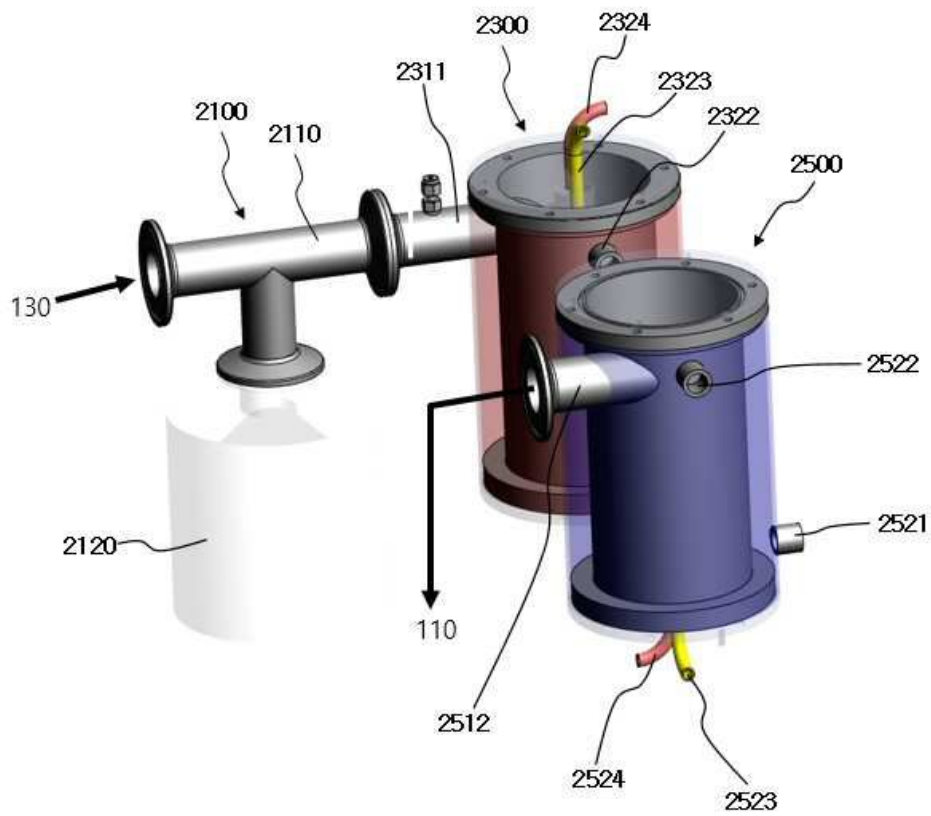




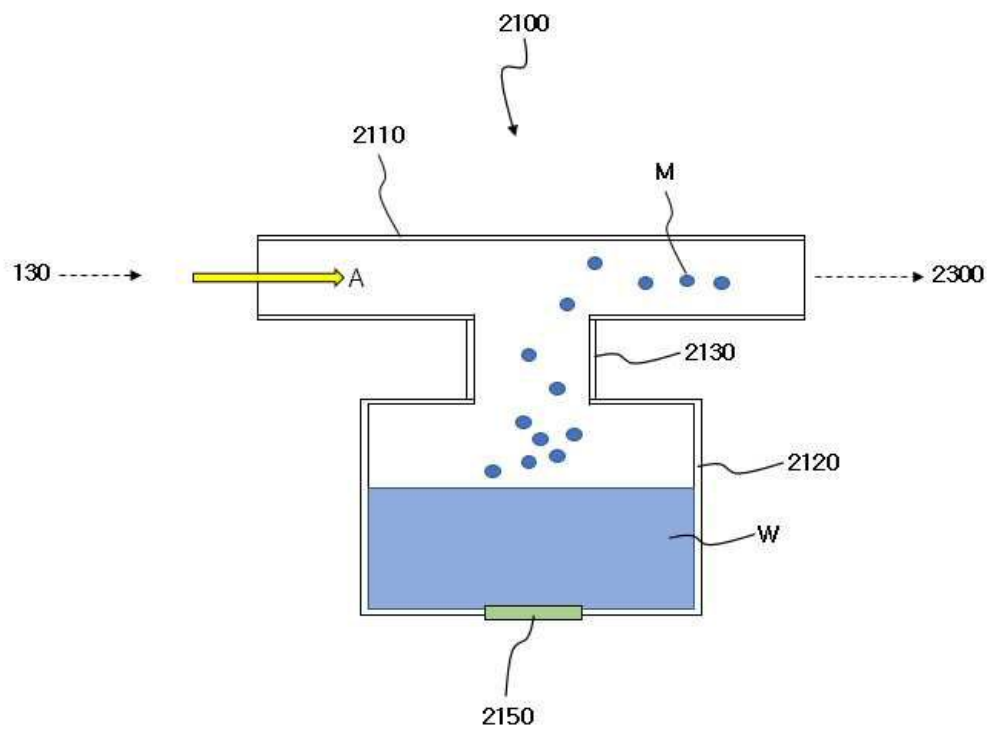
도면6



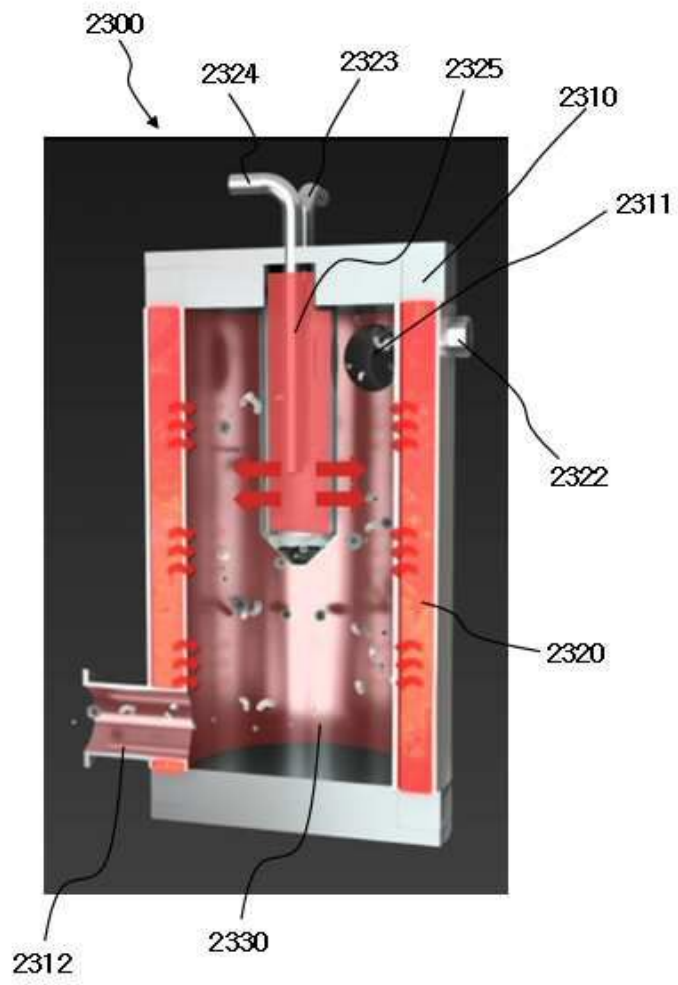
도면7



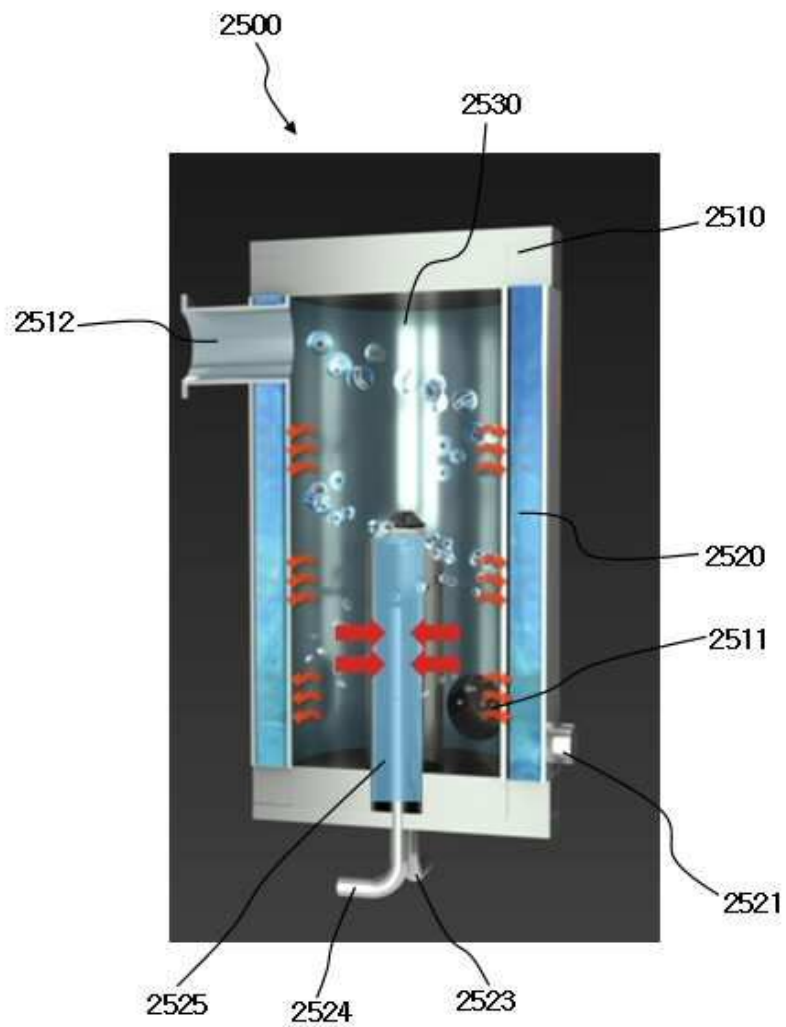
도면8



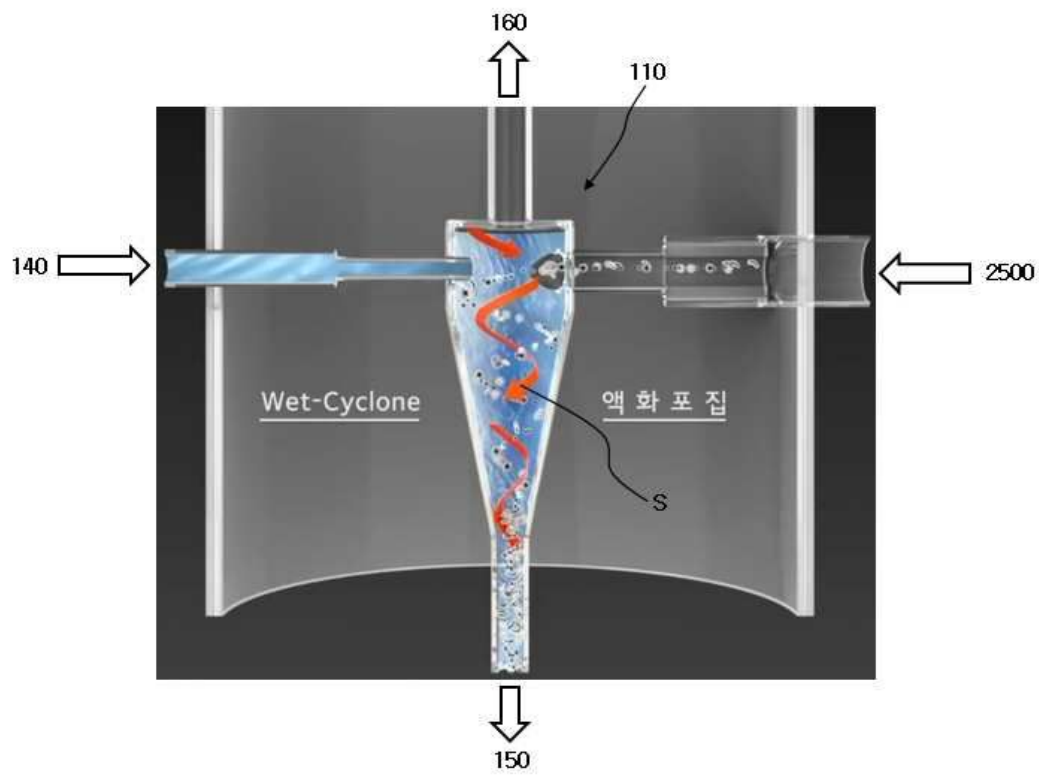
도면9



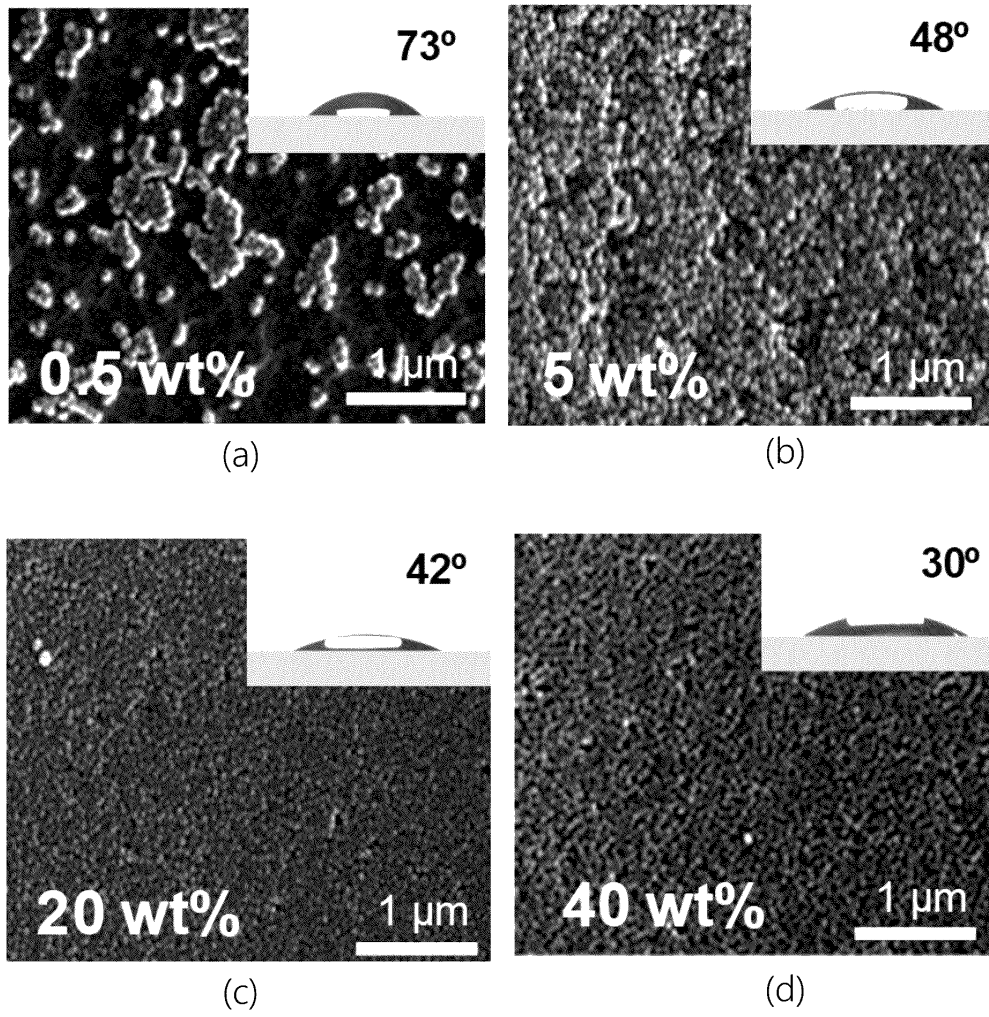
도면10



도면11

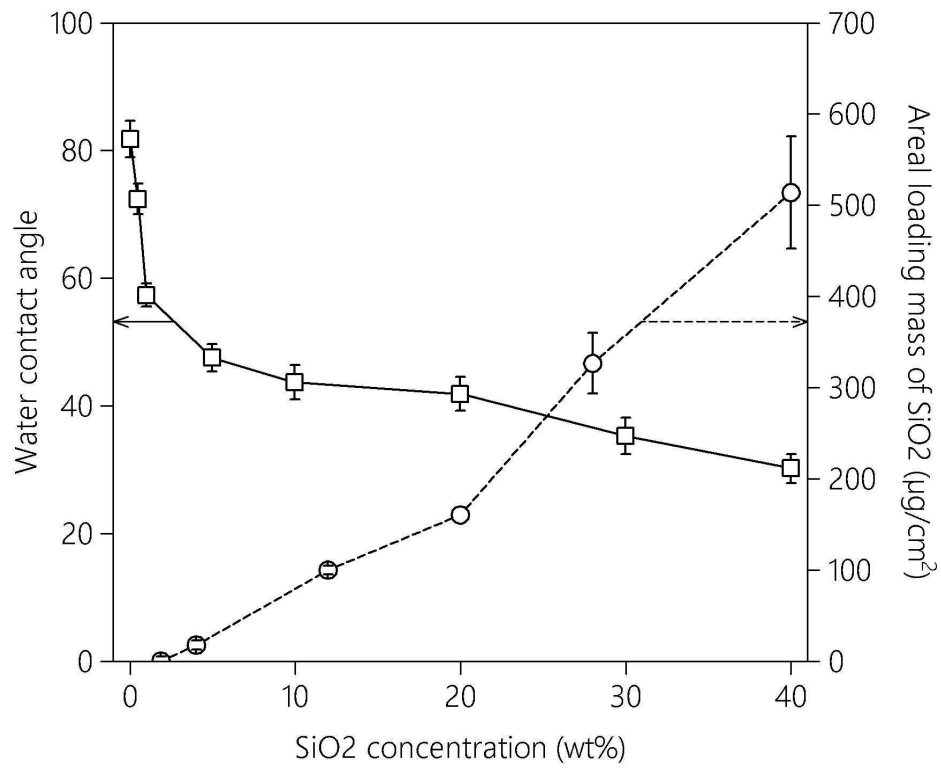


도면12





도면13



도면14

