



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0061601  
(43) 공개일자 2017년06월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B01D 53/00 (2006.01) B01D 5/00 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
B01D 53/002 (2013.01)  
B01D 5/0033 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2016-0154349  
(22) 출원일자 2016년11월18일  
심사청구일자 2016년11월18일  
(30) 우선권주장  
1020150166634 2015년11월26일 대한민국(KR)

(71) 출원인  
부산대학교 산학협력단  
부산광역시 금정구 부산대학로63번길 2 (장전동, 부산대학교)  
광주과학기술원  
광주광역시 북구 첨단과기로 123 (오룡동)  
(72) 발명자  
이동근  
부산광역시 금정구 중앙대로1929번길 48-1, 101동 2006호 (구서동, 신동아아파트)  
표주원  
경상남도 진주시 진주대로 1317, 113동 402호 (이현동, 이현하이클래스웰가아파트)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
김성현

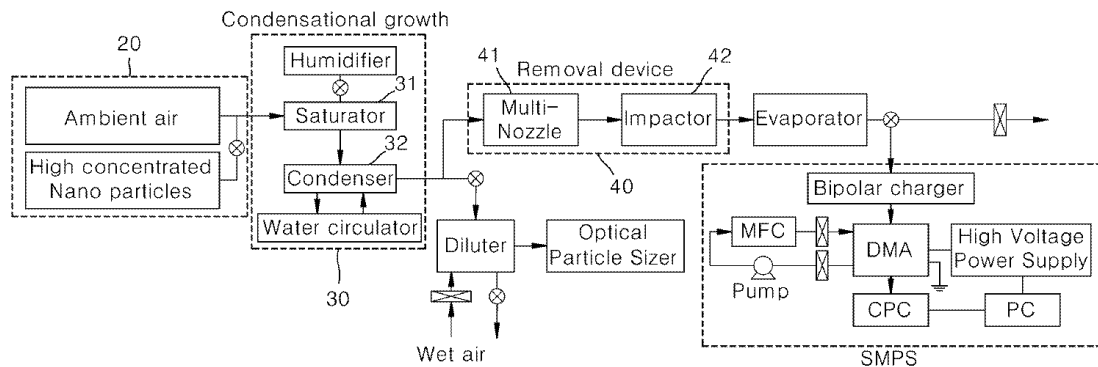
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 응축성장을 이용한 공기정화장치

(57) 요약

본 발명은 응축성장을 이용한 공기정화장치를 제공한다. 본 발명에 의한 응축성장을 이용한 공기정화장치는 고농도/고유량의 조건인 3000~5,5001pm에서 운전 시, 초미세입자가 평균직경 2~5 $\mu$ m로 충분히 성장하여 1.0 $\mu$ m 차단직경을 가지는 관성충돌장치에서 제거되어 헤파필터나 단계별로 적용된 복잡한 필터를 적용하지 않고도 높은 효율로 공기 정화 성능을 확보 할 수 있으며 습공기를 냉각 및 과포화 시 소비되는 전력소모를 감소시키며 고농도/고유량 조건에서도 성공적으로 성장시켜 헤파필터 없이 90% 이상의 포집 효율로 제거 가능하다.

대표도



(72) 발명자

**옥유현**

부산광역시 금정구 수림로75번길 10, 303호 (장전동)

**박기홍**

광주광역시 북구 첨단과기로 123, 삼성환경연구동 102호 (오룡동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016903414

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 사회문제해결형기술개발

연구과제명 무필터 초미세먼지 제거장치 개발

기여율 1/1

주관기관 부산대학교 산학협력단

연구기간 2016.05.01 ~ 2017.04.30

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

초미세입자 또는 미세입자를 포함하는 공기 중 입자가 외부공기와 함께 유입되는 유입구(20)와;  
 상기 유입구(20)와 연결되어 상기 입자가 유입되고, 물을 공급하며 포화 습공기를 발생시키는 포화기(31)와;  
 상기 포화기(31)와 연결되어 포화 습공기의 온도를 냉각하여 과포화시키며 상기 입자를 응축성장하도록 유발시키는 응축기(32); 및  
 상기 응축기(32)에서 응축성장된 입자를 제거하는 제거기(40)를 포함하여 구성되며,  
 상기 포화기(31)는 유입되는 공기를 한 개소 이상의 가열판으로 안내하여 상기 가열판을 경유한 공기가 유입된 공기와 10℃ 이상의 온도차를 가지면서 포화되도록 제어되는 것을 특징으로 하는 응축성장을 이용한 공기정화장치.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,  
 상기 포화기(31)는 분무노즐, 초음파 진동자, 다공성 필름 중 어느 하나를 포함하여 구성되며 상기 다공성 필름은 상기 가열판에 부착되어 가열과 가습을 제공하는 응축성장을 이용한 공기정화장치.

#### 청구항 3

제 1항에 있어서,  
 상기 응축기(32)는 열교환기를 포함하여 구성되며 상기 포화기(31)로부터 유입된 온도에 비해 10℃ 이하로 냉각하는 것을 특징으로 하는 응축성장을 이용한 공기정화장치.

#### 청구항 4

제 1항에 있어서,  
 상기 제거기(40)는 상기 응축성장을 통해 2~5 $\mu$ m로 성장한 상기 입자를 배출하는 멀티노즐(41)과,  
 상기 멀티노즐(41)에서 배출된 입자가 충돌되는 관성충돌장치(42)로 제거하는 것을 특징으로 하는 응축성장을 이용한 공기정화장치.

#### 청구항 5

초미세입자 또는 미세입자를 포함하는 공기 중 입자가 외부공기와 함께 유입되는 유입구(20)와;  
 상기 유입구(20)와 연결되어 상기 입자가 유입되고, 물을 공급하며 포화 습공기를 발생시키는 포화기(31)와;  
 상기 포화기(31)와 연결되어 포화 습공기의 온도를 냉각하며 1.5(Supersaturation ratio : S.S.R)이상의 과포화 상태와 상기 입자를 응축성장하도록 유발시키는 단열팽창부(50); 및  
 상기 단열팽창부(50)에 구성되며, 응축성장된 입자를 배출하는 멀티노즐(41) 및 상기 입자를 제거하는 관성충돌장치(42)를 포함하고,  
 상기 포화기(31)는 유입되는 공기를 한 개소 이상의 가열판으로 안내하여 상기 가열판을 경유한 공기가 유입된

공기와 10℃ 이상의 온도차를 가지면서 포화되도록 제어되는 것을 특징으로 하는 응축성장을 이용한 공기정화장치.

**청구항 6**

제 5항에 있어서,

상기 포화기(31)는 분무노즐, 초음파 진동자, 다공성 필름 중 어느 하나를 포함하여 구성되며 상기 다공성 필름은 상기 가열판에 부착되어 가열과 가습을 제공하는 응축성장을 이용한 공기정화장치.

**청구항 7**

제 5항에 있어서,

상기 관성충돌장치(42)는 차단직경(Cut-off diameter) 1.0 μm 이상을 가지게 설계되어 상기 응축성장을 통해 2~5μm로 충분히 성장한 상기 입자를 제거하는 응축성장을 이용한 공기정화장치.

**청구항 8**

초미세입자 또는 미세입자를 포함하는 공기 중 입자가 고온 다습한 외부공기와 함께 포화 상태로 입자가 유입되는 유입구(20)와;

상기 포화 습공기의 온도를 낮추고 상기 입자를 응축성장하도록 유발시키는 단열팽창부(50); 및

상기 단열팽창부(50)에 구성되며, 응축성장된 입자를 배출하는 멀티노즐(41) 및 상기 입자를 제거하는 관성충돌장치(42)를 포함하여 초미세입자 또는 미세입자를 포함하는 공기 중 입자를 제거하는 응축성장을 이용한 공기정화장치.

**청구항 9**

제 8항에 있어서,

상기 응축성장을 통해 2~5μm로 성장한 상기 입자를 배출하는 멀티노즐(41)과,

상기 멀티노즐(41)에서 배출된 입자가 충돌되는 관성충돌장치(42)로 제거하는 것을 특징으로 하는 응축성장을 이용한 공기정화장치.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 응축성장을 이용한 공기정화장치에 관한 것으로, 좀 더 구체적으로는 고농도/고유량에서 초미세먼지를 응축성장시켜 초미세먼지를 제거하는 응축성장을 이용한 공기정화장치에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0003] 최근에 황사와 미세먼지 문제가 나날이 심각해지고 있어 실내외 미세먼지에 대한 관심이 급증하고 있다. 미세먼지는 심장마비, 천식, 기관지염, 폐렴, 폐암 등 인체 건강에 큰 악영향을 초래할 가능성이 높고, 미세한 입자가 대기 중에 부유할 때는 빛을 흡수 및 산란 외에도 지구온난화에까지 심각한 영향을 가져올 수 있다.

[0005] 미세먼지의 크기는 10 μm 이하인 경우 PM-10이라 하고, 초미세 수준인 2.5 μm인 경우 PM-2.5라 한다. 일반적으로 대기 중에 부유하는 2.5 μm 이상인 조대입자는 자연 침강에 의해 비교적 쉽게 제거되지만, 2.5 μm 미만의 초미세입자는 바람, 습도, 기온 등 기상 조건의 영향을 받아 대기 중에서 장기간 부유할 가능성이 높다. 또한 초미세먼지는 자연적인 발생과 인위적인 발생에 의해서 일어난다. 자연 발생은 모래먼지, 산불시 발생하는 먼지

등이고, 인위적인 발생은 대부분 연소에 의해 발생하거나 토지에서 발생하는 부유먼지 등이 많은 부분을 차지한다. 이와 같은 인위적인 발생은 2차 반응에 의한 황산염, 질산염, 유기물 등이 생성되기도 한다.

- [0007] 입자의 크기가 작아질수록 상대적인 입자수와 표면적은 급격히 증가하지만, 전체 대비하여 초미세입자가 차지하는 질량은 미미하게 된다. 즉, 수를 기반으로 하는 크기분포에 있어서는 초미세입자가 큰 비중을 차지하지만, 무게를 기반으로 하는 분포에서는 조대입자에 의해 초미세입자의 영향은 무시된다. 그런데 1.0 $\mu\text{m}$  이상의 큰 먼지는 대부분 코나 기도의 점막과 섬모에 걸려 객담으로서 배출이 되지만, 기관지를 통과할 수 있는 0.1-1.0 $\mu\text{m}$  크기의 초미세먼지는 폐포 깊숙이 침투후 침착 가능성이 높게 된다. 이로 인해 진폐증, 규폐증, 천식, 폐암이 발생할 수 있다. 결과적으로 초미세먼지를 고려한 새로운 경보기준과 저가 제거법의 개발이 시급하다.
- [0009] 따라서 공기 질에 대한 관심이 커지면서 공기청정기 시장이 급성장하고 있다. 특히, 요리를 하는 주방이나 용접 작업장 등 고농도로 초미세먼지를 발생시키는 밀폐 공간의 경우에는, 정화과정 없이 환기를 통한 배출에 그쳐 작업자가 고농도 초미세먼지에 직접적으로 노출되고있는 실정이다.
- [0011] 그러므로 도 1을 참조하면 최근 시중에 사용되는 공기 청정기를 확인할 수 있다. 대부분의 실내 공기청정기는 집진 및 유해가스 제거용 필터, 공기흡입 및 배출을 위한 송풍기로 구성되어 있으며 HEPA급 필터를 장착하여 초미세입자를 높은 효율로 제거할 수 있다.
- [0013] 이와 관련된 종래기술로 대한민국 공개특허공보 특1999-0070053호 "냉각응축기를 갖는 습식 공기청정장치"는 헤파필터, 케미칼필터를 적용하고 있다.
- [0015] 공기청정장치에 적용된 필터는 교체 시기가 지날 경우, 포집된 세균이 번식 및 배출되므로 주기적인 관리가 필요하며 고농도/고유량 조건에 동작시킬 경우 교체시기가 지나치게 짧아지는 단점이 있으며, 상대적으로 깨끗한 가정용의 경우에 연 1회의 필터교체로 제품가격에 육박하는 유지관리 비용이 발생하는 문제점이 있다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

- [0017] 따라서, 본 발명은 이와 같은 종래 기술의 문제점을 해소하기 위해 제안된 것으로, 헤파(HEPA)급 필터 없이 초미세먼지 정화가 가능하도록 초미세 먼지의 표입자를 성장시킨 후 관성으로 제거하는 응축성장을 이용한 공기정화장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0019] 또한, 물 분무 또는 다공성 필름을 통한 물의 증발을 이용하는 공기포화기, 수증기를 응축시켜 입자를 성장시키는 응축기, 제거기를 포함하여 구성되어 고유량/고농도의 조건에서 초미세먼지를 제거하는 응축성장을 이용한 공기정화장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

#### 과제의 해결 수단

- [0021] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 의하면, 초미세입자 또는 미세입자를 포함하는 공기 중 입자가 외부공기와 함께 유입되는 유입구(20)와; 상기 유입구(20)와 연결되어 상기 입자가 유입되고, 물을 공급하며 포화 습공기를 발생시키는 포화기(31)와; 상기 포화기(31)와 연결되어 포화 습공기의 온도를 냉각하여 과포화시키며 상기 입자를 응축성장하도록 유발시키는 응축기(32); 및 상기 응축기(32)에서 응축성장된 입자를 제거하는 제거기(40)를 포함하여 구성되며, 상기 포화기(31)는 유입되는 공기를 한 개소 이상의 가열판으로 안내하여 상기 가열판을 경유한 공기가 유입된 공기와 10 $^{\circ}\text{C}$  이상의 온도차를 가지면서 포화되도록 제어될 수 있다.
- [0023] 응축성장을 이용한 공기정화장치에서 상기 포화기(31)는 분무노즐, 초음파 진동자, 다공성 필름 중 어느 하나를 포함하여 구성되며 상기 다공성 필름은 상기 가열판에 부착되어 가열과 가습을 제공할 수 있다.
- [0025] 응축성장을 이용한 공기정화장치에서 상기 응축기(32)는 열교환기를 포함하여 구성되며 상기 포화기(31)로부터 유입된 온도에 비해 10 $^{\circ}\text{C}$  이하로 냉각할 수 있다.
- [0027] 응축성장을 이용한 공기정화장치에서 상기 제거기(40)는 상기 응축성장을 통해 2~5 $\mu\text{m}$ 로 성장한 상기 입자를 배출하는 멀티노즐(41)과, 상기 멀티노즐(41)에서 배출된 입자가 충돌되는 관성충돌장치(42)로 제거할 수 있다.
- [0029] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 의하면, 초미세입자 또는 미세입자를 포함하는 공기 중 입자가 외부공기와 함께 유입되는 유입구(20)와; 상기 유입구(20)와 연결되어 상기 입자가 유입되고, 물을 공급하며 포화 습공기를 발생시키는 포화기(31)와; 상기 포화기(31)와 연결되어 포화 습공기의 온도를 냉각하며

1.5(Supersaturation ratio : S.S.R)이상의 과포화 상태와 상기 입자를 응축성장하도록 유발시키는 단열팽창부(50); 및 상기 단열팽창부(50)에 구성되며, 응축성장된 입자를 배출하는 멀티노즐(41) 및 상기 입자를 제거하는 관성충돌장치(42)를 포함하고, 상기 포화기(31)는 유입되는 공기를 한 개소 이상의 가열판으로 안내하여 상기 가열판을 경유한 공기가 유입된 공기와 10℃ 이상의 온도차를 가지면서 포화되도록 제어될 수 있다.

[0031] 응축성장을 이용한 공기정화장치에서 상기 포화기(31)는 분무노즐, 초음파 진동자, 다공성 필름 중 어느 하나를 포함하여 구성되며 상기 다공성 필름은 상기 가열판에 부착되어 가열과 가습을 제공할 수 있다.

[0033] 응축성장을 이용한 공기정화장치에서 상기 관성충돌장치(42)는 차단직경(Cut-off diameter) 1.0 μm 이상을 가지게 설계되어 상기 응축성장을 통해 2~5μm로 충분히 성장한 상기 입자를 제거할 수 있다.

[0035] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 의하면, 초미세입자 또는 미세입자를 포함하는 공기 중 입자가 고온 다습한 외부공기와 함께 포화 상태로 입자가 유입되는 유입구(20)와; 상기 포화 습공기의 온도를 냉각하며 상기 입자를 응축성장하도록 유발시키는 단열팽창부(50); 및 상기 단열팽창부(50)에 구성되며, 응축성장된 입자를 배출하는 멀티노즐(41) 및 상기 입자를 제거하는 관성충돌장치(42)를 포함하여 초미세입자 또는 미세입자를 포함하는 공기 중 입자를 제거할 수 있다.

[0037] 응축성장을 이용한 공기정화장치에서 상기 응축성장을 통해 2~5μm로 성장한 상기 입자를 배출하는 멀티노즐(41)과, 상기 멀티노즐(41)에서 배출된 입자가 충돌되는 관성충돌장치(42)로 제거할 수 있다.

**발명의 효과**

[0039] 본 발명에 의한 응축성장을 이용한 공기정화장치는 고농도/고유량의 조건인 3000~5,5001pm에서 운전 시, 초미세입자가 평균직경 2~5μm로 충분히 성장하여 응축성장된 입자를 차단하는 크기로 차단직경을 가지는 관성충돌장치에서 제거되어 해파필터나 단계별로 적용된 복잡한 필터를 적용하지 않고도 높은 효율로 공기 정화 성능을 확보할 수 있다.

[0041] 또한, 습공기를 냉각 및 과포화 시 소비되는 전력소모를 감소시키며 고농도/고유량 조건에서도 성공적으로 성장시켜 해파필터 없이 90% 이상의 포집 효율로 제거 가능하다.

**도면의 간단한 설명**

- [0043] 도 1은 종래기술의 공기청정기 구조를 도시한 도면;
- 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 판형 열교환 응축기를 적용한 실험의 개략도를 도시한 도면;
- 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 유량조건에서 단열팽창 냉각 응축기를 적용한 실험의 개략도를 도시한 도면;
- 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 원통형 충돌판을 적용한 초대입자 제거 장치를 도시한 도면;
- 도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 100nm의 단분산 PSL(Polystyrene Latex) 입자를 Bubbler식 포화기와 응축튜브를 통해 응축 성장 시킨 실험 결과 그래프를 도시한 도면;
- 도 6은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 초음파 진동자 장착 랩-스케일 실험에서 응축 성장 전후의 NaCl 입자 크기 분포 비교 그래프를 도시한 도면;
- 도 7은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 실험적 측정과 비교하여 CFD 시뮬레이션으로 얻은 축 방향의 공기와 물의 온도 프로파일을 도시한 도면;
- 도 8은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 3,000 lpm의 열교환기 설치 응축기에 의한 NaCl 입자의 응축 성장 그래프를 도시한 도면;
- 도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 Comparison of coarse particle size distributions before and after 10 min. operation of multi nozzle-impactor assembly with 3,000lpm 를 도시한 도면;
- 도 10은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 Comparison of size distributions of particles measured at the exit of particle remover with on and off the saturator의 그래프를 도시한 도면;
- 도 11은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 노즐을 통한 단열 팽창의 냉각 효과 (a) 속도 (b) 온도 (c) 노즐 하류의 습한 공기의 과포화 비율을 도시한 그래프;

도 12는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 Comparison of size distributions of particles measured at the exit of particle remover with on and off the saturator in the nozzle-condenser-type air purifier를 도시한 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0044] 본 발명에서는 물을 용매로 초미세먼지를 충분히 응축 성장시키면 증가한 관성으로 인해 기존의 관성충돌장치 정도로 쉽게 제거 가능하다는 사실에 주목하여 포화기와 응축기 제거기로 구성된 시제품을 개발하고자 하였으며, 랩-스케일 실험에서 실제 공기청정기 유량 조건에서 그 성능을 검증하였다.
- [0046] 이에 앞서 저유량의 적용되는 응축입자 계수기(Condensation Particle Counter)는 나노 입자의 수농도를 측정하는 장치로서 이미 제품화되어 기술적인 검증은 되었으나 부탄올을 주로 응축용매로 사용하고 1~2 lpm 정도의 저유량에서만 사용가능하다.
- [0048] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예에 첨부된 도면 도 2 내지 도 12 에 의거하여 설명한다. 통상 본 발명에 적용되는 분야의 종사자들 및 그들이 관련분야의 종사자들을 통해 통상적으로 알 수 있는 부분들의 도시 및 상세한 설명은 생략하고, 본 발명과 관련된 부분들을 중심으로 도시 및 설명하였다.
- [0050] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 관형 열교환 응축기를 적용한 실험의 개략도를 도시한 도면이다. 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 유량조건에서 단열팽창 냉각 응축기를 적용한 실험의 개략도를 도시한 도면이다. 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 원통형 충돌관을 적용한 조대입자 제거 장치를 도시한 도면이다.
- [0052] 도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 100nm의 단분산 PSL(Polystyrene Latex) 입자를 Bubbler식 포화기와 응축튜브를 통해 응축 성장 시킨 실험 결과 그래프를 도시한 도면이다. 도 6은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 초음파 진동자 장착 랩-스케일 실험에서 응축 성장 전후의 NaCl 입자 크기 분포 비교 그래프를 도시한 도면이다. 도 7은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 실험적 측정과 비교하여 CFD 시뮬레이션으로 얻은 축 방향의 공기와 물의 온도 프로파일을 도시한 도면이다. 도 8은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 3,000 lpm의 열교환기 설치 응축기에 의한 NaCl 입자의 응축 성장 그래프를 도시한 도면이다. 도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 Comparison of coarse particle size distributions before and after 10 min. operation of multi nozzle-impactor assembly with 3,000lpm 를 도시한 도면이다. 도 10은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 Comparison of size distributions of particles measured at the exit of particle remover with on and off the saturator의 그래프를 도시한 도면이다. 도 11은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 노즐을 통한 단열 팽창의 냉각 효과 (a) 속도 (b) 온도 (c) 노즐 하류의 습한 공기의 과포화 비율을 도시한 그래프이다. 도 12는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 Comparison of size distributions of particles measured at the exit of particle remover with on and off the saturator in the nozzle-condenser-type air purifier를 도시한 그래프이다.

[0054] 본 발명을 적용하기에 앞서 초미세먼지의 응축성장을 실험하기 위해 랩-스케일(Lap-scale) 실험을 실시하였다.

[0056] 시험 입자로 분무건조법으로 제조한 평균입경 54nm의 다분산 무기입자인 NaCl과 평균입경 100nm의 단분산 유기입자인 PSL(Polystyrene latex)을 사용하였다. 나노입자는 응축성장 과정 중에 기체의 평균자유행정보다 대부분 커서 아래 식으로 그 성장속도를 계산한다.

[0058] 
$$\frac{d(d_p)}{dt} = \frac{4MD_v}{Rp_p d_p} \left( \frac{P_{sat}(T_s)}{T_s} - \frac{P_{sat}(T_c)}{T_c} \right) \quad (1)$$

[0060] 위에서 M은 수증기의 분자량,  $P_p$ 는 액적의 밀도,  $d_p$ 는 입자(액적)의 직경,  $D_v$ 는 수증기의 확산계수, R은 기체상수,  $T_s$ 는 포화기의 온도,  $T_c$ 는 응축기에서의 온도,  $P_{sat}$ 은 주어진 온도에서 수증기의 포화수증기압을 나타낸다. 포화증기압은 온도에 민감하게 변화하므로 포화기 온도( $T_s$ )로 포화된 습공기가 응축기에서  $T_c$ 로 냉각되면 상대적으로 작은 온도차이 ( $\Delta T = T_s - T_c$ )로도 상당한 수준의 과포화도 (Supersaturation ratio: S.S.R)를 얻을 수 있고 다음 식과 같이 과포화도에 비례하여 고속 응축성장이 가능하게 된다.

$$\frac{d(d_p)}{dt} = \frac{4MD_v}{Rp_p d_p} \frac{P_{sat}(T_c)}{T_s} (S.S.R-1) \quad (2)$$

[0062]

[0064] 이러한 응축성장을 실험적으로 증명하기 위해 먼저 포화기에 대해 설명하면 다음과 같다.  $T_s$ 로 유지되는 버블러(Bubbler)에 건공기를 공급하여 포화습공기를 만들거나 버블러(Bubbler) 하단에 물 저장부를 두고 초음파 진동자를 설치하여 액적을 제조하여 공기를 포화시키는 두 가지 방식의 포화기를 사용하였다.

[0066] 먼저, 버블러 식의 포화기에서 공급된 포화 습공기 2 lpm 과 분무 건조용 무화기(Atomizer)로부터 생성된 초미세 유기 에어로졸 입자(PSL, 100nm)를 0.1 lpm 의 유량으로 직경 1/2" 의 스테인리스 관 내부에서 혼합하는 방법으로 실험을 진행하였다. 응축기 온도(TC)를 20℃로 고정한 상태에서 튜브형 전기로(F21100, Barnstead Thermolyne Corp.)를 이용하여 그 내부에 설치된 포화기(혼합) 튜브 온도를 60~80℃로 조정함으로써 온도차이를 40~60℃로 두어 입자 성장을 유도하였다. 응축기 튜브 출구에서 성장된 입자의 크기분포는 OPS (Optical particle sizer, Model 3330, TSI Corp)를 사용하여 측정하였다.

[0068] 두 번째로, 초음파 진동자를 이용하여 물을 낮은 전력으로 무화시킨 후 30℃의 최소한의 가열만으로 포화 습공기를 만드는 포화기를 적용하였다. 0.41pm의 포화 습공기 유동과 무화기로부터 생성된 평균 직경 54nm의 NaCl 입자 유동(0.61pm)을 혼합하여 다음 단의 응축기로 공급하였다. 응축기의 온도를 20℃로 고정하여 포화기와 응축기 사이의 온도차이를 10℃부터 점차 증가시켜가며 성장된 입자의 크기분포를 OPS로 측정하였다.

[0070] 이와 같은 랩-스케일 실험을 기초로 하여 다음으로 프로토타입-스케일 실험을 실시하였다.

[0072] 고농도/고유량 조건의 실험을 위해 먼저 8개의 진동자를 설치하여 포화기로 사용코자 하였으나 높은 유량의 공기와 혼합이 원활하지 않았으며, 대신 0.2mm 직경의 노즐을 사용하여 3bar의 압력으로 물을 연속 분무하여 에어로졸 유동을 혼합없이 포화시키는 방식을 적용하였다. 3,000-5,500lpm의 고유량 범위에서 30℃의 포화 습공기를 확보하기 위해 필요한 물 액적 증발량은 상대습도에 관한 식(3)과 포화증기압 관계식을 통해 얻을 수 있다.

$$(P_{sat}-P_{in})Q_{tot} = \dot{m}_{H_2O}RT_s \quad (3)$$

[0074]

[0076] 초기 상대습도 15% 인 실내 공기 3,000 lpm 을 포화상태로 만들기 위해 필요한 물 공급율은 85 ccm 으로 계산되었다. 물 액적의 실제 증발량과 벽면손실 등을 고려하여 실제 분무량은 필요 공급량의 2 배 가량인 160 ccm 으로 정하고 50%의 물을 회수하는 방법으로 상대습도 95% 이상의 균등한 고유량 포화 습공기를 얻을 수 있었다.

[0078] 고농도/고유량 실험에서는 분무건조법으로 생성한 평균입경 54nm의 다분산 무기입자인 NaCl과 증발응축법(13)을 이용한 평균입경 25nm의 Ag 나노 입자를 시험입자로 사용하였다. 다음 응축기로서 수돗물을 냉매로 판형 열교환기를 이용한 냉각법과 노즐을 이용한 단열팽창 냉각방법 두 가지를 고려하였다.

[0080] 먼저 3,000 lpm 의 유량조건에서 판형 열교환 응축기를 적용한 실험의 개략도는 도 2와 같고, 5,500 lpm 의 유량조건에서 단열팽창 냉각 응축기를 적용한 실험의 개략도는 도 3을 통해 확인할 수 있다.

[0082] 두 응축기를 통해 성장한 입자는 입구직경 7mm, 출구직경 1.5mm의 노즐 400개로 구성된 멀티노즐(41, multi-nozzle)과 원형 충돌판 제거기인 관성충돌장치(42)를 통해 제거되고 채 제거되지 않고 통과한 초미세입자는 원형전기로와 확산건조기(Diffusion dryer with silica gel)로 구성된 증발기(Evaporator in Figs 1&2)를 통해 건조된 다음, SMPS (Scanning mobility particle sizer, Model 3936, TSI Corp.)를 통해 그 크기 분포를 측정한다.

[0084] 응축기와 포화기를 OFF하면 입자 성장이 이루어지지 않아 대부분의 나노입자가 시스템을 포집없이 통과한다. 이때 제거기 출구에서 측정된 입자의 크기분포는 당초 생성된 입자의 크기분포와 거의 차이가 나지 않아, 나노입자의 손실이 크기 않음을 알 수 있고 응축기와 포화기를 ON할 때 제거기를 통과한 입자의 크기분포와 직접 크기별로 비교하여 전체 시스템의 포집 효율을 구하였다.

[0086] 결과적으로, 초미세 입자 랩-스케일의 응축성장 실험 결과는 다음과 같다.

[0088] 100nm의 단분산 PSL(Polystyrene Latex) 입자를 버블러 식 포화기와 응축튜브를 통해 응축성장시킨 실험 결과를 도 5에 나타내었다. 100nm PSL 입자의 유량을 0.1 lpm, 포화기로부터 공급되는 습공기의 유량을 2 lpm, 응축기의 온도를 20℃로 고정한 다음, 포화기의 온도를 60~80℃로 높여감에 따라 성장한 입자의 직경이 점차적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

[0090] 실험 결과를 살펴보면 100nm의 단분산 유기입자인 PSL이 목표로 하는 2 $\mu$ m 이상으로 충분히 성장하였지만 그 크기분포가 비교적 넓다. 이는 포화 습공기와 초미세입자 유동 간의 불균일한 혼합의 영향으로 판단된다. 또한, 40 $^{\circ}$ C 이상의 냉각으로 인해 포화기에서 공급된 습공기의 과포화도가 너무 높아져 과포화 증기의 핵 생성(Self-nucleation)과 빠른 응집 및 응축이 동시에 발생했을 것으로 추정된다. 포화기와 응축기간의 온도차이가 상당히 여 에너지 소비의 관점에서 온도차이를 최소화하는 방향으로 다음 실험을 진행하였다.

[0092] 물 증발을 최소한의 전력소비로 촉진시키기 위하여, 저전력 초음파 진동자를 설치하여 무화시킨 후 30 $^{\circ}$ C의 최소한의 가열만을 통해 포화 습공기를 공급하는 포화기를 적용하였다. 30 $^{\circ}$ C의 포화 습공기와 초미세입자 혼합물은 총 유량 1 lpm 으로, 상온(20 $^{\circ}$ C)으로 자연냉각되는 직경 0.5" 의 스테인리스 튜브(응축기)로 공급되어 냉각됨으로써 과포화상태와 응축성장이 유발된다. 평균 입자 직경 54nm, 전체 수 농도 4,285 #/cc의 NaCl 입자를 응축성장시킨 결과, 10 $^{\circ}$ C의 온도차이( $\Delta T$ )와 0.45s의 짧은 체류시간에도 도 6과 같이 평균직경 2.6 $\mu$ m로 잘 성장되는 것을 확인하였다.

[0094] 또한, 고농도/고유량의 수냉식 열교환 응축기를 적용한 고농도 초미세입자의 고유량 응축성장 실험 결과는 다음과 같다.

[0096] 저농도/저유량 조건의 실험결과를 바탕으로 온도차가 10 $^{\circ}$ C이상 확보될 경우, 실제 공기 정화 장치의 고유량 운전 조건에서도 초미세입자가 잘 성장하는지 확인하였다. 고유량 실험에서는 물 분무노즐을 이용한 포화기를 사용하였으며, 이때 확인된 30 $^{\circ}$ C의 포화 습공기와 초미세입자를 3,000 lpm 의 유량으로 응축기로 공급하였다. 실내에서 취급이 용이한 수돗물을 이용하여 15 $^{\circ}$ C로 냉각시키는 수냉식 판형 열교환 응축기(water circulation compact type heat exchanger condenser)를 적용한 실험을 진행하였다.

[0098] 수치해석을 통해 19개의 격 (9 for wet air & aerosol, 10 for cooling water)을 가진 판형 열교환 응축부 (0.3m $\times$ 0.3m $\times$ 0.25m) 내부의 수돗물과 공기의 온도 분포를 유동방향의 위치별로 계산하였고, 공기 측의 온도 측정값과 비교해본 결과, 계산값과 측정값이 유사한 온도 분포를 가지는 것을 도 6에서 확인하였다.

[0100] 또한, 도 8에서 나타낸 바와 같이, 응축기 내부에서 습공기의 온도가 떨어짐에 따라 내부 체류시간이 0.2s인 경우에서도 수농도 7,655 #/cc 의 평균 입자 직경 54nm의 NaCl 입자가 평균 입자 직경 약 2~5 $\mu$ m까지 충분히 성장하는 것을 OPS를 통해 확인하였다. 여러 번의 반복 실험에 대해서도 유사한 성능이 확보되는 것을 검증하였고, 장치 소형화를 고려할 때 온도변화율이 상대적으로 완만해지는 0.1m까지 길이를 줄이더라도 응축기 내부 유동의 온도가 18 $^{\circ}$ C로 12 $^{\circ}$ C가량 냉각되어 충분한 응축성장이 일어날것이라 예측된다.

[0102] 다음으로, 응축성장한 입자를 포집하는 조대입자 포집기 성능평가 시험 결과는 아래와 같다.

[0104] 공기는 20 $^{\circ}$ C의 상온에서 그 밀도( $\rho_g$ )가 1.2  $kg/m^3$  이고 점성계수( $\eta$ )는  $1.82 \times 10^{-5} kg/m \cdot s$ 이다. 2 $\mu$ m 입자에 대한 미끄럼 보정계수  $C_c$ 는 식(4)에 의해 1.08이 되고, 포화 습공기와 초미세입자를 포함한 에어로졸의 전체 유량을 3,000 lpm 으로 두고 출구 직경 1.5mm인 원형 노즐 400개를 관성충돌장치에 적용하면 각 노즐 출구에서의 유량은 7.5 lpm 이 된다.

[0106] 
$$C_c = 1 + \frac{1}{Pd_p} [15.6 + 7.0 \exp(-0.059Pd_p)] \quad (4)$$

[0108] 여기서 P는 절대압력으로 kPa단위를 가지고 입자직경  $d_p$ 는  $\mu$ m의 단위를 가진다. 또한, 충격판(Impactor)의 포집효율 50%에 대응하는 입경  $d_{50}$ 은 충격판의 차단 직경(Cut-off size)로 디자인 변수가 되며, 식(5)에 의해 약 0.9  $\mu$ m로 계산되었다.

[0110] 
$$d_{50} \sqrt{C_c} = \left[ \frac{9\eta D_j (stk_{50})}{\rho_p U} \right]^{1/2} \quad (5)$$

**표 1**

[0112]

Type of Impactor	$stk_{50}$	( $stk_{50}$ ) <sup>1/2</sup>
Circular jet	0.24	0.49

Rectangular jet	0.59	0.77
-----------------	------	------

[0113]  $stk_{50}$ 은 50%의 포집효율에 해당하는 Stokes 수로 원형 입구에 대응하는 0.24를 (표 1 참조)선택하였다. 요약하자면 평균 직경 54nm의 초미세 NaCl 입자를 약 2 $\mu$ m로 응축성장 시키면 높은 포집 효율로 제거할 수 있을 것이라는 예상이 가능하다.

[0115] 이에 입구직경 7mm, 출구 직경 1.5mm, 두께 3mm인 원형 노즐 400개와 원통형 충돌판을 적용한 조대입자 제거 장치를 사용하여 다음과 같이 포집 효율 측정 실험을 진행하였다. 1m<sup>3</sup>의 시험 챔버에 초기 입자로 평균입경 2~4  $\mu$ m인 상용 PTFE 입자(Polytetrafluoroethylene, TP-214)를 분무한 후, 챔버 내부에 상기 조대입자 제거장치를 두고 약 3,000 lpm의 유량으로 운전한 결과, 약 10분 후 도 9와 같이 거의 전체 크기 범위에서 큰 수농도 감소를 확인할 수 있다. 수 농도에서 큰 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 도 9를 보면 비교적 크기가 큰 3-5  $\mu$ m의 입자에 비해 2  $\mu$ m 이하의 입자가 더 높은 효율로 포집 되었음을 알 수 있다. 이는 흡입부와 배출부의 설계 및 위치상의 문제로 불완전한 공기 순환에 의해 큰 입자의 흡입이 잘 되지 않았기 때문이라 사료된다.

[0117] 마지막으로, 이를 공기정화장치에 적용시 그 성능검증을 한 결과는 다음과 같다.

[0119] 수냉식 판형 열교환 응축기를 통해 성장한 입자는 직경 1.5mm의 노즐 400개로 구성된 멀티노즐과 동일한 수의 원형 충돌판을 통해 제거되고 통과한 입자와 습공기는 증발기를 통해 건조된 후, SMPS로 수농도를 측정한다. 이후, 수증기 분무 여부에 따른 입자의 제거 효율을 알아보기 위해 수증기를 분무하지 않은 경우에 제거기 출구에서 측정된 초미세입자 수 농도와 비교하였다. 실험 결과, 도 10에서 보인 바와 같이 평균입경 54nm의 NaCl초미세입자가 응축성장부 및 판성충돌장치를 거친 후, 약 90%가량 제거된 것을 확인할 수 있다.

[0121] 본 발명의 실시예로 적용된 응축성장을 이용한 공기정화장치와 관련하여 전력소모 개선과 부피 소형화를 위해 열교환기 없이 노즐 자체를 단열팽창을 이용한 초고속 냉각응축기로 사용하는 경우의 설계와 검증 결과를 검토한다.

[0123] 노즐출구에서 속도  $V_e$ 와 단열팽창냉각으로 인한 증기의 출구온도  $T_e$ 는 다음의 식(6-7)로 표현된다.

$$V_e = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} RT_i \left[ 1 - \left( \frac{P_e}{P_i} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right] + V_i^2} \quad (6)$$

$$T_e = T_i - \frac{1}{2C_p} (V_e^2 - V_i^2) \quad (7)$$

[0128] 위에서 하첨자i는 노즐 상류를 나타내고 하첨자e는 하류를 나타낸다. 따라서  $P_i, V_i, T_i$ 는 상류에서의 압력, 유속, 온도를 각각 나타내고  $\gamma$ 는 비열비(공기의 경우1.38), R은 기체상수이다.

[0130] 진술한 직경 1.5mm의 노즐 400개로 구성된 단열팽창 노즐 응축기를 사용한 경우에 대해 포집성능 검증전에 먼저 이론적 검토 결과를 설명하고자 한다.

[0132] 식(6-7)과 포화수증기 식을 이용하여, 노즐 후단에서의 압력(Pe)에 따라 노즐 출구에서의 속도, 온도와 이에 따른 과포화도를 계산하였고 도 11-(a), (b), (c)에서 나타내었다.

[0134] 멀티노즐 후단에서의 압력을 대기압보다 8kPa 낮은 93kPa의 압력으로 고정할 경우, 도 11을 참고하면 30 $^{\circ}$ C의 포화 수증기가 23 $^{\circ}$ C로 7 $^{\circ}$ C 정도 냉각되고 이때 과포화도(S.S.R.)은 1.5정도로 응축성장을 시키기에 충분하다는 결과를 얻을 수 있다. 실제 팬을 5,500 lpm으로 가동할 경우 노즐 후단에서 압력이 93kPa로 측정되었고 30 $^{\circ}$ C의 포화 습공기와 수농도 24,755 #/cc, 평균직경 25nm의 초미세 금속입자(Ag)를 주입할 때 노즐 후단에서 유동의 온도가 예측값과 아주 유사하게 23 $^{\circ}$ C였다.

[0136] 수냉식 판형 열교환 응축기를 적용한 경우와 마찬가지로 멀티노즐과 원형 충돌판, 증발기를 거친 후, SMPS를 통해 수증기 분무 여부에 따른 입자의 제거 효율을 측정해 본 결과, 도 12와 같이 90% 이상의 높은 효율로 초미세 금속입자가 제거됨을 확인하였다.

[0138] 상기와 같은 실험을 통하여 먼저 랩-스케일의 저유량 조건에서, 버블러 또는 초음파 진동자를 이용하여 공기를 포화시킨 후, 실온냉각 튜브를 이용하여 10 $^{\circ}$ C의 냉각으로도 충분한 과포화도를 유발하였다. 그 결과 다양한 크

기의 초미세입자가 구성물질에 무관하게 응축 성장함을 확인하였다.

- [0140] 고농도/고유량 조건에서 응축성장 실험을 위해 수냉식 판형 열교환기와 노즐을 이용한 단열팽창 냉각 응축기를 고려하였다. 실제 공기정정기에서 사용되는 팬을 결합하여 3,000-5,500 lpm 으로 운전할 때, 초미세입자가 평균 직경 2~5 $\mu\text{m}$ 로 충분히 성장하는 것을 확인하였다. 이어 0.9 $\mu\text{m}$  차단 직경으로 설계된 관성충돌장치를 적용하여 성장한 입자를 제거한 결과, 고유량 조건에서도 효과적으로 초미세입자를 제거할 수 있었다. 결과적으로 유기, 무기, 금속, 비금속 등 다양한 조성의 초미세입자를 필터를 사용하지 않고도 90% 이상의 높은 효율로 제거 가능함을 시연하였다.
- [0142] 즉, 이와 같은 실험을 바탕으로 본 발명의 실시예인 응축성장을 이용한 공기정화장치(10)는 유입구(20)와 포화기(31), 응축기(32) 및 제거기(40)를 포함하여 구성된다.
- [0144] 유입구(20)로부터 초미세입자 또는 미세입자인 입자를 함유한 외부 공기가 포화기(31)로 유입된다.
- [0146] 포화기(31)는 유입되는 공기를 한 개소 이상의 가열판으로 안내하여 상기 가열판을 경유한 공기가 유입된 공기와 10 $^{\circ}\text{C}$  이상의 온도차를 가지면서 포화되도록 제어된다.
- [0148] 따라서, 포화기(31)는 유입구(20)와 연결되어 한 개소 이상의 가열판을 이용하여 온도를 30 $^{\circ}\text{C}$  또는 30 $^{\circ}\text{C}$  이상으로 조정하며, 물을 공급하며 포화 습공기를 발생시킨다. 이와 같은 포화기(31)는 응축기(32)의 온도보다 10 $^{\circ}\text{C}$  이상으로 조정하여 포화 습공기를 발생시키는 것이 좋다. 즉, 응축기(32)의 온도를 20 $^{\circ}\text{C}$ 로 고정할 경우 포화기(31)의 온도를 30 $^{\circ}\text{C}$  또는 30 $^{\circ}\text{C}$  이상으로 가열하는 것이다.
- [0150] 포화기(31)는 물을 분무식도 가능하고 여러 장의 가열판을 덕트에 두고 가열판의 양쪽 표면에 다공성 필름을 두어 이를 통해 물을 흘리며 적절히 가열하면 판과 판 사이로 공기가 흐르면서 가열과 가습이 동시에 되는 구조도 적용 가능하다. 즉, 다공성 필름을 얇은 가열판 양면에 붙이고 다공성 필름을 통해 물을 흘리며 약간 가열하면 여러 장의 가열판 사이로 흐르는 공기를 가습 및 가열할 수 있으며 이와 같은 구조는 응축성장을 이용한 공기정화장치(10)의 크기를 줄일 수 있다.
- [0152] 또한, 포화기(31)는 앞선 실험과 같이 초음파 진동자를 설치하여 분무하거나 직경 2mm노즐을 사용하여 3bar의 압력으로 물을 연속 분무하여 포화 시키도록 한다.
- [0154] 응축기(32)는 20 $^{\circ}\text{C}$ 로 제공되도록 하며 포화기(31)와 연결되어 포화 습공기의 온도를 냉각함으로써 1.5(Supersaturation ratio : S.S.R)이상의 과포화 상태와 초미세먼지 입자를 응축성장하도록 유발시킨다.
- [0156] 이때, 응축기(32)의 냉각은 일반적이 수돗물로 냉각을 적용 가능하며, 포화기(31)와 응축기(32)를 거친 입자는 응축성장하여 평균 2~5 $\mu\text{m}$ 로 성장하게 되는 것이다.
- [0158] 제거기(40)는 응축기(32)에서 응축성장된 입자를 제거하도록 입구직경 7mm, 출구직경 1.5mm의 노즐 400개로 구성된 멀티노즐(41)과 관성충돌장치(42)로 제거된다. 이와 같은 직경과 노즐의 개수는 한정하는 것이 아니라 다양하게 적용 가능하다.
- [0160] 즉, 차단직경이 1 $\mu\text{m}$  이상만 되게 하면 모두 가능하며, 따라서 관성충돌장치(42)는 1.0 $\mu\text{m}$  차단 직경으로 설계되어 평균 2~5 $\mu\text{m}$ 로 충분히 성장된 입자를 제거하도록 한다.
- [0162] 또다른 실시예인 응축성장을 이용한 공기정화장치(10)는 유입구(20)와 포화기(31), 단열팽창부(50), 멀티노즐(41) 및 관성충돌장치(42)를 포함하여 구성된다.
- [0164] 유입구(20)로 부터 초미세입자와 외기가 유입되고 포화기(31)로 포화 습공기를 제공한다. 이때, 단열팽창부(50)는 상온 20 $^{\circ}\text{C}$  으로 자연냉각되는 직경0.5"의 스테인리스 튜브로 공급되어 냉각됨으로써 과포화 상태와 응축성장이 유발되는 것이다.
- [0166] 이때, 수돗물의 온도로 자연냉각이 가능하도록 제공 가능하며, 유입되는 공기의 온도보다 10 $^{\circ}\text{C}$  이상으로 냉각하여 적용하는 것이다. 통상적인 냉각기는 냉매사이클을 구동하여 높은 비용이 요구되나 단순히 생활용수인 수돗물 (약간 차가운) 정도 냉각으로도 가능하다.
- [0168] 이후, 응축성장된 입자는 멀티노즐(41)와 관성충돌장치(42)로 제거되는 것이다.
- [0170] 또 다른 실시예로 응축성장을 이용한 공기정화장치(10)는 유입구(20)와 단열팽창부(50) 및 관성충돌장치(42)를 포함하여 구성된다.
- [0172] 유입구(20)로부터 초미세입자 또는 미세입자를 포함하는 공기 중 입자가 연소가스와 같이 고온다습한 외부공기

와 함께 이미 포화 상태로 입자가 유입되며, 유입된 포화 습공기의 온도를 냉각하며, 유입된 입자를 응축성장하도록 유발시키는 단열팽창부(50) 및 응축성장된 입자를 배출하는 멀티노즐(41) 및 관성충돌장치(42)를 포함하여 초미세입자 또는 미세입자를 포함하는 공기 중 입자를 제거한다.

[0174] 이와 같은 응축성장을 이용한 공기정화장치(10)는 산업용 및 생물성 연소로부터 발생하는 초미세먼지 제거에 적합할 수 있으며 연소 배기 시 원천적으로 고온 다습한 환경이 조성되어 응축성장을 이용한 공기정화장치(10)의 포화기가 불필요하고 제시한 수돗물을 포함하는 생활용수를 이용한 수냉식 판형 열교환 응축기 또는 노즐을 이용한 단열팽창 냉각의 활용만으로도 공기 정화 성능 확보가 가능할 수 있다.

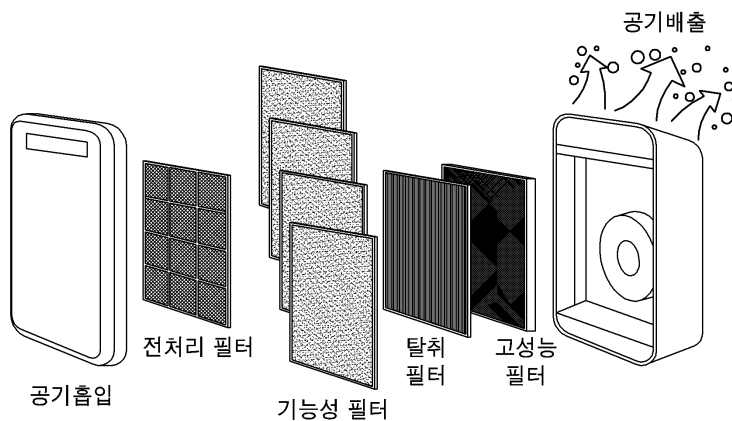
[0176] 상술한 바와 같은, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 응축성장을 이용한 공기정화장치를 상기한 설명 및 도면에 따라 도시 하였지만, 이는 예를 들어 설명한 것에 불과하며 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 변화 및 변경 가능하다는 것을 이 분야의 통상적인 기술자들은 잘 이해할 수 있을 것이다.

**부호의 설명**

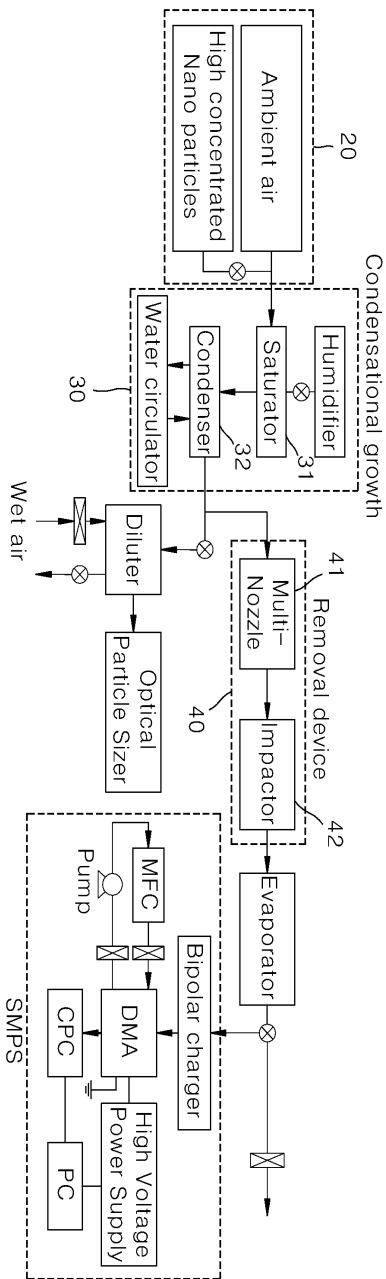
- [0178] 10 : 응축성장을 이용한 공기정화장치
- 20 : 유입구
- 30 : 응축성장부
- 31 : 포화기
- 32 : 응축기
- 40 : 제거기
- 41 : 멀티노즐
- 42 : 관성충돌장치
- 50 : 단열팽창부

**도면**

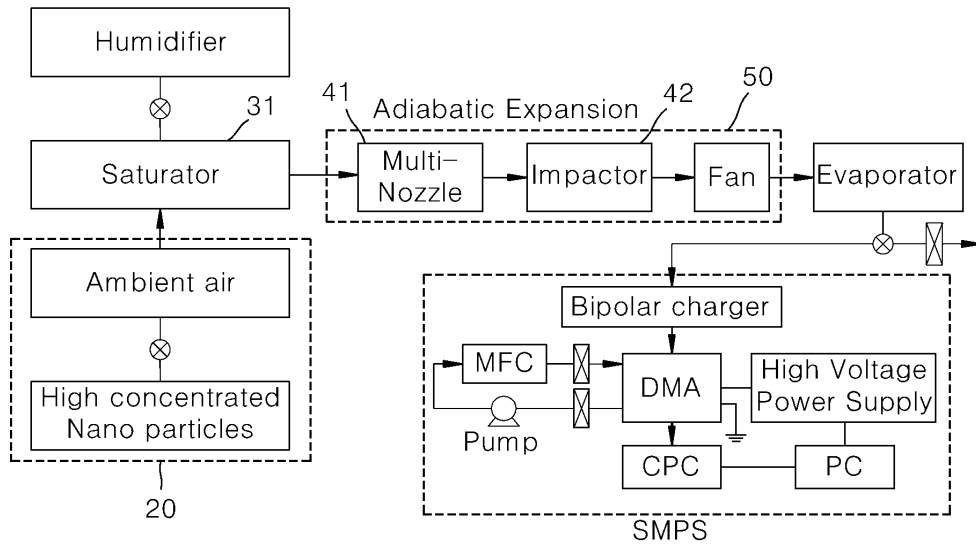
**도면1**



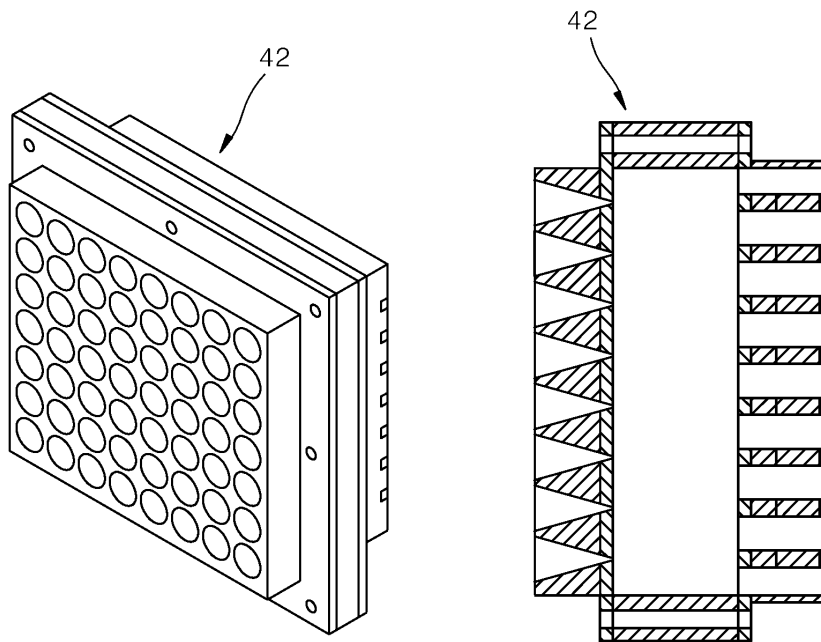
도면2



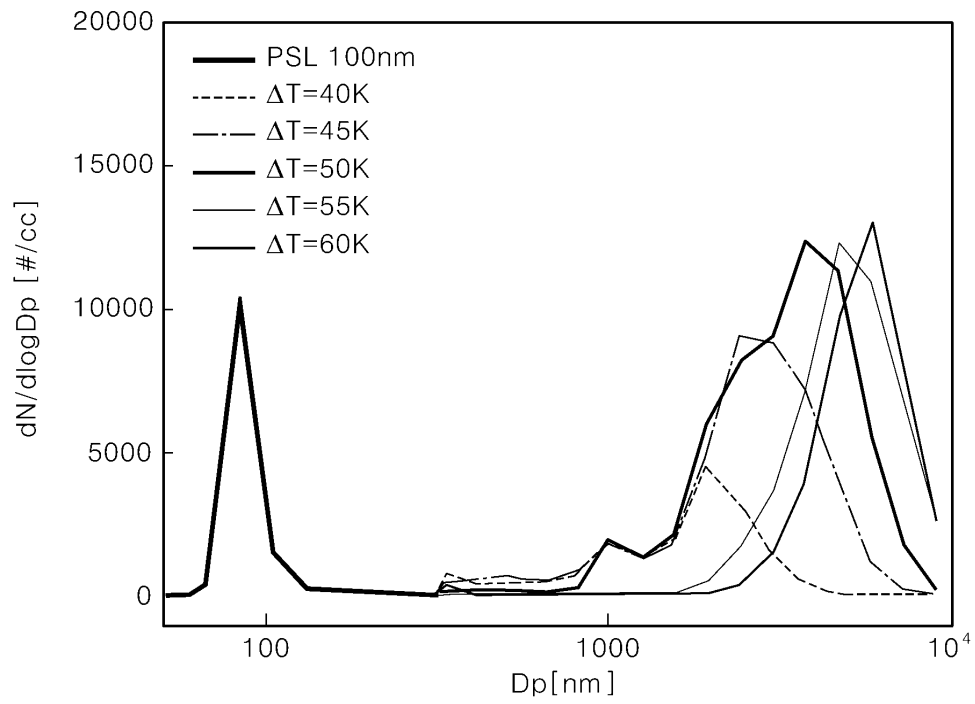
도면3



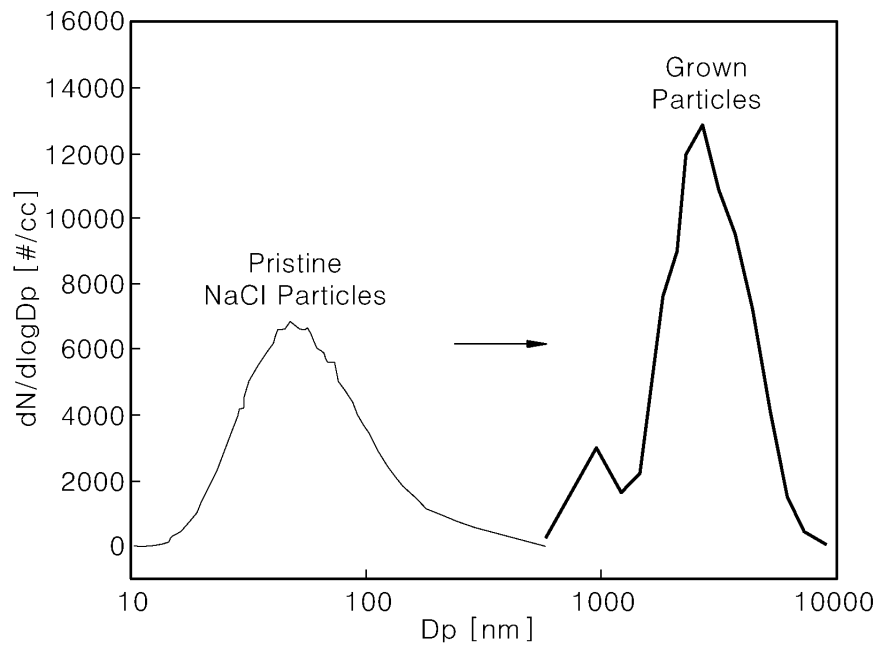
도면4



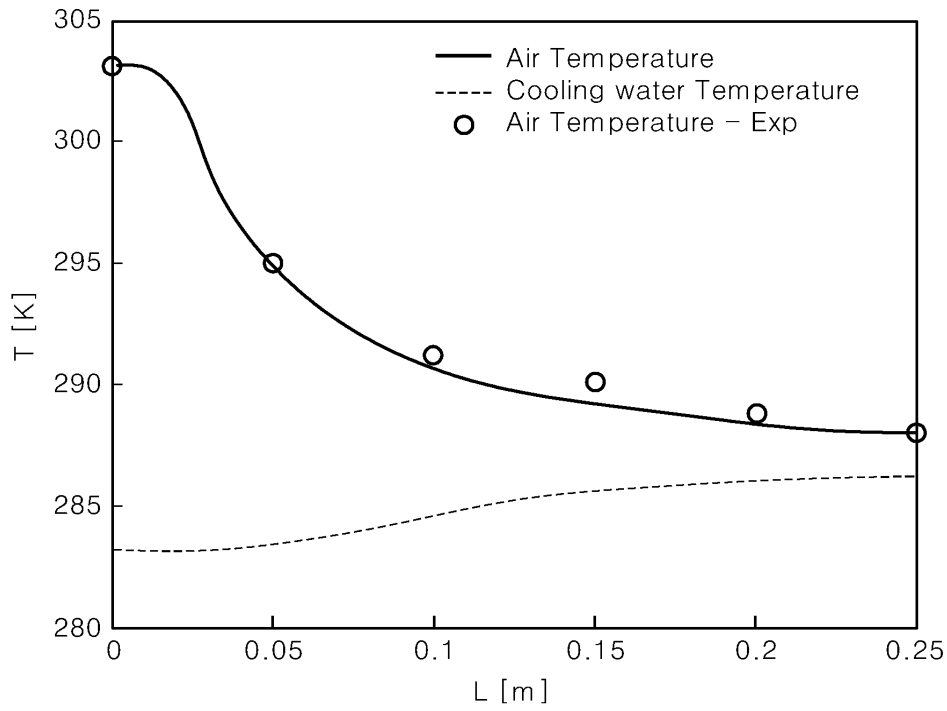
도면5



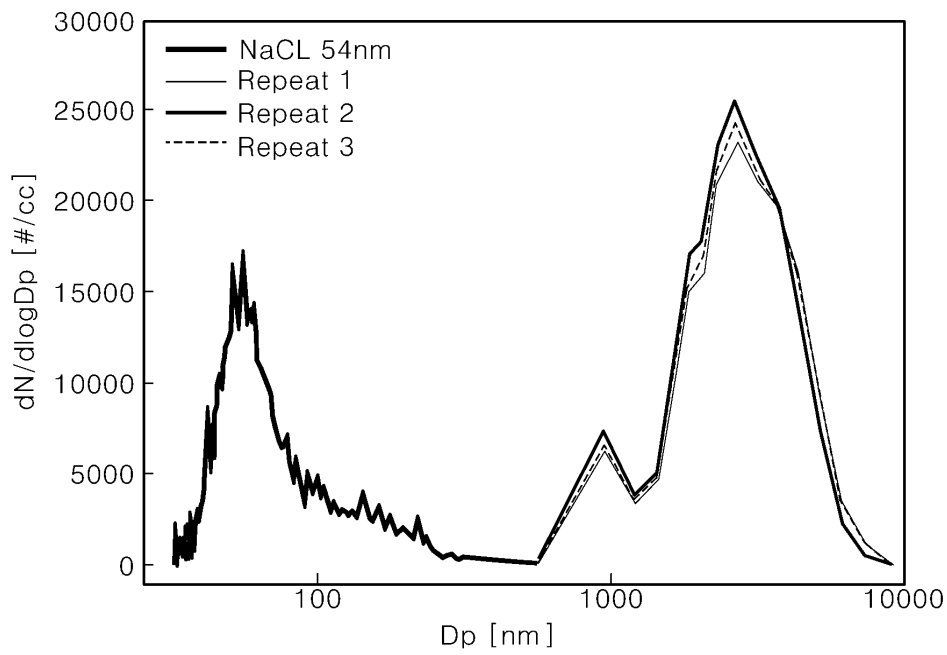
도면6



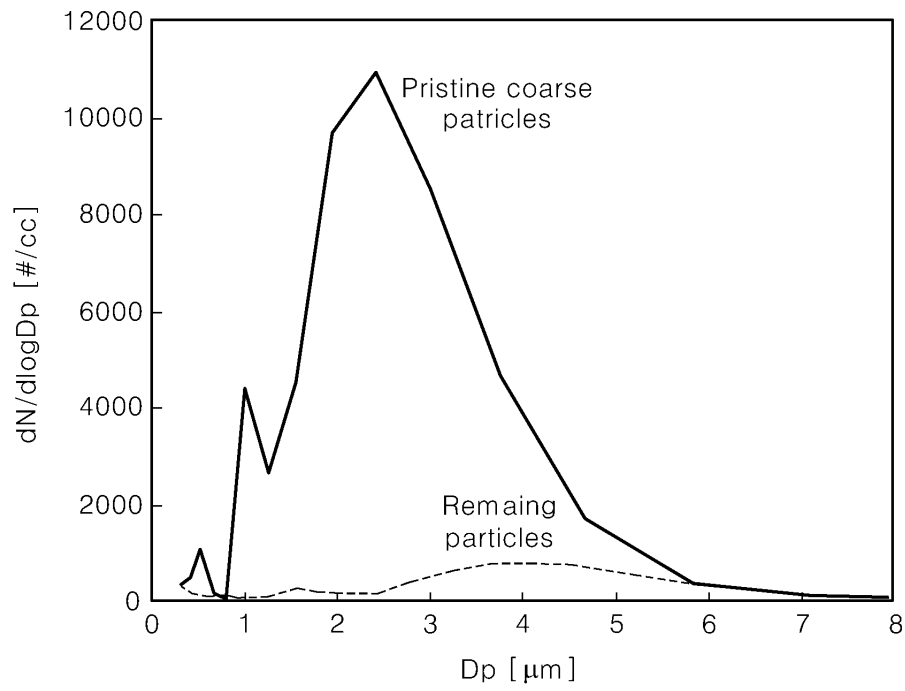
도면7



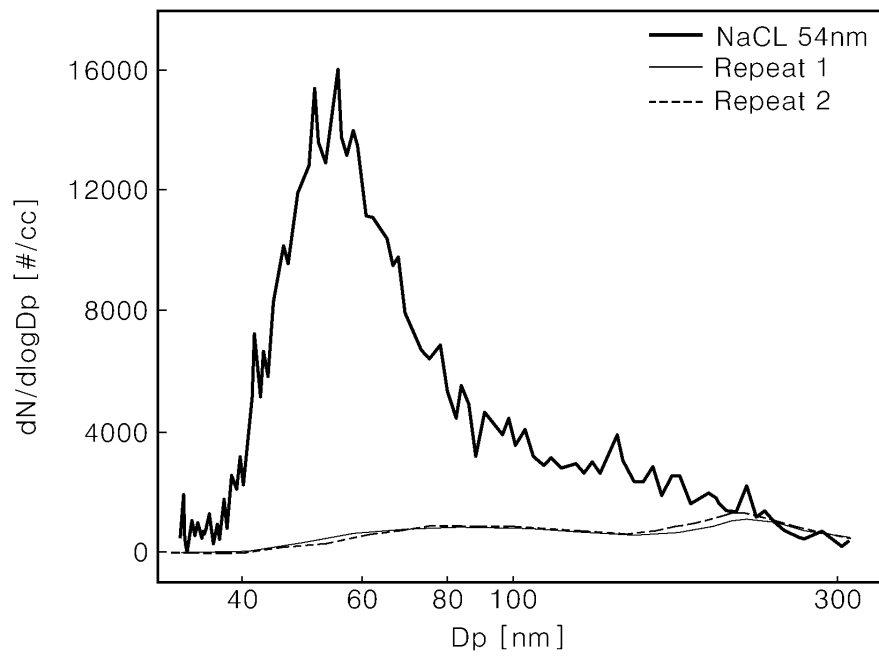
도면8



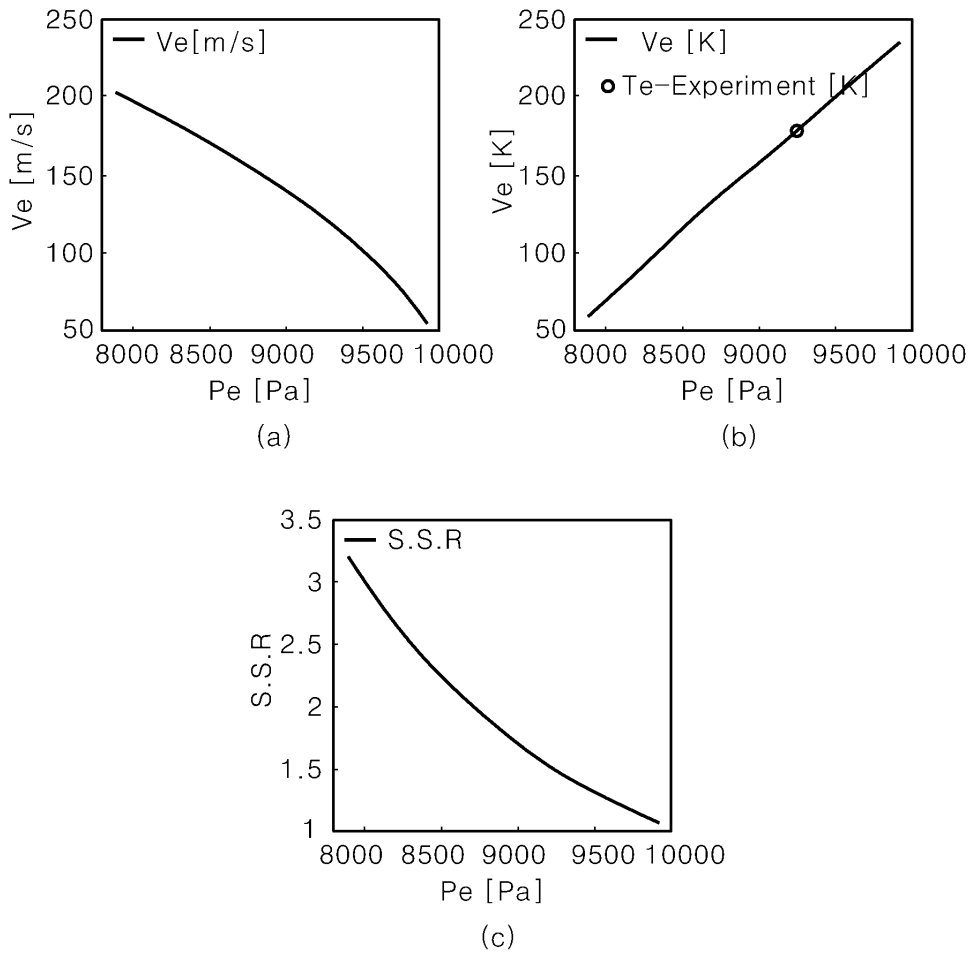
도면9



도면10



도면11



도면12

