



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0037866
(43) 공개일자 2023년03월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 21/78 (2006.01) G01N 1/24 (2006.01)
G01N 21/27 (2006.01) G01N 21/85 (2006.01)
G01N 33/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 21/783 (2013.01)
G01N 1/24 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0120946

(22) 출원일자 2021년09월10일

심사청구일자 2021년09월10일

(71) 출원인

이화여자대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

조경숙

서울특별시 서초구 동광로1길 87, 501호 (서래빌딩)

강수경

경기도 고양시 덕양구 동현로 7, 2층

박정열

서울특별시 성동구 왕십리로 241, 101동 3504호 (서울숲더샵)

(74) 대리인

김순웅

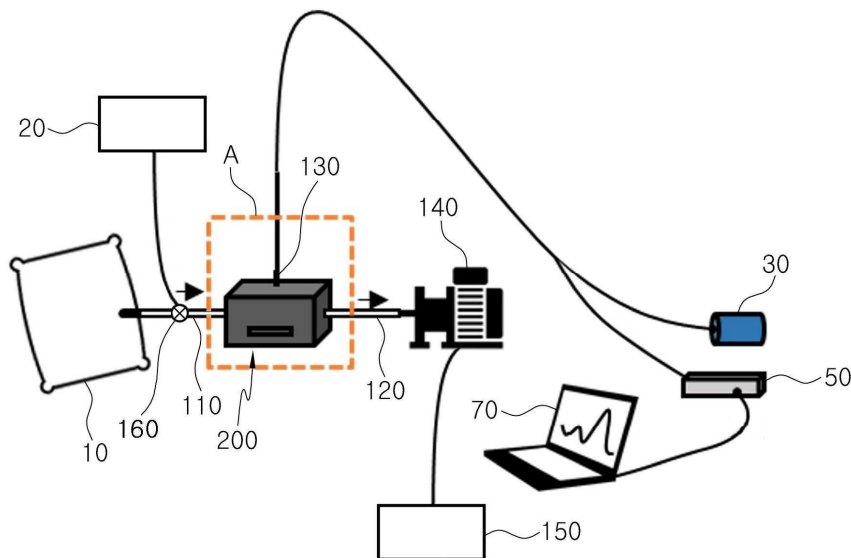
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 광결정 기반 색변화 센서의 감지능 검사 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 챔버에 광결정 기반의 가스 감지 센서를 위치시키고, 챔버 내에서 가스상의 감지 대상 물질을 유동시키면서 센서의 감지능을 검사할 수 있도록 구성된 장치 및 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01N 21/27 (2013.01)

G01N 21/85 (2013.01)

G01N 33/0047 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1485017565
과제번호	ARQ201901162003
부처명	환경부
과제관리(전문)기관명	한국환경산업기술원
연구사업명	생태모방기반환경오염관리기술개발(R&D)
연구과제명	생물의 멀티스케일 계층적 구조색을 모사한 실내공기오염물질(VOCs) 검출용 무전원
색변화 감지 기술 개발	
기 여 율	1/1
과제수행기관명	서강대학교 산학협력단, 이화여자대학교 산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

광결정 기반 색변화 센서의 감지능을, 감지 대상 가스를 유동시키면서 검사할 수 있도록 구성된 챔버;

광원 및 스펙트로미터와 전기적으로 연결되며, 상기 센서의 색변화 측정을 위해 상기 챔버에 설치되는 측정 프로브;

상기 챔버에 연결된 공급관;

상기 챔버에 연결된 배출관;

상기 배출관에 연결된 흡입 펌프; 및

상기 펌프의 작동을 제어하여 챔버 내부를 유동하는 감지 대상 가스의 유속을 조절하는 제어기를 포함하는,

센서의 감지능 검사 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 측정 프로브는, 상기 펌프가 작동하지 않는 초기 시간 동안 챔버에 수납된 상기 센서의 초기 반사광 파장을 측정하고,

상기 제어기는, 초기 시간이 경과한 후 제1시간 동안 제1 가스 유속으로 상기 챔버로 감지 대상 가스가 공급되고 그 후 제2시간 동안 제2 가스 유속으로 상기 챔버로 감지 대상 가스가 공급되도록 상기 펌프를 제어하고,

상기 측정 프로브는, 상기 제2시간 동안 챔버에 수납된 상기 센서의 반사광 파장을 측정하는,

센서의 감지능 검사 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 공급관에 결합되어 공급관에서의 감지 대상 가스의 농도를 측정할 수 있는, 공급측 농도측정기; 및

상기 배출관에 결합되어 배출관에서의 감지 대상 가스의 농도를 측정할 수 있는, 배출측 농도측정기를 더 포함하고,

상기 제1시간은, 상기 공급측 농도측정기에서 측정된 농도와 상기 배출가스 농도측정기에서 측정된 농도가 모두 기결정된 농도에 도달할 때까지 걸리는 시간인,

센서의 감지능 검사 장치.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 제2 가스 유속은 상기 제1 가스 유속보다 느린,

센서의 감지능 검사 장치.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 공급관이 감지 대상 가스의 공급원 또는 공기 압축기와 선택적으로 유체 연통하도록 상기 공급관에 설치된 밸브를 더 포함하고,

상기 제어기는,

상기 제1시간과 제2시간 동안 상기 공급관이 감지 대상 가스의 공급원과 유체 연통하도록 상기 밸브를 제어하고,

상기 제2시간이 경과한 후 제3시간 동안 상기 공급관이 상기 공기 압축기와 유체 연통하여 감지 대상 가스가 없는 공기가 상기 공급관으로 유입되도록 상기 밸브를 제어하고,

상기 제3시간 동안 상기 펌프의 작동을 중지시키고,

상기 측정 프로브는,

상기 제3시간 동안 챔버에 수납된 상기 센서의 반사광 파장을 측정하는,

센서의 감지능 검사 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 챔버는, 알루미늄을 포함하는 물질로 제조되며 불투명한,

센서의 감지능 검사 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 챔버에 수납되고 상기 측정 프로브에 대해 상기 센서를 위치시키는 센서 안착 트레이를 더 포함하는,

센서의 감지능 검사 장치.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 감지 대상 가스는, 휘발성 유기 화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs) 가스이고,

상기 센서는, VOCs 가스에 노출되면 광결정 배열이 변하는 광결정 기반 색변화 센서인,

센서의 감지능 검사 장치.

청구항 9

광결정 기반 색변화 센서가 수납되고 스펙트로미터와 광원에 전기적으로 연결된 측정 프로브가 설치된 챔버에서, 감지 대상 가스가 챔버에 공급되기 전의 초기 시간 동안 상기 센서의 초기 반사광 파장을 측정하는 단계;

초기 시간이 경과한 후 제1시간 동안 제1 가스 유속으로 상기 챔버에 감지 대상 가스를 공급하는 단계; 및

제1시간이 경과한 후 제2시간 동안 제2 가스 유속으로 상기 챔버에 감지 대상 가스를 공급하면서 상기 센서의 반사광 파장을 측정하는 단계를 포함하는,

센서의 감지능 검사 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제1시간은, 상기 챔버로 공급되는 감지 대상 가스의 공급관 내 농도와 상기 챔버에서 배출되는 감지 대상 가스의 배출관 내 농도가 모두 기결정된 농도에 도달할 때까지 걸리는 시간인,

센서의 감지능 검사 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,
상기 제2 가스 유속은 상기 제1 가스 유속보다 느린,
센서의 감지능 검사 방법.

청구항 12

제9항에 있어서,
상기 제2시간은, 제2 가스 유속으로 유동하는 감지 대상 가스에 센서가 노출된 상태에서 상기 센서의 반사광 파장이 더이상 변하지 않을 때까지 걸리는 시간인,
센서의 감지능 검사 방법.

청구항 13

제9항에 있어서,
상기 제2시간이 경과한 후 제3시간 동안 감지 대상 가스의 공급을 중단하고 감지 대상 가스가 없는 공기를 상기 챔버에 공급하면서 상기 센서의 반사광 파장을 측정하는 단계를 더 포함하는,
센서의 감지능 검사 방법.

청구항 14

제9항에 있어서,
감지 대상 가스에 노출되기 전과 후의 상기 센서의 반사광 파장을 비교하여 센서의 밴드갭 이동을 분석하는 단계를 더 포함하고,
상기 센서의 초기 반사광 파장을 측정하는 단계는, 초기 반사광 파장을 n 번 이상 등시간 간격으로 측정하고,
제2 가스 유속으로 상기 챔버에 감지 대상 가스를 공급하면서 상기 센서의 반사광 파장을 측정하는 단계는, 제2 시간 동안 센서의 반사광 파장을 m 번 이상 등시간 간격으로 측정하고,
상기 센서의 밴드갭 이동을 분석하는 단계는,
 n 개의 초기 반사광 파장의 평균값과 제2시간 동안 측정된 m 개의 반사광 파장의 평균값에 기초하여 밴드갭 이동을 분석하는,
센서의 감지능 검사 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,
상기 센서의 밴드갭 이동을 분석하는 단계는,
제2시간 동안 측정된 m 개의 반사광 파장을, 강도(intensity)를 가중치로 가중산술평균하여 밴드갭 이동을 분석하는,
센서의 감지능 검사 방법.

청구항 16

제9항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 감지 대상 가스는, 휘발성 유기 화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs) 가스이고,
상기 센서는, VOCs 가스에 노출되면 광결정 배열이 변하는 광결정 기반 색변화 센서인,
센서의 감지능 검사 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 광결정 기반 색변화로 가스상의 물질을 감지하는 센서의 감지능을 검사하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] VOCs(volatile organic compounds)와 같이 가스상으로 배출되는 유해물질을 감지하기 위해 종래에 질량 분석이나 가스 크로마토그래피가 사용되었다. 이러한 종래의 감지 방법은 측정에 시간이 걸리고 고가의 대형 장비가 요구되어 실시간으로 간편하게 가스상 유해물질을 감지할 수 없는 문제점이 있었다.

[0003] 이에 따라 VOCs를 신속하게 측정할 수 있는 센서로 금속유기골격체(metal-organic frameworks) 기반 센서, 석영 결정 마이크로밸런스(quartz crystal microbalance) 기반 센서, 광결정(photonic crystal) 기반 센서 등이 개발되었다.

[0004] 이중 광결정 기반의 색 변화 센서는 작은 크기로 휴대가 간편하며, 제작이 용이하고 무전원으로 VOCs 농도의 감지를 가시적으로 확인할 수 있는 센서이다. 광결정은 광자결정(photonic bandgap crystal)이라고도 하며, 주기적(periodic) 구조의 결정체이다. 결정의 주기적 배열에 입사하는 빛은 회절하는데 브래그 법칙으로 설명할 수 있다.

[0005] 주기적 구조로 인해 광결정은 특정 파장의 빛만 반사하여 구조색(structural color)이 나타나며, 이에 따라 빛이 통과하지 못하는 특정 영역인 광 밴드갭(photonic bandgap)이 나타난다. 이러한 광결정 소재의 센서는 VOCs를 흡수하여 팽창하게 되면 광결정의 주기적 배열이 변하므로 반사하는 빛의 파장이 달라져 광 밴드갭이 이동하고 구조색이 달라진다. 이러한 원리로 광결정 기반 색변화 센서는 VOCs를 모니터링할 수 있으며, 센서의 VOCs 감지능은 밴드갭의 이동(bandgap shift)을 측정하여 평가할 수 있다.

[0006] VOCs 가스를 감지하는 광결정 기반 센서에 대한 연구가 진행되고 있으나 개발된 센서를 실제로 가스상 VOCs에 노출시켜 감지능을 평가할 수 있는 프로토콜화된 방법은 없는 실정이다. 종래의 VOCs 감지 센서에 대한 성능 평가 연구들은 센서를 VOCs 용액이나 VOCs 용액에서 생성된 VOCs 증기에 노출시켜 센서의 파장 변화를 측정하였다. 이러한 종래의 평가 방법은 VOCs의 농도가 불균일하여 센서 표면의 색깔이 고르게 변하지 않으므로 감지능을 정량적으로 평가하기 어려운 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 가스상 VOCs에 광결정 기반 센서를 노출시켜 센서의 감지능을 검사할 수 있는 장치 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명은, 광결정 기반 색변화 센서의 감지능을 감지 대상 가스를 유동시키면서 검사할 수 있도록 구성된 챔버; 광원 및 스펙트로미터와 전기적으로 연결되며 상기 센서의 색변화 측정을 위해 상기 챔버에 설치되는 측정 프로브; 상기 챔버에 연결된 공급관; 상기 챔버에 연결된 배출관; 상기 배출관에 연결된 흡입 펌프; 및 상기 펌프의 작동을 제어하여 챔버 내부를 유동하는 감지 대상 가스의 유속을 조절하는 제어기를 포함하는 센서의 감지능 검사 장치를 제공할 수 있다.

[0009] 일 실시예로서, 상기 측정 프로브는, 상기 펌프가 작동하지 않는 초기 시간 동안 챔버에 수납된 상기 센서의 초기 반사광 파장을 측정할 수 있다. 상기 제어기는, 초기 시간이 경과한 후 제1시간 동안 제1 가스 유속으로 상기 챔버로 감지 대상 가스가 공급되고 그 후 제2시간 동안 제2 가스 유속으로 상기 챔버로 감지 대상 가스가 공급되도록 상기 펌프를 제어할 수 있다. 상기 측정 프로브는, 상기 제2시간 동안 챔버에 수납된 상기 센서의 반사광 파장을 측정할 수 있다.

[0010] 일 실시예로서, 상기 공급관에 결합되어 공급관에서의 감지 대상 가스의 농도를 측정할 수 있는 공급측 농도측정기와, 상기 배출관에 결합되어 배출관에서의 감지 대상 가스의 농도를 측정할 수 있는 배출측 농도측정기를 더 포함할 수 있다.

[0011] 일 실시예로서 상기 제1시간은, 상기 공급측 농도측정기에서 측정된 농도와 상기 배출가스 농도측정기에서 측정

된 농도가 모두 기결정된 농도에 도달할 때까지 걸리는 시간일 수 있다.

- [0012] 일 실시예로서, 상기 제2 가스 유속은 상기 제1 가스 유속보다 느릴 수 있다.
- [0013] 일 실시예로서, 상기 공급관이 감지 대상 가스의 공급원 또는 공기 압축기와 선택적으로 유체 연통하도록 상기 공급관에 설치된 밸브를 더 포함할 수 있다.
- [0014] 일 실시예로서 상기 제어기는, 상기 제1시간과 제2시간 동안 상기 공급관이 감지 대상 가스의 공급원과 유체 연통하도록 상기 밸브를 제어하고, 상기 제2시간이 경과한 후 제3시간 동안 상기 공급관이 상기 공기 압축기와 유체 연통하여 감지 대상 가스가 없는 공기가 상기 공급관으로 유입되도록 상기 밸브를 제어하고, 상기 제3시간 동안 상기 펌프의 작동을 중지시킬 수 있다.
- [0015] 일 실시예로서 상기 측정 프로브는, 상기 제3시간 동안 챔버에 수납된 상기 센서의 반사광 파장을 측정할 수 있다.
- [0016] 일 실시예로서 상기 챔버는, 알루미늄을 포함하는 물질로 제조되며 불투명하다.
- [0017] 일 실시예로서, 상기 챔버에 수납되고 상기 측정 프로브에 대해 상기 센서를 위치시키는 센서 안착 트레이를 더 포함할 수 있다.
- [0018] 또한 본 발명은, 광결정 기반 색변화 센서가 수납되고 스펙트로미터와 광원에 전기적으로 연결된 측정 프로브가 설치된 챔버에서, 감지 대상 가스가 챔버에 공급되기 전의 초기 시간 동안 상기 센서의 초기 반사광 파장을 측정하는 단계; 초기 시간이 경과한 후 제1시간 동안 제1 가스 유속으로 상기 챔버에 감지 대상 가스를 공급하는 단계; 및 제1시간이 경과한 후 제2시간 동안 제2 가스 유속으로 상기 챔버에 감지 대상 가스를 공급하면서 상기 센서의 반사광 파장을 측정하는 단계를 포함하는 센서의 감지능 검사 방법을 제공할 수 있다.
- [0019] 일 실시예로서 상기 제1시간은, 상기 챔버로 공급되는 감지 대상 가스의 공급관 내 농도와 상기 챔버에서 배출되는 감지 대상 가스의 배출관 내 농도가 모두 기결정된 농도에 도달할 때까지 걸리는 시간일 수 있다.
- [0020] 일 실시예로서, 상기 제2 가스 유속은 상기 제1 가스 유속보다 느릴 수 있다.
- [0021] 일 실시예로서 상기 제2시간은, 제2 가스 유속으로 유동하는 감지 대상 가스에 센서가 노출된 상태에서 상기 센서의 반사광 파장이 더이상 변하지 않을 때까지 걸리는 시간일 수 있다.
- [0022] 일 실시예로서, 상기 제2시간이 경과한 후 제3시간 동안 감지 대상 가스의 공급을 중단하고 감지 대상 가스가 없는 공기를 상기 챔버에 공급하면서 상기 센서의 반사광 파장을 측정하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0023] 일 실시예로서, 감지 대상 가스에 노출되기 전과 후의 상기 센서의 반사광 파장을 비교하여 센서의 밴드갭 이동을 분석하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0024] 일 실시예로서 상기 센서의 초기 반사광 파장을 측정하는 단계는, 초기 반사광 파장을 n 번 이상 등시간 간격으로 측정하고, 제2 가스 유속으로 상기 챔버에 감지 대상 가스를 공급하면서 상기 센서의 반사광 파장을 측정하는 단계는, 제2시간 동안 센서의 반사광 파장을 m 번 이상 등시간 간격으로 측정할 수 있다.
- [0025] 일 실시예로서 상기 센서의 밴드갭 이동을 분석하는 단계는, n 개의 초기 반사광 파장의 평균값과 제2시간 동안 측정된 m 개의 반사광 파장의 평균값에 기초하여 밴드갭 이동을 분석할 수 있다.
- [0026] 일 실시예로서 상기 센서의 밴드갭 이동을 분석하는 단계는, 제2시간 동안 측정된 m 개의 반사광 파장을, 강도(intensity)를 가중치로 가중산술평균하여 밴드갭 이동을 분석할 수 있다.
- [0027] 일 실시예로서 상기 감지 대상 가스는, 휘발성 유기 화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs) 가스이고, 상기 센서는 VOCs 가스에 노출되면 광결정 배열이 변하는 광결정 기반 색변화 센서일 수 있다.

발명의 효과

- [0028] 본 발명에 따르면, 가스상 VOCs에 노출시킨 상태로 센서의 감지능을 검사할 수 있으므로 감지능을 정량적으로 정확하게 검사할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1은 광결정 기반 색변화 센서의 가스 감지 원리를 설명하기 위한 도면으로, 도 1의 (a)는 VOCs 가스에 노출되기 전의 센서 내부의 광결정 배열을 도시한 것이고, 도 1의 (b)는 VOCs 가스에 노출된 후의 센서 내부의 광결정

정 배열을 도시한 것이고, 도 1의 (c)는 스펙트로미터로 VOCs 가스에 노출되기 전과 후의 센서의 반사광 파장을 측정한 그래프이고,

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서의 감지능 검사 장치의 개략적인 구성도이고,

도 3은 도 2의 A 부분의 확대 사시도이고,

도 4는 도 3에 도시된 챔버의 분해 사시도이고,

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서의 감지능 검사 방법의 순서도이고,

도 6은 100ppm의 *o*-Xylene 가스에 노출된 센서의 반사광 파장을 시간별로 측정하여 분석한 그래프로, 도 6의 (a)는 강도가 높은 파장을 피크 파장으로 도출한 '피크파장법'에 따른 그래프이고, 도 6의 (b)는 강도를 가중치로 적용한 '중심 스펙트럼법'에 따른 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 이하, 본 발명의 여러 실시예들을 첨부된 도면들을 참조하여 상세하게 설명한다. 우선 각 도면의 구성 요소들에 참조 부호를 첨가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다. 또한, 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다. 또한, 이하에서 본 발명의 실시예를 설명할 것이나, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정하거나 제한되지 않고 당업자에 의해 실시될 수 있음은 물론이다.
- [0032] 본 발명에 따른 감지능 검사 장치 및 검사 방법은, 광결정 기반 색변화 센서(colloidal crystal-based colorimetric sensor)를 대상으로 한다. 이하에서는 VOCs 가스를 감지 대상 가스로 예시적으로 설명하지만 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니며, 가스상의 특정 물질에 노출되면 광결정 배열의 변화에 따라 색이 변하여 밴드갭 이동을 측정할 수 있는 어떠한 광결정 기반 색변화 센서에 대해서도 본 발명의 사상이 적용 가능하다.
- [0033] 도 1의 (a)는 VOCs 가스에 노출되기 전의 센서(1a) 내의 미립자의 주기적인 배열 구조를 나타낸 것이고, 도 1의 (b)는 VOCs 가스에 노출된 센서(1b) 내의 미립자의 주기적인 배열 구조를 나타낸 것이다. 광결정 기반 색변화 센서는, VOCs 가스에 노출되면 센서 내부의 미립자가 VOCs를 흡수하여 팽윤(swelling)하므로, 노출 전의 미립자층 간 거리(d_1)보다 노출 후 미립자층 간 거리(d_2)가 증가한다. 따라서 VOCs에 노출된 센서는 입사광의 회절각이 바뀌며 반사광의 파장이 이동한다. 도 1의 (c)는 반사광의 파장에 따른 강도(intensity)를 VOCs 노출 전(파란색 실선)과 노출 후(빨간색 실선)에 스펙트로미터로 측정한 그래프로, VOCs에 노출된 후 밴드갭 이동이 나타나는 것을 확인할 수 있다.
- [0034] 본 발명은 전술한 원리로 작동하는 광결정 기반의 VOCs 감지 센서의 감지능을 가스상의 VOCs에 노출시킨 상태에서 검사하는 장치 및 방법에 관한 것이다. 도 2를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 센서의 감지능 검사 장치를 상세하게 설명한다.
- [0035] 일 실시예에 따른 센서의 감지능 검사 장치는, 챔버(200), 챔버에 연결된 공급관(110), 챔버에 연결된 배출관(120), 챔버 상부에 설치된 측정 프로브(130), 배출관에 연결된 흡입 펌프(140), 흡입 펌프를 제어하는 제어기(150)를 포함한다. 측정 프로브(130)는 광원(30)과 연결되어 광을 챔버(200) 내로 조사하고, 스펙트로미터(50)와 연결되어 챔버(200)에 수납된 센서의 색변화를 측정할 수 있다. 스펙트로미터(50)는 측정 프로브(130)에서 측정된 데이터를 컴퓨터, 노트북과 같은 연산장치(70)로 전송한다.
- [0036] 도 3은 도 2의 A 부분을 확대한 사시도이고, 도 4는 도 2의 챔버(200)의 확대 분해 사시도이다. 상기 챔버(200)는 VOCs 가스가 챔버 내부를 유동하는 상태에서 광결정 기반 색변화 센서의 감지능을 검사할 수 있도록 구성된다. 구체적으로, 챔버(200)는 내부공간(201)을 형성하는 챔버 본체(210), 상기 내부공간(201)에 수납되는 센서 안착 트레이(230), 챔버 본체의 상부 개구를 밀폐하는 챔버 덮개(250)를 포함한다.
- [0037] 챔버(200)는 VOCs 가스를 흡수하지 않는 알루미늄 합금 물질로 제조된다. 챔버(200)는 빠른 유속으로 유입되거나 유출되는 공기 유동에 영향을 받지 않도록 챔버 본체(210)의 외측벽(214) 내에 적어도 15mm 이상의 두께를 갖는 내벽(215)을 포함할 수 있다. 설명의 편의상 외측벽과 내벽으로 지칭하지만 챔버 본체(210)는 실질적으로 일체로 형성된다.
- [0038] 챔버 본체(210)에는 서로 마주보는 2개의 측벽 중 하나에 가스 유입 관통공(211)이 형성되고 다른 하나에 가스

유출 관통공(216)이 형성된다. 챔버(200)로 공급되는 VOCs 가스가 내부공간(201)을 고르게 채운 후 배출되도록, 가스 유입 관통공(211)과 가스 유출 관통공(216)은 서로 마주보지 않게 배치되며, 도 4와 같이 가스 유입 관통공(211)이 챔버(200)의 오른쪽 모서리에 가깝게 위치하고 가스 유출 관통공(216)은 가스 유입 관통공(211)과 어긋나도록 챔버(200)의 왼쪽 모서리에 가깝게 위치할 수 있다.

[0039] 챔버(200)의 내부공간(201)은, 빠른 시간 내에 VOCs로 포화될 수 있도록 센서 수납에 필요한 최소한의 체적을 갖는다. 예를 들어, 챔버(200)의 외형 크기는 가로길이 128mm, 세로길이 70mm, 높이 40mm일 수 있고, 내부공간(201)의 크기는 가로길이 88mm, 세로길이 30mm, 높이 25mm일 수 있다.

[0040] 가스 유입 관통공(211)은 공급관(110)과 결합하고 가스 유출 관통공(216)은 배출관(120)과 결합한다. 공급관(110)은 VOCs 가스 공급원(10)에 선택적으로 유체 연통하여 VOCs를 챔버(200)로 공급할 수 있다. 배출관(120)은 흡입 펌프(140)에 연결되어 챔버(200)를 통과한 VOCs 가스를 배출한다. 제어기(150)는 펌프의 작동을 제어하여 챔버의 내부공간(201)을 유동하는 VOCs 가스의 유속을 조절할 수 있다.

[0041] 공급관(110)에는 공급관(110)을 유동하는 VOCs 가스의 농도를 측정할 수 있는 공급측 농도측정기(117)가 설치된다. 배출관(120)에는 배출관(120)을 유동하는 VOCs 가스의 농도를 측정할 수 있는 배출측 농도측정기(127)가 설치된다.

[0042] 일 실시예로서, 공급관(110)에는 VOCs 가스 공급원(10)과의 선택적인 유체 연통을 위한 밸브(160)가 더 설치되고, VOCs 가스 공급원(10)은 밸브를 통해 공급관(110)에 연결될 수 있다. 이 경우 제어기(150)로 밸브(160)의 개폐동작을 제어하여 공급관(110)이 선택적으로 VOCs 가스를 공급받도록 할 수 있다.

[0043] 또한, VOCs 가스가 없는 공기를 선택적으로 공급관(110)에 공급하기 위해서, 밸브(160)에는 공기압축기(20)가 더 연결될 수 있다. 이 경우 제어기(150)는 밸브(160)의 개폐동작을 제어하여 공급관(110)이 VOCs 가스 대신 깨끗한 공기를 공급받도록 할 수 있다.

[0044] 챔버 덮개(250)는 중앙에 측정 프로브(130)가 삽입될 수 있도록 프로브 관통공(251)이 형성된다. 챔버 덮개(250)는 하면이 내벽(250)의 상부면과 닿도록 챔버 본체(210)의 개구에 결합된다. 도 4를 참조하면, 챔버 본체(210)의 외측벽(214)의 높이는 내벽(250)의 높이보다 높으며, 그 높이 차이에 의해 생기는 내벽(250) 상부면의 윗공간에 챔버 덮개(250)가 놓인다. 내벽(250)의 상부면에는 복수의 볼트 체결구(212)가 형성되며, 챔버 덮개(250)에서 볼트 체결구(212)와 상응하는 위치에 복수의 볼트 삽입구(252)가 형성된다. 챔버 덮개(250)는 챔버 본체(210)에 볼트로 고정되면 덮개 테두리가 챔버 본체(210)의 외측벽(214)으로 둘러싸이게 된다.

[0045] 챔버(200)는, 챔버 본체(210)와 챔버 덮개(250) 사이를 밀폐하는 실링부재(270)를 더 포함한다. 실링부재(270)는 탄성이 있고 VOCs 가스를 흡수하지 않도록 구성된다.

[0046] 센서 안착 트레이(230)는 챔버의 내부공간(201)에 수용되는 크기를 가지며 센서 교체를 용이하게 한다. 챔버 덮개(250)에 고정된 측정 프로브(130)에 대해서 센서를 위치시키기 위해 트레이 위에 센서가 안착될 수 있다. 검사가 끝난 센서를 챔버(200)에서 쉽게 꺼낼 수 있도록 센서 안착 트레이(230)는 손잡이(233, 234)를 포함한다. 센서의 반사광 파장 측정의 정확성을 높일 수 있도록 센서 안착 트레이(230)는 검정색의 알루미늄 소재로 구성된다.

[0047] 제어기(150)는 흡입 펌프(140)의 작동을 제어하여 챔버의 내부공간(201)을 유동하는 VOCs 가스의 유속을 조절할 수 있다. 이하에서는 제어기(150)의 구체적인 기능을, 본 발명의 일 실시예에 따른 센서의 감지능 검사 방법과 함께 구체적으로 설명한다.

[0048] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서의 감지능 검사 방법의 순서도이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 센서의 감지능 검사 방법은, VOCs 감지 센서의 초기 반사광 파장($W_{initial}$)을 측정하는 단계(S110), 그 후 제1시간 동안 챔버 내로 VOCs 가스를 공급하는 단계(S120), 제1시간 경과 후 제2시간 동안 챔버에 VOCs 가스를 공급하면서 센서의 반사광 파장($W_{exposed}$)을 측정하는 단계(S130), VOCs 가스의 공급을 중단하고 제3시간 동안 VOCs 가스가 없는 공기를 챔버에 공급하면서 센서의 반사광 파장(W_{return})을 측정하는 단계(S140), 측정 데이터에 기초하여 VOCs 감지 센서의 밴드갭 이동을 분석하는 단계(S150)를 포함한다.

[0049] 다만, 선택적으로 제3시간 동안 반사광 파장(W_{return})을 측정하는 단계(S140)는 생략 가능하다.

[0050] 먼저 VOCs 감지 센서의 감지능 검사를 위해서, 센서 안착 트레이(230) 위에 센서를 고정시킨 후, 챔버의 내부공

간(201)에 트레이를 놓고 챔버 덮개(250)를 챔버 본체(210)에 볼트로 고정한다.

[0051] 초기 반사광 파장($W_{initial}$)을 측정하는 단계(S110)는, 측정 프로브(130)로 VOCs 가스가 챔버(200)에 공급되기 전의 초기 시간 동안 센서의 초기 반사광 파장을 측정한다. 예를 들어, 초기 시간은 50초일 수 있다. 그리고 측정 프로브(130)는 1초에 한번씩 센서의 초기 반사광 파장($W_{initial}$)을 측정하는 방식으로 복수 번 파장을 측정할 수 있다. 초기 시간에는 VOCs 가스가 공급되기 전이므로 펌프는 작동하지 않는다.

[0052] 정확한 측정을 위해, 공급관(110)에는 VOCs 가스 공급원이 연결되지 않는다. 공급관(110)에 밸브(160)가 설치되는 실시예의 경우, 상기 제어기(150)에 의해 밸브의 동작을 제어하여 VOCs 가스 공급원과의 연결을 차단한다.

[0053] 제1시간 동안 챔버 내로 VOCs 가스를 공급하는 단계(S120)는, 초기시간이 경과한 후 제어기(150)가 흡입 펌프(140)의 작동을 제어하여 제1 가스 유속으로 VOCs 가스를 챔버(200)로 공급한다. 제1시간은, 공급측 농도측정기(117)와 배출측 농도측정기(127)에서 각각 측정한 VOCs 가스의 농도가 모두 기결정된 농도 이상이 되는데 걸리는 시간일 수 있다. 여기서 기결정된 농도는, 목적하는 챔버의 내부공간(201)에서의 VOCs 가스 농도와 적어도 동일할 수 있다. 또한 기결정된 온도는, 센서의 감지능의 민감도를 측정하기 위한 최소한의 농도에 기초하여 결정될 수 있다.

[0054] 이에 추가로 또는 선택적으로 제1시간은, 공급측 농도측정기(117)와 배출측 농도측정기(127)에서 각각 측정한 VOCs 가스의 농도가 동일하거나 거의 유사해지는데 필요한 시간일 수도 있다.

[0055] 제1시간 경과 후 제2시간 동안 챔버에 VOCs 가스를 공급하면서 센서의 반사광 파장($W_{exposed}$)을 측정하는 단계(S130)는, 제2시간 동안 챔버 내에서 VOCs 가스 농도가 균일하게 유지되도록 제어기(150)가 펌프(140)의 동작을 제어하여 제2 가스 유속으로 VOCs 가스를 유동시킨다. 그리고 측정 프로브(130)는 1초에 한번씩 센서의 반사광 파장($W_{exposed}$)을 측정하는 방식으로 제2시간 동안 복수 번 파장을 측정할 수 있다.

[0056] 여기서 제2 가스 유속은 상기 제1 가스 유속보다 느리다. 예를 들어, 제1 가스 유속은 10L/min이고 제2 가스 유속은 0.5L/min일 수 있다. 그러나 이에 한정되는 것은 아니고, 제1 가스 유속은 챔버의 내부공간(201)을 빠른 시간 안에 특정 가스 농도로 포화시키는데 필요한 어떠한 속도여도 좋다. 그리고 제2 가스 유속은 챔버(200) 내에 포화된 VOCs 가스의 농도를 제2시간 동안 일정하게 유지할 수 있는 어떠한 속도여도 좋다. 그리고 제2시간은 제2 가스 유속으로 유동하는 VOCs 가스에 센서가 노출된 상태에서 상기 센서의 반사광 파장이 더이상 변하지 않을 때까지 걸리는 시간일 수 있다.

[0057] VOCs 가스의 공급을 중단하고 제3시간 동안 VOCs 가스가 없는 공기를 챔버에 공급하면서 센서의 반사광 파장(W_{return})을 측정하는 단계(S140)는, 먼저 제2시간이 경과한 후 제어기(150)가 펌프(140)의 작동을 중지시켜 VOCs 가스의 공급이 중단되도록 한다. 그리고 VOCs 가스 공급원과 연결된 공급관(110)의 밸브를 닫고, 대신 공기압축기를 공급관(110)에 연결시켜 VOCs 공기가 없는 깨끗한 공기를 챔버 내부공간(201)으로 공급하면서 센서의 반사광 파장(W_{return})을 측정한다.

[0058] 전술한 바와 같이 공급관(110)이 자동으로 VOCs 가스 공급원(10)과 공기압축기(20)에 선택적으로 유체 연통 및 유체 연통이 해제되도록 밸브(160)를 추가로 구성할 수 있다. 그리고 제어기(150)가 밸브를 제어하여 공급관(110)이 VOCs 가스 공급원 및 공기압축기 중 하나에만 선택적으로 유체 연통되게 구성될 수 있다.

[0059] 측정 데이터에 기초하여 VOCs 감지 센서의 밴드갭 이동을 분석하는 단계(S150)는 이하의 실험예에서 상세하게 설명한다.

[0061] 실험예

[0062] 센서에 노출시킬 일정 농도의 VOCs 공급원(10) 제조를 위해서, 30L의 테들러백(tedlar bag)에 공기 압축기로 공기를 채운 후, 액상의 VOCs 용액(벤젠, 톨루엔, *o*-xylene, 아세톤)을 목표 농도(ppm)가 되도록 주입하였다. 테들러백을 항온교반기에 넣고 25℃에서 120(rpm)으로 12시간 이상 교반하여 액상의 VOCs를 충분히 기화시켰다. 그 후 테들러백을 밸브를 통해 공급관(110)에 연결하였다.

[0063] VOCs 감지 센서는 광결정 구조와 PDMS(polydimethylsiloxane) 물질을 사용하여 제조하였다.

- [0064] 센서의 파장 변화는 디지털 방식 스펙트로미터(HRP-S250, Ocean Optics Inc., USA)와 광원(HL-2000-FHS, Ocean Optics Inc., USA)을 사용하여 측정하였으며, 스펙트로미터와 광원에 전기적으로 연결된 측정 프로브(130)를 챔버 덮개(250)에 설치하였다. 노트북을 스펙트로미터와 유선 또는 무선 연결하여 센서의 반사광 파장을 1초 간격으로 복수 회 측정하였다.
- [0065] 먼저, VOCs에 노출되지 않는 초기 시간인 50초동안 파장($W_{initial}$)을 측정하였다. 그 후, 10초 동안 10L/min의 제1 가스 유속으로 챔버의 내부공간(201)으로 VOCs를 주입하였다. 즉, 제어기(150)로 펌프(140)를 작동시켜 챔버 내로 10L/min의 유속으로 VOCs 가스가 공급되도록 한다. 10초는 공급관 내의 VOCs 가스 농도와 배출관 내의 VOCs 가스 농도가 모두 100ppm에 도달하는데 걸린 시간이다.
- [0066] 그 후 제어기(150)로 펌프(140)를 작동시켜 챔버 내로 0.5L/min의 제2 가스 유속으로 VOCs 가스를 공급하여 수분간 챔버 내부의 VOCs 가스 농도를 유지하면서 VOCs 가스에 노출된 센서의 반사광 파장($W_{exposed}$)을 측정하였다. 센서의 반응 속도에 따라 3분 내지 6분이 소요된다.
- [0067] 센서의 파장 변화가 더이상 없으면 펌프(140)의 작동을 정지시켜 VOCs 가스의 공급을 중단하고, 공급관(110)에 테플러백 대신 공기압축기를 연결하여 VOCs 가스가 없는 깨끗한 공기를 주입한다. 깨끗한 공기를 3분 이상 주입하면서 1초마다 센서의 반사광 파장(W_{return})을 측정한다. 센서의 반사광 파장이 더이상 변하지 않으면 측정을 종료한다.
- [0068] 도 6은 100ppm의 *o*-Xylene 가스에 노출된 센서의 반사광 파장을 시간별로 측정하여 분석한 그래프이다. 본 그래프에서는 챔버를 VOCs 가스로 포화시키기 위해 10L/min의 속도로 *o*-Xylene 가스를 공급하는 동안에도 센서의 반사광 파장을 계속 측정하여 모든 시간에 대해서 파장을 표시하였다. 스펙트로미터로 측정한 파장별 강도(intensity) 데이터에서 시간별 최고 강도를 갖는 파장 값인 피크 파장을 MATLAB(MathWorks, USA)을 이용하여 계산하고, 도 6의 (a)와 같이 센서의 감지능을 분석하였다. *o*-Xylene 가스를 주입하기 전의 30개 파장 측정값의 평균을 초기 반사광 파장($W_{initial}$)으로 설정하고, 공기 주입 전의 100개의 파장 측정값의 평균을 반사광 파장($W_{exposed}$)으로 설정하여, *o*-Xylene 가스에 노출된 센서의 밴드갭 이동(nm)을 분석하였다.
- [0069] 센서의 정밀도(Precision) 평가를 위해, 동일 VOCs 가스에 대해 5회 이상 연속 실험을 진행하였다. 수학적 1과 같이 상대표준편차(%RSD, relative standard deviation)를 통해 정밀도를 계산하였으며, 값이 작을수록 정밀도가 높다고 해석하였다.

수학식 1

$$\text{정밀도}(\%) = \frac{s}{x} \times 100$$

[0070]

[0071] s: 표준편차, x: 평균

[0072] 100ppm 내외의 저농도 *o*-Xylene 가스에 노출시켰을 때 스펙트로미터의 잡음(noise)로 인해 정량적 평가에 어려움이 있었다. 따라서 강도가 가장 높은 파장을 찾아 피크 파장을 도출하여 산술평균하는 방식 대신, 강도를 가중치(weight-factor)로 적용한 가중산술평균을 MATLAB으로 분석하였다. 가중산술평균을 이용한 스펙트럼의 중심(spectral centroid)을 찾는 스펙트럼 분석법을 활용하여 작은 변화량에서 발생하는 신호 대비 잡음(signal to noise ratio, SNR)을 증폭하여 *o*-Xylene 가스에 의한 파장의 변화, 즉 밴드갭 이동을 잡음과 구분하여 분석 가능하였다. 도 6의 (b)는 센서의 감지능을 가중산술평균을 이용한 '중심 스펙트럼법'으로 분석한 그래프이다. 도 6의 (a)와 같이 파크파장법으로 확인이 어려웠던 밴드갭 이동을 중심 스펙트럼법에 따라 분석하여 확인 가능함을 알 수 있다.

[0073] 총 5회에 걸친 실험을 통해 밴드갭 이동을 분석한 결과는 아래 표 1과 같다.

표 1

밴드갭 이동 (nm)	
실험 회차	<i>o</i> -Xylene
1	5.732
2	5.820
3	5.967
4	5.387
5	5.969
Average±SD	0.575±0.239
정밀도	4.14

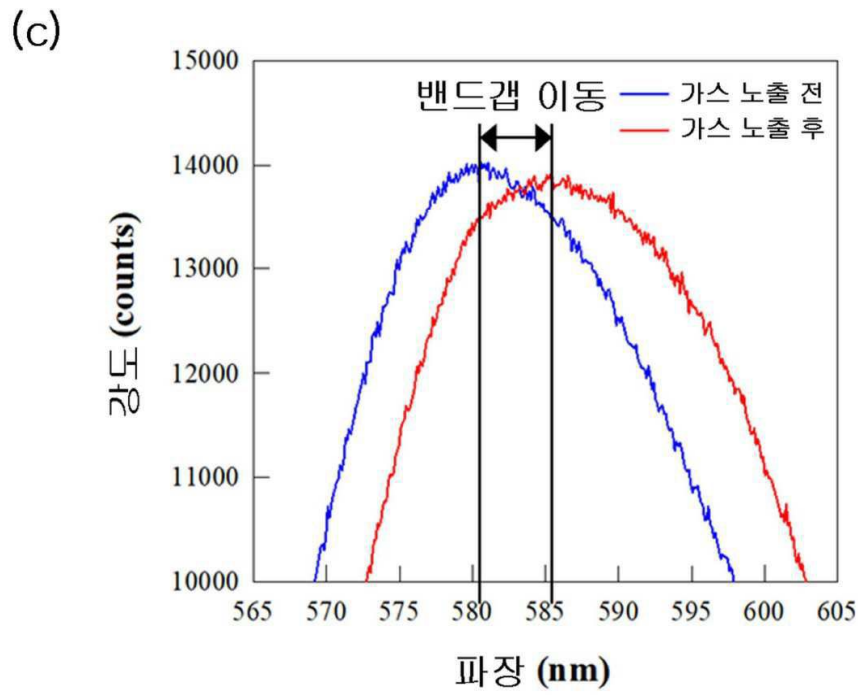
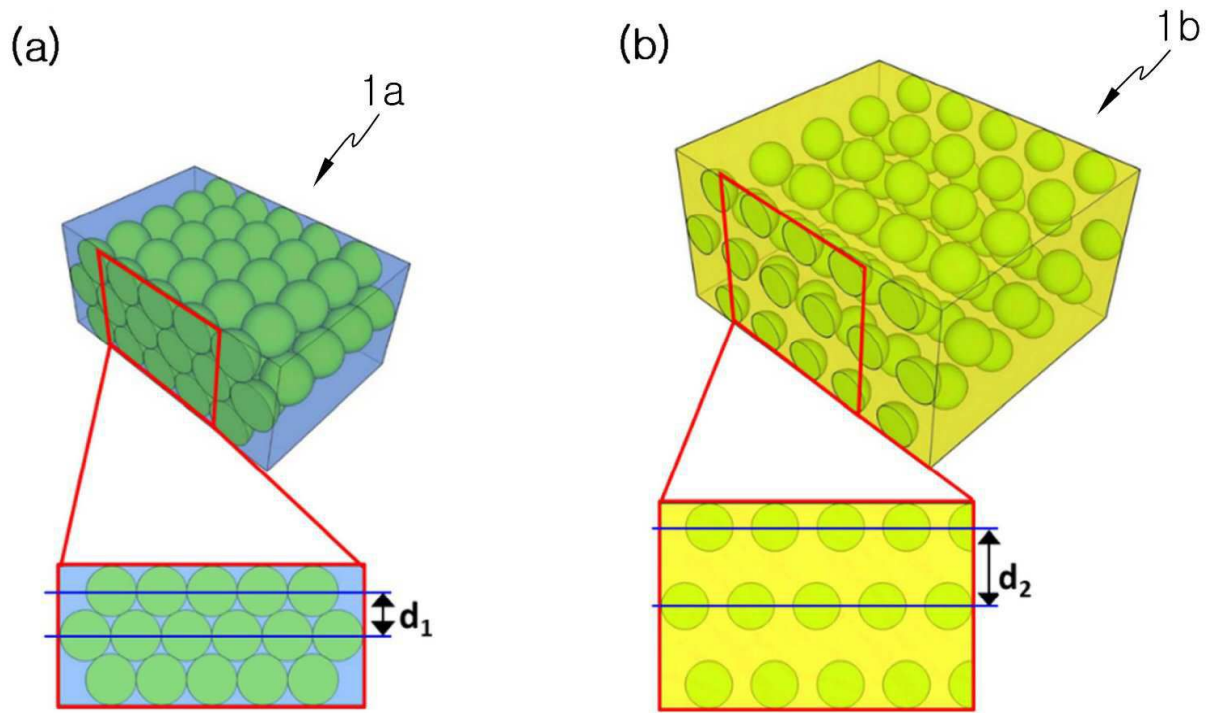
[0074]

[0076]

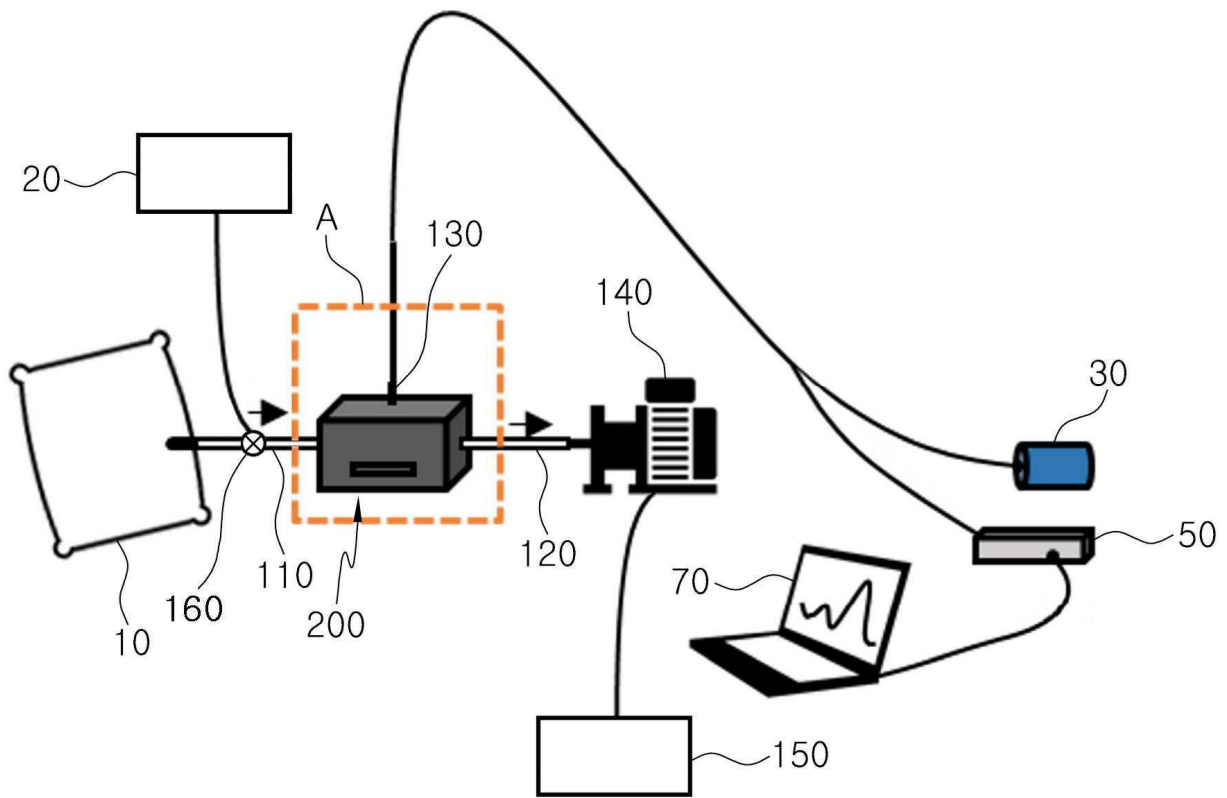
이상, 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세히 설명하였으나, 본 발명의 기술적 범위는 전술한 실시예에 한정되지 않고 특허청구범위에 의하여 해석되어야 할 것이다. 이때, 이 기술분야에서 통상의 지식을 습득한 자라면, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않으면서도 많은 수정과 변형이 가능함을 고려해야 할 것이다.

도면

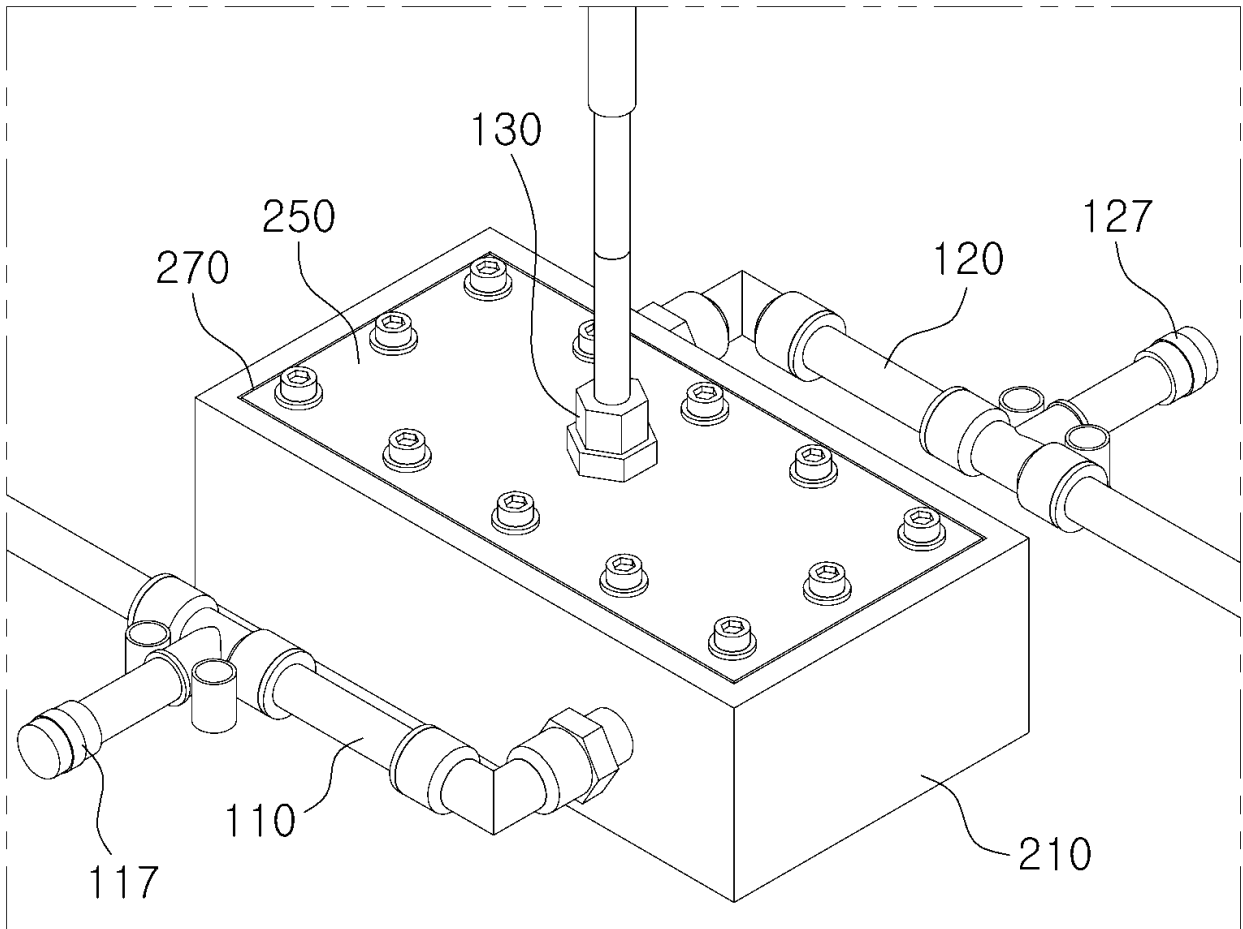
도면1



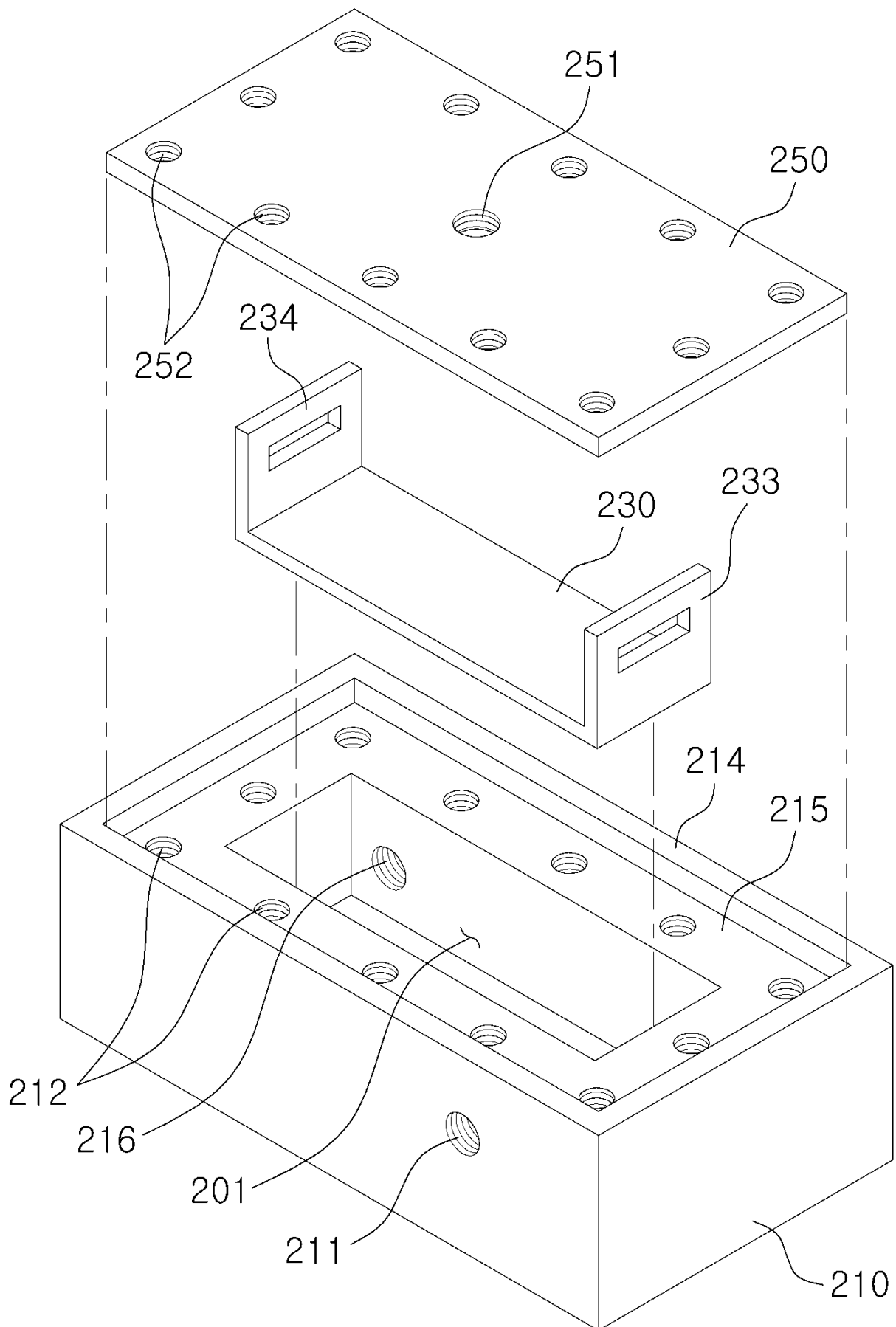
도면2



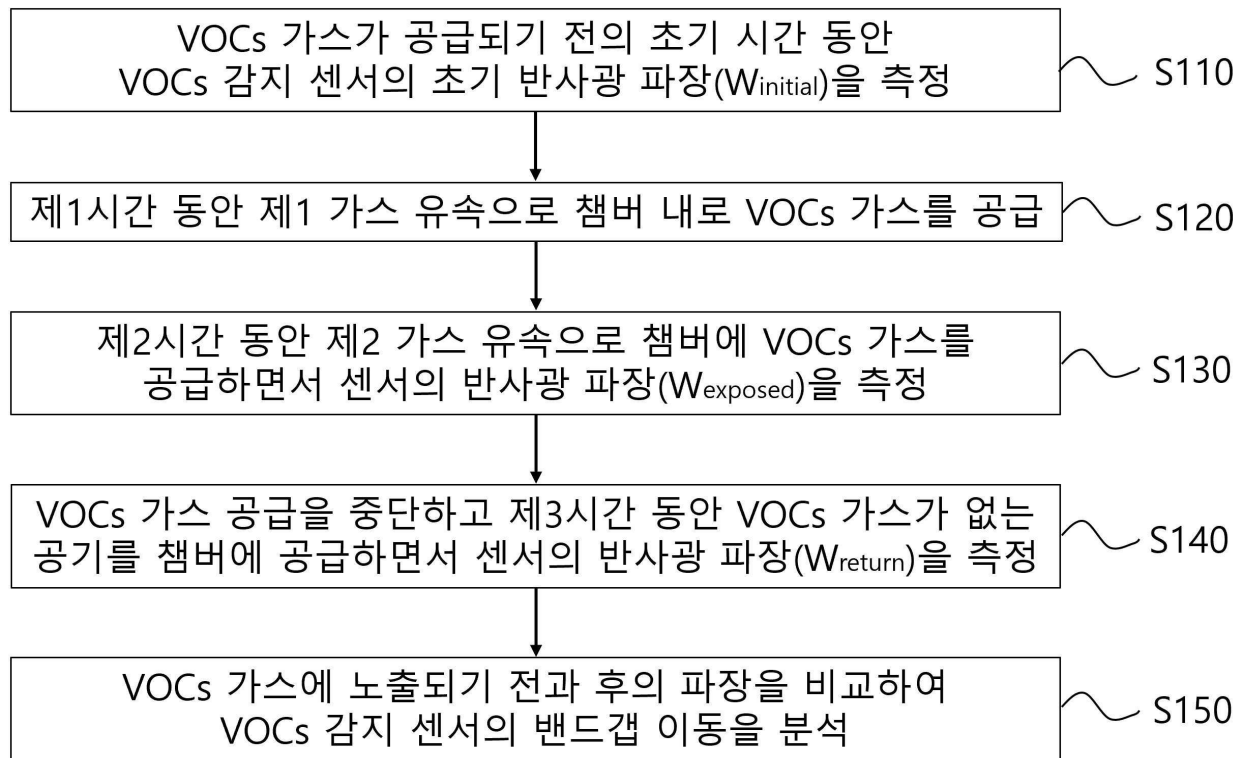
도면3



도면4



도면5



도면6

