



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년01월13일

(11) 등록번호 10-2754937

(24) 등록일자 2025년01월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 21/78 (2006.01) G01N 1/22 (2006.01)

G01N 21/29 (2006.01) G01N 33/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 21/783 (2013.01)

G01N 1/22 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0189864

(22) 출원일자 2023년12월22일

심사청구일자 2023년12월22일

(56) 선행기술조사문헌

JP2008107090 A*

KR1020210004233 A*

US20180120274 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

서지훈

서울특별시 성북구 안암로 145 (안암동5가)

원승현

서울특별시 성동구 마장로39길 43 (마장동, 마장동신성미소지움)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인(유)남아이피그룹, 특허법인 남앤남

전체 청구항 수 : 총 2 항

심사관 : 권상욱

(54) 발명의 명칭 오존 수동식 샘플러 및 오존 농도 측정 방법

(57) 요약

본 발명의 오존 수동식 샘플러는, 오존과 반응하여 변색되는 측정부; 및 상기 측정부와 인접하여 배치되는 색상 가이드부를 포함하고, 상기 색상가이드부는 오존 노출 정도에 따른 색상이 표시된 것을 특징으로 한다.

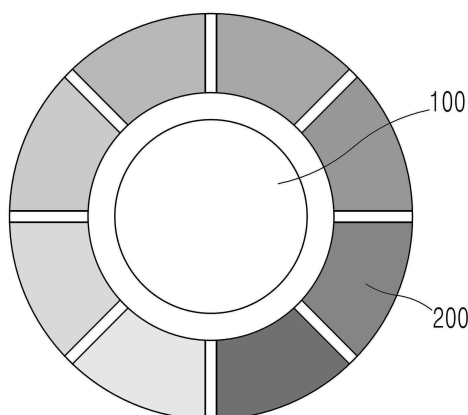
본 발명의 오존 농도 측정 방법은, 오존과 반응하여 변색되는 측정부로부터 RGB 강도 데이터를 취득하는 단계; 상기 RGB 강도 데이터로부터 EA_B 를 도출하는 단계; 및 상기 EA_B 로부터 오존 농도를 하기 식으로부터 계산하는 단계를 포함한다.

$$[O_3] \text{ (ppb, 8hr-avr)} = (EA_B - 0.0052) / (2.845 \times 10^{-3})$$

(여기서, $[O_3]$ (ppb, 8hr-avr)는 8시간 기준 오존 농도 (ppb)이다)

대표도 - 도1

10



(52) CPC특허분류

G01N 21/293 (2013.01)

G01N 33/0039 (2024.05)

(72) 발명자

최혜연

강원특별자치도 강릉시 연당길 75 (초당동, 초당동
부아파트)

손종렬

서울특별시 중구 퇴계로90길 74 (신당동, 래미안신
당하이베르아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1485019302

과제번호 G232021010583

부처명 환경부

과제관리(전문)기관명 한국환경산업기술원

연구사업명 환경기술개발사업

연구과제명 수동채취기를 이용한 제품 사용조건별 유해물질 인체 누적 노출량 측정기술 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 고려대학교 산학협력단

연구기간 2023.01.01 ~ 2023.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

오존과 반응하여 변색되는 측정부로부터 RGB 강도 데이터를 취득하는 단계;

상기 RGB 강도 데이터로부터 EA_B 를 하기 식으로 도출하는 단계; 및

$$EA_B = -\log(X/X_0)$$

(여기서, X는 측정부로부터 취득된 RGB 값 중 B값이고, X_0 는 블랭크 샘플로부터 취득된 RGB 값 중 B값)

상기 EA_B 로부터 오존 농도를 하기 식으로부터 계산하는 단계를 포함하는 오존 농도 측정 방법.

$$[O_3] \text{ (ppb, 8hr-avr)} = (EA_B - 0.0052) / (2.845 \times 10^{-3})$$

(여기서, $[O_3]$ (ppb, 8hr-avr)는 8시간 기준 오존 농도 (ppb)이다)

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 계산하는 단계는,

노출 시간을 반영하는 단계를 더 포함하고,

상기 노출 시간을 반영하는 단계는 하기 식으로부터 계산하는 것을 특징으로 하는 오존 농도 측정 방법.

$$\text{노출시간 평균 오존 노출 농도} = [O_3] \text{ (ppb, 8hr-avr)} \times (8 \text{ h} / T)$$

(여기서, T는 노출시간)

청구항 6

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 오존 수동식 샘플러 및 오존 농도 측정 방법에 관한 것이다. 구체적으로, 오존 농도 노출 수준을 직관적으로 확인할 수 있는 오존 수동식 샘플러 및 정확한 오존 노출 농도를 측정할 수 있는 오존 농도 측정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 사람들이 대부분의 시간을 실내에서 보내기 때문에 실내 공기 산화제에 예기치 않게 노출되면 만성적인 건강 위험이 발생할 수 있다. 오존(O₃)은 실내에서 가장 유해한 기체산화제로, 산화력이 강하고 다양한 실내 환경에서 자주 발생하는 것으로 알려져 있다. 직업안전건강관리청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)은 O₃ 노출에 대한 허용 노출 한계(permissible exposure limit, PEL) 시간 가중 평균(time-weighted average, TWA)을 하루 8시간 근무 동안 100ppb로 설정했지만 종종 간과되고 있는 실정이다. O₃에 대한 직업적 노출은 인쇄소나 세탁실과 같은 산화환원 환경에서 자주 발생한다.
- [0003] 한편, UV-vis 분광학 및 화학 발광과 같은 측정 기술을 통해 실시간으로 오존 농도를 분석할 수 있다. 그러나 이는 높은 비용과 대량 요구 사항으로 인해 특정 실내 공간으로 제한된다. 또한, 측정된 대기 오염 물질 농도와 누적된 인체 노출 사이에는 많은 차이가 존재할 수 있다. 따라서 개인은 실내의 O₃에 예상치 못한 노출로 인해 건강상의 위험에 직면할 수 있으며, 이를 알기는 쉽지 않다.
- [0004] 수동 공기 샘플러(Passive air samplers, PAS)는 공기 질 모니터링, 특히 대기 오염 물질에 대한 장기적이고 누적적인 노출을 평가하기 위한 비용 효율적이고 사용하기 쉬운 접근 방식을 제공한다. 개인은 배지나 브로치 형태로 PAS를 신체에 부착할 수 있어, 주변 오염 농도와 비교하여 호흡기 위험 노출에 대한 더 나은 분석을 제공한다.
- [0005] 흡착제 및 공기 확산을 통해 대기 오염 물질을 직접 흡착하는 다른 PAS와 달리 반응성이 높은 O₃는 측정 전에 O₃를 안정적인 화합물로 포착하기 위해 선택적 시약이 필요하다. 선택적 시약 중 하나인 아질산염(nitrite)은 O₃와 선택적으로 반응하여 질산염을 형성하며, 이는 추출 후 이온 크로마토그래피를 사용하여 정량적으로 측정할 수 있다. 이 방법을 사용하면 정량적 분석이 가능하지만 복잡한 분석 단계로 인해 예상치 못한 노출 사고에 신속하게 대응하기가 어렵다는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명은 상술한 문제를 해결하기 위한 것으로, 간단한 방법으로 오존 노출을 시각적으로 파악할 수 있는 수동식 샘플러 및 이를 이용한 오존 농도 측정 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 발명의 오존 수동식 샘플러는, 오존과 반응하여 변색되는 측정부; 및 상기 측정부와 인접하여 배치되는 색상 가이드부를 포함하고, 상기 색상가이드부는 오존 노출 정도에 따른 색상이 표시된 것을 특징으로 한다.
- [0008] 본 발명의 오존 농도 측정 방법은, 오존과 반응하여 변색되는 측정부로부터 RGB 강도 데이터를 취득하는 단계; 상기 RGB 강도 데이터로부터 EA_B를 도출하는 단계; 및 상기 EA_B로부터 오존 농도를 하기 식으로부터 계산하는 단계를 포함한다.
- [0009]
$$[O_3] \text{ (ppb, 8hr-avr)} = (EA_B - 0.0052) / (2.845 \times 10^{-3})$$
- [0010] (여기서, [O₃] (ppb, 8hr-avr)는 8시간 기준 오존 농도 (ppb)이다)

발명의 효과

- [0011] 본 발명의 오존 수동식 샘플러는 오존 농도를 도출하기 위한 별도의 실험 또는 기기 분석 과정을 생략할 수 있어 간편하고 경제적이다. 또한, 사용자가 오존 노출 수준을 색 변화를 통해 쉽게 알아볼 수 있어, 위험 수준의 노출에 가까워지지 않도록 사전에 예방할 수 있다. 즉, 오존 노출에 따라 측정부의 색상이 변할 경우, 사용자는 색상가이드부와 대조함으로써 빠르게 오존 노출 농도 및 위험성을 파악할 수 있다.
- [0012] 본 발명의 오존 농도 측정 방법은 정확도 높은 오존 농도를 도출할 수 있다. 즉, 실제 노출 시간을 반영한 노출 시간 평균 오존 노출 농도를 도출할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 오존 수동식 샘플러를 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 오존 농도 측정 방법의 흐름도이다.
- 도 3의 (a)는 O_3 노출 전후의 OPS 샘플에서 추출한 o-디아니시딘(O_3 농도 = 100ppb 및 노출 시간 = 8시간)의 사진이고, (b)는 오존 노출 전후에 채취한 추출 용매의 UV-vis 흡광도 스펙트럼이고, (c)는 IPA, 에탄올, 메탄올 및 n-헥산을 포함한 다양한 용매에 용해되는 o-dianisidine의 UV-vis 흡광도 스펙트럼이고, (d)는 다양한 시점에서 OPS로부터의 o-디아니시딘 추출물의 흡광도를 측정한 결과이다.
- 도 4의 (a)는 오존 노출 시간(1, 2, 4, 8시간)을 다양하게 하여 OPS 샘플에서 추출된 반응된 o-디아니시딘의 질량이고, (b)는 8시간 평균 O_3 노출 농도를 기준으로 반응된 o-디아니시딘 질량의 보정 곡선이다.
- 도 5는 OPS 샘플의 사진을 촬영하는 과정에 대한 모식도이다.
- 도 6은 O_3 노출 전후의 OPS 샘플에 대한 OPS 이미지 캡처, 및 RGB 및 Y 강도 처리를 위한 포토 박스에 관한 도면이다.
- 도 7의 (a)는 반응된 o-디아니시딘의 양에 따른 EA_R , EA_G , EA_B 분석 곡선이고, (b)는 ED의 분석 곡선이다.
- 도 8의 (a)는 100ppb 오존 노출에 대한 노출 시간에 따른 색상 변화 구배 및 평균 색상을 보여주고, (b)는 본 발명 OPS가 1시간 및 8시간 동안 100ppb의 오존에 노출된 결과를 보여주고, (c)는 본 발명의 오존 농도 측정 방법을 이용한 애플리케이션의 화면 이미지이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0014] 이하, 본 문서의 다양한 실시예들이 첨부된 도면을 참조하여 기재된다. 실시예 및 이에 사용된 용어들은 본 문서에 기재된 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 해당 실시예의 다양한 변경, 균등물, 및/또는 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0015] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하면 다음과 같다.
- [0017] 본 발명의 다양한 실시예에 따른 오존 수동식 샘플러는, 오존과 반응하여 변색되는 측정부; 및 상기 측정부와 인접하여 배치되는 색상가이드부를 포함하고, 상기 색상가이드부는 오존 노출 정도에 따른 색상이 표시된 것을 특징으로 한다.
- [0018] 구체적으로, 도 1을 참고하면, 본 발명의 오존 수동식 샘플러(10)는 측정부(100) 및 색상가이드부(200)를 포함할 수 있다.
- [0019] 측정부(100)는 오존과 반응하여 변색되는 수동식 샘플러일 수 있다. 구체적으로, 측정부(100)는 PDMS 지지체 및 지지체 상에 코팅된 o-디아니시딘(o-dianisidine)을 포함할 수 있다. 측정부(100)는 오존에 노출 시 노란색으로 변색될 수 있다.
- [0020] 색상가이드부(200)는 측정부(100)에 인접하여 배치될 수 있다. 예를 들면, 도 1에 도시한 바와 같이, 색상가이드부(20)는 측정부(100)를 둘러싸는 형태로 배치될 수 있다. 따라서, 측정부(100)가 오존 노출에 따라 색상이 변할 경우, 사용자는 색상가이드부(200)와 대조함으로써 빠르게 오존 노출 농도 및 위험성을 파악할 수 있다.
- [0021] 색상가이드부(200)는 측정부(100)와 동일한 구성의 샘플을 이용하여 오존 100 ppb농도에서 노출시간에 따라 변색된 색상들로 구성될 수 있다. 색상가이드부(200)를 구성하는 색상들의 개수는 2 개 이상일 수 있다. 예를 들면, 색상가이드부(200)는 오존에 0시간부터 8시간까지 노출 시간에 따라 9가지 색상 변화가 반영된 것일 수 있다.

[0022] 구체적으로, 색상가이드부(200)의 9가지 색상은 하기 RGB 값을 가질 수 있다.

		0 H	1 H	2 H	3 H	4 H	5 H	6 H	7 H	8 H
R	1	201.55	196.518	211.777	205.199	199.175	199.337	211.41	209.159	212.125
	2	201.873	201.951	207.561	213.25	199.832	206.088	202.505	210.525	210.598
	3	204.606	201.495	207.546	210.357	203.675	208.323	201.754	214.446	203.192
	AVG	202.6763	199.988	208.9613	209.602	200.894	204.5827	205.223	211.3767	208.6383
G	1	185.657	176.984	189.37	180.837	169.378	168.148	176.847	166.072	167.089
	2	186.012	182.626	182.738	181.727	168.613	169.504	166.63	171.651	168.776
	3	188.702	179.638	184.849	182.931	177.24	174.914	168.299	173.792	165.239
	AVG	186.7903	179.7493	185.6523	181.8317	171.7437	170.8553	170.592	170.505	167.0347
B	1	159.105	138.312	140.392	130.524	108.074	102.943	102.591	80.29	77.667
	2	158.887	145.133	130.248	116.901	103.563	93.798	90.986	91.353	85.322
	3	159.474	139.957	136.254	126.724	122.201	102.82	100.24	94.263	88.955
	AVG	159.1553	141.134	135.6313	124.7163	111.2793	99.85367	97.939	88.63533	83.98133

[0023]

[0024] 본 발명의 오존 수동식 샘플러는 오존 농도를 도출하기 위한 별도의 실험 또는 기기 분석 과정을 생략할 수 있어 간편하고 경제적이다. 또한, 사용자가 오존 노출 수준을 색 변화를 통해 쉽게 알아볼 수 있어, 위험 수준의 노출에 가까워지지 않도록 사전에 예방할 수 있다.

[0025] 도 2를 참고하여, 본 발명의 다양한 실시예에 따른 오존 농도 측정 방법을 설명한다.

[0026] 본 발명의 오존 농도 측정 방법은, 오존과 반응하여 변색되는 측정부로부터 RGB 강도 데이터를 취득하는 단계(S100); 상기 RGB 강도 데이터로부터 EA_B 를 도출하는 단계(S200); 및 상기 EA_B 로부터 오존 농도를 계산하는 단계(S300)를 포함할 수 있다.

[0027] 먼저, RGB 강도 데이터를 취득하는 단계(S100)에서는 상술한 오존 수동식 샘플러의 측정부로부터 RGB 강도 데이터를 취득할 수 있다. 예를 들면, 측정부를 포토 박스의 샘플 홀더에 올려둔 후 다양한 카메라 장치를 이용하여 촬영하고, 이미지 분석 프로그램 Image J를 이용하여 RGB 값을 취득할 수 있다.

[0028] 다음으로, EA_B 를 도출하는 단계(S200)에서는, 상기 RGB 강도 데이터 중 B 값을 이용하여 도출할 수 있다. 구체적으로, 하기 식으로부터 도출할 수 있다.

[0029] 하기 식으로부터 도출하는 것을 특징으로 하는,

[0030] $EA_B = -\log(X/X_0)$

[0031] (여기서, X는 측정부로부터 취득된 RGB 값 중 B값이고, X_0 는 블랭크 샘플로부터 취득된 RGB 값 중 B값)

[0032] 이때, 블랭크 샘플로부터 취득된 RGB 값은 다음과 같을 수 있다.

Sample	Label	Value
blank	Red	205.053
	Green	190.4
	Blue	161.085
	(R+G+B)/3	185.562
	0.299R+0.587G+0.114B	191.419

[0033]

[0034] 다음으로 EA_B 로부터 오존 농도를 계산하는 단계(S300)에서는, 하기 식을 이용하여 계산할 수 있다.

[0035] $[O_3] \text{ (ppb, 8hr-avr)} = (EA_B - 0.0052) / (2.845 \times 10^{-3})$

[0036] (여기서, $[O_3] \text{ (ppb, 8hr-avr)}$ 는 8시간 기준 오존 농도 (ppb)이다)

[0037] 한편, 계산하는 단계(S300)는, 노출 시간을 반영하는 단계를 더 포함할수있다. 구체적으로, 노출 시간을 반영하

는 단계는 하기 식으로부터 계산할 수 있다.

[0038] 노출시간 평균 오존 노출 농도 = $[O_3] \text{ (ppb, 8hr-avr)} \times (8 \text{ h} / T)$

[0039] (여기서, T는 노출시간)

[0040] 본 발명의 오존 농도 측정 방법은 정확도 높은 오존 농도를 도출할 수 있다. 또한, 실제 노출 시간을 반영한 노출시간 평균 오존 노출 농도를 도출할 수 있다.

[0042] 이하, 본 발명은 실시예 및 실험예에 의해서 상세히 설명한다. 단, 하기 실시예 및 실험예는 본 발명을 예시하기 위한 것일 뿐 본 발명이 하기 실시예 및 실험예에 의해서 한정되는 것은 아니다.

[0044] **실시예: 오존 수동식 샘플러(ozone passive sampler, OPS) 제조**

[0045] o-디아니시딘(o-dianisidine)을 톨루엔에 0.5 g/L 농도로 용해시켜 코팅제를 제조하였다. PDMS 시트를 1.5 x 1.5 cm² 크기의 조각으로 자르고 n-헥산과 메탄올로 세척했다. 이후, PDMS 지지체를 코팅 시약에 24시간 동안 담근 후 60° C에서 2시간 동안 건조시켰다. 표면의 결합되지 않은 o-디아니시딘을 제거하기 위해 PDMS 지지체를 메탄올로 세척했다. 다음으로, 최종 제품인 OPS를 진공 배에 밀봉하여 사용할 때까지 무결성을 유지했다.

[0046] **실험예 1: o-dianisidine 반응량과 오존 농도와의 관계 확인**

[0047] OPS에서 반응된 O₃의 양을 정량화하려면 o-디아니시딘과 그 산화된 형태가 OPS에서 일차적으로 추출되어야 한다. PDMS 지지체로부터 추출한 후 얻은 산화된 o-디아니시딘의 흡광도를 측정했다. 도 3의 (a)를 참고하면, 추출된 용액은 뚜렷한 색상 변화를 나타내어 오존 노출로 인해 산화된 분자를 정량화할 수 있음을 알 수 있다.

[0048] 도 3의 (b)를 참고하면, o-디아니시딘 자체는 UV 영역에서 강한 흡수를 나타내며 305 nm에서 피크를 나타낸다. 또한, O₃와 반응 후 o-디아니시딘의 최대 흡광도($\lambda_{\max} = 305 \text{ nm}$)가 감소하는 것을 확인하였다. 반면, 산화된 o-디아니시딘의 최대 흡수 파장대인 425nm의 흡광도는 증가하였다.

[0049] 한편, 높은 추출 수율을 달성하기 위해서는 추출 용매의 종류와 추출 기간이 중요한 요소다. 따라서, 도 3의 (c)를 참고하면, IPA, 에탄올, 메탄올, n-헥산을 이용하여 o-디아니시딘 추출을 위한 최적의 용매를 확인하였다. 그 결과, IPA를 사용하여 추출한 용액은 305 nm에서 가장 높은 흡광도 피크를 나타내어, IPA가 o-디아니시딘 추출을 위한 최적의 용매로 확인되었다.

[0050] 또한, 도 3의 (d)를 참고하면, o-디아니시딘 추출 정도는 시간 경과에 따른 흡광도를 모니터링하여 평가되었으며, 8시간 이후에는 흡광도가 크게 증가하지 않았다. 따라서 반응된 OPS 샘플을 8시간 동안 추출하여 평균 O₃ 노출에 따른 OPS의 정량적 보정을 가능하게 했다.

[0051] OPS의 보정은 O₃ 노출을 시뮬레이션하는 데 사용된 아크릴 챔버에서 수행되었다. 약 8시간의 허용 작업 시간 동안 실내 공기 환경을 유지하기 위해 챔버 내 O₃ 농도를 0에서 200ppb까지 변화시켰다. OPS 샘플은 O₃의 농도와 노출 시간을 변화시켜 O₃와 반응한 다음 흡수를 통해 반응된 o-디아니시딘을 정량화하기 위해 추출되었다.

[0052] 이때, o-디아니시딘의 양은 샘플에서 IPA를 이용하여 추출 후 UV-vis spectrometer로 추출액의 흡광도를 측정하고, 반응량은 o-디아니시딘 최대 흡광파장 ($\lambda_{\max} = 305 \text{ nm}$)에서의 흡광도 감소량을 통해 결정하였다.

[0053] 도 4의 (a)를 참고하면, 반응된 o-디아니시딘의 양은 고정 농도의 O₃(50, 100, 200ppb)에서 노출 시간이 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 마찬가지로, 반응된 o-디아니시딘의 양은 고정된 반응 시간(1, 2, 4, 8시간)에서 O₃ 농도가 증가함에 따라 선형적으로 증가함을 확인하였다. 따라서, 반응된 o-디아니시딘의 양에 따라 누적된 O₃ 노출을 얻고 TWA 기반 오존 노출에 대한 OPS를 정확하게 보정하는 것이 가능함을 알 수 있다.

[0054] 도 4의 (b)를 참고하면, TWA 기반 O₃ 노출(O₃[ppb, 8hr-avr])에 따른 OPS 시료에서 추출된 반응된 o-디아니시딘의 질량에 대한 검량선이 확립되어 강한 상관관계를 보였다($R^2 = 0.997$). 평균 노출 시간은 TWA의 일일 평균 근무 시간인 8시간으로 설정되었다. 반응된 o-디아니시딘과 O₃ 노출 사이의 관계는 하기 방정식 1로 요약할 수 있다. 따라서 일일 평균 O₃ 노출은 반응된 o-디아니시딘의 질량과 파생된 방정식을 사용하여 결정할 수 있다.

[0055] [방정식 1]

[0056] $\text{o-Dianisidine } (\mu\text{g}) = 0.313 \times [\text{O}_3] (\text{ppb}, 8\text{hr-avr})$

[0057] **실험예 2: 시각화 처리 과정**

[0058] 외부 추출 없이 OPS에서 O_3 노출 수준을 직접 결정하기 위해 다양한 오존 농도와 노출 시간(0~200ppb 범위, 최대 8시간)에 노출된 OPS 샘플을 도 5 및 도 6에 도시한 상자에 넣고, 이미지를 캡처하여 비색 매개변수(colorimetric parameters)를 얻었다. RGB 강도에서 파생된 EA, Y 강도 및 ED를 포함하여 5가지 서로 다른 비색 매개변수가 계산되었다. 실시예에 따른 o-dianisidine 기반 OPS에 적합한 시각화 표준을 설정하기 위한 가장 정확한 매개변수를 식별하기 위해 매개변수를 비교했다.

[0059] 한편, RGB 강도는 이미지 분석 프로그램 Image J를 이용해 샘플의 평균 RGB 값을 측정하였다. 구체적으로, [Polygon selections], [Plugins] - [Analyze] - [RGB Measure] 기능을 활용하였다.

[0060] 측정된 RGB 강도 데이터로부터 EA는 하기 수식 1에 따라 도출하였다.

[0061] $\text{EA}_X = -\log(X/X_0)$

[0062] ($X = \text{R, G or B of samples}$, $X_0 = \text{R, G or B of blank}$)

[0063] 이때, blank의 RGB 값은 하기 표 1과 같았다.

표 1

[0064]

Sample	Label	Value
blank	Red	205.053
	Green	190.4
	Blue	161.085
	(R+G+B)/3	185.562
	$0.299\text{R}+0.587\text{G}+0.114\text{B}$	191.419

[0065] 또한, 오존 100 ppb 노출시간에 따른 RGB 값은 하기 표 2와 같았다.

표 2

[0066]

		0 H	1 H	2 H	3 H	4 H	5 H	6 H	7 H	8 H
R	1	201.55	196.518	211.777	205.199	199.175	199.337	211.41	209.159	212.125
	2	201.873	201.951	207.561	213.25	199.832	206.088	202.505	210.525	210.598
	3	204.606	201.495	207.546	210.357	203.675	208.323	201.754	214.446	203.192
	AVG	202.6763	199.988	208.9613	209.602	200.894	204.5827	205.223	211.3767	208.6383
G	1	185.657	176.984	189.37	180.837	169.378	168.148	176.847	166.072	167.089
	2	186.012	182.626	182.738	181.727	168.613	169.504	166.63	171.651	168.776
	3	188.702	179.638	184.849	182.931	177.24	174.914	168.299	173.792	165.239
	AVG	186.7903	179.7493	185.6523	181.8317	171.7437	170.8553	170.592	170.505	167.0347
B	1	159.105	138.312	140.392	130.524	108.074	102.943	102.591	80.29	77.667
	2	158.887	145.133	130.248	116.901	103.563	93.798	90.986	91.353	85.322
	3	159.474	139.957	136.254	126.724	122.201	102.82	100.24	94.263	88.955
	AVG	159.1553	141.134	135.6313	124.7163	111.2793	99.85367	97.939	88.63533	83.98133

[0067] 상기 수식 1로부터 계산한 EA_{RGB} 값은 하기 표 3과 같다.

표 3

		0 H	1 H	2 H	3 H	4 H	5 H	6 H	7 H	8 H
EA _R	1	0.007483 325	0.018463 792	- 0.014012 664	- 0.000309 112	0.012631 302	0.012278 21	- 0.013259 399	- 0.008610 429	- 0.014725 728
	2	0.006787 891	0.006620 12	- 0.005279 627	- 0.017022 912	0.011201 093	- 0.002186 577	0.005430 377	- 0.011437 548	- 0.011588 115
	3	0.000947 762	0.007601 854	- 0.005248 24	- 0.011090 841	0.002928 403	- 0.006871 094	0.007043 974	- 0.019451 822	0.003959 522
	AVG	0.005072 993	0.010895 255	- 0.008180 177	- 0.009474 289	0.008920 266	0.001073 513	- 0.000261 683	- 0.013166 6	- 0.007451 44
EA _G	1	0.010955 616	0.031732 938	0.002355 765	0.022379 65	0.050809 944	0.053975 238	0.032069 247	0.059370 528	0.056719 084
	2	0.010125 982	0.018104 337	0.017838 077	0.020247 487	0.052775 889	0.050486 993	0.057913 75	0.045020 606	0.052356 254
	3	0.003890 441	0.025268 733	0.012849 839	0.017379 636	0.031105 203	0.036842 373	0.053585 409	0.039637 163	0.061554 386
	AVG	0.008324 013	0.025035 336	0.011014 56	0.020002 258	0.044897 012	0.047101 534	0.047856 135	0.048009 432	0.056876 575
EA _B	1	0.005371 274	0.066195 24	0.059712 74	0.091364 727	0.173333 876	0.194458 281	0.195945 838	0.302393 644	0.316818 571
	2	0.005966 736	0.045288 929	0.092284 038	0.139236 875	0.191850 479	0.234861 523	0.248080 529	0.246332 287	0.275994 074
	3	0.004365 214	0.061060 477	0.072705 841	0.104196 229	0.119980 342	0.194977 502	0.206014 043	0.232713 844	0.257884 737
	AVG	0.005234 408	0.057514 882	0.074900 873	0.111599 277	0.161721 565	0.208099 102	0.216680 137	0.260479 925	0.283565 794

이로부터 반응된 o-디아니시딘의 양에 따른 EA_R, EA_G, EA_B의 분석 곡선(도 7의 (a)) 및 ED 분석 곡선(도 7의 (b))을 구축하였다. 다른 비색 매개변수와 비교하여 EA_B와 ED는 반응된 o-dianisidine 질량과 우수한 상관 계수를 나타냈다(각각 R² = 0.997 및 0.994). EA_B의 분석 민감도는 ED의 분석 민감도보다 약간 높다. O₃와 반응한 후 OPS가 노란색으로 변하는 것이 파란색과 보색적인 점을 고려하면 EA_B가 가장 잘 맞는 것으로 나타났다. EA_B와 반응된 o-dianisidine 사이의 관계는 하기 방정식 2로 설명된다.

[방정식 2]

$$EA_B = 0.00909 \times \text{o-Dianisidine } (\mu\text{g}) + 0.0052$$

앞서 방정식 1에서 o-dianisidine과 O₃ 노출 사이의 관계를 측정했기 때문에 OPS의 시각화는 TWA 기반 O₃ 노출로 해석될 수 있다. 따라서, O₃ 노출 측정에 사용되는 알려지지 않은 OPS를 측정할 때 추출 없이 하기 방정식 3을 사용하여 TWA 기반의 평균 O₃ 노출을 도출할 수 있다.

[방정식 3]

$$[O_3] \text{ (ppb, 8hr-avr)} = (EA_B - 0.0052) / (2.845 \times 10^{-3})$$

한편, 시간 노출과 실제 노출 시간을 비교하기 위해 하기 방정식 4로 변환할 수 있다.

[방정식 4]

$$\text{노출시간 평균 오존 노출 농도} = [O_3] \text{ (ppb, 8hr-avr)} \times (8 \text{ h} / T)$$

(여기서, [O₃] (ppb, 8hr-avr)는 8시간 기준 오존 농도 (ppb)이고, T는 노출시간 또는 작업시간 (h, min)이다)

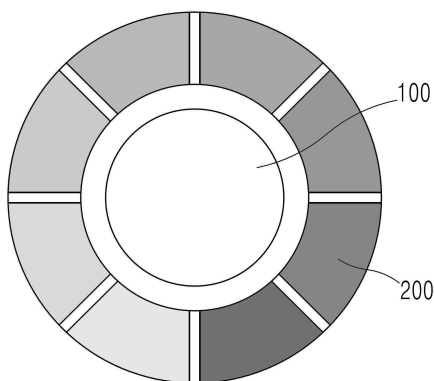
실험예 3: OPS 색상변화도 구축

- [0082] 앞서 확인한 바와 같이, OPS의 색상 변경을 통해 사용자는 O₃ 노출 수준을 직관적으로 알 수 있다. 비색 처리를 통해 노출 수준에 선형적으로 대응하는 색상 신호를 생성할 수 있다.
- [0083] 도 8의 (a)를 참고하면, 챔버 테스트 중 OPS에서 얻은 RGB 데이터를 바탕으로 오존 농도 100 ppb에 대한 평균 색상을 보정 후 표현하였으며($RGB_{corrected} = RGB_{measured} / RGB_{PDMS} \times 255$), 0시간부터 8시간까지 노출 시간에 따라 정리하였다.
- [0084] 또한, 평균 색상을 이용하여 제작한 색상변화도를 제시하여 착색과정을 보여주었다. OPS는 착색 지침을 제시하고 육안으로 색상 그라데이션의 색상을 비교하여 개인이 평균 O₃ 노출을 인식하는 데 도움이 될 수 있다.
- [0085] 도 8의 (b)를 참고하면, 변색을 노출 지침으로 사용하기 위해 원형 OPS를가 제작하였다. 색상 그라데이션을 노출 가이드라인으로 활용하기 위해 색상 가이드라인이 포함된 배지형 OPS를 설계했다. 착색 지침에는 100ppb 농도의 O₃ 노출에 대해 1시간부터 8시간까지 8가지 노출 수준이 있으며, 6시 위치의 가장 밝은 색상은 1시간 노출을 나타내며 노출 시간은 시계 방향으로 증가한다. 따라서 사용자는 작업 시간에 따른 착색 가이드라인을 비교하여 자신의 노출 수준을 쉽게 평가할 수 있다.
- [0086] 도 8의 (c)를 참고하면, 보다 정확하게 RGB를 분석하는 모바일 애플리케이션(앱)을 구축하였다. 사용자는 스마트폰으로 OPS 이미지를 촬영하고 노출 시간을 앱에 입력하면 RGB 값을 분석하여 지정된 시간 동안의 시간 평균 오존 노출 농도를 계산한다. 농도가 100ppb를 초과하면 앱에 "DANGER"이 표시되고, 다른 경우에는 "SAFE"이 표시될 수 있다. 이를 통해, 사용자는 직관적으로 오존 노출에 따른 위험도를 판단할 수 있다.
- [0088] 상술한 실시예에 설명된 특징, 구조, 효과 등은 본 발명의 적어도 하나의 실시예에 포함되며, 반드시 하나의 실시예에만 한정되는 것은 아니다. 나아가, 각 실시예에서 예시된 특징, 구조, 효과 등은 실시예들이 속하는 분야의 통상의 지식을 가지는 자에 의하여 다른 실시예들에 대해서도 조합 또는 변형되어 실시 가능하다. 따라서 이러한 조합과 변형에 관계된 내용들은 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.
- [0089] 또한, 이상에서 실시예들을 중심으로 설명하였으나 이는 단지 예시일 뿐 본 발명을 한정하는 것이 아니며, 본 발명이 속하는 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 실시예의 본질적인 특성을 벗어나지 않는 범위에서 이상에 예시되지 않은 여러 가지의 변형과 응용이 가능함을 알 수 있을 것이다. 예를 들어, 실시예들에 구체적으로 나타난 각 구성 요소는 변형하여 실시할 수 있는 것이다. 그리고 이러한 변형과 응용에 관계된 차이점들은 첨부한 청구 범위에서 규정하는 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

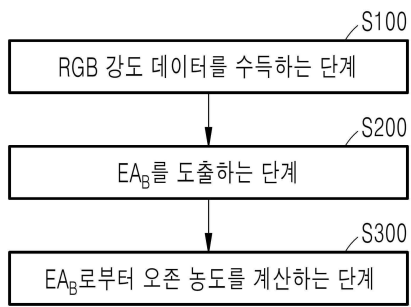
도면

도면1

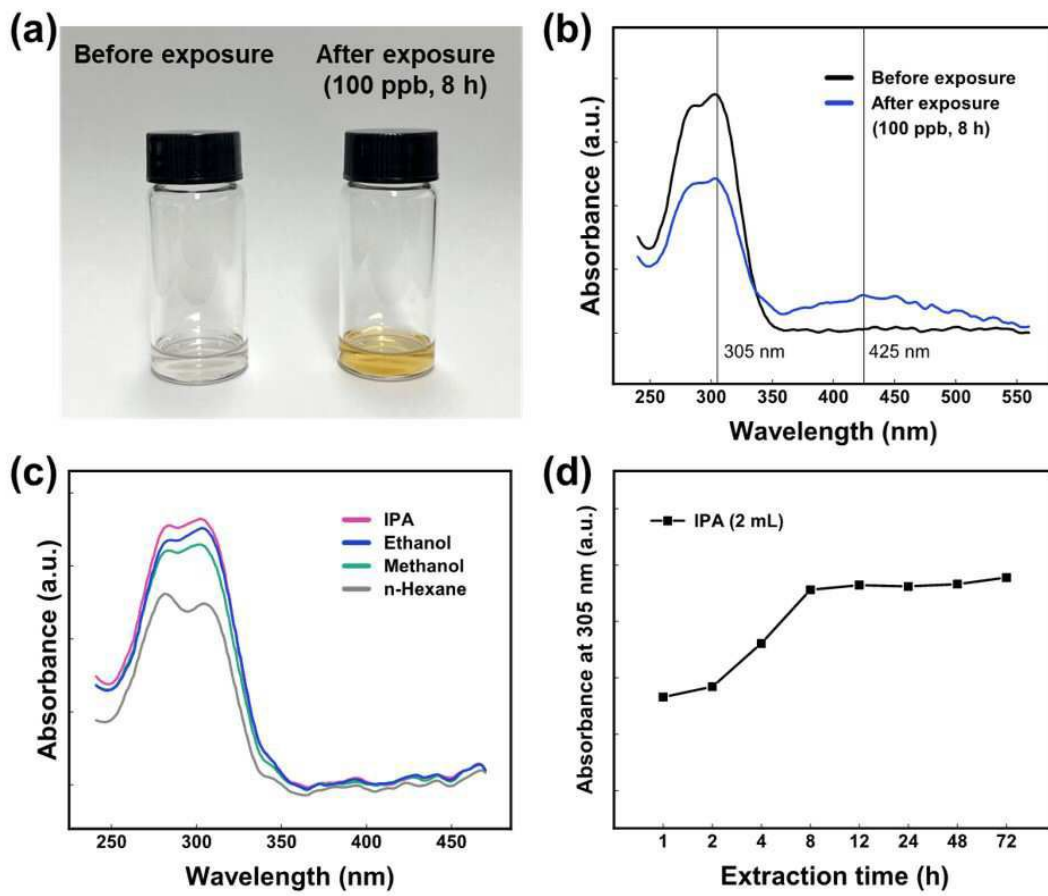
10



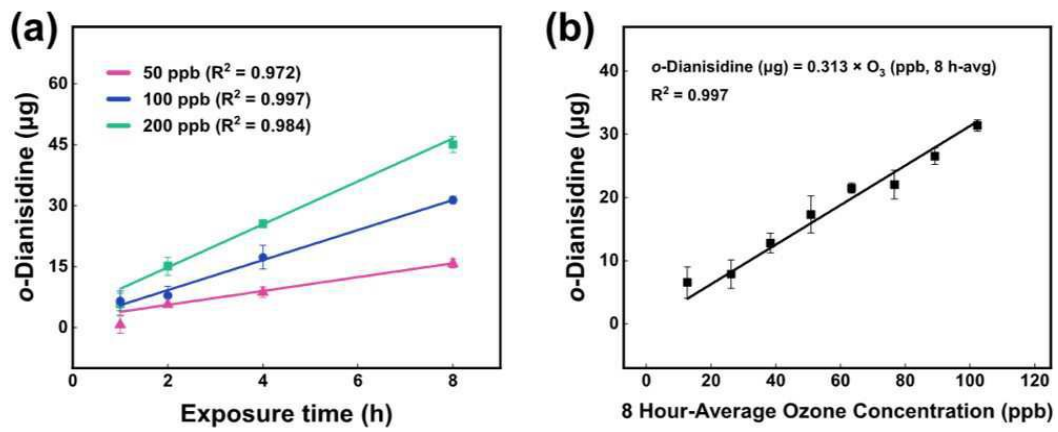
도면2



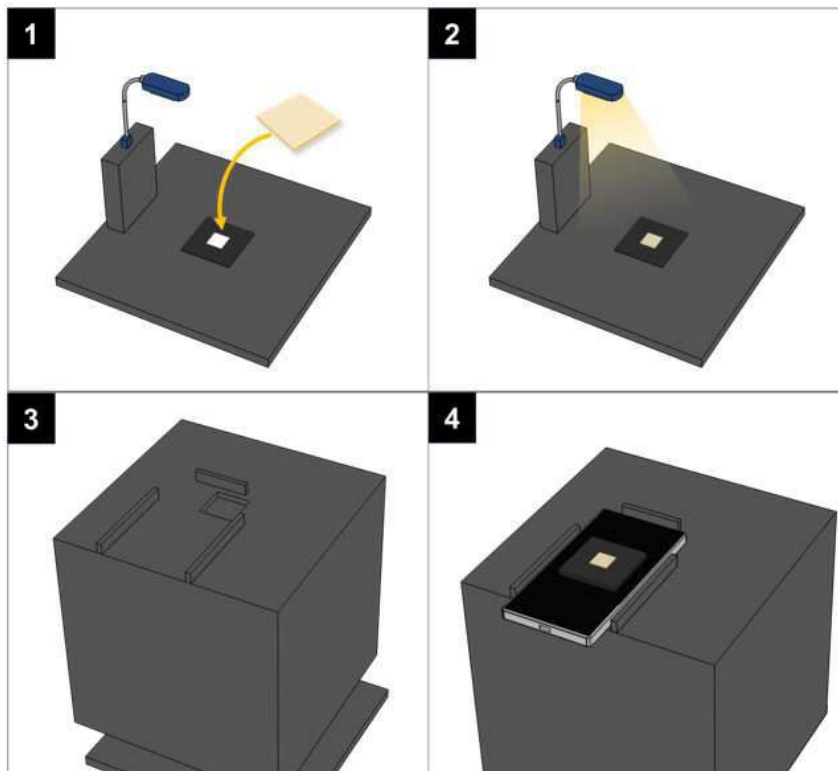
도면3



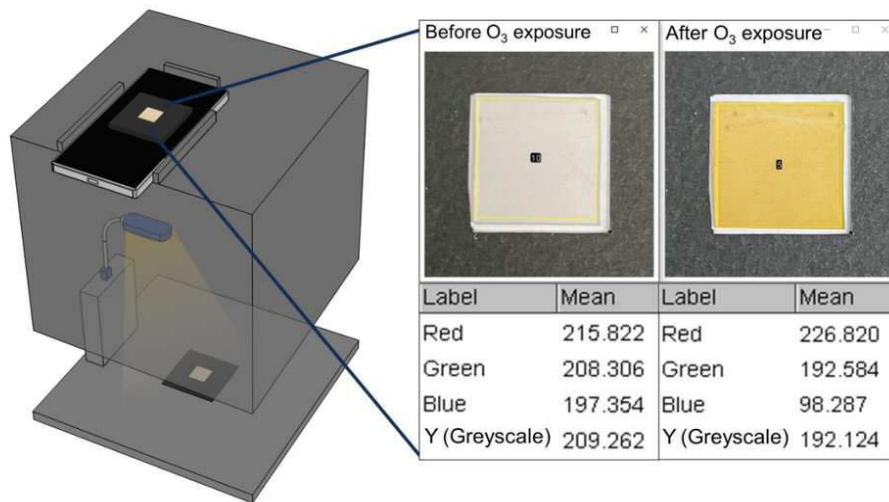
도면4



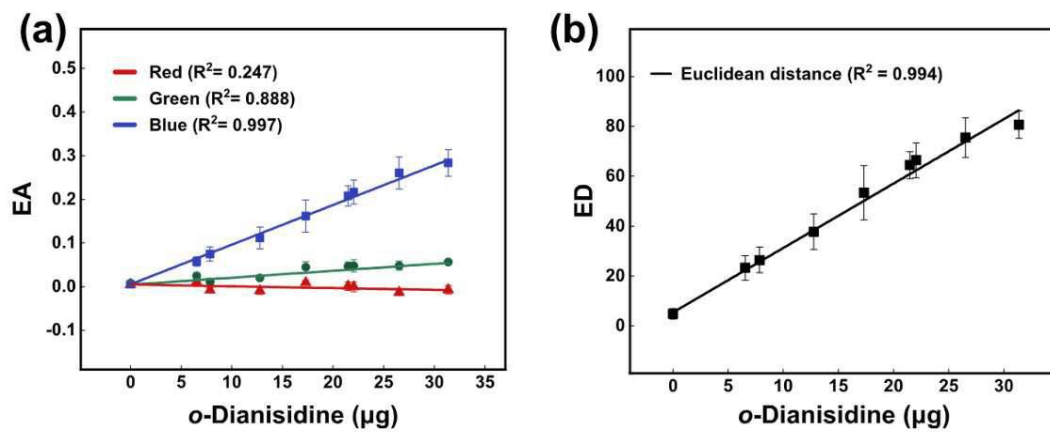
도면5



도면6



도면7



도면8

