



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0116178
(43) 공개일자 2016년10월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01J 19/08 (2015.01) B01D 53/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B01J 19/087 (2013.01)
B01D 53/32 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0042511
(22) 출원일자 2015년03월26일
심사청구일자 2015년03월26일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
박현우
인천광역시 남구 매소홀로309번길 32 103동 1705호 (학익동, 엑슬루타워아파트)
박동화
서울특별시 서초구 잠원로 88 (잠원동, 신반포한신아파트) 303동 204호
윤형준
인천광역시 연수구 먼우금로83번길 12 119동 508호 (동춘동, 건영아파트)
(74) 대리인
이원희

전체 청구항 수 : 총 10 항

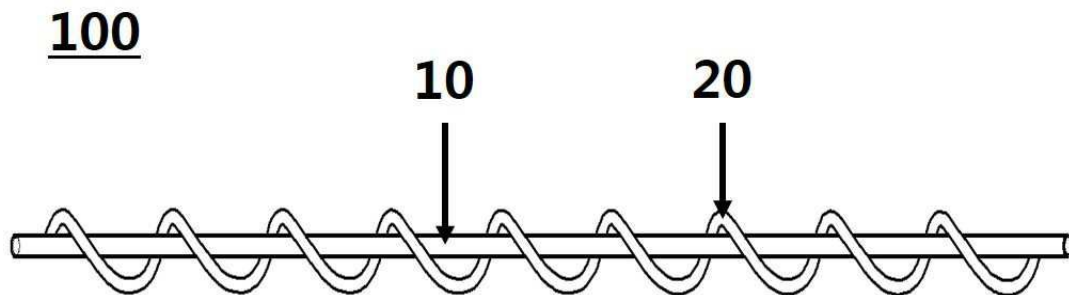
(54) 발명의 명칭 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 반응 장치 및 이를 이용한 휘발성 유기 화합물의 제거방법

(57) 요약

본 발명은 유전체 반응관; 상기 유전체 반응관 내부에 위치하고, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제1 전극; 및 상기 유전체 반응관 외부에 둘러싸고 있으며, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제2 전극;을 포함하는 휘발성 유기 화합물(volatile organic compounds, VOCs) 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치를 제공한

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



다. 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치는 전극으로 금속 선을 사용하고, 이를 반응관 외주면에 감아 사용할 수 있기 때문에 반응기 설계에 용이하다. 또한, 금속 선 외주면에 절연체 층을 포함하고, 특히 실리콘 고무를 절연체 층으로 사용하는 경우 열충격과 전자충돌에 강한 내성을 가지고, 저온플라즈마에 의해 형성된 라디칼과 2 차 반응 및 오존거와 산화 반응에 대한 저항력이 우수하며 적절한 인장강도, 우수한 내구성 및 높은 절연상수를 지녀 방전 지속성을 향상시킬 수 있다. 이에 따라, 우수한 휘발성 유기 화합물 제거 효율을 나타낼 수 있다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	50113-1
부처명	산업통상자원부
연구관리전문기관	한국산업기술진흥원
연구사업명	지역혁신센터(RIC)
연구과제명	질소산화물과 황산화물 동시제거를 위한 플라즈마 공정 개발
기 여 율	1/1
주관기관	인하대학교 산학협력단
연구기간	2014.03.01 ~ 2015.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

유전체 반응관;

상기 유전체 반응관 내부에 위치하고, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제1 전극; 및

상기 유전체 반응관 외부에 둘러싸고 있으며, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제2 전극;을 포함하는 휘발성 유기 화합물(volatile organic compounds, VOCs) 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 유전체 반응관은 석영, 테프론, 산화알루미늄, 산화마그네슘, 산화아연, 란타넘 알루미늄에이트(Lanthanum Aluminate, LaAlO_3), 질화보론(BN), 지르코늄(ZrO) 및 질화알루미늄(AlN)으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 유전체로 형성된 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 금속 선은 구리 선인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 절연체 층은 실리콘 고무인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치는 제1 전극 및 제2 전극에 전압을 인가하기 위한 전원 공급 장치를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 전원 공급 장치는 교류 전원을 공급하며, 상기 교류 전원 주파수가 15 kHz 내지 100 kHz인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치는 유전체 반응관으로 휘발성 유기 화합물을 주입하기 위한 제1 주입관 및 공기를 주입하기 위한 제2 주입관을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치.

청구항 8

유전체 반응관; 상기 유전체 반응관 내부에 위치하고, 금속 선 일측면 또는 외주면에 절연체 층이 형성된 제1 전극; 및 상기 유전체 반응관 외부에 감겨있으며, 금속 선 일측면 또는 외주면에 절연체 층이 형성된 제2 전극;을 포함하는 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치의 제1 전극 및 제2 전극에 전압을 인가하여 플라즈마를 발생시키는 단계(단계 1); 및

상기 단계 1에서 플라즈마가 발생한 유전체 반응관 내로 휘발성 유기 화합물을 주입하여 휘발성 유기 화합물을 제거하는 단계(단계 2);를 포함하는 휘발성 유기 화합물의 제거방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 단계 1에서 제1 전극 및 제2 전극에 인가하는 전압은 5 kV 내지 30 kV인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물의 제거방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 단계 2의 휘발성 유기 화합물 주입 속도는 3.0 mg/h 내지 20 mg/h인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물의 제거방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 반응 장치 및 이를 이용한 휘발성 유기 화합물의 제거방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 유해한 대기 오염 물질인 휘발성 유기 화합물, 악취, 황화수소, 불화탄소 등은 강한 화학 결합을 이루고 있는 안정한 화합물이다. 종래에 이용되고 있는 처리 방법으로는 고온 소각 방법, 플라즈마 분해 방법, 촉매 분해 방법, 광촉매 산화 방법 등이 알려져 있다.

[0003] 플라즈마 분해 방법의 구체적인 일례로써, 대한민국 등록특허 제10-0030042호에는 고주파 방전 플라즈마를 이용하는 분해 방법이 개시된 바 있으며, 대한민국 등록특허 제10-0347746호에는 고온 플라즈마 토치를 이용하는 휘발성 유기 화합물 제거방법이 개시된 바 있다. 그러나, 고온 플라즈마 토치의 경우 대기압에서 운전이 가능하며 유해물질이 빠르게 분해되는 특징이 있으나, 플라즈마 상태의 중심부 최고 온도가 무려 10,000 K에 달하므로 기체 온도를 높이는 데 많은 전력이 소비되고, 전극 부식 속도가 매우 빠르며, 다량의 유해 부산물이 발생하는 문제점이 있다. 또한, 고주파 방전 플라즈마는 마이크로웨이브 (microwave)나 라디오파 (RF)와 같은 고주파를 이용하여 플라즈마를 발생시키는 방식으로, 전력소비가 크며, 플라즈마 발생공간을 진공으로 유지시켜야 하므로 진공유지에 많은 에너지가 소비된다.

- [0004] 한편, 저온 플라즈마의 일종으로 유전체 장벽 방전(Dielectric barrier discharge)은 일반적으로 두 개 이상의 전극과 유전체로 구성되어 있다. 또한 유전체 장벽은 전극 사이에 존재하여 플라즈마 발생 시 전자가 유전체를 통과하여 반대쪽 전극으로 이동하는 형태로 구성되어 있다. 따라서 유전체가 존재함으로 일반적인 저온 플라즈마인 코로나 방전 (Corona discharge), 펄스 코로나 방전 (Pulsed corona discharge), 글로우 방전 (Glow discharge)과 비교하여 높은 전압과 전류를 이용하여 플라즈마를 발생시킬 수 있다. 일반적으로 비평형 유전체 장벽 방전에서는 대기압 상태에서 전자 온도가 약 10^4 - 10^5 K 이다.
- [0005] 유전체 장벽 방전(DBD: Dielectric Barrier Discharge)에서 유전체 장벽은 대기압에서 고출력 방전을 발생시킬 수 있으며, 또한 복잡한 펄스 전력 공급기가 없어도 되기 때문에 산업체에서 널리 이용되고 있으며, 특히 오존 발생, CO₂ 레이저, 자외선 광원, 오염물질 처리 등에 널리 응용되고 있다.
- [0006] 이러한 유전체 장벽 방전은 국부적으로 파동이나 잡음을 일으키는 방전이 존재하지 않기 때문에 조용한 방전 (Silence Discharge)이라고 부르기도 한다. 방전은 사인함수 혹은 펄스 형의 전원으로 점화된다. 작동 가스의 조성, 전압 및 주파수에 따라 방전은 필라멘트 형태 혹은 글로우 형태가 된다. 필라멘트 형태의 방전은 유전체 층의 표면에서 발달하는 마이크로 방전 또는 스트리머(Streamer)에 의해 만들어진다.
- [0007] 이때, 유전체 층의 역할은 반전 전류를 차단하고 아크로의 전이를 피할 수 있게 하여 연속되는 펄스 모드에서 작업을 가능하게 하고, 유전체 표면에 전자가 축적되어 표면에 무작위로 스트리머를 배분하여 균일한 방전을 유도하는 것이다.
- [0008] 상기 유전체 장벽 방전(DBD: Dielectric Barrier Discharge)은 아래와 같이 여러 가지 변형이 존재한다.
- [0009] 연면방전(Surface Discharge)은 세라믹 판의 표면에 은 등의 금속전극을 설치하고, 세라믹 판 내부에 판상의 대응전극을 설치하여 두 전극 사이에 교류전압을 인가하면, 세라믹 판 위의 줄무늬 모양의 전극 주위에 불꽃 방전 (Glow Discharge)이 발생된다. 이 방전은 방전시 소음이 발생 되어 후술하는 무성방전(Silence Discharge)과 구별된다.
- [0010] 무성방전(Silence Discharge, Volume Discharge)은, 전형적인 유전체 장벽의 전극 구조로서 평행한 전극 사이에 한 쪽 또는 양쪽 전극에 유리 등의 절연물을 끼워 간격을 수 mm 로 하고, 교류전압을 인가하면 불꽃 방전 (glow discharge)을 일으키지 않고 펄스상의 작은 방전이 무수히 발생한다. 이를 무성방전이라 하고 활성이온 발생으로 인한 유해가스 제거 등 산업분야에 많이 응용되고 있다.
- [0011] 이에, 본 발명자들은 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치에 대하여 연구하던 중, 유전체 반응관 내부에 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제1 전극이 위치하고, 유전체 반응관 외부에 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제2 전극이 둘러싸는 형태의 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치를 개발하였으며, 이를 이용하여 휘발성 유기 화합물을 제거함에 있어서 우수한 제거 효율을 나타내는 것을 확인하고 본 발명을 완성하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명의 목적은 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 반응 장치 및 이를 이용한 휘발성 유기 화합물의 제거방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0013] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은

- [0014] 유전체 반응관;
- [0015] 상기 유전체 반응관 내부에 위치하고, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제1 전극; 및
- [0016] 상기 유전체 반응관 외부를 둘러싸고 있으며, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제2 전극;을 포함하는 휘발성 유기 화합물(volatile organic compounds, VOCs) 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치를 제공한다.
- [0017] 또한, 본 발명은
- [0018] 유전체 반응관; 상기 유전체 반응관 내부에 위치하고, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제1 전극; 및 상기 유전체 반응관 외부를 둘러싸고 있으며, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제2 전극;을 포함하는 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치의 제1 전극 및 제2 전극에 전압을 인가하여 플라즈마를 발생시키는 단계(단계 1); 및
- [0019] 상기 단계 1에서 플라즈마가 발생한 유전체 반응관 내로 휘발성 유기 화합물을 주입하여 휘발성 유기 화합물을 제거하는 단계(단계 2);를 포함하는 휘발성 유기 화합물의 제거방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0020] 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치는 전극으로 금속 선을 사용하고, 이를 반응관 외주면에 감아 사용할 수 있기 때문에 반응기 설계에 용이하다. 또한, 금속 선 외주면에 절연체 층을 포함하고, 특히 실리콘 고무를 절연체 층으로 사용하는 경우 열충격과 전자충돌에 강한 내성을 가지고, 저온 플라즈마에 의해 형성된 라디칼과 2 차 반응 및 오존거와 산화 반응에 대한 저항력이 우수하며 적절한 인장강도, 우수한 내구성 및 높은 절연상수를 지녀 방전 지속성을 향상시킬 수 있다. 이에 따라, 우수한 휘발성 유기 화합물 제거 효율을 나타낼 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치의 일례를 나타낸 모식도이고;
- 도 2는 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치 내에서 휘발성 유기 화합물의 체류 시간에 따른 휘발성 유기 화합물 제거 효율을 분석한 그래프이고;
- 도 3은 휘발성 유기 화합물의 주입 속도에 따른 휘발성 유기 화합물 제거 효율을 분석한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 본 발명은
- [0023] 유전체 반응관;
- [0024] 상기 유전체 반응관 내부에 위치하고, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제1 전극; 및
- [0025] 상기 유전체 반응관 외부를 둘러싸고 있으며, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제2 전극;을 포함하는 휘발성 유기 화합물(volatile organic compounds, VOCs) 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치를 제공한다.
- [0026] 이때, 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치의 모식도를 도 1에 개략적으로 나타내었으며,
- [0027] 이하, 도 1의 모식도를 참고하여, 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치에 대하여 상세히 설명한다.
- [0028] 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치(100)에 있어서, 상기 유전체 반응

관(10)은 열 안정성이 우수한 유전체로 이루어진 반응관을 사용할 수 있으며, 구체적인 일례로써 석영, 테프론, 산화알루미늄, 산화마그네슘, 산화아연, 란타늄 알루미늄에이트(Lanthanum Aluminate, LaAlO_3), 질화보론(BN), 지르코늄(ZrO) 및 질화알루미늄(AlN) 등의 유전체로 형성된 반응관을 사용할 수 있다.

- [0029] 또한, 상기 유전체 반응관(10)의 두께는 0.5 mm 내지 3 mm인 것이 바람직하고, 0.7 mm 내지 1.5 mm인 것이 더욱 바람직하다. 만약, 상기 유전체 반응관의 두께가 0.5 mm 미만일 경우에는 너무 얇은 두께로 인해 쉽게 파손되는 문제가 있으며, 3 mm를 초과하는 경우에는 저온 플라즈마가 형성되기 어려운 문제가 있다.
- [0030] 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치(100)에 있어서, 상기 제1 전극(미도시)은 유전체 반응관(10) 내부에 위치하고, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 것을 특징으로 한다.
- [0031] 이때, 상기 금속 선은 전도성이 우수하고, 유연한 구리 선일 수 있다.
- [0032] 또한, 상기 절연체 층은 실리콘 고무인 것이 바람직하다. 특히 실리콘 고무를 절연체 층으로 사용하는 경우 열 충격과 전자충돌에 강한 내성을 가지고, 저온플라즈마에 의해 형성된 라디칼과 2 차 반응 및 오존거와 산화 반응에 대한 저항력이 우수하며 적절한 인장강도, 우수한 내구성 및 높은 절연상수를 지녀 방전 지속성을 향상시킬 수 있다.
- [0033] 나아가, 상기 절연체 층의 두께는 1 mm 내지 7 mm인 것이 바람직하고, 2 mm 내지 5 mm인 것이 더욱 바람직하며, 2.5 mm 내지 3 mm인 것이 가장 바람직하다. 상기 절연체 층의 두께가 1 mm 미만일 경우에는 전체 절연체 층의 두께가 얇아 내구성이 부족한 문제가 있다.
- [0034] 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치(100)에 있어서, 상기 제2 전극(20)은 유전체 반응관(10) 외부에 둘러싸고 있으며, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 것을 특징으로 한다.
- [0035] 상기 제2 전극(20)은 도 1의 모식도에 나타난 바와 같이, 상기 유전체 반응관(10) 외부에 감겨있는 것이 바람직하다. 이와 같이, 본 발명에 따른 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치는 전극으로 금속 선을 사용하여 반응관 외주면에 감아 사용할 수 있기 때문에 반응기 설계에 용이하다.
- [0036] 이때, 상기 금속 선은 전도성이 우수하고, 유연한 구리 선일 수 있다.
- [0037] 또한, 상기 절연체 층은 실리콘 고무인 것이 바람직하다. 특히 실리콘 고무를 절연체 층으로 사용하는 경우 열 충격과 전자충돌에 강한 내성을 가지고, 저온플라즈마에 의해 형성된 라디칼과 2 차 반응 및 오존거와 산화 반응에 대한 저항력이 우수하며 적절한 인장강도, 우수한 내구성 및 높은 절연상수를 지녀 방전 지속성을 향상시킬 수 있다.
- [0038] 나아가, 상기 절연체 층의 두께는 1 mm 내지 7 mm인 것이 바람직하고, 2 mm 내지 5 mm인 것이 더욱 바람직하며, 2.5 mm 내지 3 mm인 것이 가장 바람직하다. 상기 절연체 층의 두께가 1 mm 미만일 경우에는 전체 절연체 층의 두께가 얇아 내구성이 부족한 문제가 있다.
- [0039] 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치(100)에 있어서, 상기 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치는 제1 전극(미도시) 및 제2 전극(20)에 전압을 인가하기 위한 전원 공급 장치를 더 포함하는 것이 바람직하다.
- [0040] 이때, 상기 전원 공급 장치는 교류 전원을 공급하는 것이 바람직하며, 상기 교류 전원 주파수가 15 kHz 이상인 것이 바람직하고, 20 kHz 내지 100 kHz인 것이 더욱 바람직하다. 본 발명에 따른 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치는 기존의 다른 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치가 일반적으로 50 Hz 내지 10 kHz인 것에 비해 상당히 고주파 상태이며, 이와 같이 15 kHz 이상의 고주파 상태에서의 유전체 장벽 플라즈마 방전은 한쪽 절연체의 집중적인 손상이나 표면의 전자축적, 아크전이를 방지하기에 유리하여 낮은 주파수에서보다 안정적인 방전 운영이 가능하다. 또한, 15 kHz 이상의 주파수를 사용하기 때문에 방전영역이 고르게 형성될 뿐만 아니라, SIE(specific input energy)를 증가시켜 휘발성 유기 화합물 제거를 위한 에너지적 효율 향상 효과가 있다.

- [0041] 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치(100)에 있어서, 상기 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치는 유전체 반응관으로 휘발성 유기 화합물을 주입하기 위한 제1 주입관 및 공기를 주입하기 위한 제2 주입관을 더 포함할 수 있다.
- [0042] 또한, 본 발명은
- [0043] 유전체 반응관; 상기 유전체 반응관 내부에 위치하고, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제1 전극; 및 상기 유전체 반응관 외부에 둘러싸고 있으며, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제2 전극;을 포함하는 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치의 제1 전극 및 제2 전극에 전압을 인가하여 플라즈마를 발생시키는 단계(단계 1); 및
- [0044] 상기 단계 1에서 플라즈마가 발생한 유전체 반응관 내로 휘발성 유기 화합물을 주입하여 휘발성 유기 화합물을 제거하는 단계(단계 2);를 포함하는 휘발성 유기 화합물의 제거방법을 제공한다.
- [0045] 이하, 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물의 제거방법에 대하여 각 단계별로 상세히 설명한다.
- [0046] 먼저, 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물의 제거방법에 있어서, 단계 1은 유전체 반응관; 상기 유전체 반응관 내부에 위치하고, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제1 전극; 및 상기 유전체 반응관 외부에 둘러싸고 있으며, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제2 전극;을 포함하는 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치의 제1 전극 및 제2 전극에 전압을 인가하여 플라즈마를 발생시키는 단계이다.
- [0047] 상기 단계 1에서는 본 발명에 따른 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치를 사용하여, 제1 전극 및 제2 전극에 전압을 인가함으로써 플라즈마를 발생시킨다.
- [0048] 구체적으로, 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물의 제거방법은 유전체 반응관; 상기 유전체 반응관 내부에 위치하고, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제1 전극; 및 상기 유전체 반응관 외부에 둘러싸고 있으며, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 제2 전극;을 포함하는 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치를 사용한다.
- [0049] 상기 유전체 반응관은 열 안정성이 우수한 유전체로 이루어진 반응관을 사용할 수 있으며, 구체적인 일례로써 석영, 테프론, 산화알루미늄, 산화마그네슘, 산화아연, 란타넘 알루미늄네이트(Lanthanum Aluminate, LaAlO_3), 질화보론(BN), 지르코늄(ZrO) 및 질화알루미늄(AlN) 등의 유전체로 형성된 반응관을 사용할 수 있다.
- [0050] 또한, 상기 유전체 반응관의 두께는 0.5 mm 내지 3 mm인 것이 바람직하고, 0.7 mm 내지 1.5 mm인 것이 더욱 바람직하다. 만약, 상기 유전체 반응관의 두께가 0.5 mm 미만일 경우에는 너무 얇은 두께로 인해 쉽게 파손되는 문제가 있으며, 3 mm를 초과하는 경우에는 저온 플라즈마가 형성되기 어려운 문제가 있다.
- [0051] 또한, 상기 제1 전극은 유전체 반응관 내부에 위치하고, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 것을 특징으로 하며, 이때, 상기 금속 선은 전도성이 우수하고, 유연한 구리 선일 수 있다.
- [0052] 또한, 상기 절연체 층은 실리콘 고무인 것이 바람직하다. 특히 실리콘 고무를 절연체 층으로 사용하는 경우 열 충격과 전자충돌에 강한 내성을 가지고, 저온플라즈마에 의해 형성된 라디칼과 2 차 반응 및 오존기와 산화 반응에 대한 저항력이 우수하며 적절한 인장강도, 우수한 내구성 및 높은 절연상수를 지녀 방전 지속성을 향상시킬 수 있다.
- [0053] 나아가, 상기 절연체 층의 두께는 1 mm 내지 7 mm인 것이 바람직하고, 2 mm 내지 5 mm인 것이 더욱 바람직하며, 2.5 mm 내지 3 mm인 것이 가장 바람직하다. 상기 절연체 층의 두께가 1 mm 미만일 경우에는 전체 절연체 층의 두께가 얇아 내구성이 부족한 문제가 있다.

- [0054] 또한, 상기 제2 전극은 유전체 반응관 외부를 둘러싸고 있으며, 금속 선 외주면에 절연체 층이 형성된 것을 특징으로 하며, 상기 제2 전극은 도 1의 모식도에 나타낸 바와 같이, 상기 유전체 반응관 외부에 감겨있는 것이 바람직하다. 이와 같이, 본 발명에 따른 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치는 전극으로 금속 선을 사용하여 반응관 외주면에 감아 사용할 수 있기 때문에 반응기 설계에 용이하다.
- [0055] 이때, 상기 금속 선은 전도성이 우수하고, 유연한 구리 선일 수 있다.
- [0056] 또한, 상기 절연체 층은 실리콘 고무인 것이 바람직하다. 특히 실리콘 고무를 절연체 층으로 사용하는 경우 열 충격과 전자충돌에 강한 내성을 가지고, 저온플라즈마에 의해 형성된 라디칼과 2 차 반응 및 오존기와 산화 반응에 대한 저항력이 우수하며 적절한 인장강도, 우수한 내구성 및 높은 절연상수를 지녀 방전 지속성을 향상시킬 수 있다.
- [0057] 나아가, 상기 절연체 층의 두께는 1 mm 내지 7 mm인 것이 바람직하고, 2 mm 내지 5 mm인 것이 더욱 바람직하며, 2.5 mm 내지 3 mm인 것이 가장 바람직하다. 상기 절연체 층의 두께가 1 mm 미만일 경우에는 전체 절연체 층의 두께가 얇아 내구성이 부족한 문제가 있다.
- [0058] 또한, 상기 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치는 제1 전극 및 제2 전극에 전압을 인가하기 위한 전원 공급 장치를 더 포함하고 있으며, 이때, 상기 전원 공급 장치는 교류 전원을 공급하는 것이 바람직하고, 상기 교류 전원 주파수가 15 kHz 이상인 것이 바람직하고, 20 kHz 내지 100 kHz인 것이 더욱 바람직하다. 본 발명에 따른 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치는 기존의 다른 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치가 일반적으로 50 Hz 내지 10 kHz인 것에 비해 상당히 고주파 상태이며, 이와 같이 15 kHz 이상의 고주파 상태에서의 유전체 장벽 플라즈마 방전은 한쪽 절연체의 집중적인 손상이나 표면의 전자축적, 아크전이를 방지하기에 유리하여 낮은 주파수에서보다 안정적인 방전 운영이 가능하다. 또한, 15 kHz 이상의 주파수를 사용하기 때문에 방전영역이 고르게 형성될 뿐만 아니라, SIE(specific input energy)를 증가시켜 휘발성 유기 화합물 제거를 위한 에너지적 효율 향상 효과가 있다.
- [0059] 나아가, 상기 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치는 유전체 반응관으로 휘발성 유기 화합물을 주입하기 위한 제1 주입관 및 공기를 주입하기 위한 제2 주입관을 더 포함할 수 있다.
- [0060] 또한, 상기 단계 1에서 제1 전극 및 제2 전극에 인가하는 전압은 5 kV 내지 30 kV인 것이 바람직하고, 10 kV 내지 25 kV인 것이 더욱 바람직하다. 만약, 상기 단계 1에서 제1 전극 및 제2 전극에 인가하는 전압이 5 kV 미만일 경우에는 낮은 인가 전압에 의해 유전체 장벽 방전이 안정적으로 유지되지 않으며, 전자의 낮은 운동 에너지로 인해 효과적인 화학 반응을 유도할 수 없는 문제점이 있고, 30 kV를 초과하는 경우에는 높은 인가 전압으로 인해 유전체가 가지는 저항 이상의 전압이 형성됨으로 다량의 전자들이 이동할 수 있으며, 이로 인해 아크로의 전이가 발생하는 문제점이 있다.
- [0061] 다음으로, 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물의 제거방법에 있어서, 단계 2는 상기 단계 1에서 플라즈마가 발생한 유전체 반응관 내로 휘발성 유기 화합물을 주입하여 휘발성 유기 화합물을 제거하는 단계이다.
- [0062] 구체적으로, 상기 단계 2의 휘발성 유기 화합물 주입 속도는 3.0 mg/h 내지 20 mg/h인 것이 바람직하고, 3.8 mg/h 내지 6.0 mg/h인 것이 가장 바람직하다. 만약, 상기 단계 2의 휘발성 유기 화합물 주입 속도가 상기 범위를 벗어나는 경우에는 휘발성 유기 화합물 제거 효율이 감소하는 문제가 있다.
- [0063] 또한, 상기 단계 2에서 주입된 휘발성 유기 화합물의 유전체 반응관 내 체류시간은 0.2 초 내지 10 초인 것이 바람직하고, 0.2 초 내지 1 초인 것이 더욱 바람직하다. 상기 단계 2에서 주입된 휘발성 유기 화합물의 유전체 반응관 내 체류 시간이 0.2 초 미만일 경우에는 충분한 시간 동안 휘발성 유기 화합물이 체류하지 못하여 충분히 제거되기 어려운 문제가 있다.

- [0064] 이하, 본 발명을 하기 실시예 및 실험예에 의하여 상세히 설명한다.
- [0065] 단, 하기 실시예 및 실험예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐 발명의 범위가 실시예 및 실험예에 의해 한정되는 것은 아니다.
- [0066] <실시예 1> 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치
- [0067] 유전체 반응관으로 70 cm 길이의 석영 유리관(16 * 14 mm)를 사용하였으며, 제1 전극 및 제2 전극으로 2 mm 두께의 구리선을 사용하고, 절연체 층으로 2.5 mm 두께의 실리콘 고무를 사용하였다.
- [0068] 상기 유전체 반응관 내부로 제1 전극을 넣어 테프론 지지체를 사용해 반응관 중앙에 위치시켰다. 상기 제2 전극은 유전체 반응관 외부로 감아 사용하여 전극 간격을 3.5 mm로 고정하였다.
- [0069] <실험예 1> 체류 시간에 따른 톨루엔 제거 효율 분석
- [0070] 본 발명에 따른 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치의 휘발성 유기 화합물 제거 효율을 확인하기 위하여, 상기 실시예 1에서 제조된 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치를 사용하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.
- [0071] 액체 상태의 톨루엔을 실린지 펌프를 이용하여 휘발성 유기 화합물을 주입하기 위한 제1 주입관으로 주입하였으며, 주입 속도는 5.8 mg/h이다. 주입된 톨루엔은 공기로 희석하여 농도를 조절하였으며, 톨루엔의 농도는 515 ppm 내지 2850 ppm으로 조절하였다. 이때, 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치 내부에서의 체류 시간을 조절하기 위해 공기의 유량을 10 L/min 내지 50 L/min으로 질량 유량계를 이용하여 조절하였으며, 공기 유량 변화에 따라 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치 내부에서의 가스 체류 시간은 0.1239 초 내지 0.6195 초로 변화하였으며, 체류 시간에 따른 톨루엔 제거 효율을 분석하였고, 그 결과를 도 2에 나타내었다.
- [0072] 도 2에 나타난 바와 같이, 체류 시간이 증가함에 따라, 톨루엔 제거 효율이 증가하였으며, 체류 시간이 0.1239 초일 경우에는 톨루엔 제거 효율이 76.69 %이며, 체류 시간이 0.2 초 이상일 경우 90 % 이상의 톨루엔 제거 효율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.
- [0073] 이에 따라, 90 % 이상의 충분한 톨루엔 제거 효율을 나타내기 위해서는 0.2 초 이상의 체류 시간이 필요함을 확인할 수 있었다.
- [0074] <실험예 2> 주입 속도에 따른 톨루엔 제거 효율 분석
- [0075] 본 발명에 따른 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치의 휘발성 유기 화합물 제거 효율을 확인하기 위하여, 상기 실시예 1에서 제조된 휘발성 유기 화합물 제거용 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치를 사용하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.
- [0076] 액체 상태의 톨루엔을 실린지 펌프를 이용하여 휘발성 유기 화합물을 주입하기 위한 제1 주입관으로 주입하였으며, 주입 속도는 3.5 mg/h 내지 15 mg/h로 조절하였다. 주입된 톨루엔은 공기로 희석하여 농도를 조절하였으며, 톨루엔의 농도는 970 ppm으로 고정하였다. 이때, 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치 내부에서의 체류 시간은 0.2 초로 고정하였으며, 톨루엔 주입 속도에 따른 톨루엔 제거 효율을 분석하였고, 그 결과를 도 3에 나타내었다.
- [0077] 도 3에 나타난 바와 같이, 톨루엔 주입 속도 변화에 따른 톨루엔 제거 효율은 85 % 이상을 나타내었다. 특히, 주입 속도가 4 mg/h 내지 6 mg/h인 경우 가장 우수한 톨루엔 제거 효율로, 90 % 이상의 제거 효율을 나타내었으며, 특히 5.8 mg/h의 주입 속도에서 가장 우수한 제거 효율인 91.36 %를 나타내었다.

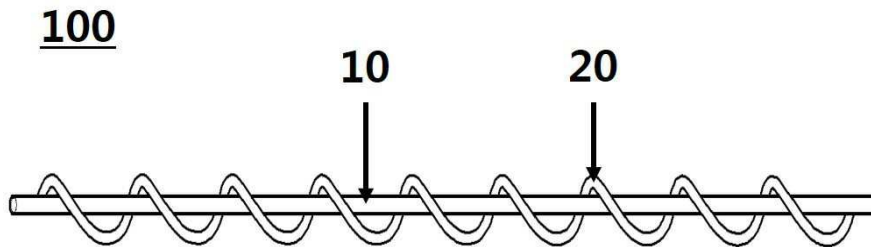
[0078] 이와 같이, 본 발명에 따른 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치를 사용하여 휘발성 유기 화합물을 제거하는 경우 우수한 휘발성 유기 화합물 제거 효율을 나타낼 수 있다.

부호의 설명

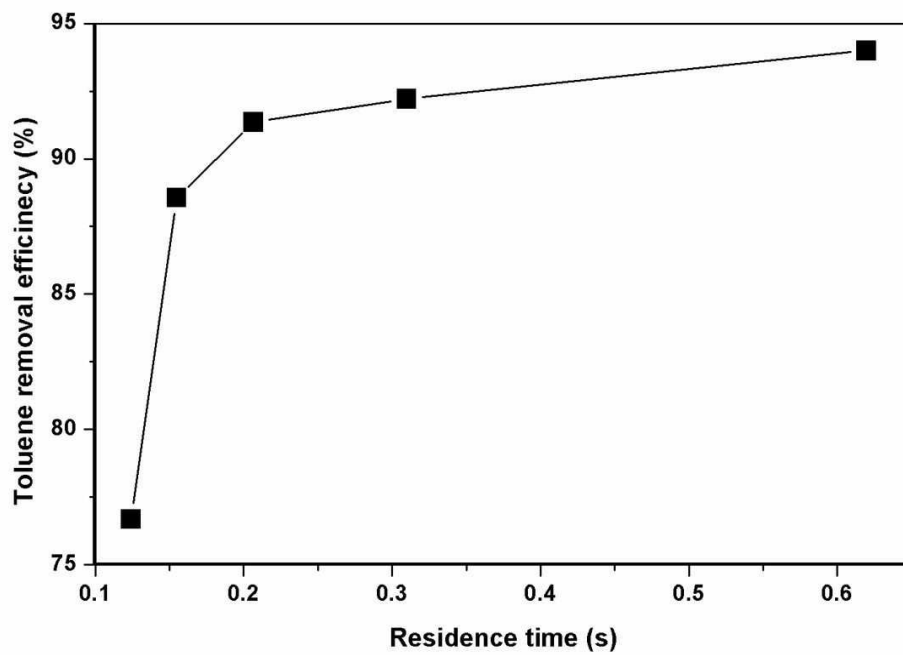
[0079] 100 : 유전체 장벽 플라즈마 발생 장치
10 : 유전체 반응관
20 : 제2 전극

도면

도면1



도면2



도면3

