(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0103327
(43) 공개일자 2020년09월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 53/32 (2006.01) *B01D 53/86* (2006.01)
(52) CPC특허분류
B01D 53/326 (2013.01)
B01D 53/86 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0021635
(22) 출원일자 2019년02월25일
심사청구일자 2019년02월25일

(71) 출원인
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20(퇴촌동)
(72) 발명자
이택순
경상남도 창원시 진해구 동진로21번길 17, 102동 806호(이동, 신성미소지움)
진홍덕
경상남도 창원시 마산합포구 진북면 지산2길 53
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인가산

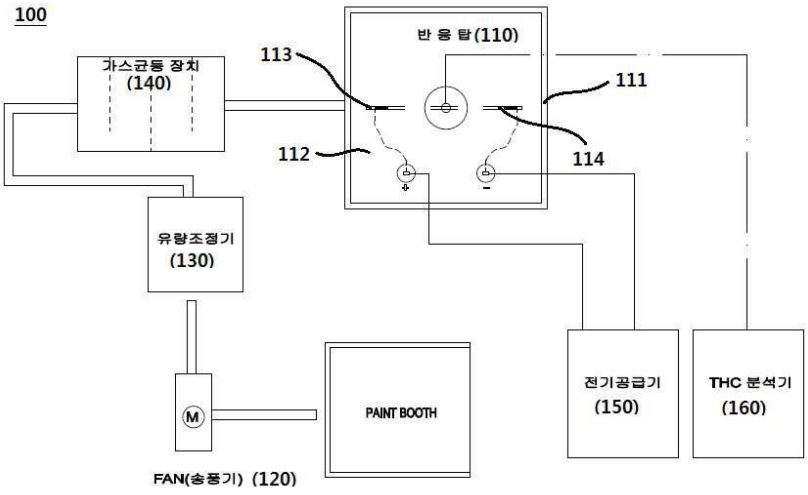
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **휘발성 유기 화합물 처리 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 본 발명은 휘발성 유기 화합물을 분해하기 위한 반응탑; 및 상기 반응탑에 휘발성 유기 화합물을 유입하기 위한 팬(FAN)부를 포함하고, 상기 반응탑은 반응조; 상기 반응조의 내부에 포함되는 전해질; 상기 반응조의 내부에 위치하는 애노드부; 및 상기 반응조의 내부에 위치하는 캐소드부를 포함하고, 상기 애노드부는, 애노드 전극 기재; 및 상기 애노드 전극 기재에 형성되는 애노드용 촉매층을 포함하고, 상기 애노드용 촉매층의 촉매는 RuO_2 및 IrO_2로 이루어지는 군에서 선택되는 적어도 어느 하나의 물질인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템에 관한 것으로, 전기화학적인 방법을 이용하여 휘발성 유기화합물이 농도를 감소시킬 수 있는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템을 제공할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

한치복

경상남도 창원시 의창구 명지로14번길 4-1 (명서동)

박미정

경상남도 창원시 마산회원구 양덕서5길 15, 103동 2802호(양덕동, 양덕 코오롱하늘채)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	18-11-4-50-52
부처명	환경부
과제관리(전문)기관명	경남녹색환경지원센터
연구사업명	2018년 연구개발사업
연구과제명	대기배출시설에서 발생하는 휘발성 유기화합물의 전기화학적 처리를 위한 전극최적화 및 처리법 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	창원대학교
연구기간	2018.06.18 ~ 2018.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

휘발성 유기 화합물을 분해하기 위한 반응탑; 및 상기 반응탑에 휘발성 유기 화합물을 유입하기 위한 팬(FAN)부를 포함하고,

상기 반응탑은 반응조; 상기 반응조의 내부에 포함되는 전해질; 상기 반응조의 내부에 위치하는 애노드부; 및 상기 반응조의 내부에 위치하는 캐소드부를 포함하고,

상기 애노드부는, 애노드 전극 기재; 및 상기 애노드 전극 기재에 형성되는 애노드용 촉매층을 포함하고,

상기 애노드용 촉매층의 촉매는 RuO_2 및 IrO_2로 이루어지는 군에서 선택되는 적어도 어느 하나의 물질인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 캐소드부는, 캐소드 전극 기재; 및 상기 캐소드 전극 기재에 형성되는 캐소드용 촉매층을 포함하고,

상기 캐소드용 촉매층의 촉매는 백금계 촉매인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 반응탑의 전극에 전원을 공급하기 위한 전기 공급기를 더 포함하는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 휘발성 유기 화합물이 THC 표준물질인 경우, 상기 전기 공급기에 의해 공급되는 전류량은 450A/㎡ 내지 550A/㎡이고, 상기 반응조에 주입되는 상기 휘발성 유기 화합물 주입유량은 1L/min 내지 2L/min인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 휘발성 유기 화합물이 유기용제인 경우, 상기 전기 공급기에 의해 공급되는 전류량은 450A/㎡ 내지 550A/㎡이고, 상기 반응조에 주입되는 상기 휘발성 유기 화합물 주입유량은 1L/min 내지 2L/min인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 애노드용 촉매층의 촉매가 RuO_2인 경우, 상기 전해질은 NaCl을 포함하고, 상기 애노드용 촉매층의 촉매가 IrO_2인 경우, 상기 전해질은 H_2SO_4를 포함하는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 휘발성 유기 화합물 처리 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 보다 구체적으로 산업시설 등에서 발생하는 폐수에 용해되어 있거나 및/또는 대기 중에 섞여 있는 VOCs를 제거하기 위한 휘발성 유기 화합물

처리 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 급격한 산업화와 도시화는 인구의 도시집중화를 발생시키고 이에 따라 발생하는 환경문제는 인간의 삶의 질을 저하시키는 중요한 문제로 앞으로 우리가 해결해야하는 중요한 문제로 대두되고 있다.

[0003] 이전의 중요한 환경문제는 수질오염에 의한 이용가능한 수자원의 부족이 가장 큰 문제였다면, 현재 중요한 환경문제로 떠오르는 것은 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds : VOCs)에 의한 악취문제, 광화학 반응으로 오존오염, 지구온난화와 같은 여러 가지 형태로 대기질에 영향을 주고 있다.

[0004] 이러한 문제는 비단 환경오염에 국한된 문제뿐만 아니라 우리의 삶의 질과도 밀접한 연관으로 인해 대기환경에 관한 관심은 날로 증대되고 있으며, 대기환경보전 및 대기질 개선을 위한 오염원 규제가 강화되고 있다.

[0005] 우리나라에서는 2005년 2월 10일 “악취방지법”을 시행하여 악취발생물질 및 VOCs 물질을 규제하기 시작하였다. 이것은 대기환경과 관련한 민원 대부분이 악취와 관련된 민원이 대부분을 차지하기 때문이며, 민원이 심한 지역의 경우 악취관리지역으로 지정하여 지속적이며 주기적으로 관리하고 있다.

[0006] 우리나라의 VOCs 물질 관리는 벤젠, 톨루엔, 휘발유, 원유, 메탄올 등 37개의 대표적인 VOCs 물질에 대하여 환경부고시 제2001-36로 지정하여 본격적인 관리를 시작하였으며, 석유화학업 외 10여개 업종에 대하여 VOCs 규제대상 시설로 지정하여 VOCs 방지시설 설치를 의무화 하고 있다.

[0007] 대기환경보전법 상에서도 탄화수소류 중 석유화학제품 및 유기용제 그 밖의 물질로 환경부장관이 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 고시하는 것으로 정의하여 악취방지법 외 대기환경보전법에서도 관리하고 있다.

[0008] 그러나 법적인 규제대상 시설 외에도 VOCs 배출시설은 산재해 있으며 이러한 시설은 특정한 배출시설 외의 불특정한 시설(세탁업, 주유소, 인쇄소, 소규모 도장시설 등)에서도 배출됨으로 인해 관리에 어려움을 격고 있다.

[0009] VOCs 물질은 VOCs에 노출되는 특정 배출시설의 노동자 외에 일반적인 국민 모두에게 영향을 미칠 정도로 광범한 오염을 발생시키는 특성이 있다.

[0010] 라디칼반응과 광화학반응을 통하여 오존, PAN(Peroxy Ace시 Nitrate) 등을 생성하는 VOCs는 대기 내 광화학오염을 일으키는 새로운 오염물질로 주요 발생원은 불완전 연소, 석유계 화합물질, 유기용제류 등이 있으며, 대표적인 오염사건으로는 미국 로스엔젤레스 스모그, 1950년대 이후 독일 활엽수림과 미국 5대호 주변의 침엽수림 고사현상 등이 VOCs 물질에 의한 광화학 스모그가 원인인 것으로 밝혀져 충격을 준 사건이 대표적인 VOCs 물질에 의한 환경사고가 될 것이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2017-0095717호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 전기화학적인 방법을 이용하여 휘발성 유기화합물이 농도를 감소시킬 수 있는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0013] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 상기 지적된 문제점을 해결하기 위해서 본 발명은 휘발성 유기 화합물을 분해하기 위한 반응탑; 및 상기 반응탑에 휘발성 유기 화합물을 유입하기 위한 팬(FAN)부를 포함하고, 상기 반응탑은 반응조; 상기 반응조의 내부에 포함되는 전해질; 상기 반응조의 내부에 위치하는 애노드부; 및 상기 반응조의 내부에 위치하는 캐소드부를 포

함하고, 상기 애노드부는, 애노드 전극 기재; 및 상기 애노드 전극 기재에 형성되는 애노드용 촉매층을 포함하고, 상기 애노드용 촉매층의 촉매는 RuO_2 및 IrO_2로 이루어지는 군에서 선택되는 적어도 어느 하나의 물질인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템을 제공한다.

[0015] 또한, 본 발명은 상기 캐소드부는, 캐소드 전극 기재; 및 상기 캐소드 전극 기재에 형성되는 캐소드용 촉매층을 포함하고, 상기 캐소드용 촉매층의 촉매는 백금계 촉매인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템을 제공한다.

[0016] 또한, 본 발명은 상기 반응탑의 전극에 전원을 공급하기 위한 전기 공급기를 더 포함하는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템을 제공한다.

[0017] 또한, 본 발명은 상기 휘발성 유기 화합물이 THC 표준물질인 경우, 상기 전기 공급기에 의해 공급되는 전류량은 450A/㎡ 내지 550A/㎡이고, 상기 반응조에 주입되는 상기 휘발성 유기 화합물 주입유량은 1L/min 내지 2L/min인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템을 제공한다.

[0018] 또한, 본 발명은 상기 휘발성 유기 화합물이 유기용제인 경우, 상기 전기 공급기에 의해 공급되는 전류량은 450A/㎡ 내지 550A/㎡이고, 상기 반응조에 주입되는 상기 휘발성 유기 화합물 주입유량은 1L/min 내지 2L/min인 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템을 제공한다.

[0019] 또한, 본 발명은 상기 애노드용 촉매층의 촉매가 RuO_2인 경우, 상기 전해질은 NaCl을 포함하고, 상기 애노드용 촉매층의 촉매가 IrO_2인 경우, 상기 전해질은 H_2SO_4를 포함하는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템을 제공한다.

발명의 효과

[0020] 상기한 바와 같은 본 발명에 따르면, 전기화학적인 방법을 이용하여 휘발성 유기화합물이 농도를 감소시킬 수 있는 휘발성 유기 화합물 처리 시스템을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 처리 시스템을 설명하기 위한 개략적인 모식도이다.

도 2는 격막식 전기분해조를 도시하는 개략적인 도면이다.

도 3은 무격막식 전기분해조를 도시하는 개략적인 도면이다.

도 4는 이리듐 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 주입가스량 1L/min의 조건에서 메탄 표준물질 제거효율을 도시하는 그래프이고, 도 5는 이리듐 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 주입가스량 2L/min의 조건에서 메탄 표준물질 제거효율을 도시하는 그래프이며, 도 6은 루테늄 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 주입가스량 1L/min의 조건에서 메탄 표준물질 제거효율을 도시하는 그래프이고, 도 7은 루테늄 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 주입가스량 2L/min의 조건에서 메탄 표준물질 제거효율을 도시하는 그래프이다.

도 8은 이리듐 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 유기용제 주입량 1L/min의 조건에서 유기용제 제거 농도를 도시하는 그래프이고, 도 9는 이리듐 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 유기용제 주입량 2L/min의 조건에서 유기용제 제거 농도를 도시하는 그래프이다.

도 10은 루테늄 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 유기용제 주입량 1L/min의 조건에서 유기용제 제거 농도를 도시하는 그래프이고, 도 11은 루테늄 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 유기용제 주입량 2L/min의 조건에서 유기용제 제거 농도를 도시하는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[0023] 아래 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시를 위한 구체적인 내용을 상세히 설명한다. 도면에 관계없이 동일한 부재번호는 동일한 구성요소를 지칭하며, "및/또는"은 언급된 아이템들의 각각 및 하나 이상의 모든 조합을

포함한다.

[0024] 비록 제1, 제2 등이 다양한 구성요소들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 구성요소들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 구성요소를 다른 구성요소와 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 구성요소는 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 구성요소일 수도 있음은 물론이다.

[0025] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소 외에 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0026] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0027] 공간적으로 상대적인 용어인 "아래(below)", "아래(beneath)", "하부(lower)", "위(above)", "상부(upper)" 등은 도면에 도시되어 있는 바와 같이 하나의 구성 요소와 다른 구성 요소들과의 상관관계를 용이하게 기술하기 위해 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 도시되어 있는 방향에 더하여 사용시 또는 동작시 구성요소들의 서로 다른 방향을 포함하는 용어로 이해되어야 한다. 예를 들면, 도면에 도시되어 있는 구성요소를 뒤집을 경우, 다른 구성요소의 "아래(below)" 또는 "아래(beneath)"로 기술된 구성요소는 다른 구성요소의 "위(above)"에 놓여질 수 있다. 따라서, 예시적인 용어인 "아래"는 아래와 위의 방향을 모두 포함할 수 있다. 구성요소는 다른 방향으로도 배향될 수 있고, 이에 따라 공간적으로 상대적인 용어들은 배향에 따라 해석될 수 있다.

[0028] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[0029] 도 1은 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 처리 시스템을 설명하기 위한 개략적인 모식도이다.

[0030] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 처리 시스템(100)은, 휘발성 유기 화합물을 분해하기 위한 반응탑(110); 및 상기 반응탑에 휘발성 유기 화합물을 유입하기 위한 팬(FAN)부(120)를 포함한다.

[0031] 또한, 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 처리 시스템(100)은, 상기 팬(FAN)부(120)로부터 유입되는 휘발성 유기 화합물의 유량을 조절하기 위한 유량조절기(130); 및 상기 유량조절기(130)를 통해 유입되는 휘발성 유기 화합물을 균등하게 처리하는 가스균등장치(140)를 더 포함할 수 있다. 이러한 유량조절기 및 가스균등장치의 구성은 당업계에서 자명한 사항에 해당하므로, 이하 구체적인 설명은 생략하기로 한다.

[0032] 또한, 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 처리 시스템(100)은, 상기 반응탑의 전극에 전원을 공급하기 위한 전기 공급기(150); 및 상기 반응탑(110)에 의해 처리된 휘발성 유기 화합물의 처리 효율을 측정하기 위한 THC 분석기(160)를 더 포함할 수 있다. 이러한 전기 공급기 및 THC 분석기의 구성은 당업계에서 자명한 사항에 해당하므로, 이하 구체적인 설명은 생략하기로 한다.

[0033] 이하에서는 본 발명에 따른 유기 화합물 처리 시스템을 보다 상세히 설명하기로 한다.

[0034] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 처리 시스템(100)은, 휘발성 유기 화합물을 분해를 위한 반응탑(110)을 포함한다.

[0035] 이때, 상기 반응탑(110)은 반응조(111); 상기 반응조(111)의 내부에 포함되는 전해질(112); 상기 반응조(111)의 내부에 위치하는 애노드부(113); 및 상기 반응조(111)의 내부에 위치하는 캐소드부(114)를 포함한다.

[0036] 먼저, 본 발명에 따른 반응조에서의 휘발성 유기 화합물의 분해원리에 대해 설명하면 다음과 같다.

[0037] 전기화학적 반응의 하나인 전기분해는 산화/환원반응이 자발적으로 일어나지 않아 전기에너지를 가하여 외부 에너지를 이용하여 반응을 일으키는 것을 전기분해라 한다.

[0038] 순수한 물은 전류를 통하게 할 수 있는 물질이 없기 때문에 전기분해가 일어나지 않으며, 전기분해는 전기가 통전되는 상황 즉 전도성이 필수적인 요소이기 때문에 전류를 흐르게 하는 전해질을 투여하여야만 전기분해가 일어날 수 있다.

[0039] 전기분해가 일어나면 음극(cathode)에서는 양이온이 환원되고, 양극(anode)에서는 음이온이 산화되며, 넣어주는 전해질의 종류에 따라 산화, 환원반응으로 생성되는 물질이 달라진다.

[0040] 전해질로 황산(H_2SO_4)를 사용하게 되면 양극(anode) 주위에는 이온화 경향에 따라 물(H_2O)이 산화되어 O_2 가 발생되고 이온화 경향이 적은 SO_4^{2-}는 산화되지 않는다.

[0041] 전해질로 염화나트륨(NaCl)을 사용하면 양극(anode)에서 염소이온(Cl^-)의 산화로 염소가스(Cl_2)를 발생하고, 음극(cathode)에서는 이온화 경향이 큰 나트륨이온(Na^+)대신 물(H_2O)이 환원되어 수소가스(H_2)를 생성한다.

[0042] 염화나트륨을 전해질로 이용하는 경우 산화력이 강한 차아염소산(HOCl), 차아염소산이온(OCl^-) 성분의 염소계 산화제(Free Available Chlorine)과 ClO_2 외에 chlorite(ClO_2^-)와 chlorate(ClO_3^-)등이 생성될 수도 있다.

[0043] 이처럼 전기분해를 이용한 오염물질 처리기술은 전기를 이용하여 궁극적으로는 부산물로 발생하는 차아염소산(HOCl), 차아염소산이온(OCl^-) 등이 반응에 이용되는 Electrochemistry(전기화학적) 반응이라고 할 수 있다.

[0044] 본 발명에서는 이러한 Electrochemistry(전기화학적) 반응을 통해, 반응조에서의 휘발성 유기 화합물의 분해할 수 있다.

[0045] 이때, 본 발명에서 상기 애노드부(113)는, 애노드 전극 기재; 및 상기 애노드 전극 기재에 형성되는 애노드용 촉매층을 포함한다.

[0046] 상기 애노드 전극 기재는 전극을 지지하는 역할을 하는 것으로, 상기 애노드 전극 기재는 도전성 기재를 사용하며, 그 대표적인 예로 Ti 기판 또는 탄소 페이퍼(carbon paper), 탄소 천(carbon cloth), 탄소 펠트(carbon felt)가 사용될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0047] 또한, 상기 애노드용 촉매층은 촉매를 포함하며, 상기 촉매는 RuO_2 및 IrO_2 로 이루어지는 군에서 선택되는 적어도 어느 하나의 물질을 사용한다. 이에 대해서는 후술하기로 한다.

[0048] 또한, 상기 애노드용 촉매층은 상기 촉매를 담지하는 촉매 담지체를 더 포함할 수 있으며, 상기 촉매 담지체는 금속 및 금속 산화물이 혼합된 담지체일 수 있다.

[0049] 즉, 본 발명에서는 촉매 담지체로 MO_x/M (단, 상기 M은 Ti, Ta, W, Mo, V, Sc, Zr, Nb, Cr, La 및 Mn으로 이루어지는 군에서 선택되는 하나 이상이고, $0 < x \leq 3$ 임.)을 사용함으로써, 수소산화반응을 빠른속도로 일으키고, 산소환원반응의 활성은 억제시켜 애노드에서 내구성에 문제를 야기시키는 산소환원반응을 원천적으로 차단시켜 최종적으로 내구성 문제를 해결할 수 있다.

[0050] 한편, 상기 애노드용 촉매층은 접착력 향상 및 수소 이온의 전달을 위하여 바인더를 더 포함할 수도 있다.

[0051] 다음으로, 본 발명에서 상기 캐소드부(114)는, 캐소드 전극 기재를 포함한다.

[0052] 이때, 상기 캐소드 전극 기재는 Ti 또는 Pt를 사용할 수 있으며, 본 발명에서 상기 캐소드 전극 기재의 종류를 제한하는 것은 아니다.

[0053] 이하에서는 본 발명에 따른 반응탑의 반응조에 대하여 설명하기로 한다.

[0054] 전기화학적 반응에 사용되는 본 발명에 따른 반응조는 셀(Cell)이라 명칭될 수 있으며, 격막의 존재 여부에 따라 격막식과 무격막식으로 나눌 수 있다.

[0055] 이때, 격막식은 이온 선택성을 가지고 있어 cathodic과 anodic이 분리되어 있으며, 무격막식은 단일조로 되어 있어 두 방식의 수질이 다른 특성을 나타낸다.

[0056] 먼저, 도 2는 격막식 전기분해조를 도시하는 개략적인 도면이다.

[0057] 보다 구체적으로, 상기 격막식은 캐소드(cathode)부와 애노드(anode)부의 중간에 이온 선택성의 격막을 설치하여 cathodic과 anodic을 분리한 방식으로 양이온과 음이온의 이동이 자유롭지 않다.

[0058] 이로 인해 소금물(NaCl 수용액)을 격막식 Cell에서 전기분해 할 경우 anodic은 산성수가 되고 cathodic은 알카리수가 된다. 전해액의 농도에 따라 강산성/강염기 또는 약산성/약염기가 될 수 있으며 anodic이 강산성수가 되

면 pH가 2.7이하로 낮아지고 ORP(Oxidation-Reduction Potential, 이하 ORP)가 1100mV 이상이며 고농도의 차아염소산(HOCl)을 함유하고 있어 강한 살균력을 지닌다.

[0059] 약산성수가 되면 pH 3.5 ~ 6이 되고 ORP가 500 ~ 700 mV가 되며 강산성수와 마찬가지로 살균력을 지닌다. cathodic이 강알칼리수가 되면 pH 11 이상이 되고 ORP가 -800 mV이하가 되며 비누성분인 NaOH가 다량 함유되어 있어 높은 세정력을 지닌다. 약알칼리수가 되면 pH가 7.2 ~ 10이하이고 ORP가 0 ~ -600mV이다.

[0060] 또한, 격막을 설치함으로써 환원반응으로 인해 발생하는 수소기체의 bubble이 anode의 표면에 부착되는 것을 방지하여 전극의 분극현상이 일어나는 것을 막을 ㅅ수 있다.

[0061] cathode에서 발생하는 수소 bubble이 anode의 표면에 부착되면서 반응을 일으키는 활성면적이 감소하게 되어 산화제의 생성효율에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

[0062] 다음으로, 도 3은 무격막식 전기분해조를 도시하는 개략적인 도면이다.

[0063] 보다 구체적으로, 애노드부(anode)와 캐소드(cathode)부 이외의 별도의 격막이 없는 형태의 반응조(cell)를 무격막식 반응조(cell)라 한다.

[0064] 무격막식 반응조(cell)는 격막식과는 다르게 고농도의 cathodic과 anodic이 형성되지 않는다.

[0065] 소금물(NaCl 수용액)을 전해액으로 반응하는 무격막식 Cell에서는 전기분해 반응을 통해 cathode에서 발생되는 물질과 anode에서 발생되는 생성물들이 혼합되어 Cell에 존재하기 때문에 무격막식 전기분해를 통해 생성되는 수질의 특성은 pH가 7.2 ~ 8.5로 약 알칼리성을 띠고 ORP가 +100 ~ -300mv 정도로 격막식보다 상대적으로 차아염소산(HOCl)농도가 낮고 산화력이 약한 소독액이 생성된다.

[0066] 인체에 미치는 영향이 적으며 친환경적인 특징이 있어 기존에 사용되어 왔던 화학약품을 대체할 수 있고 환경오염 예방에 크게 기여할 것으로 기대된다.

[0067] 한편, 상술한 바와 같이, 본 발명에서는, Electrochemistry(전기화학적) 반응을 통해, 반응조에서의 휘발성 유기 화합물의 분해할 수 있다.

[0068] 이는 전기화학적 산화공정(Electrochemical Oxidation Process)으로 정의할 수 있으며, 상기 전기화학적 산화공정(Electrochemical Oxidation Process)은 처리대상수 내에 설치된 전극에 전류를 인가하여 이때 일어나는 다양한 산화반응 및 환원반응을 통해 유해물질을 처리하는 기술이다.

[0069] 불용성 전극을 이용한 유해물질의 분해는 불용성 전극의 표면에서 유기물 등과 같은 처리대상 물질을 산화시켜 처리하는 직접산화반응과 전해반응에 의해 생성되어지는 차아염소산(HOCl), 차아염소산 이온(OCl^-), 오존(O_3), 과산화수소(H_2O_2) 등과 같은 산화제에 의해서 분해되는 간접산화에 의해 일어날 수 있다.

[0070] 이때, 직접산화반응은 매개물질 없이 유해물질이 직접 전극표면에 흡착되어 산화되는 반응을 말하는 것으로서 이는 물리적으로 산화전극(Anode)의 표면에 화학흡착된 활성산소 (산화격자 내의 산소, MO_{x+1}) 또는 산화전극의 표면에 흡착된 수산화 라디칼 (· OH, hydroxyl radical)에 의하여 진행된다.

[0071] 백금족 금속 산화물을 촉매전극층으로 코팅하여 만들어진 산화물 전극(MO_X)이, 식 1.1과 같이 전기분해 과정에서 더욱 산화된 상태(MO_{X+1})가 되어 산화전극의 표면에서 유기물질(R)을 산화유기물(RO)로 변환시키거나, 식 1.2와 같이 전기분해 과정에서 산화전극의 표면에 흡착된 수산화 라디칼이 유기물을 이산화탄소로 변환시키는 반응을 직접산화반응이라고 말한다.

[0072] 산화반응에 있어 수산화 라디칼은 MOx_{+1}의 산소보다 오염물의 산화에 있어 더 효율적이다. 수산화 라디칼은 강력한 산화제로서 폐수중의 유기, 무기 화합물들과 빠르게 반응하므로 기존의 수처리 기술들로는 처리하기 힘든 난분해성 유기유해물질들도 쉽게 산화분해 처리할 수 있다.

[0073] 또한, 간접산화반응은 처리대상수에 전극과 유해물질간의 전자이동을 매개할 수 있는 물질이 포함되어 있거나 그러한 물질을 첨가하여 전해과정에서 산화제를 생성하여 유해물질을 분해하는 반응을 이용한 것이다.

[0074] 대표적으로 염소가 함유된 처리대상수에서 차아염소산(HOCl)이나 차아염소산이온(OCl^-)을 발생시키거나, 산소를 공급하여 전기화학적으로 발생한 오존(O_3), 과산화수소(H_2O_2)에 의해 분해반응을 일으키기는 방법이 있다.

[0075] 따라서 간접산화반응에 있어서는 처리대상수에 산화제 발생에 기여하는 매개물질이 충분히 포함되어 있지 않은 경우에는 별도로 반응효율을 높이기 위해 산화제 발생에 기여하는 염소나 산소 등의 매개물질의 첨가가 반드시 필요하다.

[0076] 간접산화반응에 의한 유해물질의 제거는 전해액내에서 얼마나 강력한 산화제가 생성되는지에 달려 있으며, 충분한 산화제가 생성된다면 대부분의 유기물을 분해하여 최종적으로는 이산화탄소와 물로 전환시킨다. 간접산화반응을 이용한 대표적인 사례는 바닷물을 전해하여 산화제를 생성하는 해수전해시스템이다.

[0077] 처리대상수에 염소가 포함되어 있는 경우에는 전해과정에서 식 1.3과 같이 차아염소산(HOCl)이나, 식 1.4와 같이 차아염소산 이온(OCl^-)이 생성되고, 이렇게 생성된 강력한 산화제인 차아염소산이나 차아염소산이온이 유해물질을 산화시키는 반응이 대표적인 간접산화반응이다.

[0078] $R+ MO_{X+1} \rightarrow RO + MO_X$ 식 1.1

[0079] $R+MO_X(\cdot OH)n \rightarrow CO_2 + nH^+ + ne^- + MO$ 식 1.2

[0080] $Cl_2+H_2O \rightarrow HOCl + H^+ + Cl^-$ 식 1.3

[0081] $HOCl \rightarrow H^+ + OCl^-$ 식 1.4

[0082] 이하에서는 본 발명에 따른 바람직한 실험예를 설명하기로 하며, 다만, 본 발명에서 상기 실험예에 제한되는 것은 아니다.

[0083] [실험예]

[0084] 본 발명에서의 실험장치는 비교적 산성물질에 안정적인 아크릴을 주 재료로 반응조를 제작하였다. 메인 반응조는 15cm*15cm*30cm의 크기를 가지며 상부에 전극봉 삽입을 위해 10개의 홀을 제작하였다. 처리대상 물질의 주입은 메탄가스의 경우 가스봄베 자체에서 반응조로 직접주입 하였으며, 처리대상 물질은 주입 가능량이 0~5L/min인 Diaphragm gas pump를 이용하였다. 주입 가스량의 조절을 위하여 2개의 유량조절기를 사용하여 반응조 주입과 by pass 유로를 형성하여 펌프 부하를 조절하고 반응조 유입량 또한 조절이 가능하도록 하였다. 주입 가스의 농도 균질화를 위하여 펌프하단에 혼합조를 설치하여 농도불균질 현상을 방지하였다. 또한, THC 농도 측정은 에코시스텍(주)에서 판매하는 Polaris FID를 사용하였다. Polaris FID는 검출기 가열이 가능한 H-FID 방식으로 안정적인 측정이 가능하며 반응조에서 발생하는 수소가스의 영향을 받지않는 유일한 장비이다. 전기분해의 경우 음극(cathode)에서 수소가스가 발생하여 THC 측정기에 심각한 오차를 일으키는 것을 확인하고 수소가스에 영향을 받지않는 Polaris FID를 분석기기로 선정하였다.

[0085] 전기분해를 위한 전해질은 사용 전극의 종류에 따라 H_2SO_4와 NaCl을 사용하였고, 인가 전류량은 500A/㎡와 250A/㎡를 인가하였다. 처리효율 검증을 위한 표준물질은 THC 측정장비의 교정 가스로 사용되는 440ppm 메탄 표준가스를 이용하여 전기분해 효율을 검증하였다. 가스 주입량은 1L/min~2L/min 으로 설정하였으며, 처리대상 희석용제 또한 동일조건으로 주입하였다. 실험에 사용된 희석용제는 실제 현장에서 주로 사용되는 우레탄페인트용 희석용제를 사용하였으며 제조회사는 ㈜남영의 제품을 선정하였다.

[0086] 산업현장의 대기배출시설에서 배출되는 오염물질 중 규제대상 휘발성유기화합물은 37종이 있으며, 각 화합물은 배출허용기준을 적용 받는 물질도 있고 현재 규제 대상이 아닌 화합물도 있다. 대기배출시설의 배출허용기준 설정 물질 중 THC(Total hydrocarbon)는 휘발성유기화합물중 CH 결합을 갖는 모든 휘발성유기화합물의 총칭으로 개별 항목으로 규제가 어려워 THC를 규제하고 있다.

[0087] 본 발명에서는 C-H 결합의 모든 휘발성유기화합물의 총칭인 THC를 제거 대상물질로 하였다. THC는 2000년 10월 대기오염물질로 지정된 이후 산업현장에서는 처리에 어려움이 가장 큰 대표적인 물질이다. THC 방지시설은 열소각, 촉매소각, 흡착이 대표적인 처리법이지만 설치 및 운영비가 과다하고, 흡차법의 경우 활성탄 교체비용 및 교체주기 문제로 기업측에서는 처리에 가장 까다로운 물질이다. THC 주요배출원은 도장시설, 인쇄시설, 유류저장/출하시설, 세탁시설 등으로 알려져 있다. 전체 배출량 중 약 80%가 도장시설에서 발생되는 것으로 알려져 있다.

[0088] [실험결과 및 분석]

[0089] 본 발명에서는 애노드부로 이리듐(IrO_2) 전극 및 루테늄(RuO_2) 전극, 캐소드부로 Ti 전극을 이용하여 메탄 표준가스와 실제 유기용제를 전기분해하여 제거 효율을 측정하였다.

[0090] **1. 전극 종류에 따른 CH_4(표준물질)의 전기분해 효율변화**

[0091] 전기화학적 분해반응에서 가장 중요한 요소는 적용 전극과 인가 전류량이다. 적용 전극은 전극의 특성에 따라 발생기가 달라지고 직접산화와 간접산화 역시 전극의 종류에 따라 달라지기 때문이다. 인가된 전류량의 경우 전극에 가해지는 에너지의 총량으로 처리효율과 전극의 수명에 직접적인 영향을 주는 요소이다. 적정 전류량이 중요한 이유는 소비되는 에너지의 량은 방지시설 운영비용과 직결되기 때문이다. 탄소배출권 등 향후 친환경에너지를 사용하지 않고 화석연료 또는 과도한 전력 사용 사업장은 환경적인 규제 외에 경제적인 불이익을 감수하여야 하기 때문이다.

[0092] 본 발명에서는 애노드부로 이리듐(IrO_2) 전극 및 루테늄(RuO_2) 전극을 이용하여 THC 표준물질인 메탄 분해실험을 수행하여 최적의 조건을 도출하였다. 인가전류량은 500A/㎡로 하였으며 주입 가스량을 1~2L/min으로 달리하여 수행하였다.

[0093] 표 1은 전기분해 조건에 따른 메탄 표준물질 제거효율을 도시하고 있다.

[0094] [표 1]

[0095]

구분 / 간격(sec)	주입농도	이리듐(500A/㎡) in H_2SO_4		루테늄(500A/㎡) in NaCl	
		1L/min	2L/min	1L/min	2L/min
		배출량	배출량	배출량	배출량
15	439.6	240.8	409.3	342.3	415.0
30	439.8	240.6	409.4	341.6	414.8
45	439.9	240.4	409.5	341.1	414.7
60	441.0	240.2	409.4	340.5	414.9
75	439.6	240.3	409.3	340.3	415.3
90	433.5	240.5	409.4	340.6	415.6
105	439.1	240.6	409.5	341.1	415.8
120	439.4	240.2	409.6	342.1	416.1
135	439.7	240	409.7	343.7	416.6
평균	439.1	240.4	409.5	341.5	415.4

[0096] 또한, 도 4는 이리듐 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 주입가스량 1L/min의 조건에서 메탄 표준물질 제거효율을 도시하는 그래프이고, 도 5는 이리듐 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 주입가스량 2L/min의 조건에서 메탄 표준물질 제거효율을 도시하는 그래프이며, 도 6은 루테늄 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 주입가스량 1L/min의 조건에서 메탄 표준물질 제거효율을 도시하는 그래프이고, 도 7은 루테늄 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 주입가스량 2L/min의 조건에서 메탄 표준물질 제거효율을 도시하는 그래프이다.

[0097] 표 1, 도 4 내지 도 7을 참조하면, 이리듐 전극은 H_2SO_4 전해질 1mol에서 메탄 표준물질 주입유량 2L/min 일 때 5~7% 제거효율을 보이며, 주입유량 1L/min에서 44~45%의 제거효율을 보인다.

[0098] 평균적으로 주입량 2L/min에서는 6.7%, 주입량 1L/min에서 45.2%의 제거율을 보인다. 루테늄 전극은 NaCl 전해질 1.0%에서 메탄 표준물질 주입유량 2L/min 일 때 4~5% 제거효율을 보이며, 주입유량 1L/min에서 21~22%의 제거효율을 보인다. 또한, 평균적으로 주입량 2L/min에서는 5.4%, 주입량 1L/min에서 22.2%의 제거율을 보인다.

[0099] 따라서, 메탄 표준가스의 전기분해 결과 가장 효과가 큰 전극은 이리듐 전극으로 밝혀졌고, 최적 주입 유량은 1L/min으로 판단된다.

[0100] **2. 이리듐 전극의 유기용제 처리효율 변화**

[0101] 본 발명의 실험에에 사용된 유기용제는 우레탄페인트용 희석 용제로 ㈜남영에서 제조한 유기용제를 사용하였다. 시료의 주입은 실제 현장과 유사한 조건을 만들기 위하여 에어컴프레서를 이용하여 에어건 역할을 수행토록 하였으며 분무건은 네블라이저로 대체하였다.

[0102] 표 2는 이리듐 전극의 유기용제 제거 농도를 도시한 표이다.

[0103] [표 2]

구분 / 간격(sec)	유기용제 주입농도	이리듐(500A/㎡) in H_2SO_4 처리 후 농도 (주입유량 :1L/min)
15	393	64.31
30	393.4	61.97
45	348.8	60.87
60	345.2	60.1
75	341.9	59.32
90	339.3	58.5
105	335.7	57.94
120	331.8	56.18
135	328.9	55.25
평균	350.9	59.4
구분 / 간격(sec)	유기용제 주입농도	이리듐(500A/㎡) in H_2SO_4 처리 후 농도 (주입유량 :1L/min)
15	312.8	98.4
30	307.4	95.6
45	300.3	92.2
60	282.1	90.6
75	267.0	88.1
90	250.2	86.3
105	232.7	84.8
120	214.2	83.8
135	205.5	82.4
평균	263.6	89.1

[0104]

[0105] 또한, 도 8은 이리듐 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 유기용제 주입량 1L/min의 조건에서 유기용제 제거 농도를 도시하는 그래프이고, 도 9는 이리듐 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 유기용제 주입량 2L/min의 조건에서 유기용제 제거 농도를 도시하는 그래프이다.

[0106] 도 8 및 도 9를 참조하면, 이리듐 전극은 H_2SO_4 전해질 1mol에서 유기성 희석용제 주입유량 2L/min 일 때 59~69% 제거효율을 보이며, 주입유량 1L/min에서 82~84%의 제거효율을 보인다. 평균적으로 주입량 2L/min에서는 66.2%, 주입량 1L/min에서 83.1%의 제거율을 보인다. 이리듐 전극에서 최적조건은 인가 전력량 500A/㎡, 주입유량 1L/min으로 판단된다.

[0107] **3. 루테늄 전극의 유기용제 처리효율 변화**

[0108] 본 발명의 실험에에 사용된 유기용제는 우레탄페인트용 희석 용제로 ㈜남영에서 제조한 유기용제를 사용하였다. 시료의 주입은 실제 현장과 유사한 조건을 만들기 위하여 에어컴프레셔를 이용하여 에어건 역할을 수행토록 하였으며 분무건은 네블라이저로 대체하였다.

[0109] 한편, 루테늄 전극의 경우 산성 상태에서는 표면에 열산화된 루테늄 성분이 균열 또는 크랙이 생기는 특성이 있어 산성 전해액에서는 사용이 불가능하여 전해질로 NaCl을 사용한다.

[0110] 표 3는 루테늄 전극의 유기용제 제거 농도를 도시한 표이다.

[0111] [표 3]

구분 / 간격(sec)	유기용제 주입농도	루테늄(500A/㎡) in NaCl 처리 후 농도 (주입유량 :1L/min)
15	1001	258.6
30	1003	250.2
45	1003	241.7
60	1045	233.8
75	1047	227.4
90	1048	222
105	1076	217.7
120	1098	213.5
135	1124	208.8
평균	1049.4	230.4
구분 / 간격(sec)	유기용제 주입농도	루테늄(500A/㎡) in NaCl 처리 후 농도 (주입유량 :1L/min)
15	835.1	239.9
30	896.6	236.2
45	906.7	231.4
60	924.1	226.9
75	970.2	223.2
90	1000	221
105	1001	217.5
120	1002	214.1
135	1060	210.9
평균	955.1	224.6

[0112]

[0113] 또한, 도 10은 루테늄 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 유기용제 주입량 1L/min의 조건에서 유기용제 제거 농도를 도시하는 그래프이고, 도 11은 루테늄 전극, 인가전류 500A/㎡ 및 유기용제 주입량 2L/min의 조건에서 유기용제 제거 농도를 도시하는 그래프이다.

[0114] 도 10 및 도 11을 참조하면, 루테늄 전극은 NaCl 전해질 0.2%에서 유기성 희석용제 주입유량 2L/min 일 때 71~80% 제거효율을 보이며, 주입유량 1L/min에서 74~81%의 제거효율을 보인다. 평균적으로 주입량 2L/min에서는 76.5%, 주입량 1L/min에서 78.0%의 제거율을 보인다. 루테늄 전극에서의 최적 전기분해 조건은 이리듐과 동일한 것으로 판단된다.

[0115] 이상과 같이, 본 발명에서는, 대기오염배출시설에서 발생하는 휘발성유기화합물 중 C-H 결합을 가지는 모든 휘발성유기화합물의 총칭인 THC를 대상으로 전해질과 전극의 종류를 달리하여 전기분해 결과를 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

[0116] 먼저, 전극에 가해지는 총에너지량은 전류량(A:암페어)으로 알 수 있으며, 전류량은 처리효율뿐만 아니라 전극의 수명에도 직접적인 영향을 미치는 요소로 저전압, 저전류 상태에서 효율이 높은 전극을 최적의 전극으로 선정하는 것이 중요하다.

[0117] 이리듐 전극을 사용하여 인가되는 전류량을 250A/㎡로하여 THC 표준품(CH_4)의 전기분해 실험을 한 결과 250A/㎡ 조건에서는 약 4%의 전기분해 효율이 있는 것으로 확인되었으며, 이는 적용이 불가능한 조건에 해당한다.

[0118] 다음으로, 적정 전류량 500A/㎡에서 처리 대상물질의 주입 농도를 달리하고(1L/min, 2L/min), 전해질의 종류도 전극의 특성을 고려하여 이리듐의 경우 H_2SO_4 5mol, 루테늄은 NaCl 0.2% 첨가한 조건으로 이리듐과 루테늄 전극의 THC 표준물질 분해실험을 수행한 결과하여 이리듐 전극에서 주입량 1L/min일 때 44~45%의 제거효율을 구할 수 있었고, 루테늄의 경우 주입량 1L/min일 때 21~22%의 제거 효율을 나타내었다.

[0119] 따라서, 이상의 결과에서 THC 표준물질(메탄 CH_4, 400ppm) 의 전기분해는 이리듐 전극, 전류량500A/㎡, 주입유량 1L/min에서 최적의 효율을 보이는 것을 확인하였으며, 본 발명에서는 THC 표준물질(메탄 CH_4, 400ppm)의 전기분해에서 전류량은 450A/㎡ 내지 550A/㎡이고, 주입유량은 1L/min 내지 2L/min인 것이 바람직하다.

[0120] 또한, THC 표준품 외 산업현장 적용 가능성을 알아보기 위하여 ㈜남영에서 판매하는 우레탄페인트 전용 유기용제를 구입하여 인가 전류량은 최적의 조건으로 간주되는 500A/㎡로 고정하고 주입량을 달리하여 이리듐 전극과 루테늄 전극의 전기분해 효율을 검증하였으며, 전기 이리듐 전극은 H_2SO_4 전해질 1mol에서 유기성 희석용제 주입유량 2L/min 일 때 59~69% 제거효율을 보이며, 주입유량 1L/min에서 82~84%의 제거효율을 보임을 확인하였으며,

평균적으로 주입량 2L/min에서는 66.2%, 주입량 1L/min에서 83.1%의 제거율을 보인다.

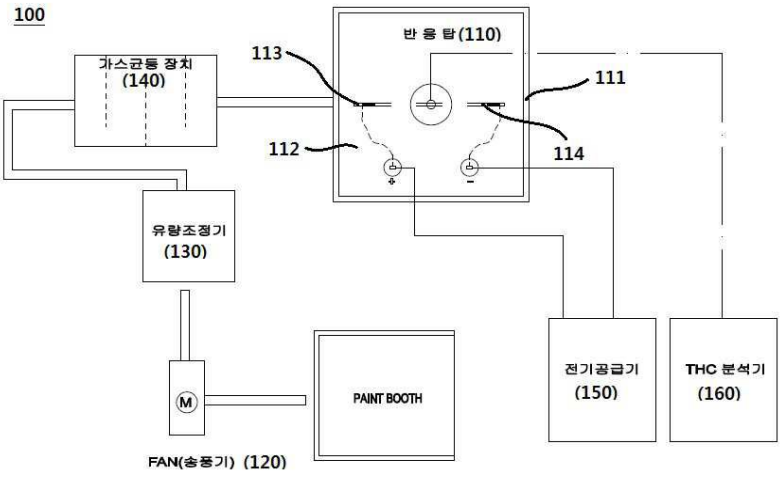
[0121] 이리듐 전극에서 최적조건은 인가 전류량 500A/㎡, 주입유량 1L/min으로 사료된다. 루테늄 전극은 NaCl 전해질 0.2%에서 유기성 희석용제 주입유량 2L/min 일 때 71~80% 제거효율을 보이며, 주입유량 1L/min에서 74~81%의 제거효율을 보인다. 평균적으로 주입량 2L/min에서는 76.5%, 주입량 1L/min에서 78.0%의 제거율을 보인다.

[0122] 따라서, 본 발명에서는 유기용제의 전기분해에서 전류량은 450A/㎡ 내지 550A/㎡ 이고, 주입유량은 1L/min 내지 2L/min인 것이 바람직하다.

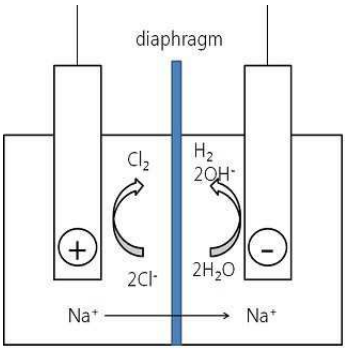
[0123] 이상과 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

도면

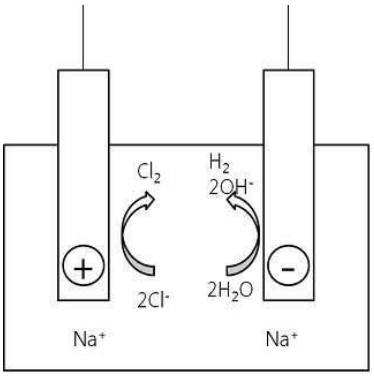
도면1



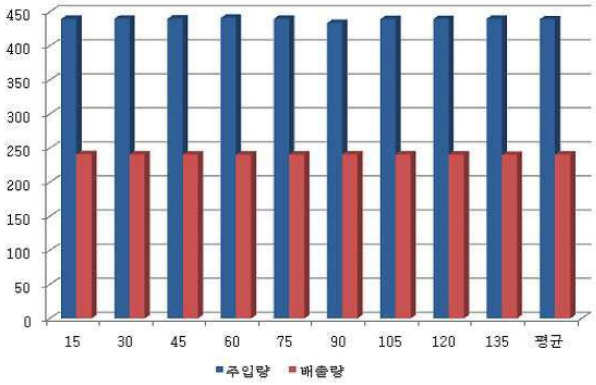
도면2



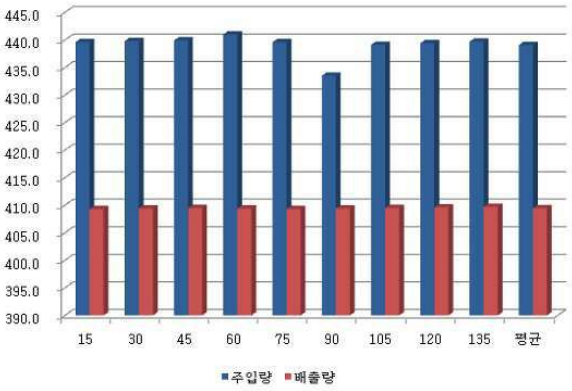
도면3


Cl2
2Cl-
H2
2OH-
2H2O
Na+
Na+

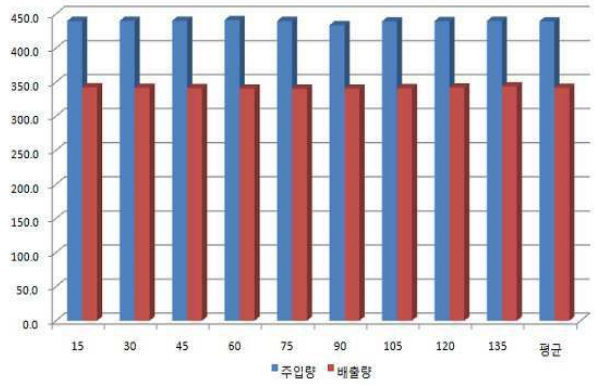
도면4


450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
15
30
45
60
75
90
105
120
135
평균
주입량
배출량

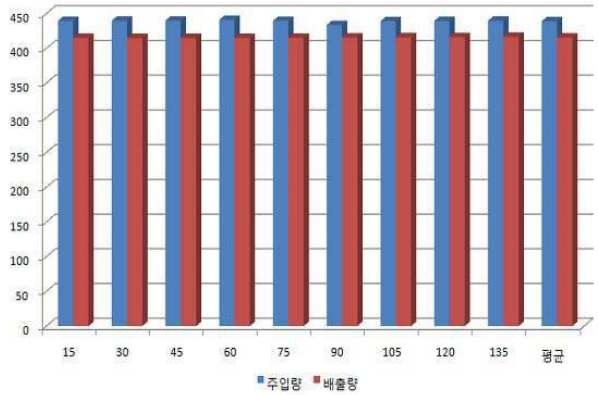
도면5


445.0
440.0
435.0
430.0
425.0
420.0
415.0
410.0
405.0
400.0
395.0
390.0
15
30
45
60
75
90
105
120
135
평균
주입량
배출량

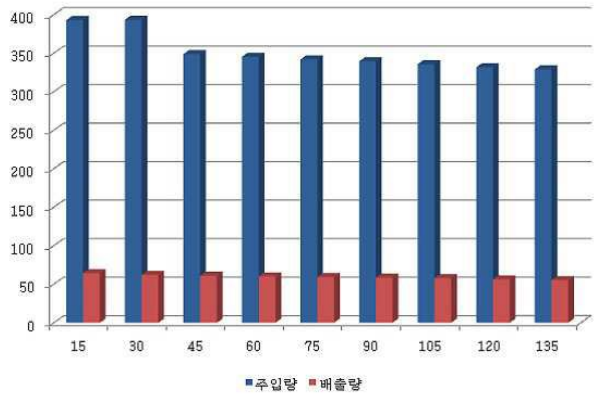
도면6


450.0
400.0
350.0
300.0
250.0
200.0
150.0
100.0
50.0
0.0
15
30
45
60
75
90
105
120
135
평균
주입량
배출량

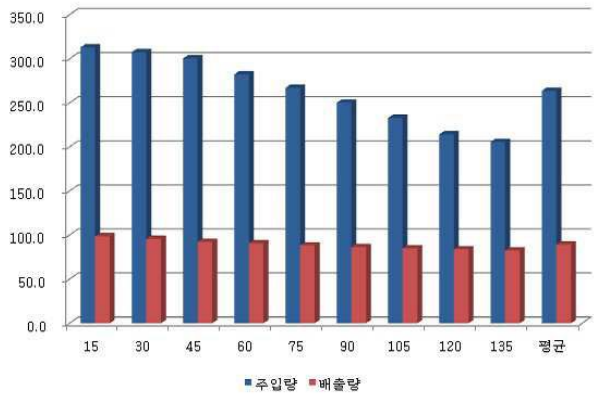
도면7


450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
15
30
45
60
75
90
105
120
135
평균
주입량
배출량

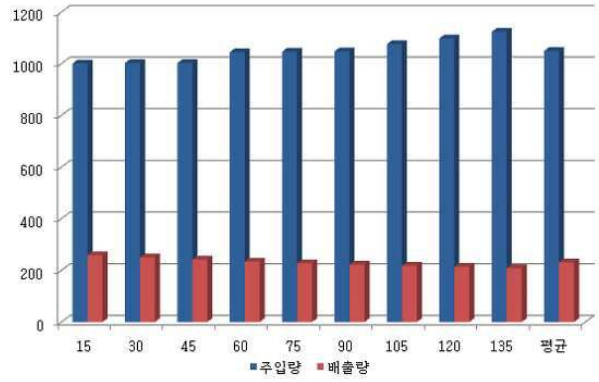
도면8


400
350
300
250
200
150
100
50
0
15
30
45
60
75
90
105
120
135
주입량
배출량

도면9



도면10



도면11

