



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0067250
(43) 공개일자 2009년06월25일

(51) Int. Cl.

B01J 19/08 (2006.01) *B01D 53/86* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0134807

(22) 출원일자 2007년12월21일

심사청구일자 2007년12월21일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천 남구 용현동 253 인하대학교

(72) 발명자

백성현

인천광역시 용현동 인하대학교 #253 2호관 2동 341호

김영수

인천광역시 용현동 인하대학교 #253 본관 032-A
(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이원희

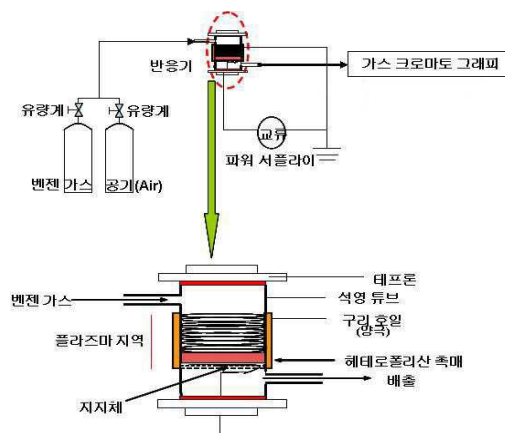
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 저온 플라즈마와 헤테로폴리산 촉매의 복합 반응기를이용한 벤젠가스 처리방법

(57) 요약

본 발명은 저온 플라즈마와 헤테로폴리산 촉매의 복합 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 촉매를 전처리하는 단계(단계 1); 상기 단계 1의 전처리된 촉매를 저온 플라즈마 반응기에 충전하는 단계(단계 2); 상기 반응기에 벤젠가스 및 공기를 함께 주입하는 단계(단계 3); 및 상기 반응기에 전압을 인가하여 저온 플라즈마를 발생시켜 벤젠가스를 분해 및 상기 충전된 촉매를 활성화시키는 단계(단계 4)를 포함하는 저온 플라즈마 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법에 관한 것이다. 본 발명에 의하면, 유해가스를 라디칼로 분해하는 저온 플라즈마와 분해된 라디칼을 원하는 물질로 생성시키는 촉매 반응이 동시에 발생하도록 하여 처리 효율을 높이고 비용은 줄일 수 있으며, 저온 플라즈마 반응기의 방전 효율 및 내구성을 높일 수 있는 원통형태의 유전체와 촉매를 반응기 안에 적층시켜 유해물질을 포함하는 가스를 분해하는 공정에 유용하게 사용할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

정광은

인천광역시 용현동 인하대학교 #253 본관 032-A

정지철

서울특별시 관악구 #599 서울대학교 302동 217호

송인규

서울특별시 관악구 #599 서울대학교 302동 217호

특허청구의 범위

청구항 1

촉매를 전처리하는 단계(단계 1);

상기 단계 1의 전처리된 촉매를 저온 플라즈마 반응기에 충전하는 단계(단계 2);

상기 반응기에 벤젠가스 및 공기를 함께 주입하는 단계(단계 3); 및

상기 반응기에 전압을 인가하여 저온 플라즈마를 발생시켜 벤젠가스를 분해 및 상기 충전된 촉매를 활성화시키는 단계(단계 4)를 포함하는 저온 플라즈마 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 저온 플라즈마 반응기 본체의 재질은 석영인 것을 특징으로 하는 저온 플라즈마 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법.

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 촉매는 헤테로폴리산 또는 그 염인 것을 특징으로 하는 저온 플라즈마 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법.

청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 헤테로폴리산 또는 그 염은 텅스텐(W), 몰리브덴(Mo) 및 바나듐(V)으로 구성된 군으로부터 선택된 1종 이상의 원소가 배위원소가 되고, 인(P) 또는 실리콘(Si)인 원소가 중심원소가 되는 무기축합산의 구조인 것을 특징으로 하는 저온 플라즈마 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법.

청구항 5

제 3항에 있어서, 상기 헤테로폴리산 또는 그 염은 12-텅스토인산($H_3PW_{12}O_{40}$), 12-텅스토실리콘산($H_4SiW_{12}O_{40}$) 및 12-몰리브도바나도인산($H_{3+x}PMo_{12-x}V_xO_{40}$, $x=0\sim12$)으로 구성된 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 저온 플라즈마 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법.

청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 촉매의 전처리는 상기 촉매를 극성용매에 용해시킨 후, 열처리하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 저온 플라즈마 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법.

청구항 7

제 6항에 있어서 상기 극성용매는 증류수, 알콜 및 아민으로 구성된 군으로부터 선택되는 것인 것을 특징으로 하는 저온 플라즈마 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법.

청구항 8

제 6항에 있어서 상기 열처리는 50~500 °C에서 수행되는 것을 특징으로 하는 저온 플라즈마 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법.

청구항 9

제 1항에 있어서, 상기 벤젠가스 및 공기는 각각 동일한 유속으로 주입되는 것을 특징으로 하는 저온 플라즈마 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법.

청구항 10

제 9항에 있어서, 상기 벤젠가스 및 공기의 유속은 80~140 ml/min인 것을 특징으로 하는 저온 플라즈마 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법.

청구항 11

제 1항에 있어서 상기 반응기에 인가되는 전압은 10~14 kV 교류전압인 것을 특징으로 하는 저온 플라즈마 반응을 이용한 벤젠가스 처리방법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기술 분야

<1> 본 발명은 저온 플라즈마와 헤테로폴리산 촉매의 복합 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 플라즈마는 고체, 액체, 기체에 이어 물질의 제 4의 상태라고 불리며, 음극과 양극으로 이루어진 전극 양단에 수 천~수 만 볼트의 전압과 수 밀리암페어~수 암페어의 전류를 흘려 방전을 발생시킬 수 있으며, 전자, 이온 및 라디칼로 구성되어 이들의 화학작용으로 환경오염물질의 분해 및 산화 작용에 이용되고 있다.
- <3> 예를 들어 대한민국실용신안 등록번호 제2000-12568호에는 멀티 싸이크론형 전기집진기의 전단부에 설치된 단위 싸이클로 가스출구관 내부에 비틀림 사각봉 형태의 플라즈마 방전봉을 삽입 설치하여 고전압 필스로 플라즈마 방전봉에 포지티브 스트리머 코로나를 발생시키면, 상기 반응기 속에서 라디칼 생성-산화반응-중화반응-최종생산물 생성의 방진 화학반응으로 유해가스를 정화하는 플라즈마를 이용하여 유해가스를 효율적으로 정화시키는 폐가스 처리장치가 기재되어 있고, 미국특허공보 제6,395,238호(Method and Apparatus Utilizing Ethanol in Non-thermal Plasma Treatment of Effluent Gas)에서는 저온 플라즈마를 이용한 전자-화학적 반응을 발생시키기 위하여 반응영역을 결정짓는 평판전극과 안정적인 저온 플라즈마 발생을 위해 전극의 앞뒷면을 덮는 평판형 유전체로 구성되어진 반응기를 이용하여 유해가스를 처리하는 방법이 기술되어 있다. 그러나 상기 방법들은 원통형 형식으로 플라즈마 발생에 비하여 과도한 전력이 공급되어야 하며, 촉매 충전시에 에어로졸 형태의 부산물로 인해 막힘현상이 생기거나, 전기적 특성을 악화시켜 반응기의 연속운전을 방해하는 문제점이 있다.
- <4> 대부분의 산업공정에서 배출되고 있는 VOCs(Volatile Organic Compounds, 휘발성 유기물질)의 대부분은 인체에 직접적으로 유해할 뿐만 아니라 대기중의 광스모그를 일으키는 원인 물질로 알려져, 이에 대한 규제가 각국에서 시행되고 있다. 이에 따라, 이들 유해가스에 대한 처리기술로서 소각공법, 촉매공법, 세정공법, 흡착공법 및 생물학적 여과공법 등이 현재 실용화되어 있으나, 이들 기존의 기술만으로는 향후 강화되는 규제를 다양한 유해가스 배출처에서 충분히 만족시킬 수 없는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 유해가스를 처리하기 위해 소각 및 촉매공법은 어떠한 방식으로든 고온의 열원이 필요하고 고온의 열원 공급이 기술적으로 어려운 청정 반도체 공정에서는 기존의 소각 및 촉매공법의 적용이 매우 어려운 문제점이 있다. 특히 소각공법의 경우 분진과 각종 유해가스(SOx, CO, NOx)를 발생시키고, 세정공법의 경우 폐수를 발생시키는 등 2차 오염원이 발생하는 문제점이 있다.
- <5> 저온 플라즈마를 이용한 유해가스 처리장치는 기존의 고비용 처리방법을 개선하기 위하여 많은 연구가 시행되고 있는 분야이며, 기본적으로 두 개의 마주보는 전극 사이에 고전압을 인가함에 의하여 고에너지의 플라즈마 상태에 도달하게 하여 유해가스를 처리하는 방법이다.
- <6> 플라즈마를 발생시키기 위한 반응기의 모양은 기본적으로 침 대 침, 침 대 평판, 평판 대 평판, 평판 대 선, 원통형 방법이 있으며 아크 방전에 다르지 않고 안정적인 플라즈마 방전을 위한 배리어의 설계방식에 따라 DBD(Dielectric Barrier Discharge)와 Packed Bed 방식으로 나뉜다.
- <7> 플라즈마 발생장치는 전력을 일정 수준이상으로 상승시키면 가스의 분해능력이 포화되어 그 이상의 에너지를 투입해도 유해가스 처리능력이 높아지지 않게 되므로 전력을 많이 소모하게 된다. 따라서 적은 에너지를 투입하면서 가스 분해효율이 높은 플라즈마 발생방식과 분해된 유해가스를 원하는 물질로 전환시킬 수 있는 촉매기술이 핵심기술이다.
- <8> 헤테로폴리산의 분자량은 기본 골격형태에 따라 차이가 있으나 헤테로폴리이미온당 약 1,000 g 이상으로 매우 크다. 또한 헤테로폴리산은 무기축합산으로서 표면적이 매우 작으며($10 \text{ m}^2/\text{g}$ 이하), 물, 알코올, 아민과 같은 극성 유기용매에 잘 용해될 뿐만 아니라, 산 촉매 및 산화환원반응 촉매로 동시에 작용하는 이원기능 특성을 보

이는 촉매이다. 헤테로폴리산이 산 촉매로 작용할 경우 산 촉매반응은 헤테로폴리산이 지니는 브뢴스테드(Bronsted) 산점에 의해 진행된다. 헤테로폴리산 촉매가 산화환원촉매로 작용할 경우 산소(산화환원 운반체)가 관여하는 반응은 표면에서 진행되며, 전자(산화환원운반체)가 관여하는 반응은 촉매의 내부인 벌크(Bulk)에서 진행된다.

<9> 누네즈 그룹(Nunez et al.)은 강유전체인 BaTiO₃ 펠렛(pellet) 또는 비드(bead)들을 저온 플라즈마 반응기의 금속전극 사이에 채워 넣고 고전압 교류를 공급하여 저온 플라즈마를 발생시킨 다음, 유전체 펠렛 사이로 기체를 통과시켜 VOCs 등의 유해가스를 제거할 수 있음을 발표한 바 있다. 또한 버밍햄 그룹(Birmingham et al.) 역시 저온 플라즈마 반응기에서 고전압 교류전력을 공급하여 유해가스를 분해하는 방법을 발표하였는데, 반응기내 유전체로 글래스(Glass), 세라믹(Ceramic), 파이렉스(Pyrex) 등을 포함시켰고, 촉매로써는 귀금속 촉매인 Pt-Pd-Rh 촉매를 첨가하여 저온 플라즈마 공정과 촉매공정을 동시에 수행하는 것을 특징으로 하였다. 최근에는 BaTiO₃ 비드 표면에 금속촉매인 백금(Pt), 팔라듐(Pd), 로듐(Rh), 코발트(Co), 니켈(Ni), 은(Ag) 또는 구리(Cu) 등을 코팅하거나 비드와 함께 넣어 저온 플라즈마 공정에서 배출되는 부산물(by-products)을 줄일 수 있는 기술을 발표하였다.

<10> 그러나, 상기의 종래 저온 플라즈마 공정에 사용되는 금속 촉매들은 귀금속 촉매들이 대부분이고 이 때문에 가격이 높다는 문제점이 있다. 또한, 전이족 금속인 백금, 팔라듐, 로듐, 코발트 또는 니켈 등은 전기적 전도성이 크기 때문에 전기가 강한 플라즈마 반응기에 사용할 경우 안정적인 저온 플라즈마의 발생을 방해하는 아크를 발생시킬 가능성이 높으며, 전이족 금속량을 줄여 아크 발생을 줄일 경우 촉매의 성능이 저하되는 문제점이 있다. 따라서 전기 전도성이 없거나 작으면서도 저온 플라즈마에 의해 크게 활성화될 수 있는 촉매 개발이 요구되고 있는 실정이다.

<11> 이에, 본 발명자들은 저온 플라즈마를 이용하여 벤젠가스의 효율적인 전환율을 갖는 벤젠가스 처리방법을 연구하던 중, 헤테로폴리산 촉매를 사용함으로써 저온 플라즈마 상태에서 벤젠가스의 전환율이 향상됨을 알아내고, 본 발명을 완성하였다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<12> 본 발명의 목적은 저온 플라즈마와 헤테로폴리산 촉매의 복합 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법을 제공하는 데 있다.

과제 해결수단

<13> 상기 목적을 달성하기 위하여, 전처리된 헤테로폴리산 촉매를 복합 반응기에 적층하고, 벤젠가스를 상기 반응기에 주입한 후, 전압을 인가하여 저온 플라즈마를 발생시킴에 의한 벤젠가스 처리방법을 제공한다.

효 과

<14> 본 발명에 의하면, 유해가스를 라디칼로 분해하는 저온 플라즈마와 분해된 라디칼을 원하는 물질로 생성시키는 촉매 반응이 동시에 발생하도록 하여 처리 효율을 높이고 비용은 줄일 수 있으며, 저온 플라즈마 반응기의 방전 효율 및 내구성을 높일 수 있는 원통형태의 유전체와 촉매를 반응기 안에 적층시켜 유해물질을 포함하는 가스를 분해하는 공정에 유용하게 사용할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<15> 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은

<16> 촉매를 전처리하는 단계(단계 1);

<17> 상기 단계 1의 전처리된 촉매를 저온 플라즈마 반응기에 충전하는 단계(단계 2);

<18> 상기 반응기에 벤젠가스 및 공기를 주입하는 단계(단계 3); 및

<19> 상기 반응기에 전압을 인가함에 의하여 저온 플라즈마를 발생시켜 벤젠가스를 분해 및 상기 충전된 촉매를 활성화시키는 단계(단계 4)를 포함하는 저온 플라즈마 반응기를 이용한 벤젠가스 처리방법을 제공한다.

- <20> 이하, 본 발명을 단계별로 상세히 설명한다.
- <21> 먼저, 본 발명에 따른 상기 단계 1은 본 발명을 위한 촉매를 전처리하는 단계로서, 구체적으로는 상기 촉매를 300 ℃ 이상 고온에서 열처리하여 수분을 제거한 후, 극성용매에 용해시켜 교반하고 열처리를 통하여 재결정하는 단계이다.
- <22> 상기 단계에서 사용되는 촉매는 헤테로폴리산 또는 그 염인 것이 바람직하다. 상기 헤테로폴리산은 몰리브덴(Mo), 텅스텐(W), 바나듐(V), 니오브(Nb) 등이 배위원소가 되고, 인(P), 실리콘(Si), 게르마늄(Ge), 비소(As), 붕소(B), 코발트(Co) 등이 중심원소가 되는 무기착합산으로서, 12-텅스토인산($H_3PW_{12}O_{40}$), 12-텅스토실리콘산($H_4SiW_{12}O_{40}$) 및 12-몰리브도바나도인산($H_{3+x}PMo_{12-x}V_xO_{40}$, $x=0\sim12$)으로 구성된 군으로부터 선택된 하나인 것이 바람직하다.
- <23> 상기 단계에서 사용되는 극성용매는 증류수, 알콜 또는 아민인 것이 바람직하고, 증류수인 것이 더욱 바람직하다. 상기 단계의 용해를 위한 교반은 10분~24시간 동안 수행되는 것이 바람직하다. 상기 단계에서 재결정을 위한 열처리는 50~500 ℃에서 수행되는 것이 바람직하고, 200~450 ℃에서 수행되는 것이 더욱 바람직하다. 상기의 열처리 과정이 50 ℃ 미만에서 수행될 경우 헤테로폴리움 이온의 전자적 특성변화가 거의 나타나지 않는 문제가 있고, 500 ℃의 온도를 초과할 경우 헤테로폴리산이 열분해되어 구조가 파괴되므로 촉매적 기능을 상실하는 문제가 있다.
- <24> 본 발명에 따른 상기 단계 2는 상기 단계 1에서 전처리된 촉매를 상기 반응기에 충전하는 단계로서, 구체적으로는 상기 반응기에 벤젠가스 및 공기를 주입하고 전압을 인가하기 전에 상기 반응기의 지지체 상부에 상기 촉매를 적층하는 단계이다.
- <25> 상기 촉매가 적층되는 본 발명의 반응기는 단순한 구조지만 가장 많이 연구되고 있으며 충전형(packed bed)형태로 쉽게 전환이 가능한 원통형 형상인 것이 바람직하다. 상기 반응기의 몸체 재질은 유전체의 역할을 할 수 있도록 석영, 파이렉스글라스(pyrex glass) 또는 아크릴세라믹인 것이 바람직하고, 석영인 것이 더욱 바람직하다. 상기 반응기의 내부 중심전극은 반응가스와의 접촉면적을 크게 하기 위하여 나선형으로 구성되는 것이 바람직하다.
- <26> 본 발명에 따른 상기 단계 3은 상기 반응기에 벤젠가스 및 공기를 주입하는 단계로서, 구체적으로는 벤젠가스 및 공기를 같은 유속으로 상기 반응기에 주입하는 단계이다. 상기와 같이 같은 유속으로 주입하는 것은 반응기 내부에서 상기 기체들이 머무는 체류시간을 같게 하기 위함이며, 이를 통해 벤젠가스의 반응시간을 일정하게 유지하기 위함이다. 상기 기체들의 유속은 80~140 ml/min인 것이 바람직하다. 상기 유속이 80 ml/min 미만일 경우, 벤젠가스가 반응기 안에 머무는 체류시간이 길어져 연속공정에서 벤젠가스의 처리량의 감소하는 문제점이 있고, 140 ml/min을 초과하는 경우, 벤젠가스가 반응기 안에 머무는 체류시간이 짧아 벤젠가스의 분해가 완전히 이루어지지 않아 벤젠가스의 분해율이 감소하는 문제점이 있다.
- <27> 본 발명에 따른 상기 단계 4는 상기 반응기에 저온 플라즈마를 발생시켜 벤젠가스를 분해하고 촉매를 활성화시키는 단계로, 구체적으로는 상기 단계를 통하여 벤젠가스가 충전된 상기 반응기에 10~14 kV의 교류전압을 인가하여 저온 플라즈마를 발생시킴으로써 벤젠가스를 분해하고, 상기 촉매를 활성화시켜 상기 벤젠가스 분해를 더욱 촉진하는 단계이다. 상기 단계에서 인가되는 교류전압이 10 kV미만일 경우, 벤젠가스의 분해율이 극히 감소하는 문제점이 있고, 14 kV를 초과하는 경우, 반응기 안에 과도한 전압이 인가되어 안정적인 플라즈마 형성이 안되고 스파크가 일어나는 문제점이 있다.
- <28> 이하 본 발명을 제조예, 실시예 및 비교예에 의하여 상세하게 설명한다. 단, 하기의 제조예, 실시예 및 비교예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기의 제조예, 실시예 및 비교예에 의하여 한정되는 것은 아니다.
- <29> <제조예 1> 헤테로폴리산 촉매의 전처리 I
- <30> 10 g의 12-텅스토인산을 300 ℃ 온도로 열처리하여 수분을 제거하였다. 상기 열처리된 12-텅스토인산을 극성용매인 증류수에 용해시키고 60 ℃의 온도하에서 가열 및 자력교반기로 교반하였다. 상기 교반 후 80 ℃ 오븐에서 12 시간동안 건조시켰다. 그 후, 상기 건조 결과물에서 결정수를 제거하기 위하여 300 ℃에서 2 시간동안 열처리하여 12-텅스토인산 촉매를 전처리하였다.
- <31> <제조예 2> 헤테로폴리산 촉매의 전처리 II

<32> 촉매 물질로 12-텡스토실리콘산을 사용한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 방법으로 수행하였다.

<33> <제조예 3> 헤테로폴리산 촉매의 전처리 III

<34> 촉매 물질로 10-몰리브도-2바나도인산을 사용한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 방법으로 수행하였다.

<35> <실시예 1> 저온 플라즈마와 헤테로폴리산 촉매를 이용한 벤젠가스의 분해 I

<36> 상기 제조예 1에서 전처리된 12-텡스토인산 촉매 0.5 g을 저온 플라즈마 반응기 내에 적층하고, 벤젠가스 500 ppm 및 공기를 100 ml/min의 같은 유속으로 상기 반응기에 주입하였다. 그 후, 상기 반응기에 10~14 kV인 교류 전압을 인가하여 저온 플라즈마를 발생시키고 각각의 전압에서의 벤젠가스 분해율을 측정하였다. 상기 분해율 측정을 위하여 가스크로마토그래프(GC-FID)를 사용하였고 상기 측정 결과를 하기 표 1에 나타내었다.

표 1

<37> 벤젠가스 전환율의 측정

방전전압 (kV)	10	11	12	13	14
전환율 (%)	75.6	79.53	88.6	96.61	99

<38> 상기 표 1에 나타난 바와 같이, 인가되는 전압이 증가할수록 벤젠가스의 전환율이 향상됨을 알 수 있다. 또한 열이 아닌 플라즈마를 이용하여 헤테로폴리산의 촉매적 활성을 일으킬 수 있다는 것을 알 수 있으며, 인가되는 전압이 14 kV일 경우 99 %의 높은 전환율을 보임을 알 수 있다.

<39> <실시예 2> 저온 플라즈마와 헤테로폴리산 촉매를 이용한 벤젠가스의 분해 II

<40> 제조예 2에서 전처리된 12-텡스토실리콘산을 촉매로 사용한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 수행하였다. 상기 전환율 측정 결과를 하기 표 2에 나타내었다.

표 2

<41> 벤젠가스 전환율의 측정

방전전압 (kV)	10	11	12	13	14
전환율 (%)	55.7	70.87	71.88	87.6	89.84

<42> 상기 표 2에서 나타난 바와 같이, 실시예 1의 결과와 유사한 경향을 보이고 있으나, 동일 전압에서 실시예 1보다 낮은 전환율을 보이는 것을 알 수 있다. 이를 통하여 12-텡스토인산이 12-텡스토실리콘산보다 바람직한 촉매임을 알 수 있으며, 인가되는 전압이 증가할수록 전환율이 향상됨을 알 수 있다. 이는 더 높은 에너지의 주입으로 더 강한 플라즈마가 생성되었기 때문이다.

<43> <실시예 3> 저온 플라즈마와 헤테로폴리산 촉매를 이용한 벤젠가스의 분해 III

<44> 제조예 3에서 전처리된 10-몰리브도-2바나도인산을 촉매로 사용한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 수행하였다. 상기 전환율 측정 결과를 하기 표 3에 나타내었다.

표 3

<45> 벤젠가스 전환율의 측정

방전전압 (kV)	10	11	12	13	14
전환율 (%)	48.8	54.49	57.8	69.33	81.81

<46> 상기 표 3에서 나타난 바와 같이, 실시예 1의 결과와 유사한 경향을 보이고 있으나, 동일 전압에서 실시예 1보다 낮은 전환율을 보이는 것을 알 수 있다. 이를 통하여 12-텅스토인산이 10-몰리브도-2바나도인산보다 바람직한 촉매임을 알 수 있으며, 인가되는 전압이 증가할수록 전환율이 향상됨을 알 수 있다. 이는 더 높은 에너지의 주입으로 더 강한 플라즈마가 생성되었기 때문이다.

<47> <비교예> 저온 플라즈마를 이용한 벤젠가스의 분해

<48> 벤젠가스가 분해되는 반응 공정에 있어서 촉매를 사용하지 않은 것을 제외하고는 상기 실시예와 동일한 방법을 수행하였고, 전환율 측정 결과를 하기 표 4에 나타내었다.

표 4

<49> 벤젠가스 전환율의 측정

방전전압 (kV)	10	11	12	13	14
전환율 (%)	32.61	34.28	42.89	48.52	50.93

<50> 상기 표 4에 나타난 바와 같이, 촉매를 사용하지 않은 경우에도 벤젠가스가 분해되는 것을 알 수 있다. 그러나 상기 실시예들과 비교하여 전환율이 현저히 떨어짐을 알 수 있으며, 최고 전환율은 50 %임을 알 수 있다. 상기 표 4에서 인가되는 전압이 증가할수록 전환율이 향상됨을 알 수 있고, 이는 더 높은 에너지의 주입으로 더 강한 플라즈마가 생성되었기 때문이다.

도면의 간단한 설명

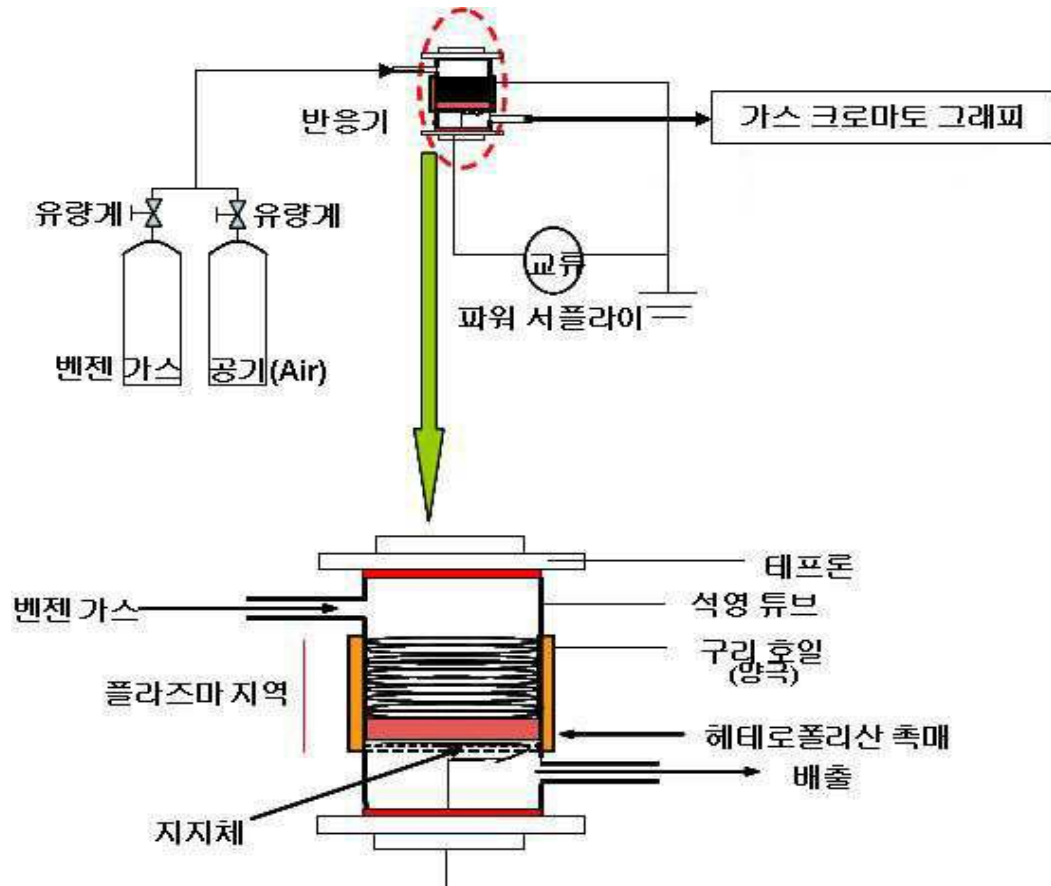
<51> 도 1은 저온 플라즈마를 이용한 벤젠가스 처리방법을 위한 반응기의 개략도이고,

<52> 도 2의 (a)는 촉매를 사용하지 않은 경우, 도 2의 (b)는 10-몰리브도-2바나도인산을 촉매로 사용한 경우, 도 2의 (c)는 12-텅스토실리콘산을 촉매로 사용한 경우 및 도 2의 (d)는 12-텅스토인산을 촉매로 사용한 경우 인가되는 전압에 따른 벤젠가스의 전환율을 도시한 그래프이고,

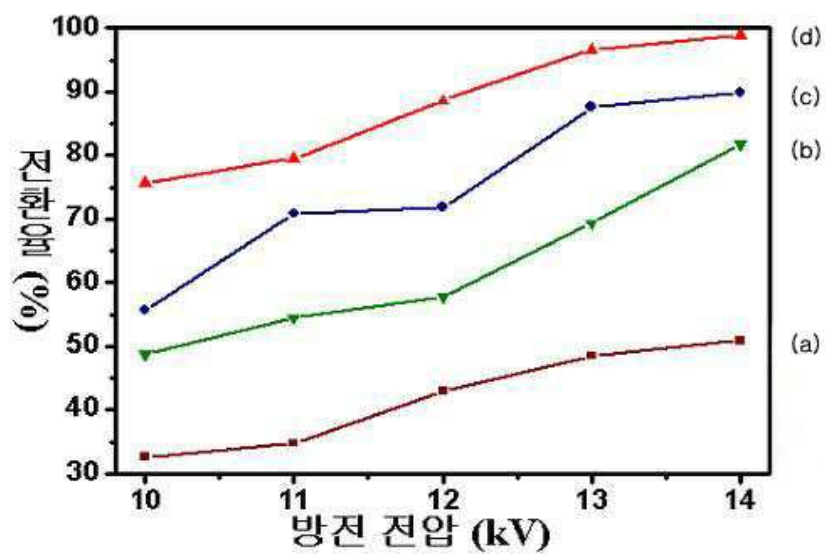
<53> 도 3은 촉매를 사용하지 않은 경우 인가되는 전압에 따른 벤젠가스의 전환율을 도시한 그래프이다.

도면

도면1



도면2



도면3

