



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2012년04월20일  
(11) 등록번호 10-1137479  
(24) 등록일자 2012년04월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01M 8/16 (2006.01) C02F 1/72 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2010-0017738  
(22) 출원일자 2010년02월26일  
심사청구일자 2010년02월26일  
(65) 공개번호 10-2011-0098231  
(43) 공개일자 2011년09월01일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR100848331 B1\*  
US20090029198 A1\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
명지대학교 산학협력단  
경기도 용인시 처인구 명지로 116 (남동, 명지대학교)  
(72) 발명자  
안대회  
경기도 용인시 기흥구 동백5로 105 (중동)  
류재훈  
경남 합천군 야로면 하빈리 1구 475-1번지  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인다울

전체 청구항 수 : 총 6 항

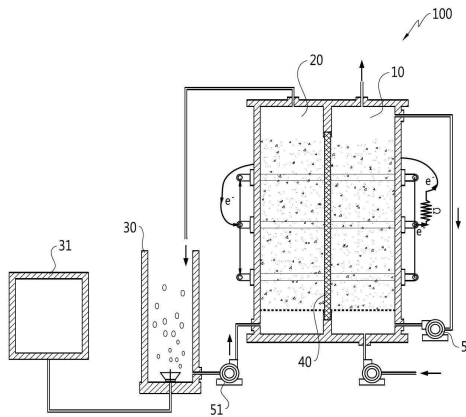
심사관 : 서상혁

(54) 발명의 명칭 **음극반응조에 산소를 공급하기 위해 음극반응조에 대기중의 공기를 주입하는 대신 오존을 주입하는 것을 특징으로 하는 미생물 연료전지**

**(57) 요약**

본 발명은 유기물을 포함한 폐수를 처리하여 전기를 생산할 수 있는 양극반응조와 음극반응조를 포함하는 미생물 연료전지로서, 상기 음극반응조에는 오존이 투입되어 음극전극의 산화환원 전위를 증가시키는 것을 특징으로 하는 미생물 연료전지에 관한 것이다. 본 발명에 따른 연료전지는 미생물 연료전지의 음극반응조에 오존을 주입하여 오존의 자가분해반응에 의한 높은 용존산소 농도를 유도함으로써, 기존의 미생물 연료전지보다 음극반응조의 음극표면에 금속촉매 또는 비금속촉매를 코팅하지 않고도 산화환원 전위를 증가시킬 수 있어 건설비용을 감소시킬 수 있으며, 안정적이고 높은 전기에너지를 생산할 수 있는 미생물 연료전지를 제공할 수 있다.

**대표도 - 도2**



(72) 발명자

**이우경**

경기도 용인시 처인구 남동 황제궁 304호

**최지윤**

경기도 안산시 상록구 본오동 한양아파트 30동 80  
7호

**김초희**

경기도 안양시 동안구 평촌대로411번길 8 (비산동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2009-0126

부처명 한국환경산업기술원

연구사업명 차세대 핵심환경기술

연구과제명 에너지 자립형 하이브리드 처리시스템을 이용한 축산폐수의 고도처리 및 전기에너지 생산  
기술

주관기관 명지대학교 산학협력단

연구기간 2009.04.01~2010.02.28

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

유기물을 포함한 폐수를 처리하여 전기를 생산할 수 있는 양극반응조와 음극반응조를 포함하는 미생물 연료전지로서,

상기 양극반응조는 양극전극 및 양극전극에 형성된 전기화학적 활성을 띤 미생물막을 포함하고,

상기 음극반응조는 음극전극을 포함하고,

상기 음극반응조는 오존발생기와 연결된 포기조와 관 구조체로 연결되고, 음극액 순환펌프를 통해 오존이 용해된 음극액을 순환시킴으로써 음극전극의 산화환원 전위를 증가시키는 것을 특징으로 하는 미생물 연료전지.

### 청구항 2

삭제

### 청구항 3

삭제

### 청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 양극반응조와 음극반응조는 세라믹 멤브레인, 양이온 교환막 및 음이온 교환막으로 이루어진 균으로부터 선택된 멤브레인에 의해 구획되는 것을 특징으로 하는 미생물 연료전지.

### 청구항 5

삭제

### 청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 양극반응조에 장착되는 양극전극은 흑연그래놀 또는 흑연펠트를 사용하여 제조된 것이고, 상기 음극반응조에 장착되는 음극전극은 흑연그래놀을 사용하여 제조된 것임을 특징으로 하는 미생물 연료전지.

### 청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 양극반응조의 양극전극 및 음극반응조의 음극전극은 저항기가 장착된 전선으로 연결되는 것을 특징으로 하는 미생물 연료전지.

### 청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 양극반응조의 양극전극의 표면에는 전기화학적 활성을 띤 미생물이 부착되어 폐수 내의 유기물을 산화시킴으로써 전자와 수소를 생성하는 것을 특징으로 하는 미생물 연료전지.

**청구항 9**

청구항 1에 있어서,

상기 미생물 연료전지가 유기물을 포함한 폐수처리 및 전력생산 용도로 사용되는 것을 특징으로 하는 미생물 연료전지.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 안정적이고 높은 전기에너지를 생산할 수 있는 미생물 연료 전지에 관한 것으로, 보다 상세하게는 양극반응조에서 전기화학적 활성을 띤 미생물에 의한 유기물 산화를 유도하고 음극반응조에서 오존의 자가분해반응에 의한 높은 용존산소 농도를 유도하여 높은 전기에너지를 생산할 수 있는 미생물 연료전지에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 우리나라의 국민생활수준 향상으로 축산가공식품의 소비량이 증가하고, 축산진흥정책으로 인하여 돼지, 소, 닭 등의 사육두수가 증가하고 있다. 농가의 새로운 소득원으로 축산업이 활성화되고 있고, 이로 인해 축산농가의 사육형태는 전통적인 재래식 가축사육 형태에서 전업식 사육형태로 규모가 커지고 있다. 따라서 축산배설물이 특정지역에 집중적으로 증가하고 있지만 축산농가의 경제성 및 처리기술의 미비로 인하여 이에 대한 적절한 처리가 이뤄지지 않고 있는 실정이다. 특히 축산폐수는 고농도의 유기성 폐수로써 질소와 인 등의 영양염류를 다량 함유하고 있기 때문에 미처리 상태로 수계에 방류하면 하천, 호수 등의 부영양화를 가속화시켜 상수원수로서 가치를 떨어뜨릴 뿐만 아니라 결국 수중 생태계를 파괴하게 된다. 또한, 고농도의 난분해성 물질, 악취물질, 질소 및 인 등을 함유하고 있기 때문에, 이것을 일반적인 생물학적 처리방법에 의하여 방류수 수질기준에 적합한 처리수를 얻기는 매우 어려운 실정이다.

[0003] 유기성 폐기물 및 유기성폐수 등 폐자원으로부터 직접 사용가능한 청정에너지를 획득하고자 하는 세계적 관심 및 개발 욕구가 증대되고 있다. 환경에너지산업 및 바이오매스 자원이용의 동향은 녹색성장 산업의 주요 핵으로 급성장하고 있는 상황에서 폐자원으로부터 직접적인 전기에너지 생산 등과 같은 혁신적 기술개발에 의한 폐자원의 에너지자원화 기술은 바이오매스자원을 기반으로 하는 환경에너지산업의 성장에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 기존의 축산폐수 처리기술들은 축산폐수의 처리에만 초점을 두어 개발된 기술들로 고농도의 유기물 등과 같은 에너지를 직접적으로 에너지화하는 기술의 개발은 전무한 실정이다. 일부 막을 사용하는 처리기술에서는 처리공정의 부산물로 얻어지는 고농도의 농축액을 퇴비화 또는 액비화하여 사용하는 정도의 에너지화 기술들은 확보되어 있는 실정이나 처리공정 내에서 직접적인 에너지를 생산하는 기술개발은 이루어져 있지 않는 상황이다.

[0004] 미생물 연료전지 시스템은 다양한 유기물 혹은 하폐수로부터 전기에너지를 생산할 수 있는 지속가능한 기술로, 많은 연구자들로부터 높은 관심을 받고 있다. 도 1에 나타난 바와 같이 일반적인 미생물 연료전지는 양이온 교환막 혹은 수소이온 교환막을 사이에 두고 양극반응조와 음극반응조로 구성되어 있다. 양극반응조에서 전기화학적 활성 미생물이 유기물을 산화하여 전자와 수소이온을 생성한다. 이렇게 얻어진 전자는 미생물의 전하이동 메카니즘(1. 전하이동 매개체, 2. 미생물의 나노와이어, 3. 전기화학적 활성을 가진 미생물막)에 의해 양극 표면으로 이동하게 된다. 양극표면에서 외부도선을 따라 음극표면으로 이동한 전자는 양극에서 생성되어 양이온 교환막 혹은 수소이온 교환막을 통해 이동된 수소이온 및 용존산소와 반응하여 물을 생성한다.

[0005] 미생물 연료전지에서 전력생산에 제한인자로서 음극반응조가 일반적이다. 보편적으로 음극액으로 사용되는 페리시아나이드나 과망간산염과 같은 화학물질은 비경제적일 뿐만 아니라 장기간 운전할 때 독성 및 비재생산성 등과 같은 많은 문제점을 내포하고 있기 때문에, 이를 극복하기 위해서 다양한 전자수용체들이 사용되고 있다. 산소는 가장 일반적인 전자수용체로써 높은 열역학적 산화환원 전위를 가지고 있고, 안정적인 운전이 가능하며, 유용성이 뛰어나다. 하지만 음극표면에서의 활성에너지 손실로 인해 금속 촉매제, 특히 백금을 음극 표면에 코팅하여 사용하고 있다. 금속 촉매제로서 백금을 음극에 코팅하는 것이 활성에너지를 낮추는 가장 일반적인 방법이지만 백금의 높은 가격으로 인해 가격이 낮은 비금속 촉매제로 Co-tetramethylphenylporphyrin(CoTMPP) 또는

iron(II) phthalocyanide(FePc) 등이 연구되고 있다. 특히, 최근에는 생물양극(microbial biocathode)에 관심이 집중되고 있다. 몇몇 연구에서 생물양극은 Mn(II)이나 Fe(II)의 전자매개체로 사용되고 있으며, 산소의 마지막 전자 수용체로써 사용되었다.

[0006] 음극으로 흑연전극을 사용했을 때, 지오박터(*Geobacter sp.*) 등의 미생물은 음극으로부터 필요한 전자를 얻고 최종전자수용체로 질산을 아질산으로 환원시키는 것으로 보고된 바 있다. 비슷한 시스템을 사용한 다른 결과에서도 음극으로부터 전자를 소비하는 미생물에 의해 질산염은 질소가스로 완전히 환원됨을 보여 주었다. 하지만 양극반응조에서 음극반응조로 많은 유기물이 이동하게 되면 음극반응조에 종속영양 미생물의 성장속도가 증가하여 전기화학적 활성 미생물막 위로 또 하나의 생물막을 형성하게 된다. 이와 같은 종속영양 미생물막으로 인해 음극액에서 전기화학적 활성 미생물막으로의 기질과 산소이동 저해가 발생하게 되며 전기에너지 생산 감소의 주요원인이 된다. 또한 종속영양 미생물에 의해 음극반응조에서의 전자소모 반응이 방해를 받아 양극반응조에서 전기화학적 활성 미생물의 전기적 활성 또한 감소하게 된다. 양극반응조에서 음극반응조로 높은 유기물이 이동하였을 때 종속영양 생물막에 의한 전력생산량 감소가 관찰되었고, 그 후 양극반응조에서 음극반응조로 이동하는 유기물 농도를 감소시켰음에도 불구하고 이전의 전력생산량을 회복하지 못한 것으로 보고되었다.

[0007] 상술한 종래의 미생물 연료전지의 문제점을 해결하고자, 본 발명자들은 안정적이고 높은 전기에너지 생산과 큰 규모의 반응기에 적합한 미생물 연료전지에 대한 예의 연구를 거듭하였고, 미생물 연료전지의 음극반응조에 오존을 주입하여 전압변화 및 전기에너지 생산력을 평가한 결과, 양극반응조에서 유기물을 제거할 수 있을 뿐만 아니라 안정적이고 높은 전기에너지를 생산할 수 있어 하폐수의 처리 및 전기 생산에 매우 효율적임을 확인하고 본 발명을 완성하게 되었다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 음극반응조의 음극표면에 금속촉매 또는 비금속촉매를 코팅하지 않고도 산화환원 전위를 증가시킬 수 있어 종래의 미생물 연료전지보다 건설비용을 감소시킬 수 있으며, 안정적이고 높은 전기에너지를 생산할 수 있는 미생물 연료전지를 제공하는데 있다.

#### 과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 유기물을 포함한 폐수를 처리하여 전기를 생산할 수 있는 양극반응조와 음극반응조를 포함하는 미생물 연료전지로서, 상기 음극반응조에는 오존이 투입되어 산화환원 전위를 증가시키는 것을 특징으로 하는 미생물 연료전지를 제공한다.

[0010] 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 상기 음극반응조는 오존발생기와 연결된 포기조와 관 구조체로 연결되어 음극액이 순환될 수 있는 구조로 제조될 수 있다. 상기 포기조와 음극반응조를 연결하는 관 구조체에는 음극액 순환 펌프가 설치되어 오존을 포함한 음극액이 음극반응조로 유입될 수 있다.

[0011] 상기 양극반응조는 양극전극 및 양극전극에 형성된 전기화학적 활성을 띤 미생물막을 포함하여 구성되며, 상기 음극반응조는 음극전극을 포함하여 구성될 수 있으며, 상기 양극반응조와 음극반응조는 세라믹 멤브레인, 양이온 교환막, 음이온 교환막 등의 멤브레인에 의해 구획될 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 상기 양극반응조와 음극반응조에 장착되는 양극전극 및 음극전극은 흑연그래놀, 흑연펠트, 티타늄 및 백금으로 이루어진 균에서 선택된 1종을 사용하여 제조될 수 있으며, 상기 양극반응조의 양극전극 및 음극반응조의 음극전극은 전자가 이동할 수 있도록 저항기가 장착된 전선으로 연결될 수 있다.

[0013] 또한 본 발명은 양극반응조와 음극반응조를 포함하는 미생물 연료전지를 사용한 유기물을 포함한 폐수처리 및 전력생산 방법으로서, 상기 음극반응조에 오존을 투입하여 유기물을 포함한 폐수를 처리하는 것을 특징으로 하는 미생물 연료전지를 이용한 폐수처리 및 전력생산 방법을 제공한다.

### 발명의 효과

[0014] 본 발명은 미생물 연료전지의 음극반응조에 오존을 주입하여 오존의 자가분해반응에 의한 높은 용존산소 농도를 유도함으로써, 기존의 미생물 연료전지보다 음극반응조의 음극표면에 금속촉매 또는 비금속촉매를 코팅하지 않고도 산화환원 전위를 증가시킬 수 있어 건설비용을 감소시킬 수 있으며, 안정적이고 높은 전기에너지를 생산할 수 있는 미생물 연료전지를 제공할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0015] 도 1은 일반적인 미생물 연료전지의 구조를 개략적으로 나타낸 도면이다.  
 도 2는 본 발명의 미생물 연료전지의 측단면을 개략적으로 나타낸 도면이다.  
 도 3은 본 발명의 시험예에서 양극반응조와 음극반응조를 모두 회분식 운전을 하여 공기 및 오존을 주입한 경우의 전압변화를 측정한 그래프이다.  
 도 4는 본 발명의 시험예에서 음극반응조의 음극액으로 일반 수돗물을 사용하여, 공기 및 오존을 주입하여 운전한 경우의 전력생산력을 평가하여 비교한 그래프이다.  
 도 5는 본 발명의 시험예에서 음극반응조의 음극액으로 100mM PBS(Phosphate Buffer Solution)을 사용하여, 공기 및 오존을 주입하여 운전한 경우의 전력생산력을 평가하여 비교한 그래프이다.  
 도 6은 본 발명의 시험예에서 미생물 연료전지의 시간에 따른 유입수와 유출수의 COD 제거량(도 6의 (a)) 및 암모니아성 질소 농도 변화(도 6의 (b))를 나타낸 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0016] 하기에서 본 발명의 음극반응조에 산소를 공급하기 위해 음극반응조에 대기중의 공기를 주입하는 대신 오존을 주입하는 것을 특징으로 하는 미생물 연료전지를 도면을 참조하여 구체적으로 설명한다.

[0017] 도 2는 본 발명에 따른 미생물 연료전지의 측단면을 개략적으로 나타낸 도면이다.

[0018] 도 2에 나타난 바와 같이, 본 발명은 유기물을 포함한 폐수를 처리하여 전기를 생산할 수 있는 양극반응조(10)와 음극반응조(20)를 포함하는 미생물 연료전지(100)로서, 상기 음극반응조(20)에는 오존이 투입되어 음극전극의 산화환원 전위를 증가시키는 것을 특징으로 하는 미생물 연료전지(100)를 제공한다.

[0019] 본 발명에 따른 미생물 연료전지(100)에서 양극반응조(10)와 음극반응조(20)는 세라믹 멤브레인, 양이온 교환막, 음이온 교환막 등의 멤브레인(40)에 의해 구획되며, 상기 음극반응조(20)는 오존발생기(31)와 연결된 포기조(30)와 관 구조체로 연결됨으로써 오존이 포함된 음극액이 유입될 수 있다. 도 2에 나타난 바와 같이 음극반응조(20)와 포기조(31)를 연결하는 관 구조체에 설치된 음극액 순환펌프(51)에 의해 오존이 포함된 음극액이 음극반응조(20)로 유입될 수 있다.

[0020] 본 발명에 따른 미생물 연료전지(100)의 양극반응조(10)와 음극반응조(20)에 장착되는 양극전극(11) 및 음극전극(12)은 흑연그래놀, 흑연펠트, 티타늄, 백금 등을 사용하여 제조될 수 있으며, 상기 양극반응조(10)의 양극전극(11) 및 음극반응조(20)의 음극전극(21)은 전자가 이동할 수 있도록 저항기가 장착된 전선으로 연결될 수 있다.

[0021] 상기 양극반응조(10)에서 전기화학적 활성을 띤 미생물이 양극전극(11)의 표면에 부착되거나 양극반응조(10) 내에 부유하고 있으며, 전기화학적 활성을 띤 미생물은 양극전극(11)의 표면에 부착되어 유기물을 산화함으로써 전자와 수소이온을 발생시킨다. 상기 전기화학적 활성을 가진 미생물로는 지오박터 박테리아(*Geobacter*), 쉬아넬라 박테리아(*Shewanella*) 등을 사용할 수 있으나, 이에 제한되지 않고 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상적으로 알려진 전기화학적 활성을 가진 미생물을 이용할 수 있다.

[0022] 상술한 바와 같이 양극반응조(10)의 양극전극(11)에서 발생된 전자는 미생물에 의해 양극전극(11)에 전달되고 수소이온은 확산과 수소이온 운반물질(pH Buffer Solution)에 의해 음극전극(21)으로 이동된다. 전기화학적 활성을 띤 미생물에서 양극전극(11)의 표면으로 이동된 전자는 외부전선을 통하여 저항기를 거쳐 음극전극(21)으로 이동되며, 이동된 전자와 수소이온은 음극전극(21)의 표면에서 오존의 자가분해작용에 의해 생성된 높은 농

도의 용존산소와 반응하여 물을 생성함으로써 폐수를 처리함과 동시에 전기 에너지를 생산할 수 있다.

[0023] 또한 본 발명은 양극반응조와 음극반응조를 포함하는 미생물 연료전지를 사용한 유기물을 포함한 폐수처리 및 전력생산 방법으로서, 상기 음극반응조에 오존을 투입하여 유기물을 포함한 폐수를 처리하는 것을 특징으로 하는 미생물 연료전지를 이용한 폐수처리 및 전력생산 방법을 제공한다.

[0024] 이와 같이 유기물을 포함한 폐수를 처리하며 전기 에너지를 생산하는 미생물 연료전지의 음극반응조에 오존을 투입함으로써 오존의 자가분해반응에 의한 높은 용존산소 농도를 유도하여 음극전극의 산화환원 전위를 증가시켜 안정적이고 높은 전기에너지를 생산함과 동시에 큰 부피의 반응기에서의 에너지생산효율을 향상시킬 수 있다.

[0025] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다.

**실시예 1**

[0026] **음극반응조에 오존을 주입한 미생물 연료전지의 제작 및 운전**

[0027] 음극반응조에 오존을 주입할 수 있는 본 발명의 미생물 연료전지는 양극반응조, 음극반응조 및 포기조 총 3개의 반응조로 구성하였다(도 2 참조). 양극반응조와 음극반응조의 물리적 분리와 원활한 수소이온의 이동을 위해 세라믹 멤브레인을 사용하였고, 오존발생기(TOGC 2, Ozonia, France)를 이용하여 오존을 포기조에 주입하여 음극반응조로 순환시켰다. 미생물 연료전지에서의 양극전극과 음극전극은 흑연그래놀전극을 사용하였다. 회분식 운전에서 외부저항(1000Ω)을 사용하여 양극반응조와 음극반응조를 연결하였다. Ag/AgCl 기준전극(Ref. 201, Radiometer Analytical)을 음극반응조에 설치하여 양극전극의 전위를 측정하였다. 양극액과 음극액을 각각의 반응조에서 200ml/min 속도로 순환시켜 흑연그래놀전극 사이에서의 막힘현상을 방지하고 물질이동을 원활하게 하여 양극반응조에서의 기질농도차를 줄이고자 하였다. 양극반응조의 단일기질로서 포도당을 사용하여 1,000mg COD/L로 회분식 운전을 하였다. 인공폐수에는 50 mM의 pH 7 인산버퍼용액(phosphate buffer)을 사용하였으며, 20 hrs의 HRT(BAZ의 최종 부피(working volume)을 기초로 하여)로 운전하였다. 양극반응조의 주입 MLSS 농도는 2 g/L로 혐기소화조 슬러지(용인하수처리장)를 이용하여 접종하였다. 양극반응조는 전력생산 평가실험에 앞서 완벽한 혐기상태를 위해서 N<sub>2</sub> 가스로 폭기하여 산소를 제거하였으며, 반응효율을 확인하기 위하여 인공폐수를 제조하여 전력생산 평가실험에 사용하였다. 혐기성 슬러지에는 전기화학적 활성 미생물양이 적기 때문에 회분식 운전을 통하여 많은 양의 혐기성 슬러지에 접종하기 보다는 적은 양의 전기적 활성을 띠는 미생물을 양극전극 표면에 접종하여 연속 운전을 통해 전기적 활성을 가진 미생물을 배양시키려고 노력하였다.

[0028] **시험예- 본 발명의 미생물 연료전지의 전력생산 평가**

[0029] 먼저 본 발명의 미생물 연료전지의 양극반응조의 양극전극(흑연그래놀전극)에 생물막을 형성하기 위해 반회분식으로 운전하였다. 7일 후, 양극반응조에 설치된 그래놀 형태의 흑연에서 슬러지가 잘 부착되는 것을 관찰할 수 있었다. 단일 기질로서 포도당을 포함하고 있는 합성폐수를 지속적으로 반응기에 공급하였다. 도 3은 양극반응조와 음극반응조를 모두 회분식 운전을 하면서 공기 및 오존을 주입한 경우의 전압변화를 나타낸 그래프이다. 도 3의 (a) 그래프는 공기 및 오존을 산기관을 통해 음극반응조에 주입한 경우의 전압변화를 나타낸다. 안정적인 전압이 생산되어 공기 대신 오존을 주입하였다. 외부저항 1000Ω에서 최대 전압 0.941V를 얻을 수 있었다. 오존에 의해서 생성된 전압은 공기를 주입하였을 때 얻을 수 있는 전압보다 약 두 배 이상 증가하였다. 도 3의 (b) 그래프는 공기를 산기관을 통해 주입하다가 안정적인 전압이 나타날 때 오존으로 주입한 경우의 전압변화를 나타낸다. 양극반응조와 음극반응조를 연결하는 외부도선을 열어 놓은 상태에서 최대전압 1.07V를 얻을 수 있었다. 이 값은 최종전자수용체로 산소를 사용하였을 때 이론적으로 얻을 수 있는 최대전압 1.14V에 근접한 값이다. 위 결과로 볼 때 음극반응조에 공기를 주입하는 것보다는 오존을 사용하는 것이 음극반응에 보다 효과적이며 높은 전력을 생산할 수 있음을 알 수 있다.

[0030] 도 4는 음극반응조의 음극액으로 일반 수돗물을 사용하여, 공기 및 오존을 주입하였을 때 전력생산력을 평가하여 비교한 그래프이다. 결과에서 보이듯이 음극의 산화환원전위가 약 10배 정도 증가하였고, 전력생산량도 약 2.5배 증가하였다. 음극전극으로는 촉매가 코팅되지 않은 흑연그래놀을 사용하였지만, 오존을 공기 대신 주입하

였을 때 보다 높은 전기에너지 생산할 수 있음을 보여주고 있다.

[0031] 도 5는 음극반응조의 음극액으로 100mM PBS(Phosphate Buffer Solution)을 사용하여, 공기 및 오존을 주입하였을 때 전력생산력을 평가하여 비교한 그래프이다. 공기 대신 오존을 주입하였을 때, 약 3배 정도 전력생산량이 증가하였다. 오존을 주입하였을 때의 음극전위 곡선을 살펴보면, 최대전류밀도에서 음극전위는 약 265mV 이므로 양극반응조의 성능 혹은 부피가 증가하였을 때 보다 많은 전기에너지를 생산할 수 있음을 나타내고 있다. 도 4와 5를 비교해보면, 수돗물에 오존을 주입한 반응기와 100mM PBS 및 공기를 주입한 반응기의 전력생산량이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

[0032] 도 6은 미생물 연료전지 시간에 따른 유입수와 유출수의 COD 제거량(도 6의 (a)) 및 암모니아성 질소 농도 변화(도 6의 (b))를 나타낸 그래프이다. COD의 제거 효율( $1.8 \pm 0.2 \text{ kg COD/m}^3 \text{ NACd}$ )은 활성슬러지공법과 대등하였으며, 양극반응조의 유입수에  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  30 mg/L를 넣어 약 50%의 제거 효율을 나타내었다. 양극반응조에서 질산화와 탈질이 동시에 일어나게 되어 암모니아가 제거된 것으로 판단된다.

[0033] 도 3 내지 도 6을 참조하면, 상기와 같이 공기 대신 오존을 음극반응조에 주입한 미생물 연료전지는 하폐수를 효과적으로 처리할 수 있을 뿐만 아니라 장기간 운전 시 안정된 전기생성이 성공적으로 이루어졌음을 확인할 수 있다.

[0034] 이상 본 발명을 바람직한 실시예에 대해서 설명하지만, 본 발명은 상술한 특정 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 그 기술적 사상을 벗어나지 않고 다양하게 변형 실시할 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 권리범위는 특정 실시예가 아니라, 첨부된 특허청구범위에 의해 정해져는 것으로 해석되어야 한다.

**부호의 설명**

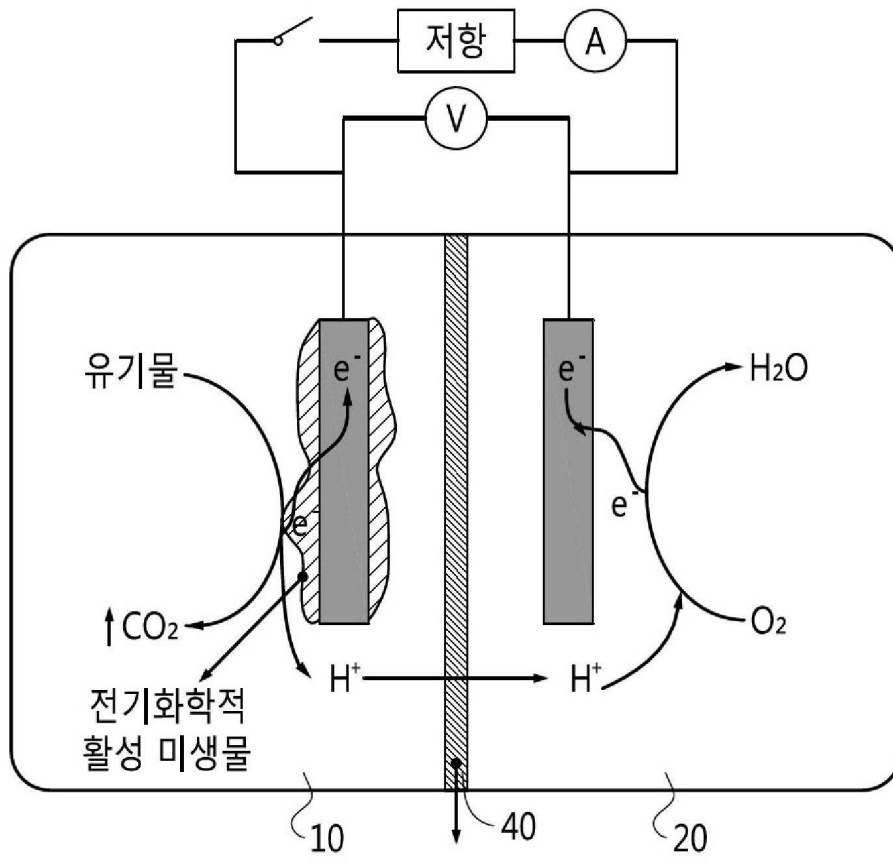
[0035] \* 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명 \*

- |               |                |
|---------------|----------------|
| 10 : 양극반응조    | 11 : 양극전극      |
| 20 : 음극반응조    | 21 : 음극전극      |
| 30 : 포기조      | 31 : 오존발생기     |
| 40 : 멤브레인     | 50 : 양극액 순환펌프  |
| 51 : 음극액 순환펌프 | 100 : 미생물 연료전지 |

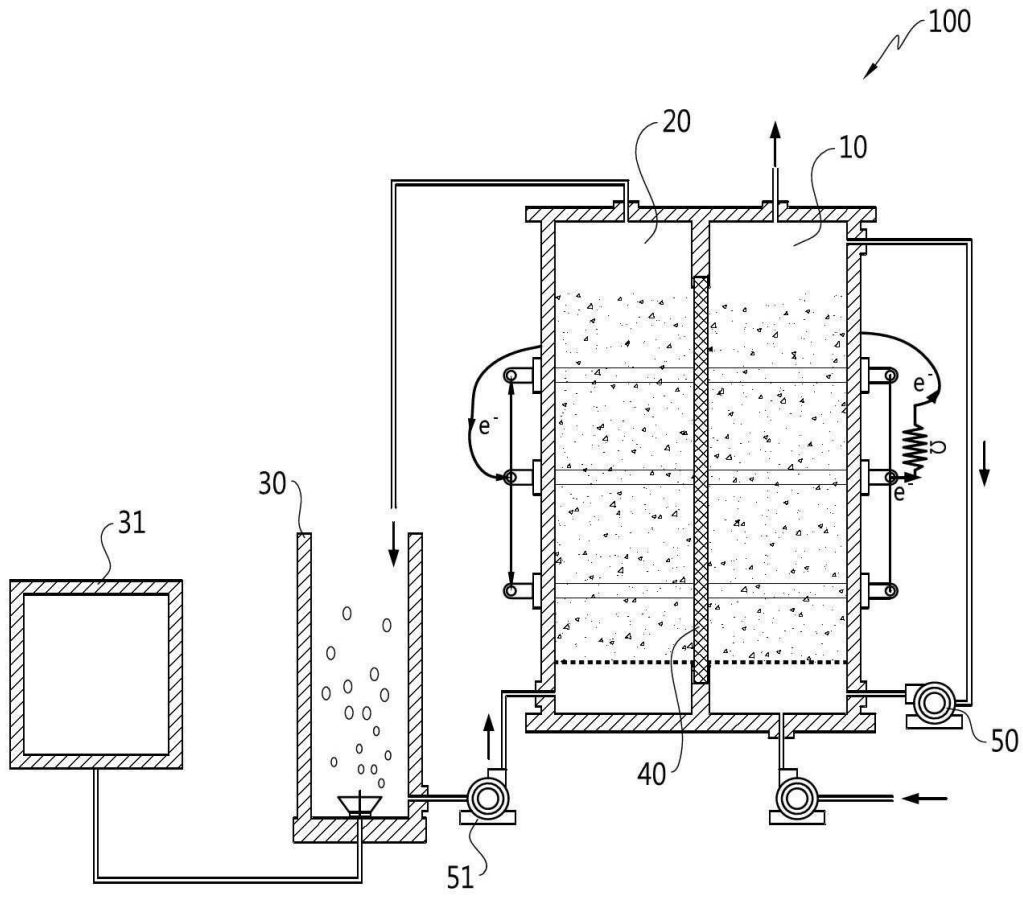


도면

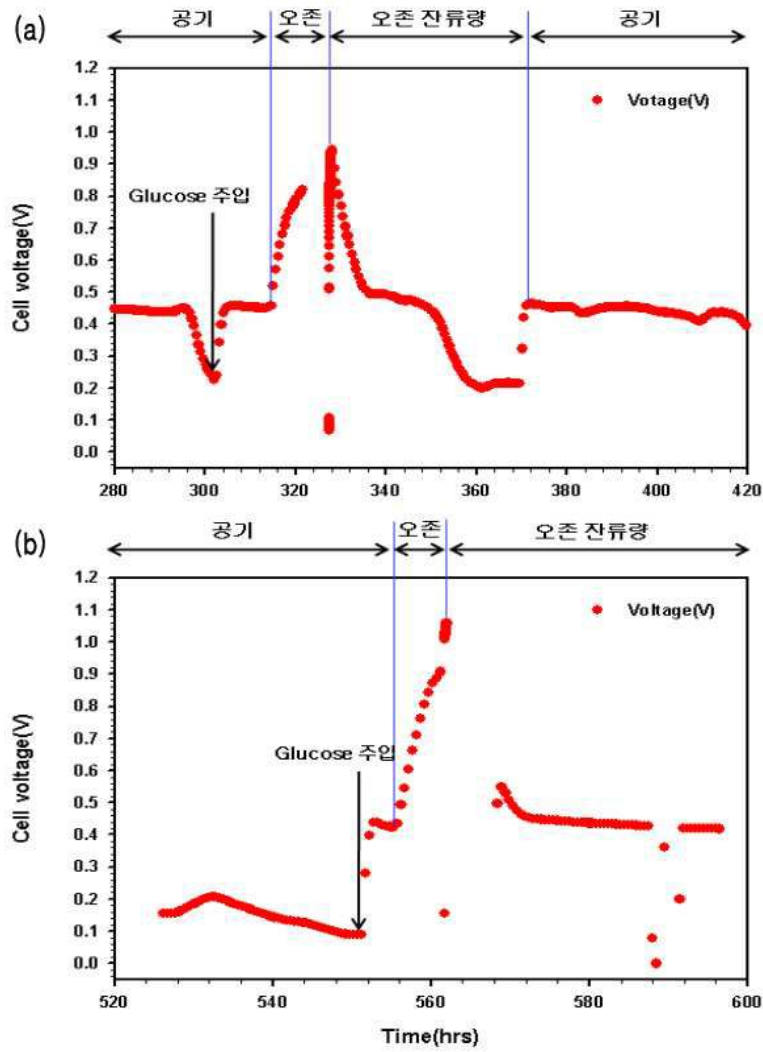
도면1



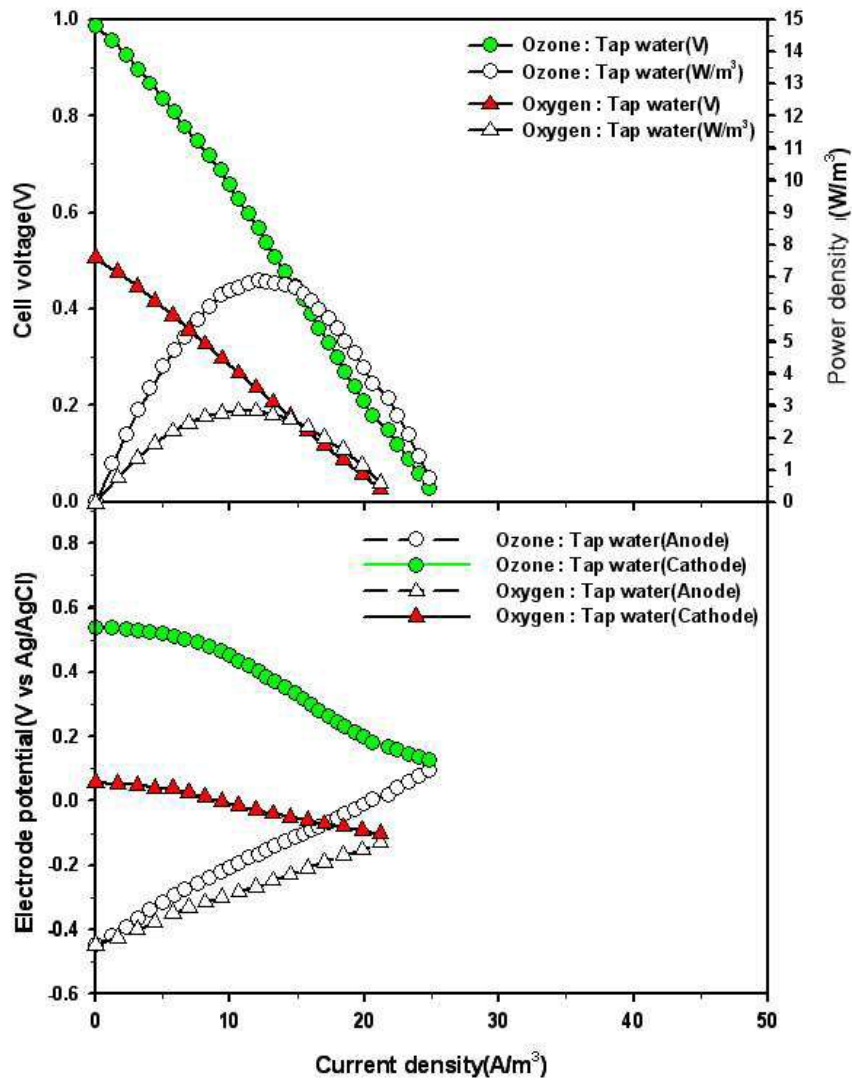
도면2



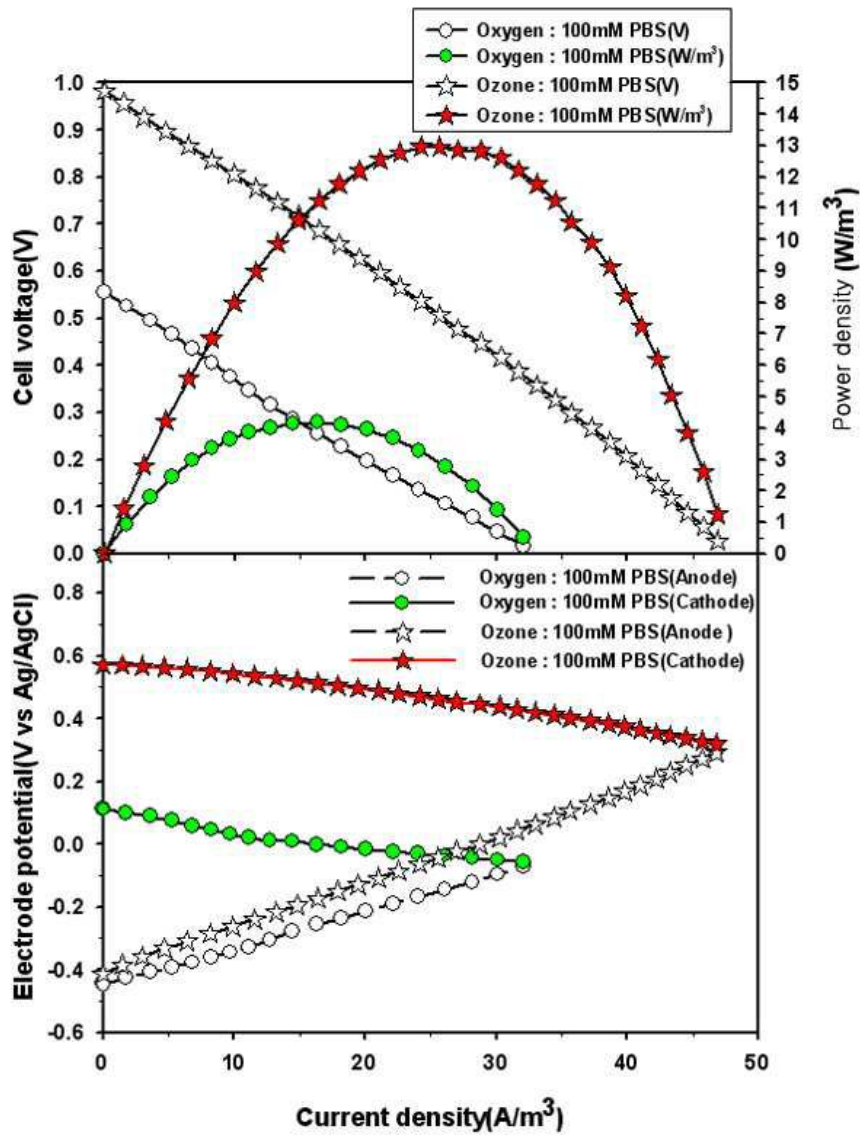
도면3



도면4



도면5



도면6

