



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0082568
(43) 공개일자 2022년06월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C02F 3/28 (2006.01) B01D 65/08 (2006.01)
C02F 1/461 (2006.01) C02F 11/04 (2006.01)
C02F 3/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C02F 3/2853 (2013.01)
B01D 65/08 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0172582

(22) 출원일자 2020년12월10일

심사청구일자 2020년12월10일

(71) 출원인

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

이창수

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원

최규철

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원

(74) 대리인

오위환, 나성곤, 정기택

전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 바이오파울링 저감 및 바이오가스 수율을 향상시키는 혐기성 소화 생물반응조 및 이를 이용한 수처리 방법

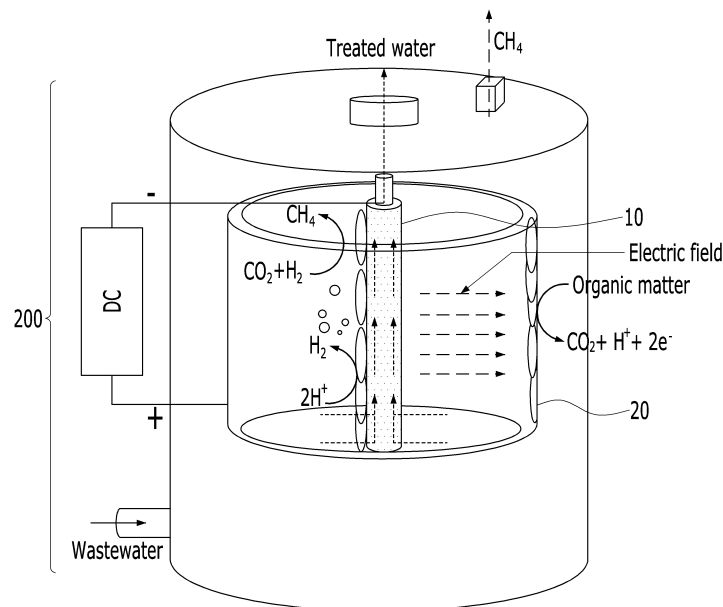
(57) 요약

본 발명은 혐기성 분리막 생물반응조에 관한 것으로서, 분리막에 바이오파울링이 형성되는 것을 제어함으로써 막 오염을 억제하여 분리막의 막 역할 수행을 높이고, 분리막의 막 역할을 수행하기 시작하는 시점, 즉 초기운전시간을 단축시켜 에너지효율을 향상시키는 것을 목표로 한다. 또한 본 발명은 미생물에 의한 전기화학반응을 극대

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1

100



화하여 메탄 가스와 같은 반응물의 수율을 높이고 이로써 추가적인 에너지를 얻는 것을 목표로 한다. 이를 위해 본 발명은 오염수 내 유기물이 미생물에 의해 전기화학반응을 통해 분해되어 바이오가스가 생성되는, 제1 전극 및 제2 전극을 포함하는 전극장치; 및 오염수가 투과되는 분리막을 포함하며, 분리막은 제2 전극에서 상기 제1 전극으로 흐르는 전기장에서 제1 전극으로 이동하는 미생물 및 미생물 유래 물질에 의해 케이크 층이 형성되면서 막간 압력차가 발생하고, 제1 전극에서 제2 전극으로 흐르는 전기장에서, 케이크 층이 형성된 분리막을 통해 처리수가 배출되고 상기 미생물 및 미생물 유래 물질이 전기장의 방향에 따라 제2 전극으로 이동하는 것인 혐기성 소화 생물반응조를 제공한다.

(52) CPC특허분류

C02F 1/46109 (2013.01)

C02F 11/04 (2013.01)

C02F 3/005 (2013.01)

C02F 3/2893 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415167517
과제번호	20184030202250
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	에너지인력양성(R&D)
연구과제명	바이오가스 생산 및 에너지화 연계 핵심기술 고급트랙
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

혐기성 환경에서 오염수가 처리되는 혐기성 소화 생물반응조에 있어서,

상기 오염수 내 유기물이 미생물에 의해 전기화학반응을 통해 분해되어 바이오가스가 생성되는, 제1 전극 및 제2 전극을 포함하는 전극장치; 및

상기 오염수가 투과되는 분리막을 포함하며,

상기 분리막은 상기 제2 전극에서 상기 제1 전극으로 흐르는 전기장에서 상기 제1 전극으로 이동하는 상기 미생물 및 미생물 유래 물질에 의해 케이크 층이 형성되면서 막간 압력차가 발생하고,

상기 제1 전극에서 상기 제2 전극으로 흐르는 전기장에서, 케이크 층이 형성된 분리막을 통해 처리수가 배출되고 상기 미생물 및 미생물 유래 물질이 상기 전기장의 방향에 따라 상기 제2 전극으로 이동하는 것인 혐기성 소화 생물반응조.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제1 전극은 전도성 망인 것을 특징으로 하는 혐기성 소화 생물반응조.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 전극장치는 전류 방향을 변환하기 위한 가변장치를 포함하는 것을 특징으로 하는 혐기성 소화 생물반응조.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제1 전극은 상기 오염수가 투과되는 분리막인 것을 특징으로 하는 혐기성 소화 생물반응조.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 오염수가 투과되는 분리막은 기공의 크기가 10 - 200 μm 인 것을 특징으로 하는 혐기성 소화 생물반응조.

청구항 6

혐기성 환경에서 오염수가 처리되는 혐기성 소화 생물반응조의 수처리 방법에 있어서,

제1 전극 및 제2 전극을 포함하는 전극장치 및 오염수가 투과되는 분리막을 준비하는 단계;

상기 제1 전극으로 이동하는 미생물 및 미생물 유래 물질에 의해 상기 분리막에 케이크 층이 형성되면서 막간 압력차가 발생하도록 상기 제2 전극에서 상기 제1 전극으로 흐르는 전기장을 형성하기 위해 상기 전극장치에 역전압을 가하는 단계;

케이크 층이 형성된 분리막을 통해 처리수가 배출되고 제1 전극에서 상기 제2 전극으로 흐르는 전기장의 방향에 따라 미생물 및 미생물 유래 물질이 상기 제2 전극으로 이동하도록 상기 전극장치에 정전압을 가하는 단계;를 포함하는 혐기성 소화 생물반응조의 수처리 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제1 전극은 전도성 망인 것을 특징으로 하는 혐기성 소화 생물반응조의 수처리 방법.

청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 전극장치는 전류 방향을 변환하기 위한 가변장치를 포함하는 것을 특징으로 하는 혐기성 소화 생물반응조의 수처리 방법.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 제1 전극은 상기 오염수가 투과되는 분리막인 것을 특징으로 하는 혐기성 소화 생물반응조의 수처리 방법.

청구항 10

제 6 항에 있어서,

상기 오염수가 투과되는 분리막은 기공의 크기가 10 - 200 μm 인 것을 특징으로 하는 혐기성 소화 생물반응조의 수처리 방법.

청구항 11

제 6 항에 있어서,

상기 전극장치에 정전압을 가하는 단계에서, 상기 제1 전극에서 기포가 형성되고 형성된 기포에 의해 케이크 층의 성장을 억제함으로써 상기 기공의 크기를 조절하는 것을 특징으로 하는 혐기성 소화 생물반응조의 수처리 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 혐기성 소화 생물반응조에 관한 것으로서, 보다 구체적으로 오염수 내 유기물이 미생물에 의해 전기 화학반응을 통해 분해되어 바이오가스가 생성되면서 오염수가 처리되는 혐기성 소화 생물반응조에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 기후 위기로 재생에너지 및 대체 에너지의 필요성이 집중되면서 하수 처리물과 같은 저농도 폐수뿐 아니라 음식물 쓰레기와 같은 고농도 폐수 등 각종 폐수 내 유기물은 처리대상의 물질이었으나 에너지 회수 기술의 발달로 현재는 바이오에너지를 생산할 수 있는 유용한 자원이다. 일반적으로 폐수처리 시스템은 1900년대 초에 개발된 호기성 공정인 활성슬러지를 주로 하여 폐수성 유기물을 공기 중에 CO_2 로 배출한다. 그러나 이 경우 폭기를 위한 송풍기의 에너지소모가 전체 에너지 소비량의 40%를 요구하며, 제거되는 유기물의 대다수가 2차 슬러지로 남아 높은 처리비용이 소요되는 문제점이 있다.

[0003] 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 혐기성 처리법 (Anaerobic Digestion, AD) 은 기존의 호기성 처리법에 비해 에너지 및 슬러지 관리법이 효율적이다. 혐기성 처리에서는 공기 공급에 필요한 에너지가 요구되지 않으며 효율적으로 슬러지와 병원균을 처리함과 동시에 재생에너지인 메탄 (CH_4)을 생성하여 폐수처리시스템과 에너지생산 시스템을 동시에 활용이 가능하다. 그러나 상업적 활용에 있어서 큰 규모의 시설 (large footprinting)을 필요로 할 뿐만 아니라, 혐기성 미생물은 성장속도가 느리고 특정 온도조건 ($35\text{-}55\text{ }^\circ\text{C}$)을 요구하므로 고형물 함량이 높은 폐수를 처리할 때 가수분해에 매우 긴 체류시간(hydraulic retention time, HRT)이 소요되어 대량 처리시 바이오매스-바이오가스 전환에 한계가 있다. 이를 개선하기 위한 방법으로 혐기성 막 생물반응조 (Anaerobic membrane bioreactor, AnMBR)는 막을 이용하여 미생물의 유실을 방지해 혐기성 미생물의 느린 성장속도로 인해 발생하는 문제점에 해답이 될 수 있으며 미생물의 체류시간을 연장시키므로 바이오매스의 가수분해율을 증가시킨다. 하지만 혐기성 막 생물반응조는 수처리 과정에서 필연적으로 바이오파울링(bio fouling), 즉 막 오염의 문제점을 가지고 있다.

[0004] 이 때, 막의 표면에 미생물이 부착되어 형성되는 미생물 케이크 층(Cake layer)이 막 표면에 형성되는 것은 막의 다른 면의 필터링에 도움이 될 수 있는데, 이를 활용한 것이 동적 분리막 (Dynamic membrane, DM)이다. 동적 분리막은 다공성 지지체 형성된 전기적 활성을 갖는 미생물 케이크 층에 의해 분리 및 생분해되는 막으로, 혐기성 동적 분리막 생물반응조 (anaerobic dynamic membrane bioreactor, AnDMBR)의 핵심을 구성한다. 이러한 혐기성 동적 분리막 생물반응조는 전극을 이용하여 앞서 언급한 전기적 활성을 가지는 미생물들을 생화학-전기적 촉매로 활용하여 전기화학적 반응을 이끌어내는 시스템에 응용될 수 있다. 긴 초기 작동에 이르는 시간 (Formation stage)을 요구할 뿐 아니라, 특정 임계점에 도달하면 혐기성 막 생물반응조와 같은 문제점에 갖게 되는 한계가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 분리막에 바이오파울링이 형성되는 것을 제어함으로써 막 오염을 억제하여 분리막의 막 역할 수행을 높이고, 분리막의 막 역할을 수행하기 시작하는 시점, 즉 초기운전시간을 단축시켜 에너지효율을 향상시킬 수 있는 혐기성 소화 반응조를 제공하는 데에 있다. 상기된 바와 같은 기술적 과제들로 한정되지 않으며, 이하의 설명으로부터 또 다른 기술적 과제가 도출될 수도 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 측면에 따른, 오염수 내 유기물이 미생물에 의해 전기화학반응을 통해 분해되어 바이오가스가 생성되는 혐기성 소화 생물반응조는 제1 전극 및 제2 전극을 포함하는 전극장치; 및 상기 오염수가 투과되는 분리막을 포함하며, 분리막은 제2 전극에서 제1 전극으로 흐르는 전기장에서 제1 전극으로 이동하는 미생물 및 미생물 유래 물질에 의해 케이크 층이 형성되면서 막간 압력차가 발생하고, 제1 전극에서 상기 제2 전극으로 흐르는 전기장에서 케이크 층이 형성된 분리막을 통해 처리수가 배출되고 미생물 및 미생물 유래 물질이 상기 전기장의 방향에 따라 상기 제2 전극으로 이동하는 하면서 케이크 층의 형성을 조절한다.

[0007] 본 발명의 다른 일 측면에 따른 혐기성 소화 생물반응조는 전도성 망으로 이루어진 제1 전극을 포함하고 제1 전극은 오염수가 자유롭게 투과되지만 미생물 및 미생물 유래 물질에 의해 표면에 케이크 층이 형성되어 기공의 크기가 작아지면서 막간 압력차가 발생하고 따라서 처리된 물인 처리수만이 투과됨으로써 분리막의 역할을 하게 되고 처리수를 외부로 배출한다.

[0008] 본 발명의 다른 일 측면에 따른 혐기성 소화 생물반응조는 전기장의 방향에 따라 미생물 및 미생물 유래 물질이 제1 전극으로 또는 제2 전극으로 이동하도록 전류 방향을 변환할 수 있는 전극장치를 포함한다.

[0009] 본 발명의 다른 일 측면에 따른 혐기성 소화 생물반응조의 수처리 방법은 제1 전극 및 제2 전극을 포함하는 전극장치 및 오염수가 투과되는 분리막을 준비하는 단계; 제1 전극으로 이동하는 상기 미생물 및 미생물 유래 물질에 의해 분리막에 케이크 층이 형성되면서 막간 압력차가 발생하도록 제2 전극에서 제1 전극으로 흐르는 전기장을 형성하기 위해 전극장치에 역전압을 가하는 단계; 케이크 층이 형성된 분리막을 통해 처리된 물이 배출되고 제1 전극에서 제2 전극으로 흐르는 전기장의 방향에 따라 미생물 및 미생물 유래 물질이 제2 전극으로 이동하도록 전극장치에 정전압을 가하는 단계;를 포함한다.

발명의 효과

[0010] 상기한 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따르면, 미생물 및 미생물 유래 물질의 전기적 성질을 이용함으로써 분리막에 케이크 층이 빠르게 형성되어 막 역할을 수행할 수 있으므로 초기 운전시점을 앞당길 수 있고 수처리에 필요한 제반 시간을 줄일 수 있다.

[0011] 또한 분리막의 케이크 층을 조절함으로써 막 오염을 늦추어 막 역할을 지속시킬 수 있으므로 혐기성 소화 생물반응조의 운영 시간을 증가시킬 수 있고 바이오가스 수율을 향상시킬 수 있다.

[0012] 또한 본 발명에 따르면 양 극 모두에서 미생물에 의한 전기화학반응이 일어나므로 메탄 가스 생성을 극대화하고 추가적인 에너지를 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 혐기성 소화 생물반응조의 구성도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 혐기성 소화 생물반응조를 구성하는 분리막을 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 혐기성 소화 생물반응조의 운전 시간에 따른 분리막의 막간 압력을 나타낸 그래프이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 음극에서 미생물들에 의한 전기화학반응이 일어나는 메커니즘을 도시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예 및 비교예에 따른 혐기성 소화 생물반응조의 사이클당 운전 시간 대비 분리막의 압력을 나타낸 그래프이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 혐기성 소화 생물반응조에 정전압을 가할 때와 역전압을 가할 때의 실행모습을 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 이하에서 설명될 본 발명의 실시예들은 바이오파울링 저감 및 바이오가스의 수율을 향상시키는 혐기성 소화 생물반응조 및 이를 이용한 수처리 방법에 관한 것이다.

[0016] 이하에서는 바이오파울링 저감 및 바이오가스 수율을 향상시키는 혐기성 소화 생물반응조를 간략하게 “혐기성 소화 생물반응조” 또는 “생물반응조”로, 바이오파울링 저감 및 바이오가스 수율을 향상시키는 혐기성 소화 생물반응조를 이용한 수처리 방법을 간략하게 “수처리 방법”으로 호칭할 수 있다.

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 혐기성 소화 생물반응조의 구성도이다. 도 1을 참조하여 살펴보면, 본 발명의 일 실시예에 따르면 혐기성 소화 생물반응조(100)는 제1 전극(10), 제2 전극(20)을 포함하는 전극장치(200)로 구성되며, 여기서 제1 전극(10)은 분리막으로서도 작용한다.

[0020] 전극장치(200)에 전압을 가하면 제1 전극(10)과 제2 전극(20)에서 오염수(Waste water) 내 유기물(Organic matter)이 미생물에 의해 전기화학반응을 하여 분해되면서 바이오가스가 형성되고 처리된 물인 처리수(Treated water)는 분리막을 거쳐 외부로 배출된다. 유기물은 음극에서 전자를 잃고 산화되어 1차적으로 이산화탄소로 전환되고 이산화탄소는 양극에서 전자를 얻어 메탄으로 전환된다. 이 때 양극에서는 유기물의 분해 산물인 메탄가스와 수소 가스로 인해 기포가 형성된다. 도 1을 참조하여 살펴보면, 본 발명의 일 실시예에 따르면 혐기성 소화 생물반응조(100)의 전극장치(200)에 전압을 가하여 제1 전극(10)에서 제2 전극(20)으로 전류가 흐르면 제1 전극(10)은 양극으로서 역할을 하고 제2 전극(20)은 음극으로서 역할을 한다. 음극인 제2 전극(20)에서 유기물(Organic matter)은 산화되어 1차적으로 이산화탄소(CO₂)로 전환되고, 양극인 제1 전극(10)에서 이산화탄소는 전자를 얻어 메탄 가스(CH₄)와 수소 가스(H₂)로 전환된다. 제1 전극(10)에서는 유기물의 분해 산물인 메탄가스와 수소 가스로 인해 기포(Micro bubble)가 형성된다. 전기화학반응 후 처리수(Waste water)는 양극이자 분리막 역할을 하는 제1 전극(10)을 통해 혐기성 소화 생물반응조(100) 밖으로 배출된다.

[0022] 유기물에 전기화학반응을 일으키는 미생물은 메탄(CH₄)을 형성할 수 있는 물질로써, 메타노젠(methanogen), 수소생성박테리아(H₂ producing bacteria) 또는 아세트젠(Acetogen)일 수 있다. 미생물과 미생물로부터 유래된 물질, 예를 들어 가용성 미생물성 생산물(Soluble microbial product, SMP), 미생물 체외고분자 물질(Extracellular polymeric substances, EPS)은 일반적으로 음전하를 가진다. 미생물 및 미생물 유래 물질은 양극 전극에서 음극 전극으로 흐르는 전기장의 방향에 따라 음극으로 이동하는 성질을 가진다.

[0024] 도 2는 발명의 일 실시예에 따른 혐기성 소화 생물반응조를 구성하는 분리막을 도시한 도면으로서 도 2의 (a)는 오염수가 투과되는 분리막이고 도 2의 (b)는 케이크 층이 형성된 분리막을 도시한 도면이고, 도 3은 발명의 일

실시에에 따른 혐기성 소화 생물반응조의 운전 시간에 따른 분리막의 막간 압력을 나타낸 그래프이다. 도 2의 (a)를 참조하여 살펴보면, 본 발명에 따른 분리막은 오염수가 자유롭게 투과할 수 있는 크기의 기공을 가지고 있으며 따라서 미생물 및 유기물 역시 자유롭게 투과할 수 있다. 그러나 혐기성 소화 생물반응조의 운전 시간이 지속되면서 미생물 및 미생물에 의해 유래된 물질, 예를 들어 가용성 미생물성 생산물(Soluble microbial product, SMP), 미생물 체외고분자 물질(Extracellular polymeric substances, EPS) 등의 미생물 유래 물질이 분리막의 표면에 부착함에 따라 케이크 층이 형성되는데, 분리막에 케이크 층이 형성되면 결과적으로 기공의 크기가 작아지게 되므로 고형물은 투과할 수 없지만 처리된 물인 처리수가 투과할 수 있게 되어 분리막으로서의 막 역할을 수행할 수 있다. 따라서 종래 생물반응조에 비하여 수질이 우수하고 미생물 체류시간이 증가하므로 처리효율이 높아진다.

[0025] 도 3을 참조하여 살펴보면, 혐기성 소화 생물반응조의 운전 시간은 분리막의 막간 압력에 따라 3단계로 나눌 수 있다. 초기 단계(Formation stage)는 막간 압력 0인 단계로 분리막의 기공이 커서 오염수가 분리막을 자유롭게 투과할 수 있다. 오염수가 분리막을 자유롭게 투과하기 때문에 혐기성 소화 반응생물조(100)에서는 전압이 가해져도 수처리가 진행되지 않는다.

[0026] 중간 단계인 바이오파울링 단계(Rapid fouling)에서는 분리막의 표면에 미생물 및 미생물 유래 물질이 부착하면서 케이크 층이 형성되기 시작하고 분리막에 막간 압력이 발생하여 서서히 증가하게 된다. 이 때 분리막은 형성된 케이크 층에 의해 기공의 크기가 작아지게 되고 따라서 고형물을 제외한 처리된 물인 처리수가 투과할 수 있게 되어 종래 생물반응조에 비하여 수질이 우수하고 전류를 통한 미생물 체류시간이 증가하므로 처리효율이 높아진다.

[0027] 안정화 단계(Consolidation)에서는 분리막의 막간 압력이 더 이상 증가하지 않고 분리막이 성숙한 상태로 유지되므로 바이오파울링의 형성속도와 제거속도가 거의 동일하게 되어 거시적으로는 바이오파울링이 일정하게 유지된다. 한편 분리막을 투과하는 속도 즉 플럭스(flux)는 급격히 떨어질 수 있어 반응조의 안정적인 운전이 어려워지는 구간이 되기도 한다. 혐기성 소화 생물반응조의 운전이 지속될수록 분리막의 기공을 덮을 정도로 케이크 층이 두텁게 형성되면서 막이 오염되어 처리된 물마저 투과할 수 없게 되기 때문이다.

[0029] 본 발명에 따르면, 본 발명의 혐기성 소화 생물반응조(100)는 오염수가 투과되는 분리막을 포함한다. 본 발명의 혐기성 소화 생물반응조의 운전 초기에는 미생물 및 미생물 유래 물질, 유기물을 포함하여 오염수가 분리막을 투과하지만 시간이 경과하면서 미생물 및 미생물 유래 물질에 의해 분리막에 케이크 층이 형성되면서 막간 압력이 발생하고 분리막으로서의 역할을 수행하기 시작한다. 케이크 층이 형성된 분리막은 미생물 및 미생물 유래 물질에 의해 케이크 층이 조절됨으로써 막 오염이 제어되어 막 역할을 지속할 수 있으므로 혐기성 소화 생물반응조의 운행 시간을 증가시킬 수 있고 따라서 바이오가스 수율을 향상시킬 수 있다.

[0031] 본 발명에 따르면, 제1 전극(10)은 분리막의 역할을 하며 전도성 망으로서 철망일 수 있다. 분리막은 처음에는 오염수가 투과될 정도의 기공을 갖지만 케이크 층이 형성된 후에는 결과적으로 기공의 크기가 작아져 고형물은 투과할 수 없지만 처리된 물인 처리수가 투과할 수 있게 된다.

[0032] 오염수가 투과되는 분리막은 기공의 크기가 10 - 200 μm 일 수 있다. 오염수가 투과되는 분리막의 기공 크기가 10 μm 미만이면 수처리 과정에서 바이오파울링이 빠르게 형성되어 막 오염을 일으키므로 더 이상 막 역할을 수행할 수 없는 문제가 있다. 오염수가 투과되는 분리막의 기공 크기가 200 μm 초과이면 미생물 및 미생물 유래 물질로 이루어진 케이크 층이 너무 천천히 형성되기 때문에 막 역할을 수행하기 시작하는 시작점 즉 초기 운전 시간에 도달하는 시점이 늦어지게 되어 운전 수율이 떨어지는 문제점이 있다. 바람직하게는 30 - 60 μm 일 수 있다.

[0034] 본 발명에 따르면, 전극장치(200)는 전류의 방향을 변환시키기 위해 가변장치를 포함할 수 있다. 전극장치(200)에 정전압을 가하면 제1 전극(10)이 양극이 되고 제2 전극(20)이 음극이 되어 미생물에 의한 유기물의 전기화학반응이 수행되고, 한편 제1 전극(10)에서 제2 전극(20)으로 전류가 흐르기 때문에 제1 전극(10)에서 제2 전극(20)의 방향으로 전기장이 형성된다. 반대로 전극장치(200)에 역전압을 가하면 제2 전극(20)이 양극이 되고 제1 전극(10)이 음극이 되어 미생물에 의한 유기물의 전기화학반응이 수행되고 제2 전극(20)에서 제1 전극(10)으로

전류가 흐르기 때문에 제2 전극(20)에서 제1 전극(10)의 방향으로 전기장이 형성된다.

[0036] 또한 본 발명에서 메탄 가스의 생성은 미생물에 의한 전기화학반응을 통해 음극에서 일어나는데 본 발명에서는 정전압을 가할 때와 역전압을 가할 때 각 전극의 역할이 바뀌기 때문에 제1 전극 및 제2 전극, 즉 양 극이 모두 음극이 될 수 있고 따라서 양 극에서 모두 메탄 가스를 얻을 수 있다. 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 음극에서 미생물들에 의한 전기화학반응이 일어나는 메커니즘을 도시한 도면이다. 메타노젠(methanogen), 수소생성 박테리아(H_2 producing bacteria) 또는 아세트젠(Acetogen)과 같은 메탄 생성 미생물들은 음극에서 직접 전자를 받아 메탄 가스를 생성할 수 있다. 한편 음극에서는 표면에 전기화학반응을 할 수 있는 미생물이 존재하므로 아세테이트를 효율적으로 산화할 수 있다.

[0038] 전극장치(200)에 역전압을 가하면 미생물 및 미생물 유래 물질이 제1 전극(10)으로 이동하기 때문에 제1 전극(10), 즉 분리막에 케이크 층이 빠르게 형성될 수 있으므로 초기 운전시점을 앞당길 수 있는 장점이 있다. 따라서 전극장치(200)에 정전압을 가하기 전에 역전압을 가하여 초기 단계(Formation stage)를 감축시켜 수처리에 필요한 제반 시간을 줄일 수 있다.

[0040] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 혐기성 소화 생물반응조에 대해 역전압 및 정전압을 가하였을 때(실시예; A에 해당)와 정전압만을 가하였을 때(비교예; AC에 해당)의 사이클당 운전 시간(단위 분) 대비 분리막의 압력(단위 TMP)을 나타낸 그래프이다. 역전압 및 정전압을 가하였을 때가 정전압만을 가하였을 때보다 막으로서의 역할을 수행하기 시작하는 시간에 먼저 도달하는 것을 확인할 수 있다.

[0042] 이하, 하기의 실시예를 통하여 본 발명에 대해 설명하고자 한다. 다만 하기의 실시예는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위를 하기의 실시예로 한정하는 것은 아니다.

[0044] 실시예

[0045] 도 6는 본 발명의 일 실시예에 따른 혐기성 소화 생물반응조에 정전압을 가할 때와 역전압을 가할 때의 운행모습을 도시한 도면이다. 도 6을 참조하여 살펴보면, 전극장치(200)에 역전압을 가하여 제2 전극(20)이 양극 전극이 되고 제1 전극(10)이 음극 전극이 되고, 제1 전극(10)에서 유기물이 산화되어 이산화탄소로 전환되고 제2 전극(20)에서는 이산화탄소가 전자를 얻어 메탄 가스로 전환되는 전기화학반응이 일어난다. 이 때 제2 전극(20)에서는 생성된 메탄 가스와 수소 가스로 인해 기포가 형성된다. 전기장의 방향은 제2 전극(20)에서 제1 전극(10)으로 흐르며 미생물 및 미생물 유래 물질은 제1 전극(10)으로 이동하여 제1 전극(10)인 분리막에 부착하면서 바이오파울링이 일어나기 시작한다. 전극장치(200)에 전압을 가하여도 혐기성 소화 반응조(100)는 바이오파울링에 의해 제1 전극(10)인 분리막에 케이크 층이 형성되어 막간 압력차가 발생하기 전까지는 오염수가 제1 전극(10)인 분리막을 통과할 수 있으므로 운전 초기 단계(Formation stage) 일정 시간 동안 전압을 가하여도 수처리가 진행되지 않는다.

[0046] 제1 전극(10)인 분리막에서 막간 압력차가 발생하기 시작하면 즉 빠른 파울링 (Rapid fouling) 단계에서 전극장치(100)에 정전압을 가한다. 제1 전극(10)이 양극 전극이 되고 제2 전극(20)이 음극 전극이 되고, 제2 전극(20)에서 유기물이 산화되어 이산화탄소로 전환되고 제1 전극(10)에서는 이산화탄소가 전자를 얻어 메탄 가스로 전환되는 전기화학반응이 일어난다. 이 때 제1 전극(10)에서는 생성된 메탄 가스와 수소 가스로 인해 기포가 형성된다. 형성된 기포가 제1 전극(10)인 분리막 주변의 미생물 및 미생물 유래 물질이 분리막의 표면에 부착하는 것을 방해하기 때문에 제1 전극(10)인 분리막의 기공을 덮을 정도로 케이크 층이 성장하지 않게 되어 막 오염을 늦출 수 있다. 또한 전기장의 방향은 제1 전극(10)에서 제2 전극(20)으로 흐르며 미생물 및 미생물 유래 물질은 전기장의 방향에 따라 음극인 제2 전극(20)으로 이동하게 된다. 따라서 제1 전극(10)인 분리막의 기공을 덮을 정도로 케이크 층이 성장하지 않으므로 막 오염을 늦추면서 처리된 물만 밖으로 배출되면서 혐기성 소화 반응조(100)에서 수처리가 진행된다.

[0049] 이제까지 본 발명에 대하여 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

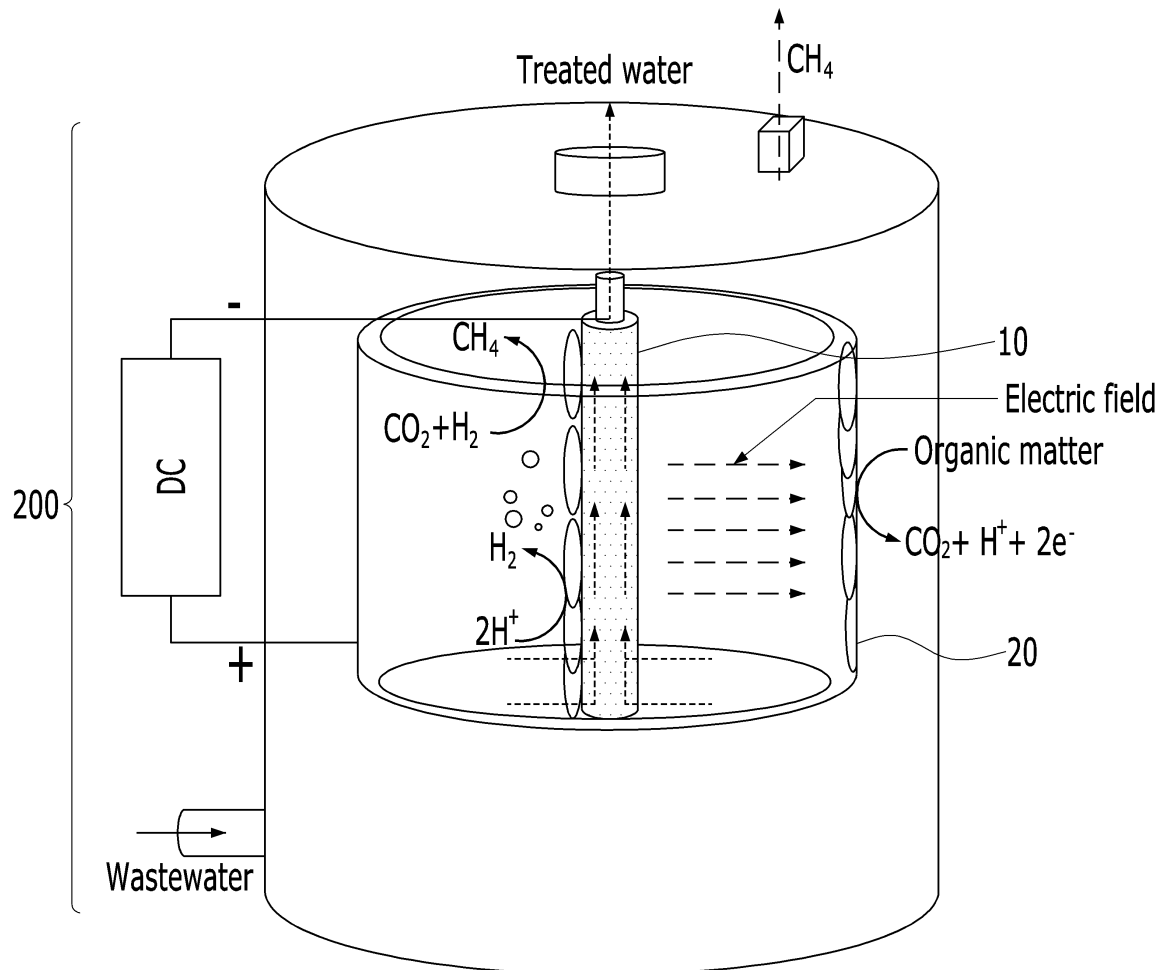
부호의 설명

[0050] 100 : 혐기성 소화 생물반응조
 200 : 전극장치
 10 : 제1 전극
 20 : 제2 전극

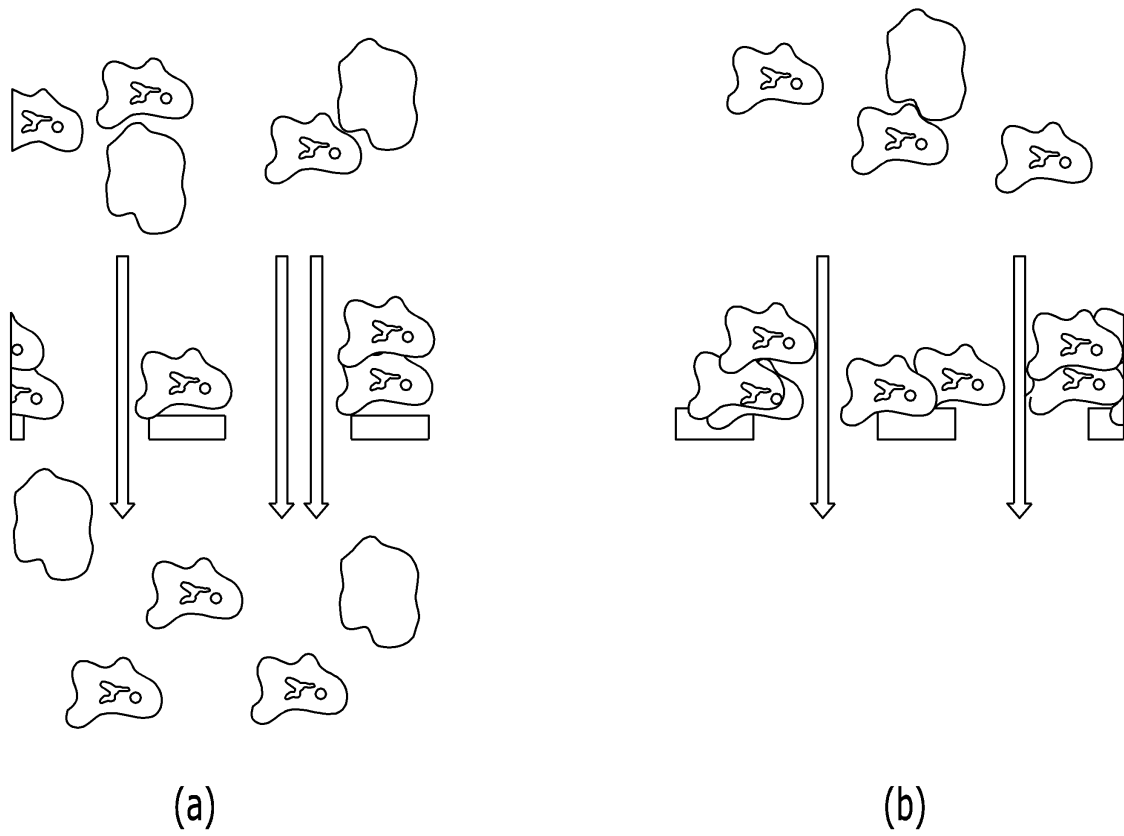
도면

도면1

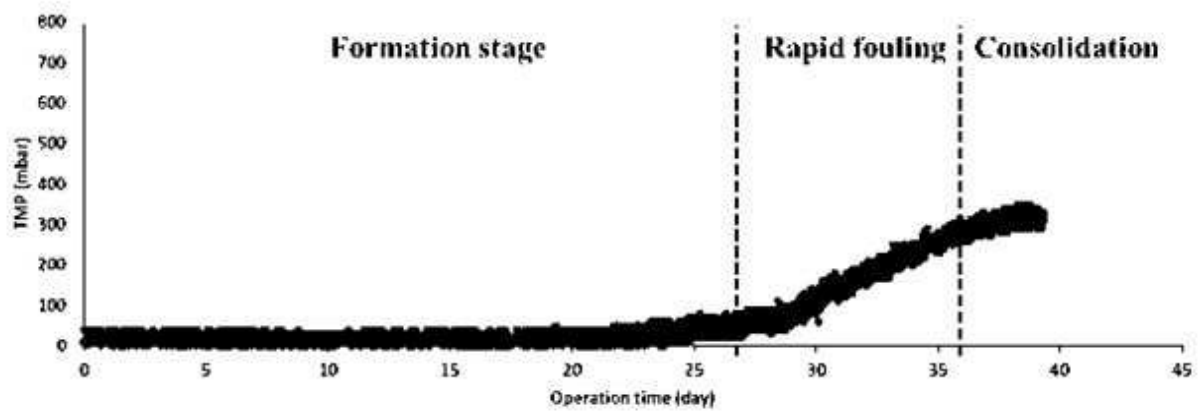
100



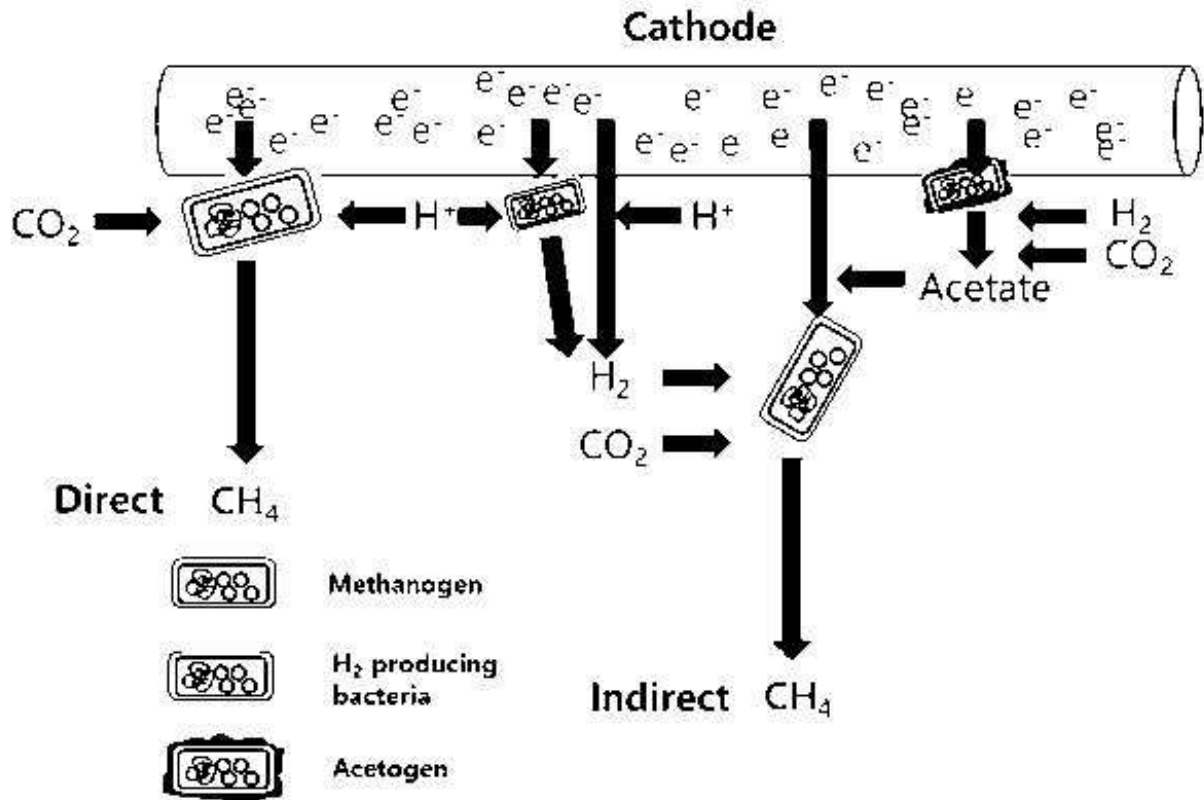
도면2



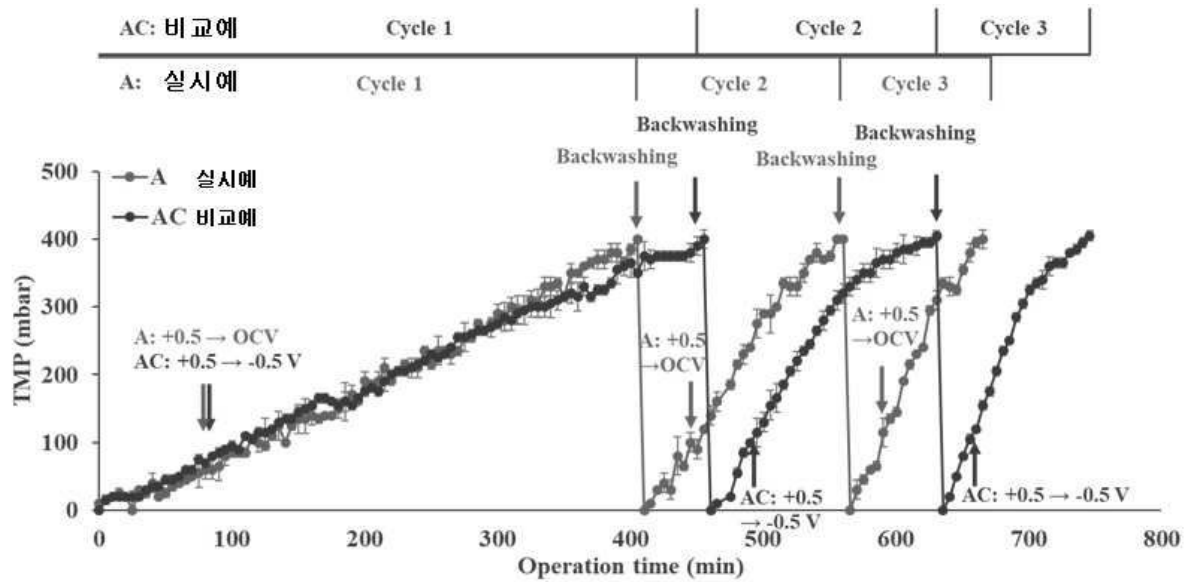
도면3



도면4



도면5



도면6

