



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0108746

(43) 공개일자 2020년09월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

*C12M 1/107* (2006.01) *C12M 1/00* (2006.01)*C12M 1/12* (2006.01) *C12M 1/34* (2006.01)*C12P 3/00* (2006.01)

(52) CPC특허분류

*C12M 21/04* (2013.01)*C12M 25/16* (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0027812

(22) 출원일자 2019년03월11일

심사청구일자 2019년03월11일

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

김상현

서울시 서대문구 연세로 50

박종훈

서울특별시 용산구 원효로35나길 2

(74) 대리인

이선택

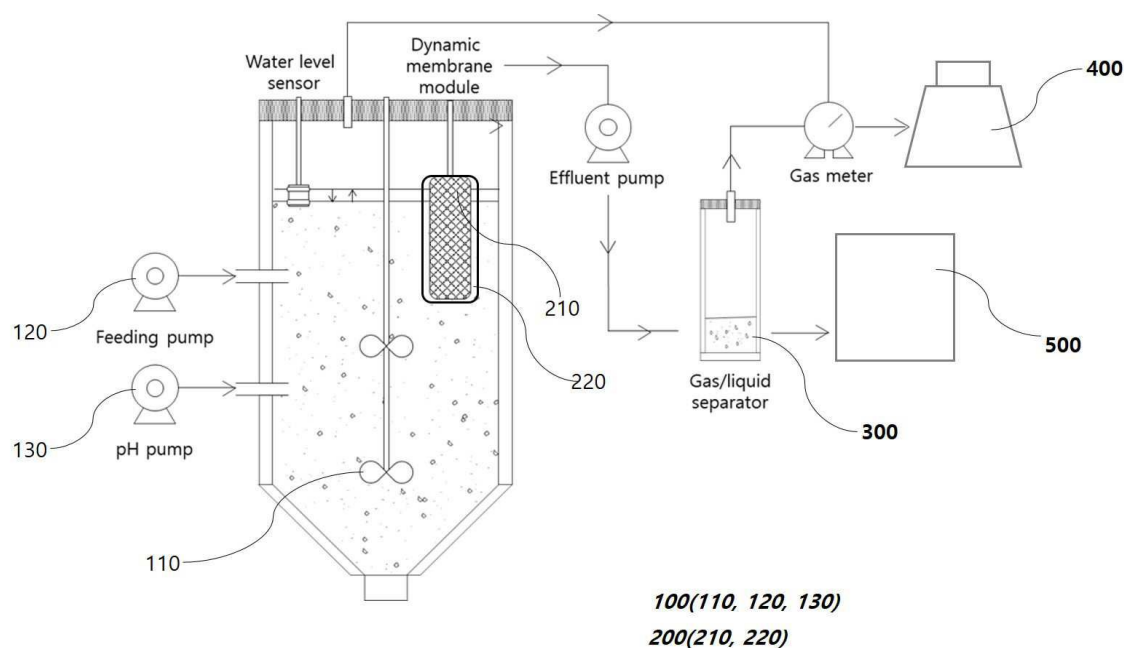
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 반응조 내부에 다이내믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치 및 이를 이용한 바이오수소 제조방법

**(57) 요약**

본 발명은 반응조 내부에 다이내믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치 및 이를 이용한 바이오수소 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 별도의 막 소재의 구비없이 다공성 지지체에 형성된 다이내믹 생물막이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하도록 하여 경제적으로 처리수와 고형분의 고액분리가 가능하고, 종래 바이오수소

(뒷면에 계속)

**대표도 - 도1**

제조를 위한 반응조와 같이 별도의 부재를 두어 다이나믹 생물막을 설치할 필요없이 반응조 내부에 구비되어 설치 및 관리 비용을 줄임과 동시에 수소 생산 효율이 우수한 바이오수소 제조장치 및 이를 이용한 바이오수소 제조방법에 관한 것이다.

본 발명에 따른 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장은 수소 생성균을 포함하는 유기 폐수와 미생물 군집체 형성물을 혼합하여 유기 폐수 혼합물을 형성하는 반응조;와 상기 반응조 내부에 배치되며, 상기 유기 폐수 혼합물의 여과에 의해 다공성 지지체 표면에 다이나믹 생물막이 형성되어 상기 유기 폐수 혼합물을 여과처리하는 다이나믹 멤브레인 모듈;과 상기 다이나믹 멤브레인 모듈을 통과한 처리수에서 휘발성 가스 및 수소 가스를 분리하고, 상기 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리부;와 상기 반응조와 상기 분리부로부터 이송받은 휘발성 가스 및 수소 가스를 저장하기 위한 가스 저장부;와 상기 분리부에서 배출된 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 저장하는 처리수 저장부;를 포함한다.

(52) CPC특허분류

**C12M 41/12** (2013.01)

**C12M 41/26** (2013.01)

**C12M 43/00** (2013.01)

**C12P 3/00** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711070323
과제번호	2017R1A2A2A07000900
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	후속연구지원(융합공동)
연구과제명	유기성 폐자원 유래 수소 생산 부가가치 극대화를 위한 및 고율 공정, 실시간 선택

압 제어, 변이균주 제작 기술 개발

기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2018.03.01 ~ 2019.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711107851
과제번호	2019M3E6A1103839
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	수소 에너지 혁신 기술개발사업
연구과제명	국내 미활용 바이오매스를 이용한 수익창출형 그린수소 생산 시스템 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2020.12.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

수소 생성균을 포함하는 유기 폐수와 미생물 군집체 형성물을 혼합하여 유기 폐수 혼합물을 형성하는 반응조;와  
상기 반응조 내부에 배치되며, 상기 유기 폐수 혼합물의 여과에 의해 다공성 지지체 표면에 다이나믹 생물막이  
형성되어 상기 유기 폐수 혼합물을 여과처리하는 다이나믹 멤브레인 모듈;과

상기 다이나믹 멤브레인 모듈을 통과한 처리수에서 휘발성 가스 및 수소 가스를 분리하고, 상기 휘발성 가스 및  
수소 가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리부;와

상기 반응조와 상기 분리부로부터 이송받은 휘발성 가스 및 수소 가스를 저장하기 위한 가스 저장부;와

상기 분리부에서 배출된 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 저장하는 처리수 저장부;를 포함하는 것  
을 특징으로 하는

반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 반응조는

수소 생성균을 포함하는 유기 폐수에 미생물 군집체 형성물을 주입하여 pH 5 내지 7, 온도 30 내지 50℃, 혐기  
분위기하에서 교반하여 유기 폐수 혼합물을 형성하는 것을 특징으로 하는

반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치.

#### 청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 다공성 지지체는

폴리에스터 재질이며, 50 내지 100  $\mu\text{m}$ 의 공극을 갖는 메쉬인 것을 특징으로 하는

반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치.

#### 청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 처리수 저장부에 저장된 처리수의 오염정도를 측정하고, 기설정된 값을 벗어날 경우 처리수를 상기 반응조  
로 반송하기 위한 반송부를 포함하는 것을 특징으로 하는

반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치.

#### 청구항 5

반응조에서 수소 생성균을 포함하는 유기 폐수와 미생물 군집체 형성물을 혼합하여 유기 폐수 혼합물을 형성시  
키는 유기 폐수 혼합물 형성단계;와

형성된 유기 폐수 혼합물을 반응조 내부에 형성된 다이나믹 멤브레인 모듈에 여과시킴으로써 다공성 지지체 표면에 다이나믹 생물막을 형성하는 다이나믹 생물막 형성단계;와

상기 다이나믹 멤브레인 모듈을 통과한 처리수를 분리부로 이송하고, 분리부에서 상기 다이나믹 멤브레인 모듈을 통과한 처리수를 이송받아 휘발성 가스 및 수소 가스를 분리하고, 상기 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리단계와;

상기 반응조와 상기 분리부로부터 이송받은 휘발성 가스 및 수소 가스를 저장하는 가스 저장단계와;

상기 분리부에서 배출된 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 처리수 저장부에 저장하는 처리수 저장단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조방법.

## 청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 유기 폐수 혼합물 형성단계는

수소 생성균을 포함하는 유기 폐수에 미생물 군집체 형성물을 주입하여 pH 5 내지 7, 온도 30 내지 50℃, 혐기 분위기하에서 교반하여 유기 폐수 혼합물을 형성하는 것을 특징으로 하는

반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조방법.

## 청구항 7

제 5항에 있어서,

상기 다공성 지지체는

폴리에스터 재질이며, 50 내지 100  $\mu\text{m}$ 의 공극을 갖는 메쉬인 것을 특징으로 하는

반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조방법.

## 청구항 8

제 5항에 있어서,

상기 처리수 저장부에 저장된 처리수의 오염정도를 측정하고, 기설정된 값을 벗어날 경우 처리수를 상기 반응조로 반송하기 위한 반송단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는

반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

본 발명은 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치 및 이를 이용한 바이오수소 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 별도의 막 소재의 구비없이 다공성 지지체에 형성된 다이나믹 생물막이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하도록 하여 경제적으로 처리수와 고형분의 고액분리가 가능하고, 종래 바이오수소 제조를 위한 반응조와 같이 별도의 부재를 두어 다이나믹 생물막을 설치할 필요없이 반응조 내부에 구비되어 설치 및 관리 비용을 줄임과 동시에 수소 생산 효율이 우수한 바이오수소 제조장치 및 이를 이용한 바이오수소 제조방법에 관한 것이다.

[0001]

## 배경 기술

- [0003] 최근 전세계적으로 에너지 부족현상이 가속화되고 있는 추세에 따라 신재생에너지 개발에 대한 관심이 고조되고 있다.
- [0004] 수소는 화석연료를 대체할 수 있는 에너지 함량이 높은 차세대 청정에너지원으로서 최근 연료전지 기술의 발달과 함께 수소생산 기술에 대한 관심이 국내외적으로 크게 증가하고 있다.
- [0005] 상용화된 수소생산기술은 주로 석유나 천연가스 등 화석연료를 열분해하거나 다른 화학공정의 부산물로 획득하는 방법으로, 이러한 수소생산기술은 온실가스 배출 등 환경 오염문제에 대한 근본적인 해결책이 되지 못하며 화석연료의 매장량 제한이라는 한계를 극복하지 못한다.
- [0006] 따라서 환경친화적인 태양광, 수력, 풍력, 미생물 등의 청정기술을 이용하여 수소를 제조하는 방법이 연구되고 있다. 여러 가지 수소생산 기술 중에서 유기성 폐수 또는 유기성 폐기물에 포함된 미생물을 이용한 생물학적 방법이 최근 많은 주목을 받고 있다.
- [0007] 이와 관련하여, 국내등록특허 제10-0985374호(유기성 폐기물로부터 수소와 메탄 가스를 생성하는 방법 및 장치)는 유기성 폐기물로부터 생성된 유기산의 정도와 수소생성의 가능성을 나타내어 주는 지표인 pH를 이용하여 단계별로 진행하게 함으로써 수소와 메탄가스를 동시에 효율적으로 생성할 수 있는 방법 및 장치를 제시하고 있다.
- [0008] 또한, 국내등록특허 제10-0960596호(메탄 생성 미생물 활성 억제제 및 가스 퍼징을 이용한 유기성 폐기물로부터의 바이오수소 가스 생산 장치 및 방법)은 메탄 생성 미생물의 활성 억제제를 주입하여 메탄 생성 미생물에 의한 수소의 소모를 최소화하고, 간헐적인 가스 퍼징에 의해 수소 분압을 낮추어, 수소 생성 미생물의 활성을 증대시켜 높은 수율로 수소를 생산하는 장치 및 방법을 제시하고 있다.
- [0009] 생물학적인 방법은 크게 광합성 미생물을 이용하는 광 생물학적 수소생산 방법과 빛이 없는 조건에서 혐기성 발효로 수소를 생산하는 방법으로 나누어진다. 광 생물학적인 방법은 햇빛과 미생물을 이용하여 물을 광분해하여 수소를 얻는 방법으로 혐기 발효에 비해 더 많은 연구가 진행되었지만 높은 활성화 에너지가 필요하며, 수소생산 속도가 상당히 느린 편으로 에너지 효율이 상당히 낮다고 보고되고 있다.
- [0010] 이에 비해 혐기성 발효를 이용한 수소 생산 방법은 유기성 폐자원에서 쉽게 얻을 수 있는 자일로스, 녹말 등의 탄수화물을 분해하여 수소를 얻는다. 또한, 수소 생산 속도가 광 생물학적 방법에 비하여 상당히 빠르며, 광원을 필요로 하지 않아 밤과 낮 구별 없이 운전이 가능하다.
- [0012] 생물학적 수소생산의 경제성은 고부하 운전을 통해 수소 생산성을 높임으로서 확보될 수 있다. 고부하 운전은 HRT(Hydraulic Retention Time)를 낮추거나 유입 농도를 높임으로써 달성할 수 있는데, 유기성폐기물 또는 바이오매스의 농도를 농축하여 높이는 것은 현실성이 낮으므로 HRT의 감소가 필요하다. 또한, HRT를 낮춤에 있어 기존의 완전혼합형반응조(Continuous Stirred Tank Reactor)에서는 HRT가 SRT(Solids Retention Time)와 같고, 수소 생산균의 SRT가 12 시간 이상으로 유지 되어야 하는 한계가 있어, 이 이하의 HRT에 대해서는 SRT와 HRT를 분리하는 고율 공정(high-rate process)의 적용이 필요하다.
- [0014] 고율 공정의 핵심은 미생물을 포함하는 고형분과 액체의 분리, 즉 고액분리라 할 수 있는데, UASB(Upflow anaerobic sludge blanket) 등의 상업화된 기존 고율 혐기성 소화는 입자성 고형물의 농도가 낮은 산업폐수에 적합한 기술로 부유물질로 구성된 슬러지 처리에는 적용되기 힘들다. ASBR(Anaerobic batch reactor)과 ACP(Anaerobic Contact Process)는 역시 수소 생성균의 낮은 침강성으로 인해 생산성을 일정 수치 이상으로 높이는 데 한계가 존재한다.
- [0015] 성능 및 신뢰성 면에서 탁월한 고액분리 방안으로 막분리(membrane separation)가 있다. 막분리는 1 $\mu$ m 미만의 공극을 갖는 막 소재를 다공성 지지체에 결합한 후 분리 대상을 투과시키는 원리를 사용하며 막 소재의 공극 또는 투과 가능 크기(가상 공극 크기)가 작을수록 제거능이 향상되지만, 막 소재 비용, 동력비, 막오염이 심해지는 단점이 있다. 일반적으로 사용되는 막 소재 중 가장 공극이 큰 정밀여과(microfiltration)를 사용하더라도, 10  $\mu$ m 이상의 부유성 고형물이 다량 함유된 기질이 유입되고 미생물이 고농도로 존재하는 고율 혐기성 소화에 적용되기에는 막 소재 비용, 동력비, 빈번한 막오염으로 인해 경제성 확보 가능성이 희박하다.

[0017] 이에, 본 발명자는 종래 고가의 막 소재의 구비없이 다공성 지지체에 생물반응조 운전 기간 동안 미생물이 부착 형성된 다이나믹 생물막(dynamic biofilm)이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하도록 하여 경제적으로 처리수와 고형분의 고액분리가 가능하고, 수소를 생산하는 기술(국내등록번호 제10-1888166호)을 개발하여 특허등록받은 바 있다.

[0019] 더 나아가, 본 발명자는 수소 생산 효율을 증대시키기 위한 연구의 일환으로 반응조에 외부에 형성되는 여과모듈을 반응조 내부에 구비하여 외부 여과모듈의 구성에 필수 불가결인 반응조의 반응과정에서 생기는 유변학적 특성을 제어하고, 다이나믹 생물막의 재질 및 공극을 한정하여 수소 생산균의 수소 생산 효율이 높아짐을 확인하여 본 발명에 이르게 되었다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0021] (특허문헌 0001) 국내등록특허 제10-0985374호(유기성 폐기물로부터 수소와 메탄 가스를 생성하는 방법 및 장치)

(특허문헌 0002) 국내등록특허 제10-0960596호(메탄 생성 미생물 활성 억제제 및 가스 퍼징을 이용한 유기성 폐기물로부터의 바이오수소 가스 생산 장치 및 방법)

(특허문헌 0003) 국내등록번호 제10-1888166호(다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치 및 이를 이용한 바이오수소 제조방법)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0022] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은 별도의 막 소재의 구비없이 다공성 지지체에 생물반응조 운전 기간 동안 미생물이 부착 형성된 다이나믹 생물막(dynamic biofilm)이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하도록 하여 경제적으로 처리수와 고형분의 고액분리가 가능하고, 종래 바이오수소 제조를 위한 반응조와 같이 별도의 부재를 두어 다이나믹 생물막을 설치할 필요없이 반응조 내부에 구비되어 설치 및 관리 비용을 줄임과 동시에 수소 생산 효율이 우수한 바이오수소 제조장치 및 이를 이용한 바이오수소 제조방법을 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0024] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치는 수소 생성균을 포함하는 유기 폐수와 미생물 군집체 형성물을 혼합하여 유기 폐수 혼합물을 형성하는 반응조;와 상기 반응조 내부에 배치되며, 상기 유기 폐수 혼합물의 여과에 의해 다공성 지지체 표면에 다이나믹 생물막이 형성되어 상기 유기 폐수 혼합물을 여과처리하는 다이나믹 멤브레인 모듈;과 상기 다이나믹 멤브레인 모듈을 통과한 처리수에서 휘발성 가스 및 수소 가스를 분리하고, 상기 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리부;와 상기 반응조와 상기 분리부로부터 이송받은 휘발성 가스 및 수소 가스를 저장하기 위한 가스 저장부;와 상기 분리부에서 배출된 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 저장하는 처리수 저장부;를 포함한다.

[0026] 상기 반응조는 수소 생성균을 포함하는 유기 폐수에 미생물 군집체 형성물을 주입하여 pH 5 내지 7, 온도 30 내지 50℃, 혐기 분위기하에서 교반하여 유기 폐수 혼합물을 형성하는 것을 특징으로 한다.

- [0028] 상기 다공성 지지체는 폴리에스터 재질이며, 50 내지 100  $\mu\text{m}$ 의 공극을 갖는 메쉬인 것을 특징으로 한다.
- [0030] 또한, 본 발명의 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치는 상기 처리수 저장부에 저장된 처리수의 오염정도를 측정하고, 기설정된 값을 벗어날 경우 처리수를 상기 반응조로 반송하기 위한 반송부를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0032] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조방법은 반응조에서 수소 생성균을 포함하는 유기 폐수와 미생물 군집체 형성물을 혼합하여 유기 폐수 혼합물을 형성시키는 유기 폐수 혼합물 형성단계;와 형성된 유기 폐수 혼합물을 반응조 내부에 형성된 다이나믹 멤브레인 모듈에 여과시킴으로써 다공성 지지체 표면에 다이나믹 생물막을 형성하는 다이나믹 생물막 형성단계;와 상기 다이나믹 멤브레인 모듈을 통과한 처리수를 분리부로 이송하고, 분리부에서 상기 다이나믹 멤브레인 모듈을 통과한 처리수를 이송받아 휘발성 가스 및 수소 가스를 분리하고, 상기 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리단계와; 상기 반응조와 상기 분리부로부터 이송받은 휘발성 가스 및 수소 가스를 저장하는 가스 저장단계와; 상기 분리부에서 배출된 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 처리수 저장부에 저장하는 처리수 저장단계를 포함한다.
- [0034] 상기 유기 폐수 혼합물 형성단계는 수소 생성균을 포함하는 유기 폐수에 미생물 군집체 형성물을 주입하여 pH 5 내지 7, 온도 30 내지 50 $^{\circ}\text{C}$ , 혐기 분위기하에서 교반하여 유기 폐수 혼합물을 형성하는 것을 특징으로 한다.
- [0036] 상기 다공성 지지체는 폴리에스터 재질이며, 50 내지 100  $\mu\text{m}$ 의 공극을 갖는 메쉬인 것을 특징으로 한다.
- [0038] 상기 처리수 저장부에 저장된 처리수의 오염정도를 측정하고, 기설정된 값을 벗어날 경우 처리수를 상기 반응조로 반송하기 위한 반송단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

### 발명의 효과

- [0040] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치 및 이를 이용한 바이오수소 제조방법에 의하면, 별도의 막 소재의 구비없이 다공성 지지체에 생물반응조 운전 기간 동안 미생물이 부착 형성된 다이나믹 생물막(dynamic biofilm)이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하도록 하여 경제적으로 처리수와 고형분의 고액분리가 가능하고, 종래 바이오수소 제조를 위한 반응조와 같이 별도의 부재를 두어 다이나믹 생물막을 설치할 필요없이 반응조 내부에 구비되어 설치 및 관리 비용을 줄임과 동시에 수소 생산 효율이 우수한 효과가 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0042] 도 1은 본 발명에 따른 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치를 보여주는 구성도.  
 도 2는 본 발명에 따른 다공성 지지체 상에 형성된 다이나믹 생물막을 보여주는 모식도.  
 도 3은 본 발명에 따른 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조방법을 보여주는 순서도.  
 도 4는 (a) 본 발명에 따른 다공성 지지체(평균 공극 크기 50 $\mu\text{m}$ 의 폴리에스터 스크린 메쉬망)과 비교예로 (b) 평균 공극 크기 100 $\mu\text{m}$ 의 스테인레스 재질의 망의 운전 시 외부 모습.  
 도 5는 본 발명에 따른 다공성 지지체의 종류에 따른 수소 생산능을 비교한 그래프.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0043] 본 발명의 구체적 특징 및 이점들은 이하에서 첨부도면을 참조하여 상세히 설명한다. 이에 앞서 본 발명에 관련된 기능 및 그 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 구체적인 설명을 생략하기로 한다.
- [0045] 도 1은 본 발명에 따른 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치를 보여주는 구성도이며, 도 2는 본 발명에 따른 다공성 지지체 상에 형성된 다이나믹 생물막을 보여주는 모식도이고, 도 3은 본 발명에 따른 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조방법을 보여주는 순서도이며, 도 4의 (a)는 본 발명에 따른 다공성 지지체(평균 공극 크기  $50\mu\text{m}$ 의 폴리에스터 스크린 메쉬망)의 운전 시 외부 모습이고, (b)는 비교예(평균 공극 크기  $100\mu\text{m}$ 의 스테인레스 재질의 망)의 운전 시 외부 모습이고, 도 5는 본 발명에 따른 다공성 지지체의 종류에 따른 수소 생산능을 비교한 그래프이다.
- [0047] 본 발명은 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치 및 이를 이용한 바이오수소 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 별도의 막 소재의 구비없이 다공성 지지체에 형성된 다이나믹 생물막이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하도록 하여 경제적으로 처리수와 고형분의 고액분리가 가능하고, 종래 바이오수소 제조를 위한 반응조와 같이 별도의 부재를 두어 다이나믹 생물막을 설치할 필요없이 반응조 내부에 구비되어 설치 및 관리 비용을 줄임과 동시에 수소 생산 효율이 우수한 바이오수소 제조장치 및 이를 이용한 바이오수소 제조방법에 관한 것이다.
- [0049] 도 1은 본 발명에 따른 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치를 보여주는 구성도이다.
- [0050] 본 발명에 따른 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치는 수소 생성균을 포함하는 유기 폐수와 미생물 군집체 형성물을 혼합하여 유기 폐수 혼합물을 형성하는 반응조(100)와 상기 반응조 내부에 배치되며, 상기 유기 폐수 혼합물의 여과에 의해 다공성 지지체(210) 표면에 다이나믹 생물막(220)이 형성되어 상기 유기 폐수 혼합물을 여과처리하는 다이나믹 멤브레인 모듈(200)과 상기 다이나믹 멤브레인 모듈을 통과한 처리수에서 휘발성 가스 및 수소 가스를 분리하고, 상기 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리부(300)와 상기 반응조와 상기 분리부로부터 이송받은 휘발성 가스 및 수소 가스를 저장하기 위한 가스 저장부(400)와 상기 분리부에서 배출된 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 저장하는 처리수 저장부(500)를 포함한다.
- [0052] 상기 반응조(100)는 수소 생성균을 포함하는 유기 폐수와 미생물 군집체 형성물을 혼합하여 유기 폐수 혼합물 형성함과 동시에 혐기 소화하여 발생된 휘발성 가스 및 수소 가스를 가스 저장부로 이송하게 된다.
- [0054] 하수슬러지, 음식물쓰레기, 농산물쓰레기, 축산물쓰레기 등의 유기 폐수에는 가수 분해균, 수소 생성균, 메탄 생성균, 산(acid) 생성균 등과 같은 다양한 종류의 미생물을 포함하고 있다.
- [0056] 수소 생성균의 예로는, 클로스트리디아 속(Genus clostridia)의 클로스트리디움 부티리쿰(*Clostridium butylicum*), 클로스트리디움 티로부티리쿰(*Clostridium tyrobutyricum*), 클로스트리디움 아세토부티리쿰(*Clostridium acetobutylicum*), 클로스트리디움 프리디카니스(*Clostridium fridicarnis*), 클로스트리디움 빈센티(*Clostridium vincentii*) 등이 있는데, 다른 미생물과 달리 수소 생성균은 내열성이 우수하며, 유기 폐수의 열처리를 통해 수소 생성균 이외에 나머지 미생물의 활성을 억제하여 유기 폐수의 수소 생성균이 우점종을 이루어 다량의 수소가스가 생성되도록 할 수 있다. 열처리 조건은 80 내지  $120^{\circ}\text{C}$ 에서 10 내지 60분간 처리될 수 있다.
- [0058] 유기 폐수의 열처리는 별도의 열처리 수조에서 수행되어 반응조로 투입되거나 반응조 자체에서 수행하는 것도

가능하다.

- [0060] 상기 반응조(100)는 유기 폐수와 미생물 군집체 형성물의 균일한 혼합을 위한 교반기(110), 미생물 군집체 형성물을 주입하기 위한 미생물 군집체 형성물 주입부(120), 상기 반응조 내의 pH를 제어하기 위한 pH 제어부(130) 및 온도를 조절하기 위한 온도 제어부(140)를 포함한다. 또한, 상기 반응조 내부의 혐기 분위기 조성을 위한 불활성 기체 주입부(미도시)를 포함할 수 있다.
- [0061] 상기 pH제어부(130)는 pH 값을 측정하기 위한 pH 센서와 기설정된 pH 값을 벗어나지 않도록 pH 조절제 및 알칼리 약제를 저장 및 주입하는 약제 주입부를 포함한다.
- [0062] 상기 온도 제어부(140)는 온도를 측정하기 위한 온도센서와 기설정된 온도를 유지할 수 있도록 하는 온도조절기(가열냉각기)를 포함한다.
- [0063]
- [0064] 상기 반응조(100)는 수소 생성균을 포함하는 유기 폐수 및 열처리된 유기 폐수에 미생물 군집체 형성물을 주입하여 pH 5 내지 7, 온도 30 내지 50℃, 혐기 분위기하에서 교반하여 유기 폐수 혼합물을 형성하게 된다.
- [0066] 상기 미생물 군집체 형성물은 미생물의 군집(floc)을 형성하여 미생물의 안정적인 배양 및 증식이 가능하게 하고, 이를 통해 유기 폐수의 분해 및 가스화를 촉진시켜 수소 가스 생산성을 향상시킬 수 있다.
- [0067] 또한, 상기 미생물 군집체 형성물은 후술될 다이내믹 멤브레인 모듈(200)에서 다공성 지지체(210)의 표면에서의 다이내믹 생물막(220)의 형성을 촉진하고 보존성을 향상시킬 수 있게 된다.
- [0068] 상기 미생물 군집체 형성물은 미생물의 성장 및 배양을 위한 지지 구조체를 형성하기 위한 물질로서, 활성탄, 실리카, 키토산, 캡슐 형성제, 영양염류 및 이들의 조합으로 이루어지는 그룹 중 어느 하나를 포함한다.
- [0069] 보다 바람직하게는, 유기 폐수 대비 활성탄, 실리카, 키토산, 캡슐 형성제, 영양염류를 각각 0.5 내지 3 w/v%를 각각 첨가하여 미생물 군집체 형성물을 형성할 수 있다.
- [0071] 상기 미생물 군집체 형성물은 반응조에 바로 투입되어 유기 폐수와 혼합되거나, 상기 미생물 군집체의 안정적인 형성을 위해 상기 미생물 군집체 형성물을 이용하여 1차적으로 미생물 군집 지지체를 형성한 후 투입하는 것도 가능하다.
- [0072] 상기 미생물 군집체 형성물이 반응조에 바로 투입될 경우에는, 활성탄, 실리카, 키토산 등의 미생물 군집체 형성물을 저장하기 위한 다수 개의 저장조를 두고, 상기 저장조에서 미생물 군집체 형성물 주입부를 통하여 반응조로 상기 미생물 군집체 형성물을 투입하게 된다.
- [0073] 미생물 군집 지지체를 형성한 후 투입하는 경우, 상기 미생물 군집체 형성물을 별도의 반응조에서 1차적으로 반응시켜 미생물 군집 지지체를 형성한 후 이를 반응조(100)에 투입할 수 있다.
- [0075] 상기 다이내믹 멤브레인 모듈(200)은 상기 반응조(100) 내부에 배치되며, 유기 폐수 혼합물을 고액분리하기 위한 것으로서, 고액분리를 위한 수단으로 다공성 지지체(210) 및 상기 유기 폐수 혼합물의 여과에 의해 다공성 지지체 표면에 형성되는 다이내믹 생물막(220)을 포함한다.
- [0077] 이때, 상기 다이내믹 멤브레인 모듈(200)의 배치 위치는 한정하지 않으나, 반응조(100) 상부에 배치됨이 바람직하다.
- [0079] 상기 다공성 지지체(210)는 상기 다이내믹 생물막(220)을 형성하기 위한 구조체로서, 천연 섬유, 합성 섬유, 부직포, 스테인레스 메쉬, 플라스틱 메쉬 중 어느 하나 이상으로 선택되는 재질로 이루어질 수 있으나, 바람직하게는, 미생물에 의해 쉽게 분해가 되지 않으며, 물리적 특성이 우수하고 경제적인 폴리에스터 재질의 스크린 메

쉬를 사용할 수 있다.

- [0081] 섬유, 부직포 등 형상 유지가 어려운 다공성 지지체를 사용할 경우, 내부에 형상 유지를 위한 통형의 스테인레스 또는 플라스틱 재질의 형상 유지 구조체(미도시)를 추가적으로 형성할 수 있으며, 형상 유지 구조체는 처리수의 유입 및 배출을 방해하지 않도록 다공성 지지체 보다 큰 공극을 갖는 것이 바람직할 것이다.
- [0083] 도 2는 본 발명에 따른 다공성 지지체 상에 형성된 다이나믹 생물막을 보여주는 모식도이다. 상기 반응조(100)로부터 이송받은 유기 폐수 혼합물이 상기 다이나믹 멤브레인 모듈(200) 내의 상기 다공성 지지체(210)을 통과하게 되면서 상기 다공성 지지체의 표면에 미생물이 축적되어 다이나믹 생물막(220)을 형성하게 되며, 상기 다이나믹 생물막은 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하게 된다.
- [0085] 여기서, '다이나믹 생물막'은 일정한 형태를 갖는 생물막이 아니라 유입수의 압력, 유기 폐수 혼합물의 구성성분, 유기물의 농도 등에 따라 생물막의 형상 및 두께가 변화할 수 있다는 의미를 내포한다.
- [0087] 막 공정은 일반적으로 10 $\mu$ m 미만의 공극을 갖는 막 소재를 다공성 지지체에 결합한 후 분리 대상을 투과시키며, 오염물 분리 및 여과 특성은 우수하여 일반적인 수처리에 적용이 확대되고 있지만, 고가의 막 소재 및 동력비, 막오염의 빠른 진행으로 인한 잦은 역세척이 문제점으로 지적된다.
- [0089] 즉, 본 발명은 종래의 기술과 같이 다공성 지지체에 막 소재를 별도로 결합하지 않고, 다공성 지지체만을 구비하여 유기 폐수의 여과 및 정수 공정에서 상기 다공성 지지체 표면에 축적되어 형성된 생물막을 자체적으로 종래의 막 소재의 역할을 수행하게 되어 종래 막분리 공정 대비 설치 및 운전 비용, 역세척 요구량을 획기적으로 감소시킬 수 있게 된다.
- [0091] 이때, 상기 다공성 지지체(210)는 50 내지 100  $\mu$ m의 공극을 갖는 것을 사용하는 것이 바람직한데, 50 $\mu$ m 미만은 지지체의 제작 비용이 증가할 뿐 아니라 작은 공극으로 인하여 막 오염이 가속되며, 100  $\mu$ m를 초과할 경우, 오염원의 여과 효과가 미미하여 처리수의 SS(Suspended Solids) 등의 유기물 함량이 높게 나타나고, 유기 폐수 혼합물 및 미생물이 상기 다공성 지지체의 표면에 머무르지 못하고, 대부분이 큰 공극을 따라 빠져나가기 때문에 다이나믹 생물막(220)의 형성 및 보존성이 저하되는 문제가 있기 때문에 상기 범위를 벗어나지 않는 것이 바람직하다.
- [0093] 상기 다이나믹 멤브레인 모듈(200)의 상기 다이나믹 생물막(220)을 통과한 처리수는 휘발성 가스 및 수소가스를 포함하고 있으며, 상기 분리부(300)에서 휘발성 가스 및 수소 가스를 분리하여 상기 가스 저장부(400)로 이송된다.
- [0094] 상기 가스 저장부(400)에 저장된 가스는 혼합 가스로서, 추가적인 분리 공정을 통해 수소를 분리할 수 있으며, 수소를 분리하는 방법은 종래에 주지된 방법을 사용할 수 있다.
- [0095] 상기 분리부(300)에서 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수는 처리수 저장부(500)에 저장된다.
- [0097] 한편, 상기 다이나믹 멤브레인 모듈(200)에서 다이나믹 생물막(220)이 유기 폐수 혼합물의 부유물질 및 오염원을 충분히 여과시킬 만큼 형성되지 않았을 때, 즉, 여과 공정의 초기에는 오염원의 농도가 높게 나타날 수 있다.
- [0099] 이에, 본 발명의 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조장치는 상기 처리수 저장부에 저장

된 처리수의 오염정도를 측정하고, 기설정된 값을 벗어날 경우 처리수를 상기 반응조로 반송하기 위한 반송부(미도시)를 더 포함할 수 있다.

- [0101] 상기 반송부에서는 상기 처리수 저장부에 저장된 처리수의 오염원을 수질 측정 지표에 근거하여 오염도를 측정하고, 상기 오염도가 기설정된 값을 벗어날 경우 처리수를 상기 반응조로 반송하여 재처리하는 공정을 수행하게 된다.
- [0103] 처리수의 오염도를 측정하기 위한 수질 측정 지표는 총 고형물(TS, Total solids), 부유물질(SS, Suspended Solids), 용존고형물질(DS, Dissolved Solids), 총 인(T-P, Total-Phosphours), 총 질소(T-N, Total-Nitrogen) 중 어느 하나일 수 있으며, 오염도가 기설정된 값을 초과할 경우, 반응조로 반송하여 재처리하는 공정을 거칠 수 있다.
- [0104] 또한, 처리수의 오염도는 다이내믹 생물막을 형성 및 여과 특성을 판단할 수 있는 기준이 될 수 있는데, 보다 구체적으로, 여과 초기에는 다이내믹 생물막이 충분히 형성되지 못한 상태로서, 처리수에는 높은 농도의 부유물질 및 오염원을 포함하고 있게 되며, 이를 통해 다이내믹 생물막의 형성여부 및 여과 특성을 판단할 수 있게 되는 것이다.
- [0105] 또한, 여과가 진행되면서 수질 측정 지표값이 점점 기설정된 값에 가까워지거나 기설정된 값 미만으로 떨어지게 되는데, 수질 측정 지표값 및 오염도의 변화를 통하여 다이내믹 생물막의 여과 특성 변화를 확인할 수 있으며, 이를 통해 역세 시간 및 주기를 판단 및 제어하는 것도 가능하다.
- [0107] 이하, 본 발명은 반응조 내부에 다이내믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조방법(이하, 바이오수소 제조방법으로 축약 기재함)을 제공하며, 본 발명의 바이오수소 제조방법은 상술된 바이오수소 제조장치를 이용하여 수행되며, 설명하고자 하는 바가 상술된 바와 동일할 경우 이에 대한 기재를 생략하도록 한다.
- [0109] 도 3은 본 발명에 따른 반응조 내부에 다이내믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조방법을 보여주는 순서도이다.
- [0110] 본 발명에 따른 바이오수소 제조방법은 반응조에서 수소 생성균을 포함하는 유기 폐수와 미생물 군집체 형성물을 혼합하여 유기 폐수 혼합물을 형성시키는 유기 폐수 혼합물 형성단계(S100)와 형성된 유기 폐수 혼합물을 반응조 내부에 형성된 다이내믹 멤브레인 모듈에 여과시킴으로써 다공성 지지체 표면에 다이내믹 생물막을 형성하는 다이내믹 생물막 형성단계(S200)와 상기 다이내믹 멤브레인 모듈을 통과한 처리수를 분리부로 이송하고, 분리부에서 상기 다이내믹 멤브레인 모듈을 통과한 처리수를 이송받아 휘발성 가스 및 수소 가스를 분리하고, 상기 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리단계(S300)와 상기 반응조와 상기 분리부로부터 이송받은 휘발성 가스 및 수소 가스를 저장하는 가스 저장단계(S400)와 상기 분리부에서 배출된 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 처리수 저장부에 저장하는 처리수 저장단계(S500)를 포함한다.
- [0112] 상기 유기 폐수 혼합물 형성단계(S100)에서는 반응조에서 수소 생성균을 포함하는 유기 폐수에 미생물 군집체 형성물을 주입하여 pH 5 내지 7, 온도 30 내지 50℃, 혐기 분위기하에서 교반하여 유기 폐수 혼합물을 형성하고, 반응에 의해 발생된 휘발성 가스 및 수소 가스는 가스 저장단계(S400)에 의해 가스 저장부로 이송하게 된다.
- [0113] 상기 유기 폐수 혼합물 형성단계(S100)는 유기 폐수에 포함된 수소 생성균을 제외한 미생물의 활성을 억제하기 위하여 유기 폐수를 80 내지 120℃에서 10 내지 60분간 열처리하는 열처리단계를 포함할 수 있다.
- [0115] 상기 다이내믹 생물막 형성단계(S200)에서는 형성된 유기 폐수 혼합물을 반응조 내부에 형성된 다이내믹 멤브레인 모듈에 여과시킴으로써 다공성 지지체 표면에 다이내믹 생물막을 형성하게 된다.

- [0117] 다이나믹 생물막은 다공성 지지체에 유기 폐수 혼합물이 통과되면서 상기 다공성 지지체의 표면에 미생물이 축적되어 형성된다. 이때, 유기 폐수 혼합물의 여과의 초기에 다이나믹 생물막의 형성을 향상시키기 위하여 상술된 미생물 군집체 형성물의 투입량을 향상시키는 것도 가능하다.
- [0119] 이때, 상기 다공성 지지체는 폴리에스터 재질이며, 50 내지 100  $\mu\text{m}$ 의 공극을 갖는 메쉬인 것을 특징으로 한다.
- [0121] 상기 분리단계(S300)에서는 상기 다이나믹 멤브레인 모듈을 통과한 처리수를 분리부로 이송하고, 분리부에서 상기 다이나믹 멤브레인 모듈을 통과한 처리수를 이송받아 휘발성 가스 및 수소 가스를 분리하고, 상기 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 처리수 저장부로 이송하게 된다.
- [0123] 상기 가스 저장단계(S400)에서는 상기 분리단계(S300)에서 분리된 휘발성 가스 및 수소 가스를 가스 저장부에 저장하게 되며, 상기 가스 저장부에 저장된 가스는 혼합 가스로서, 수소 가스를 분리하는 분리단계를 통하여 수소 가스를 분리할 수 있다.
- [0125] 상기 처리수 저장단계(S500)에서는 상기 분리부에서 배출된 휘발성 가스 및 수소 가스가 분리된 처리수를 처리수 저장부에 저장하게 된다.
- [0127] 또한, 본 발명에 따른 반응조 내부에 다이나믹 생물막을 포함하는 바이오수소 제조방법은 상기 처리수 저장부에 저장된 처리수의 오염정도를 측정하고, 기설정된 값을 벗어날 경우 처리수를 상기 반응조로 반송하기 위한 반송단계(미도시)를 더 포함할 수 있다.
- [0129] 상기 다이나믹 생물막 형성단계(S200)에서 다이나믹 생물막이 유기 폐수 혼합물의 부유물질 및 오염원을 충분히 여과시킬 만큼 형성되지 않았을 때 처리수 저장부에 저장된 처리수의 오염원의 농도는 높게 나타나게 된다.
- [0131] 상기 반송단계에서는 상기 처리수 저장부에 저장된 처리수의 오염정도를 측정하고, 기설정된 값을 벗어날 경우 상기 반응조로 반송하여 재처리되도록 한다.
- [0132] 처리수의 오염도를 측정하기 위한 수질 측정 지표는 총 고형물(TS, Total solids), 부유물질(SS, Suspended Solids), 용존고형물질(DS, Dissolved Solids), 총 인(T-P, Total Phosphours), 총 질소(T-N, Total-Nitrogen) 중 어느 하나일 수 있으며, 오염도가 기설정된 값을 초과할 경우, 반응조로 반송하여 재처리하는 공정을 거칠 수 있다.
- [0133] 또한, 처리수의 오염도는 다이나믹 생물막을 형성 및 여과 특성을 판단할 수 있는 기준이 될 수 있는데, 보다 구체적으로, 여과 초기에는 다이나믹 생물막이 충분히 형성되지 못한 상태로서, 처리수에는 높은 농도의 부유물질 및 오염원을 포함하고 있게 되며, 이를 통해 다이나믹 생물막의 형성여부 및 여과 특성을 판단할 수 있게 되는 것이다.
- [0134] 또한, 여과가 진행되면서 수질 측정 지표값이 점점 기설정된 값에 가까워지거나 기설정된 값 미만으로 떨어지게 되는데, 수질 측정 지표값 및 오염도의 변화를 통하여 다이나믹 생물막의 여과 특성 변화를 확인할 수 있으며, 이를 통해 역세 시간 및 주기를 판단 및 제어하는 것도 가능하다.
- [0136] 이하, 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부한 도면을 참고로 상세하게 설명하기로 한다.

## 1. 실험방법과 장치

충북 청주의 A 양조장 폐수를 UASBR 처리하여 수득된 혐기성 슬러지를 식종슬러지로 사용하였다. 기질로서 글루코스(glucose) 15g/L를 투입하고, 반응온도 35℃, pH 5.5 ~6.3을 유지하였다. 미생물 군집체의 형성 촉진 및 형상 유지를 위해 활성탄 2% w/v, 실리카 1% w/w, 칼슘 2% w/v, 소듐 알지네이트 2% w/v, 키토산 1% w/w 를 추가적으로 첨가하였다. 작업액량은 5.5 L, 식종균은 10% w/v로 투입하고, 수리학적 체류시간(HRT)는 3 ~ 12h로 조정하였다.

상기 조건에서 배양된 미생물 군집체에 포함된 균주를 확인하기 위하여 16S rDNA sequencing 방법에 의거하여 동정하였다. CLUSTAL W<sup>16</sup>를 사용하여, 염기서열을 조합하여 NCBI(The National Center for Biotechnology Information <http://www.ncbi.nlm.nih>)에서 제공하는 Advanced Blast search를 이용하여 Genebank의 염기서열과 비교함으로써 균주를 동정을 하였다. 본 발명의 실시예에 따른 미생물 군집체를 동정한 결과, 확인된 균주는 *Clostridium butyricum*, *Enterobacter spp.*, *Enterococcus spp.*, *Lactobacillus spp.*였다.

## 2. 실험 결과

### 2-1. 다이나믹 멤브레인 모듈의 형성 위치에 따른 수소 생산능의 비교

반응조 내부에 다이나믹 멤브레인 모듈이 형성될 때와 반응조 외부에 다이나믹 멤브레인 모듈이 형성될 때의 수소 생산능을 비교하였다.

표 1은 다이나믹 멤브레인 모듈의 형성 위치에 따른 수소 생산능을 보여준다.

표 1

HRT(h)	다이나믹 멤브레인 모듈의 배치 위치			
	내부		외부	
	HPR(L/L/d)	HY(mole/mole <sub>added</sub> )	HPR(L/L/d)	HY(mole/mole <sub>added</sub> )
12	6.9	1.68	6.65	1.67
6	26.48	3.15	25.96	2.8
3	53.28	3.02	57.9	3.02
2	64.29	2.55	30.58	1.2
1.5	49.50	1.47	-	-

수리학적 체류 시간 중 12, 6 hr HRT 에서는 다이나믹 생물막에 바이오필름이 형성되지 않아 기존 문헌의 완전 혼합형반응조와 유사한 수소 생산능을 보였으나, 바이오필름이 생성되는 3 hr HRT 에서는 수소 생산능이 폭발적으로 상승하여 53.28 L/L/d 의 성능을 보임을 확인할 수 있었다. EPS 및 미생물 군집을 확인한 결과, 3 hr HRT 에서 EPS의 주목할만한 상승이 있었다.

또한, 외부 다이나믹 생물막과는 달리, 2 hr HRT에서도 수소 생산능의 저하 없이 64.29 L/L/d의 높은 수소 생산능을 보여주었다.

이는 외부 다이나믹 생물막 구성에 필수 불가결인 반응조의 반송과정에서 생기는 유변학적 특성 및 교반 강도를 최소화하여 수소 생산균이 더욱 안정적으로 활성화 된 것으로 판단하였다.

[0156] 2-2. 다공성 지지체에 종류에 따른 수소 생산능의 비교

[0158] 다공성 지지체의 재질에 따른 수소 생산능을 비교하기 위하여, 평균 공극 크기  $50\mu\text{m}$  의 폴리에스터 스크린 메쉬 망과 평균 공극 크기  $100\mu\text{m}$  의 스테인레스 재질의 망을 준비하여 반응조 내의 미생물 군집체 변화를 관측하고 수소 생산성을 확인하였다.

[0160] 도 4의 (a)는 본 발명에 따른 다공성 지지체(평균 공극 크기  $50\mu\text{m}$  의 폴리에스터 스크린 메쉬망)의 운전 시 외부 모습이고, (b)는 비교예(평균 공극 크기  $100\mu\text{m}$  의 스테인레스 재질의 망)의 운전 시 외부 모습을 보여준다.

[0162] 도 5는 다공성 지지체의 종류에 따른 수소 생산능을 보여주는 그래프이다.

[0164] 표 2는 스테인레스 재질의 망을 이용하였을 때 수소 생산능을 보여주며, 표 3은 폴리에스터 재질의 망을 이용하였을 때 수소 생산능을 보여준다.

표 2

[0165]

HRT(Hours)	HPR(L/L/day)	HY(mol/mol/glucose added)	Pressure(mmH <sub>2</sub> O)
12	5.26	1.24	50
6	12.05	1.43	1000
12	-	-	-

표 3

[0167]

HRT(Hours)	HPR(L/L/day)	HY(mol/mol/glucose added)	Pressure(mmH <sub>2</sub> O)
12	4.17	0.99	80
6	14.59	1.73	200
12	42.69	2.53	300

[0169] 실험결과, 스테인레스 재질의 다이내믹 생물막의 공극 크기는 폴리에스터 매쉬 재질의 2배인  $100\mu\text{m}$ 였음에도 불구하고 잦은 막힘이 발생하여 유출수가 나오지 않는 문제가 발생하였다.

[0170] 이에 따라 스테인레스 재질의 다이내믹 생물막은 6hr HRT 미만으로 내리지 못하였으며, 수소 생산능도 폴리에스터 매쉬 재질의 다공성 지지체를 이용한 공정에 비해 크게 낮은 것을 확인할 수 있었다.

[0171] 수리학적 체류 시간 중 12, 6 hr HRT 에서는 다이내믹 생물막에 바이오필름이 형성되지 않아 기존 문헌의 완전 혼합형반응조와 유사한 수소 생산능을 보였으나, 바이오필름이 생성되는 3 hr HRT 에서는 수소 생산능이 폭발적으로 상승하여 42.65 L/L/d 의 성능을 보임을 확인할 수 있었다. EPS 및 미생물 군집을 확인한 결과, 3 hr HRT 에서 EPS의 주목할만한 상승이 있었다.

[0172] 따라서 다이내믹 생물막 공정을 운영하는데 있어 통상의 지식을 가진 사람이 일반적인 소재로 접근하기에는 실패의 위험이 크며, 실험 노하우를 통해 얻어진 특정 소재 (폴리에스터 메쉬)의 특정 공극 ( $50\sim 100\mu\text{m}$ )을 가진 소재로 운전하는 것이 바람직한 것으로 판단하였다.

[0174] 이상과 같이 본 발명은 첨부된 도면을 참조하여 바람직한 실시예를 중심으로 설명하였지만 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 특허청구범위에 기재된 기술적 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 또는 변형하여 실시할 수 있다. 따라서 본 발명의 범주는 이러한 많

은 변형의 예들을 포함하도록 기술된 청구범위에 의해서 해석되어야 한다.

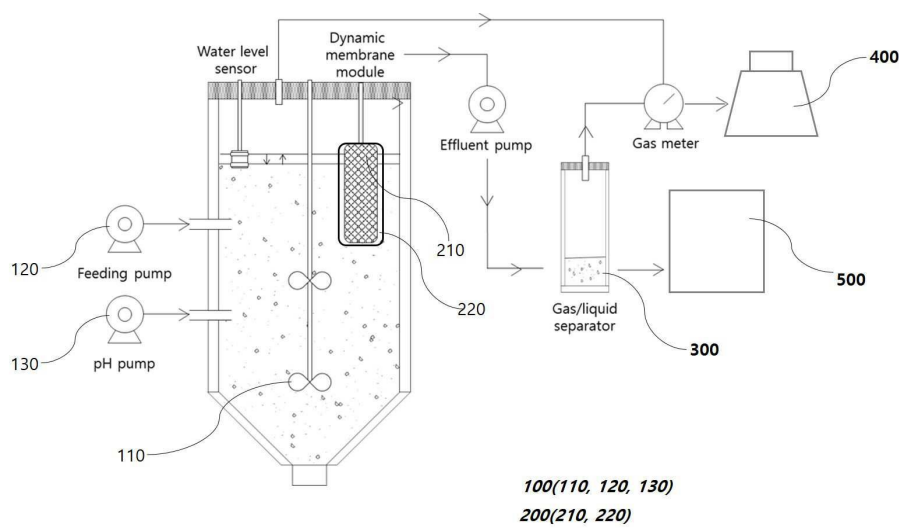
### 부호의 설명

[0176]

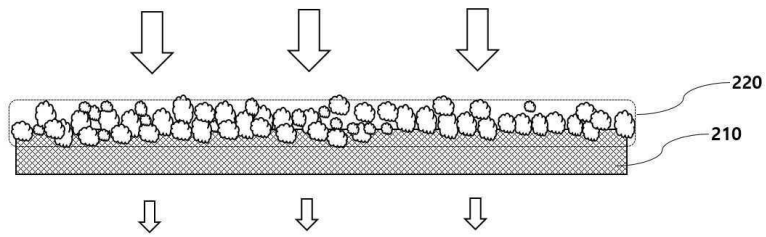
- 100 : 반응조
- 110 : 교반기
- 120 : 미생물 균집체 형성물 주입부
- 130 : pH 제어부
- 140 : 온도 제어부
- 200 : 다이나믹 멤브레인 모듈
- 210 : 다공성 지지체
- 220 : 다이나믹 생물막
- 300 : 분리부
- 400 : 가스 저장부
- 500 : 처리수 저장부

### 도면

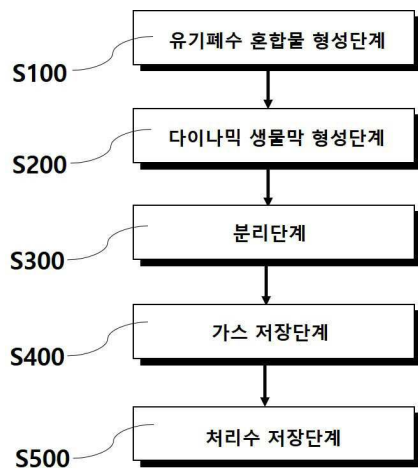
#### 도면1



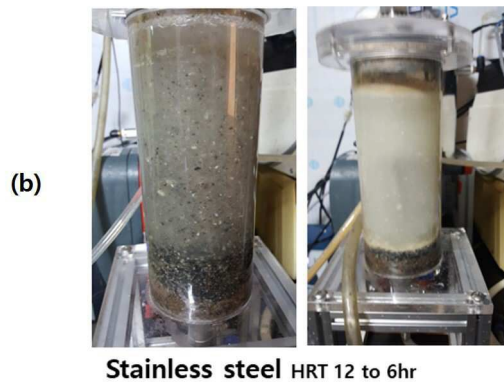
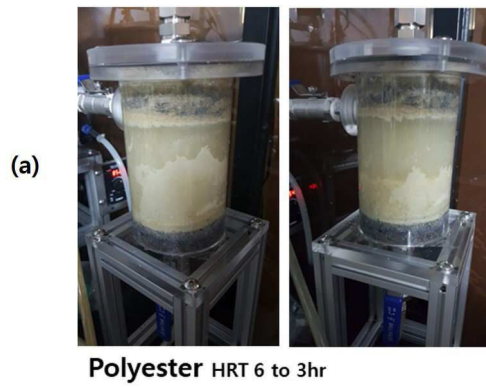
도면2



도면3



도면4



도면5

