



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년07월06일

(11) 등록번호 10-2274233

(24) 등록일자 2021년07월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*C02F 11/04* (2006.01) *C02F 3/00* (2006.01)  
*C02F 3/28* (2006.01)

(52) CPC특허분류  
*C02F 11/04* (2013.01)  
*C02F 3/006* (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0123012

(22) 출원일자 2019년10월04일

심사청구일자 2019년10월04일

(65) 공개번호 10-2021-0040595

(43) 공개일자 2021년04월14일

(56) 선행기술조사문헌

KR101888166 B1

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

김상현

서울특별시 마포구 구룡길 19 상암한화오벨리스크 C403

박중훈

울산광역시 북구 명촌로 91 평창리비에르2차아파트 201동 1604호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이선택

전체 청구항 수 : 총 2 항

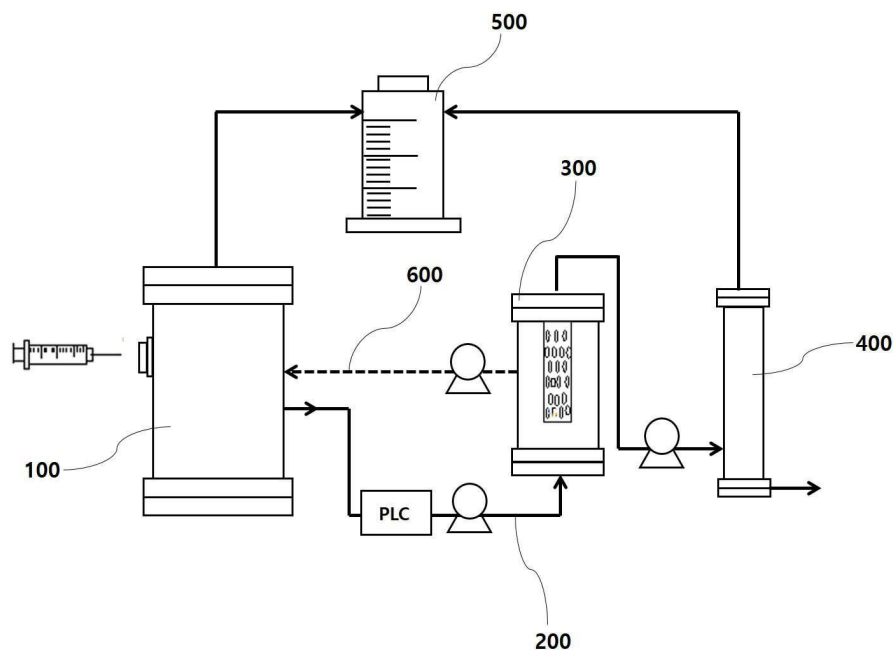
심사관 : 이동재

(54) 발명의 명칭 **다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치 및 이를 이용한 바이오가스 제조방법**

**(57) 요약**

본 발명은 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치 및 이를 이용한 바이오가스 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 별도의 막 소재의 구비없이 다공성 지지체에 형성된 다이나믹 생물막이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하도록 하여 경제적으로 폐수처리가 가능하고, 별도의 역세공정없이 내

(뒷면에 계속)

**대표도** - 도1

부순환강도를 제어함으로써 다이내믹 생물막의 유변학적 특성을 제어하여 바이오가스 생산 효율을 극대화한 바이오가스 제조장치 및 이를 이용한 바이오가스 제조방법에 관한 것이다.

본 발명에 따른 다이내믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치는 유기폐수를 혐기소화시켜 유기폐수 발효물을 형성하고, 바이오가스를 발생시키는 반응조;와 다공성 지지체를 포함하며, 상기 유기폐수 발효물의 여과에 의해 상기 다공성 지지체의 표면에 다이내믹 생물막이 형성되어 상기 유기폐수 발효물의 고형물을 분리하는 여과모듈;과 상기 반응조에서 상기 여과모듈로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 제어하기 위한 전단속도 제어부;와 상기 다이내믹 생물막을 통과한 처리수에서 바이오가스를 분리하고, 상기 바이오가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리부;와 상기 반응조 및 상기 분리부에서 발생된 바이오가스를 저장 및 생성능을 측정하는 바이오가스 저장부;와 상기 여과모듈의 유기폐수 발효물을 상기 반응조로 반송시키기 위한 반송부;를 포함한다.

(52) CPC특허분류

**C02F 3/2853** (2013.01)

**C02F 3/2873** (2013.01)

(72) 발명자

**카에타노로엔트**

서울특별시 서대문구 성산로 372, 4층

**정주형**

서울특별시 서초구 효령로 237 서초한신리빙타워  
101동 801호

(56) 선행기술조사문헌

KR101938759 B1

KR1020130112866 A

Xiaojie Mei 외 3명, A pilot-scale anaerobic membrane bioreactor under short

hydraulic retention time for municipal wastewater treatment: performance and

microbial community identification, Journal of Water Reuse and Desalination, 08.1, 2018\*

신중헌 외 2명, 혐기성 막 생물반응조를 이용한 하수처리의 최근 동향, Journal of Korean Society of Water and Wastewater Vol. 27, No. 5, pp. 529-545, October, 2013\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711084013
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	1/3
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2019.03.01 ~ 2020.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711077112
과제번호	2017K1A3A1A67015923
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	한-V4 공동연구사업
연구과제명	가스 분리막 결합 바이오공정과 미세조류를 활용한 지속가능한 바이오연료 생산

기 여 율	1/3
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2018.10.01 ~ 2019.09.30

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	1/3
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2020.12.31

공지예외적용 : 있음

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

유기폐수를 혐기소화시켜 유기폐수 발효물을 형성하고, 바이오가스를 발생시키는 반응조;와

다공성 지지체를 포함하며, 상기 유기폐수 발효물의 여과에 의해 상기 다공성 지지체의 표면에 다이나믹 생물막이 형성되어 상기 유기폐수 발효물의 고형물을 분리하는 여과모듈;과

상기 반응조에서 상기 여과모듈로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 0.01 내지 2 m/h 로 제어하기 위한 전단속도 제어부;와

상기 다이나믹 생물막을 통과한 처리수에서 바이오가스를 분리하고, 상기 바이오가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리부;와

상기 반응조 및 상기 분리부에서 발생된 바이오가스를 저장 및 생성능을 측정하는 바이오가스 저장부;와

상기 여과모듈의 유기폐수 발효물을 상기 반응조로 반송시키기 위한 반송부;를 포함하며,

상기 바이오가스 저장부에서 측정되는 바이오가스의 생성량이 기설정된 값 이하이거나 바이오가스 생성량이 감소할 경우 상기 반송부에서 반응조로 반송되는 유기폐수 발효물의 유량을 제어함으로써 상기 반응조에서 상기 여과모듈로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 능동적으로 제어하는 것을 특징으로 하는

다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

반응조에서 유기폐수를 혐기소화시켜 유기폐수 발효물을 형성하고, 바이오가스를 발생시키는 반응단계;와

전단속도 제어부에서 전단속도를 0.01 내지 2 m/h 로 제어하면서 상기 반응조의 유기폐수 발효물을 여과모듈로 이송하는 이송단계;와

이송된 유기폐수 발효물을 상기 여과모듈 내부에 형성된 다공성 지지체에 여과시킴으로써 상기 다공성 지지체 표면에 다이나믹 생물막을 형성 및 상기 유기폐수 발효물의 고형물을 분리하는 여과단계와;

분리부에서 상기 다이나믹 생물막을 통과한 처리수를 이송받아 바이오가스를 분리하고, 상기 바이오가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리단계;와

바이오가스 저장부에서 상기 반응조 및 상기 분리부로부터 분리된 바이오가스를 저장 및 생성능을 측정하는 바이오가스 저장단계;와

상기 바이오가스 저장부에서 측정되는 바이오가스의 생성능에 따라 반송부에서 상기 여과모듈의 유기폐수 발효물을 상기 반응조로 반송시키는 반송단계;를 포함하며,

상기 반송단계는

상기 바이오가스 저장부에서 측정되는 바이오가스의 생성량이 기설정된 값 이하이거나 바이오가스 생성량이 감소할 경우 상기 반송부에서 반응조로 반송되는 유기폐수 발효물의 유량을 제어함으로써 상기 반응조에서 상기 여과모듈로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 능동적으로 제어하는 것을 특징으로 하는

다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조방법.

## 청구항 5

삭제

## 청구항 6

삭제

## 발명의 설명

### 기술 분야

- [0001] 본 발명은 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치 및 이를 이용한 바이오가스 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 별도의 막 소재의 구비없이 다공성 지지체에 형성된 다이나믹 생물막이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하도록 하여 경제적으로 폐수처리가 가능하고, 별도의 역세공정없이 내부순환강도를 제어함으로써 다이나믹 생물막의 유변학적 특성을 제어하여 바이오가스 생산 효율을 극대화한 바이오가스 제조장치 및 이를 이용한 바이오가스 제조방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

- [0003] 최근 전세계적으로 에너지 부족현상이 가속화되고 있는 추세에 따라 신재생에너지 개발에 대한 관심이 고조되고 있으며, 국내에서는 폐자원 및 바이오매스로 신재생에너지를 생산하기 위하여 유기성 폐자원을 이용하여 바이오가스를 생산하려는 정책을 추진 중에 있다.
- [0005] 이와 관련하여, 한국등록특허 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.
- [0007] 유기성 폐자원을 이용하여 바이오가스를 생산하기 위한 여러 기술 중 미생물을 이용한 생물학적 방법이 최근 많은 주목을 받고 있다.
- [0009] 현재 유기성 폐자원은 음식물쓰레기, 농·축산 부산물, 하수슬러지, 축산분뇨 등으로 분류되며, 이중 음식물쓰레기는 가용성 당, 전분질, 지방질, 단백질, 셀룰로오스 등과 같은 고농도의 유기화합물을 함유하고 있는 유기성 폐기물로 유용 자원임에도 불구하고 대부분 매립 또는 소각 방법으로 처리되기 때문에 부패로 발생하는 악취, 침출수에 의한 수질오염, 넘비 현상에 따른 매립장 부족 등의 문제가 발생하고 있다. 생물기질로서의 음식물쓰레기의 활용은 유기성 폐기물의 처리 비용 절감 및 환경오염 방지뿐만 아니라 자원 재순환의 측면에서 큰 의미가 있다.
- [0011] 한편, 유기성 폐수를 처리하기 위한 방법으로 막분리(membrane separation)는 성능 및 신뢰성이 우수한 수단으로 각광받고 있으나, 고농도 유기물을 함유하는 유기성 폐수의 처리시 빈번한 막오염이 발생되고, 막대한 유지 및 관리 비용이 드는 한계가 있었다.
- [0013] 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 제시한 바가 있다.
- [0015] 더 나아가, 본 발명자는 유기물 고부하 처리를 실현하기 위한 연구의 일환으로 여과모듈의 구성에 필수 불가결인 생물막의 유변학적 특성을 제어하고, 내부순환 강도를 한정하여 바이오가스 생산균의 바이오가스 생산 효율이 높아짐을 확인하여 본 발명에 이르게 되었다.

### 선행기술문헌

### 특허문헌

- [0017] (특허문헌 0001) 국내등록특허 제10-0985374호(유기성 폐기물로부터 수소와 메탄가스를 생성하는 방법 및 장치)
- (특허문헌 0002) 국내등록번호 제10-1888166호(다이나믹 생물막을 포함하는 바이오 수소 제조장치 및 이를 이용한 바이오 수소 제조방법)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0018] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은 별도의 막 소재의 구비없이 다공성 지지체에 형성된 다이나믹 생물막이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하도록 하여 경제적으로 폐수처리가 가능하고, 별도의 역세공정없이 내부순환강도를 제어함으로써 다이나믹 생물막의 유변학적 특성을 제어하여 바이오가스 생산 효율을 극대화한 바이오가스 제조장치 및 이를 이용한 바이오가스 제조방법을 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

- [0020] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치는 유기폐수를 혐기소화시켜 유기폐수 발효물을 형성하고, 바이오가스를 발생시키는 반응조;와 다공성 지지체를 포함하며, 상기 유기폐수 발효물의 여과에 의해 상기 다공성 지지체의 표면에 다이나믹 생물막이 형성되어 상기 유기폐수 발효물의 고형물을 분리하는 여과모듈;과 상기 반응조에서 상기 여과모듈로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 제어하기 위한 전단속도 제어부;와 상기 다이나믹 생물막을 통과한 처리수에서 바이오가스를 분리하고, 상기 바이오가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리부;와 상기 반응조 및 상기 분리부에서 발생된 바이오가스를 저장 및 생성능을 측정하는 바이오가스 저장부;와 상기 여과모듈의 유기폐수 발효물을 상기 반응조로 반송시키기 위한 반송부;를 포함한다.
- [0022] 상기 전단속도 제어부는 상기 반응조에서 상기 여과모듈로 주입되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 0.01 내지 2 m/h 로 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [0024] 상기 바이오가스 제조장치는 상기 바이오가스 저장부에서 측정되는 바이오가스의 생성량이 기설정된 값 이하이거나 바이오가스 생성량이 감소할 경우 상기 반송부에서 반응조로 반송되는 유기폐수 발효물의 유량을 제어함으로써 상기 반응조에서 상기 여과모듈로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 능동적으로 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [0026] 본 발명의 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조방법은 반응조에서 유기폐수를 혐기소화시켜 유기폐수 발효물을 형성하고, 바이오가스를 발생시키는 반응단계;와 전단속도 제어부에서 전단속도를 제어하면서 상기 반응조의 유기폐수 발효물을 여과모듈로 이송하는 이송단계;와 이송된 유기폐수 발효물을 상기 여과모듈 내부에 형성된 다공성 지지체에 여과시킴으로써 상기 다공성 지지체 표면에 다이나믹 생물막을 형성 및 상기 유기폐수 발효물의 고형물을 분리하는 여과단계;와; 분리부에서 상기 다이나믹 생물막을 통과한 처리수를 이송받아 바이오가스를 분리하고, 상기 바이오가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리단계;와 바이오가스 저장부에서 상기 반응조 및 상기 분리부로부터 분리된 바이오가스를 저장 및 생성능을 측정하는 바이오가스 저장단계;와 상기 바이오가스 저장부에서 측정되는 바이오가스의 생성능에 따라 반송부에서 상기 여과모듈의 유기폐수 발효물을 상기 반응조로 반송시키는 반송단계;를 포함한다.
- [0028] 상기 이송단계는 상기 반응조에서 상기 여과모듈로 주입되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 0.01 내지 2 m/h 로 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [0030] 상기 반송단계는 상기 바이오가스 저장부에서 측정되는 바이오가스의 생성량이 기설정된 값 이하이거나 바이오가스 생성량이 감소할 경우 상기 반송부에서 반응조로 반송되는 유기폐수 발효물의 유량을 제어함으로써 상기 반응조에서 상기 여과모듈로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 능동적으로 제어하는 것을 특징으로 한다.

### 발명의 효과

- [0032] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치 및 이를 이용한 바이오가스 제조방법에 의하면, 별도의 막 소재의 구비없이 다공성 지지체에 형성된 다이나믹 생물막이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하도록 하여 경제적으로 폐수처리가 가능하고, 별도의 역세공정없이

내부순환강도를 제어함으로써 다이나믹 생물막의 유변학적 특성을 제어하여 바이오가스 생산 효율을 극대화한 효과가 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0034]

도 1은 본 발명에 따른 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치를 보여주는 구성도.

도 2는 본 발명에 따른 다공성 지지체 상에 형성된 다이나믹 생물막을 보여주는 모식도.

도 3은 본 발명에 따른 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조방법을 보여주는 순서도.

도 4는 본 발명에 따른 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치를 이용한 바이오가스의 제조시, HRT, OLR 및 메탄생성속도의 상관관계를 보여주는 그래프.

도 5는 본 발명에 따른 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치를 이용한 바이오가스의 제조시, 전단속도에 따른 바이오가스 생산능을 비교한 그래프.

도 6은 본 발명에 따른 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치를 이용한 바이오가스의 제조시, 유출수(effluent)와 유기폐수 발효물(mixed liquor)의 TSS를 비교한 그래프.

도 7은 본 발명에 따른 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치를 이용한 바이오가스의 제조시, DM layer 에서 총 VFA와 TSS의 감소능을 보여주는 그래프.

도 8은 본 발명에 따른 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치를 이용한 바이오가스의 제조시, HRT에 따른 DM 막의 EPS분석결과를 보여주는 그래프.

도 9는 본 발명에 따른 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치를 이용한 바이오가스의 제조시, 유기폐수 발효물 및 DM막의 Microbial analysis 데이터를 보여주는 그래프.

도 10은 본 발명에 따른 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치를 이용한 바이오가스의 제조시, HRT에 따른 VFA와 pH변화를 보여주는 그래프.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035]

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.

[0037]

본 발명은 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치 및 이를 이용한 바이오가스 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 별도의 막 소재의 구비없이 다공성 지지체에 형성된 다이나믹 생물막이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하도록 하여 경제적으로 폐수처리가 가능하고, 별도의 역세공정없이 내부순환강도를 제어함으로써 다이나믹 생물막의 유변학적 특성을 제어하여 바이오가스 생산 효율을 극대화한 바이오가스 제조장치 및 이를 이용한 바이오가스 제조방법에 관한 것이다.

[0039]

도 1은 본 발명에 따른 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치를 보여주는 구성도이다.

[0041]

본 발명에 따른 다이나믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치는 유기폐수를 혐기 소화시켜 유기폐수 발효물을 형성하고, 바이오가스를 발생시키는 반응조(100)와 다공성 지지체를 포함하며, 상기 유기폐수 발효물의 여과에 의해 상기 다공성 지지체의 표면에 다이나믹 생물막이 형성되어 상기 유기폐수 발효물의 고형물을 분리하는 여과모듈(300)과 상기 반응조에서 상기 여과모듈로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단 속도를 제어하기 위한 전단속도 제어부(200)와 상기 다이나믹 생물막을 통과한 처리수에서 바이오가스를 분리하고, 상기 바이오가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리부(400)와 상기 반응조 및 상기 분리부에서 발생된 바이오가스를 저장 및 생성능을 측정하는 바이오가스 저장부(500)와 상기 여과모듈의 유기폐수 발효물을 상기 반응조로 반송시키기 위한 반송부(600)를 포함한다.

[0043]

상기 반응조(100)에서는 유기폐수를 혐기소화시켜 유기폐수 발효물을 형성 및 유기폐수의 혐기소화공정을 통해 바이오가스를 발생시키며, 발생된 바이오가스는 상술되는 바이오가스 저장부(500)로 이송된다.



- [0045] 상기 반응조(100)에 상기 유기폐수의 혐기소화를 촉진하기 위하여 식종슬러지, 식종균, 미생물 군집 및 이들의 조합을 투입할 수 있으며, pH 6 내지 8, 온도 30 내지 50℃, 혐기 분위기하에서 교반 및 반응시켜 하여 유기폐수 발효물을 생성한다.
- [0047] 바이오가스는 메탄, 수소 및 이들의 조합 중 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0049] 유기폐수는 음식물쓰레기, 하수슬러지, 농산물쓰레기, 축산물쓰레기 및 이들의 조합을 포함할 수 있으며, 혐기소화를 통해 상기 바이오가스를 생산할 수 있는 것이라면 이에 한정하지 않는다. 바람직하게는, 음식물쓰레기를 이용할 수 있다.
- [0051] 식종슬러지는 혐기성 슬러지를 사용하며, 식종균은 상기 바이오가스의 생성을 촉진하기 위한 메탄생성균, 수소생성균 및 이들의 조합을 포함할 수 있다.
- [0053] 미생물 군집체는 활성탄, 실리카, 키토산, 캡슐 형성제, 영양염류 및 이들의 조합을 혼합 및 반응시켜 제조된 지지 구조체에 미생물을 담지 및 배양시킨 것으로서, 미생물이 군집(floc)을 형성하여 안정적인 배양 및 증식이 가능하게 하고, 이를 통해 유기 폐수의 분해 및 가스화를 촉진시켜 바이오가스의 생산능을 향상시킬 수 있으며, 후술될 여과모듈(300)에서 다공성 지지체의 표면에서의 다이나믹 생물막의 형성을 촉진하고 보존성을 향상시킬 수 있게 된다.
- [0055] 상기 반응조(100)는 유기폐수와 식종슬러지, 식종균, 미생물 군집 등과의 균일한 혼합을 위한 교반수단, 반응조 내의 pH를 제어하기 위한 pH 제어부, 온도를 조절하기 위한 온도 제어부, 반응조 내부의 혐기 분위기 조성을 위한 불활성 기체 주입부, 유기폐수, 식종슬러지, 식종균, 미생물 군집 및 이들의 조합을 투입하기 위한 독립적인 주입부 및 이들의 조합을 포함할 수 있다.
- [0057] 상기 반응조(100) 내의 유기폐수 발효물의 유기물 부하율은 1 내지 10 g COD/L/d 로 제어되는데, 상기 유기물 부하율이 1 g COD/L/d미만일 경우 바이오가스 생성능이 낮으며, 유기물 부하율이 10 g COD/L/d를 초과할 경우, 여과저항이 지나치게 커지고, 미생물이 소모하기 힘든 과잉기질로 오히려 바이오가스 생성을 저하시키기 때문에 상기 유기물 부하율 범위를 벗어나지 않는 것이 바람직하다.
- [0059] 이때, 다이나믹 생물막의 형성을 촉진하기 위하여 유기물 부하율을 상술된 범위 내에서 운행초기에 높게 제어하고, 점차 낮추는 것도 가능하다.
- [0061] 상기 pH제어부는 pH 값을 측정하기 위한 pH 센서와 기설정된 pH 값을 벗어나지 않도록 pH 조절제 및 알칼리 약제를 저장 및 주입하는 약제 주입부를 포함한다.
- [0063] 상기 온도 제어부는 온도를 측정하기 위한 온도센서와 기설정된 온도를 유지할 수 있도록 하는 온도조절기(가열 냉각기)를 포함한다.
- [0065] 상기 여과모듈(300)은 내부에 다공성 지지체(310)를 포함하며, 상기 반응조(100)로부터 이송받은 유기폐수 발효물이 상기 다공성 지지체를 통과하면서 다공성 지지체의 표면에 미생물이 축적되어 다이나믹 생물막(320)을 형성하게 된다. 도 2는 본 발명에 따른 다공성 지지체 상에 형성된 다이나믹 생물막을 보여주는 모식도이다.
- [0067] '다이나믹 생물막'은 일정한 형태를 갖는 막이 아니라 여과모듈 내부로 유입되는 유기폐수 발효물의 전단속도, 유기폐수 발효물의 구성 및 유기물 부하율 등의 요인에 따라 형상 및 두께가 변화되는 것으로서, 상기 다이나믹 생물막이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하게 되면서 유기폐수 발효물의 고액분리를 가능하게 한다.
- [0069] 상기 다공성 지지체(310)는 상기 다이나믹 생물막(320)을 형성하기 위한 지지체로서, 천연 섬유, 합성 섬유, 부직포, 스테인레스 메쉬, 플라스틱 메쉬 중 어느 하나 이상으로 선택되는 재질로 이루어질 수 있으며, 바람직하게는, 미생물에 의해 쉽게 분해가 되지 않으며, 물리적 특성이 우수하고 경제적인 폴리에스터 스크린 메쉬 등의 합성섬유 메쉬망을 사용할 수 있다.
- [0071] 이때, 상기 다공성 지지체(310)는 10 $\mu$ m 내지 5mm의 공극을 갖는 것이 바람직한데, 10 $\mu$ m 미만은 지지체의 제작 비용이 증가할 뿐 아니라 작은 공극으로 인하여 막 오염이 가속되며, 5mm를 초과할 경우, 오염원의 여과 효과가 미미하여 처리수의 SS(Suspended Solids) 등의 유기물 함량이 높게 나타나고, 유기폐수 발효물 및 미생물이 상기 다공성 지지체의 표면에 머무르지 못하고, 대부분이 큰 공극을 따라 빠져나가기 때문에 다이나믹 생물막의 형성 및 보존성이 저하되는 문제가 있어 상기 범위를 벗어나지 않는 것이 바람직하다.
- [0073] 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 처리



수의 유입 및 배출을 방해하지 않도록 다공성 지지체 보다 큰 공극을 갖는 것이 바람직할 것이다.

- [0075] 상기 다이나믹 생물막(320)을 통과한 처리수는 상술될 분리부(400)로 이송되며, 다이나믹 생물막을 통과하지 못한 고형물은 여과모듈의 하단에 축적되어 별도의 공정을 통해 외부로 배출된다.
- [0077] 상기 여과모듈(300)에서 유기폐수 발효물의 수리학적 체류시간을 5 내지 40일로 제어하는데, 상기 수리학적 체류시간에서 바이오가스의 생성이 원활하게 이루어진다.
- [0079] 상기 전단속도 제어부(200)는 상기 반응조(100)에서 상기 여과모듈(300)로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 제어한다.
- [0081] 이때, 상기 전단속도 제어부(200)는 전단속도를 0.01 내지 2 m/h 로 제어하며, 상기 반응조(100)에서 상기 여과모듈(300)로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 제어함으로써 초기 다이나믹 생물막의 안정적인 형성을 가능하게 하며, 바이오가스 생산속도 및 바이오가스 생성수율을 극대화할 수 있다. 또한, 상기 범위 내에서 후술될 여과모듈에서 낮은 막차압을 유지하여 역세공정이 별도 요구되지 않아 공정 효율을 극대화할 수 있다.
- [0083] 상기 전단속도 제어부(200)에서는 0.01 내지 2 m/h 범위 내에서 전단속도를 일정하게 하거나, 전단속도를 점차 증가시키도록 제어될 수 있다.
- [0085] 바람직하게는, 다이나믹 생물막의 형성을 촉진하기 위하여 운행 초기에는 낮은 전단속도로 유기폐수 발효물을 여과모듈로 유입시키고, 다이나믹 생물막이 안정적으로 형성된 운행 중기 및 말기에는 점차 전단속도를 증가시켜 바이오가스의 생성능을 극대화할 수 있다.
- [0087] 상기 여과모듈(300)의 상기 다이나믹 생물막(320)을 통과한 처리수는 분리부(400)로 이송되며, 바이오가스는 분리되어 상기 바이오가스 저장부(500)로 이송된다.
- [0089] 상기 바이오가스 저장부(500)에서는 상기 반응조(100) 및 상기 분리부(400)에서 발생된 바이오가스를 저장 및 생성능을 측정하게 된다.
- [0091] 상기 바이오가스 생성능은 바이오가스 생성속도, 바이오가스 생성수율 및 이들의 조합을 통해 측정할 수 있다.
- [0093] 저장된 바이오가스는 메탄, 수소 등이 혼합된 혼합 가스로서, 추가적인 분리 공정을 통해 분리할 수 있으며, 메탄 및 수소를 분리하는 방법은 종래에 주지된 방법을 사용할 수 있다.
- [0095] 분리부(400)에서 상기 다이나믹 생물막을 통과한 처리수에서 바이오가스를 분리하고, 바이오가스를 분리한 처리수를 처리수 저장부(미도시)로 이송 및 배출하게 된다.
- [0097] 이때, 상기 분리부(400)는 바이오가스가 분리된 처리수를 배출하는 유로에 압력 센서(미도시)를 구비하여 상술될 반응부의 작동여부를 결정할 수 있다.
- [0099] 반응부(600)에서는 상기 여과모듈의 유기폐수 발효물을 상기 반응조로 반송하게 되며, 반송되는 유기폐수 발효물의 유량을 제어하기 위하여 유량 제어부가 구비된다.
- [0101] 보다 상세하게는, 상기 바이오가스 저장부(500)에서 측정되는 바이오가스의 생성량이 기설정된 값 이하이거나 바이오가스 생성량에서 급격한 변화(감소)가 확인될 경우 상기 반응부의 유량제어부에서 반응조로 반송되는 유기폐수 발효물의 유량을 제어함으로써 상기 반응조에서 상기 여과모듈로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 능동적으로 제어할 수 있다.
- [0103] 또한, 상기 분리부(400)의 압력센서에서 측정된 압력이 기설정된 값을 벗어날 경우, 상기 반응부에서 반응조로 반송되는 유기폐수 발효물의 유량을 제어하여 상기 반응조에서 상기 여과모듈로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 능동적으로 제어할 수 있다.
- [0105] 보다 상세하게는, 상기 분리부(400)의 압력센서에서 측정된 압력값이 기설정된 값을 초과할 경우, 유기물 및 입자성 유기물이 처리수 많이 포함된 것으로서 이는 다이나믹 생물막의 여과능 및 다이나믹 생물막의 형성이 원활하지 않은 것을 의미한다.
- [0107] 이에, 여과모듈 내의 유기폐수 발효물을 반응조로 반송 및 유기폐수 발효물을 다시 상기 여과모듈로 유입시켜 상기 다공성 지지체를 통과하도록 하여 상기 다공성 지지체 표면에 형성되는 다이나믹 생물막의 유변학적 특성을 제어할 수 있다.
- [0109] 즉, 운행 초기에는 반응조(100)에서 여과모듈(300)로 이송되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 전단속도 제어부

(200)에서 제어하고, 상기 바이오가스 저장부에서 측정되는 바이오가스의 생성량이 기설정된 값 이하이거나 바이오가스 생성량에서 급격한 감소가 센싱되거나 분리부의 압력센서에서 측정된 압력값이 기설정된 값을 초과할 경우 상기 반응부(600)의 유량제어부에서 반응조(100)로 반응되는 유기폐수 발효물의 유량을 제어함으로써 상기 반응조(100)에서 상기 여과모듈(300)로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 능동적으로 제어하게 되며, 이로써 장치의 운행동력을 최소화하면서 다이내믹 생물막의 유변학적 특성 제어가 가능하여 결과적으로 바이오가스의 생성을 극대화할 수 있다.

[0111] 이하, 본 발명은 다이내믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조방법을 제공하며, 본 발명의 다이내믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조방법은 상술된 다이내믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조장치를 이용하여 수행되며, 설명하고자 하는 바가 상술된 바와 동일할 경우 이에 대한 기재를 생략하도록 한다.

[0113] 도 3은 본 발명에 따른 다이내믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조방법을 보여주는 순서도이다.

[0115] 본 발명에 따른 다이내믹 생물막의 유변학적 특성 제어를 이용한 고율 바이오가스 제조방법은 반응조에서 유기폐수를 혐기소화시켜 유기폐수 발효물을 형성하고, 바이오가스를 발생시키는 반응단계(S100)와 전단속도 제어부에서 전단속도를 제어하면서 상기 반응조의 유기폐수 발효물을 여과모듈로 이송하는 이송단계(S200)와 이송된 유기폐수 발효물을 상기 여과모듈 내부에 형성된 다공성 지지체에 여과시킴으로써 상기 다공성 지지체 표면에 다이내믹 생물막을 형성 및 상기 유기폐수 발효물의 고형물을 분리하는 여과단계(S300)와 분리부에서 상기 다이내믹 생물막을 통과한 처리수를 이송받아 바이오가스를 분리하고, 상기 바이오가스가 분리된 처리수를 배출하는 분리단계(S400)와 바이오가스 저장부에서 상기 반응조 및 상기 분리부로부터 분리된 바이오가스를 저장 및 생성능을 측정하는 바이오가스 저장단계(S500)와 상기 바이오가스 저장부에서 측정되는 바이오가스의 생성능에 따라 반응부에서 상기 여과모듈의 유기폐수 발효물을 상기 반응조로 반응시키는 반응단계(S600)를 포함한다.

[0117] 반응단계(S100)에서는 반응조(100)에서 유기폐수를 혐기소화시켜 유기폐수 발효물을 형성 및 유기폐수의 혐기소화공정을 통해 바이오가스를 발생시키며, 발생된 바이오가스는 상술되는 바이오가스 저장부(500)로 이송된다.

[0119] 상기 반응단계(S100)에서 상기 유기폐수의 혐기소화를 촉진하기 위하여 반응조(100) 내에 식종슬러지, 식종균, 미생물 군집 및 이들의 조합을 투입할 수 있으며, pH 6 내지 8, 온도 30 내지 50℃, 혐기 분위기하에서 교반 및 반응시켜 하여 유기폐수 발효물을 생성한다.

[0121] 바이오가스는 메탄, 수소 및 이들의 조합 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0123] 유기폐수는 음식물쓰레기, 하수슬러지, 농산물쓰레기, 축산물쓰레기 및 이들의 조합을 포함할 수 있으며, 혐기소화를 통해 상기 바이오가스를 생산할 수 있는 것이라면 이에 한정하지 않는다. 바람직하게는, 음식물쓰레기를 이용할 수 있다.

[0125] 식종슬러지는 혐기성 슬러지를 사용하며, 식종균은 상기 바이오가스의 생성을 촉진하기 위한 메탄생성균, 수소생성균 및 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0127] 미생물 군집체는 활성탄, 실리카, 키토산, 캡슐 형성제, 영양염류 및 이들의 조합을 혼합 및 반응시켜 제조된 지지 구조체에 미생물을 담지 및 배양시킨 것으로서, 미생물이 군집(floc)을 형성하여 안정적인 배양 및 증식이 가능하게 하고, 이를 통해 유기 폐수의 분해 및 가스화를 촉진시켜 바이오가스의 생산능을 향상시킬 수 있으며, 후술될 여과모듈(300)에서 다공성 지지체의 표면에서의 다이내믹 생물막의 형성을 촉진하고 보존성을 향상시킬 수 있게 된다.

[0129] 상기 반응조(100)는 유기폐수와 식종슬러지, 식종균, 미생물 군집 등과의 균일한 혼합을 위한 교반수단, 반응조 내의 pH를 제어하기 위한 pH 제어부, 온도를 조절하기 위한 온도 제어부, 반응조 내부의 혐기 분위기 조성을 위한 불활성 기체 주입부, 유기폐수, 식종슬러지, 식종균, 미생물 군집 및 이들의 조합을 투입하기 위한 독립적인 주입부 및 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0131] 상기 반응단계(S100)에서 반응조(100) 내의 유기폐수 발효물의 유기물 부하율을 1 내지 10 g COD/L/d 로 제어하는데, 상기 유기물 부하율이 1 g COD/L/d 미만일 경우, 바이오가스 생성능이 낮으며, 유기물 부하율이 10 g COD/L/d를 초과할 경우, 여과저항이 지나치게 커지고, 미생물이 소모하기 힘든 과잉기질로 오히려 바이오가스 생성을 저하시키기 때문에 상기 유기물 부하율 범위를 벗어나지 않는 것이 바람직하다.

[0133] 이때, 다이내믹 생물막의 형성을 촉진하기 위하여 유기물 부하율을 상술된 범위 내에서 운행초기에 높게 제어하

고, 점차 낮추는 것도 가능하다.

- [0135] 상기 pH제어부는 pH 값을 측정하기 위한 pH 센서와 기설정된 pH 값을 벗어나지 않도록 pH 조절제 및 알칼리 약제를 저장 및 주입하는 약제 주입부를 포함한다.
- [0137] 상기 온도 제어부는 온도를 측정하기 위한 온도센서와 기설정된 온도를 유지할 수 있도록 하는 온도조절기(가열냉각기)를 포함한다.
- [0139] 이송단계(S200)에서는 전단속도 제어부에서 전단속도를 제어하면서 상기 반응조의 유기폐수 발효물을 여과모듈로 이송하게 된다.
- [0141] 이때, 상기 이송단계(S200)에서는 전단속도를 0.01 내지 2 m/h 로 제어하는데, 상기 반응조(100)에서 상기 여과모듈(300)로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 제어함으로써 초기 다이내믹 생물막의 안정적인 형성을 가능하게 하며, 바이오가스 생산속도 및 바이오가스 생성수율을 극대화할 수 있다. 또한, 상기 범위 내에서 후술될 여과모듈에서 낮은 막차압을 유지하여 역세공정이 별도 요구되지 않아 공정 효율을 극대화할 수 있다.
- [0143] 또한, 상기 이송단계(S200)에서는 0.01 내지 2 m/h 범위 내에서 전단속도를 일정하게 하거나, 전단속도를 점차 증가시키도록 제어될 수 있다.
- [0144] 바람직하게는, 다이내믹 생물막의 형성을 촉진하기 위하여 운행 초기에는 낮은 전단속도로 유기폐수 발효물을 여과모듈로 유입시키고, 다이내믹 생물막이 안정적으로 형성된 운행 중기 및 말기에는 점차 전단속도를 증가시켜 바이오가스의 생성능을 극대화할 수 있다.
- [0146] 여과단계(S300)에서는 이송된 유기폐수 발효물을 상기 여과모듈 내부에 형성된 다공성 지지체에 여과시킴으로써 상기 다공성 지지체 표면에 다이내믹 생물막을 형성 및 상기 유기폐수 발효물의 고형물을 분리하게 된다.
- [0148] 상기 여과모듈(300)은 내부에 다공성 지지체를 포함하며, 상기 반응조(100)로부터 이송받은 유기폐수 발효물이 상기 다공성 지지체(310)를 통과하면서 다공성 지지체의 표면에 미생물이 축적되어 다이내믹 생물막(320)을 형성하게 된다.
- [0150] '다이내믹 생물막'은 일정한 형태를 갖는 막이 아니라 여과모듈 내부로 유입되는 유기폐수 발효물의 전단속도, 유기폐수 발효물의 구성 및 유기물 부하율 등의 요인에 따라 형상 및 두께가 변화되는 것으로서, 상기 다이내믹 생물막이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하게 되면서 유기폐수 발효물의 고액분리를 가능하게 한다.
- [0152] 상기 다공성 지지체(310)는 상기 다이내믹 생물막을 형성하기 위한 지지체로서, 천연 섬유, 합성 섬유, 부직포, 스테인레스 메쉬, 플라스틱 메쉬 중 어느 하나 이상으로 선택되는 재질로 이루어질 수 있으며, 바람직하게는, 미생물에 의해 쉽게 분해가 되지 않으며, 물리적 특성이 우수하고 경제적인 폴리에스터 스크린 메쉬 등의 합성 섬유 메쉬망을 사용할 수 있다.
- [0154] 이때, 상기 다공성 지지체(310)는 10 $\mu$ m 내지 5mm의 공극을 갖는 것이 바람직한데, 10 $\mu$ m 미만은 지지체의 제작 비용이 증가할 뿐 아니라 작은 공극으로 인하여 막 오염이 가속되며, 5mm를 초과할 경우, 오염원의 여과 효과가 미미하여 처리수의 SS(Suspended Solids) 등의 유기물 함량이 높게 나타나고, 유기폐수 발효물 및 미생물이 상기 다공성 지지체의 표면에 머무르지 못하고, 대부분이 큰 공극을 따라 빠져나가기 때문에 다이내믹 생물막의 형성 및 보존성이 저하되는 문제가 있어 상기 범위를 벗어나지 않는 것이 바람직하다.
- [0156] 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.
- [0158] 상기 다이내믹 생물막을 통과한 처리수는 상술될 분리부(400)로 이송되며, 다이내믹 생물막을 통과하지 못한 고형물은 여과모듈의 하단에 축적되어 별도의 공정을 통해 외부로 배출된다.
- [0160] 또한, 상기 여과단계(S300)에서는 유기폐수 발효물의 수리학적 체류시간을 5 내지 40일로 제어하는데, 상기 수리학적 체류시간에서 바이오가스의 생성이 원활하게 이루어진다.
- [0162] 상기 여과모듈(300)의 상기 다이내믹 생물막(320)을 통과한 처리수는 분리부(400)로 이송되며, 바이오가스는 분리되어 상기 바이오가스 저장부(500)로 이송된다.
- [0164] 분리단계(S400)에서는 분리부(400)에서 상기 다이내믹 생물막을 통과한 처리수를 이송받아 바이오가스를 분리하고, 상기 바이오가스가 분리된 처리수를 처리수 저장부(미도시)로 이송 및 배출하게 된다.

- [0165] 이때, 상기 분리부(400)는 바이오가스가 분리된 처리수를 배출하는 유로에 압력 센서를 구비하여 상술된 반송부의 작동여부를 결정할 수 있다.
- [0167] 바이오가스 저장단계(S500)에서는 바이오가스 저장부(500)에서 상기 반응조(100) 및 상기 분리부(400)에서 발생된 바이오가스를 저장 및 생성능을 측정한다.
- [0169] 상기 바이오가스 생성능은 바이오가스 생성속도, 바이오가스 생성수율 및 이들의 조합을 통해 측정할 수 있다.
- [0170] 저장된 바이오가스는 메탄, 수소 등이 혼합된 혼합 가스로서, 추가적인 분리 공정을 통해 분리할 수 있으며, 메탄 및 수소를 분리하는 방법은 종래에 주지된 방법을 사용할 수 있다.
- [0172] 반송단계(S600)에서는 상기 바이오가스 저장부(500)에서 측정되는 바이오가스의 생성능에 따라 반송부(600)에서 상기 여과모듈의 유기폐수 발효물을 상기 반응조로 반송시키며, 상기 반송부는 반송되는 유기폐수 발효물의 유량을 제어하기 위하여 유량 제어부가 구비된다.
- [0174] 보다 상세하게는, 상기 반송단계(S600)에서는 상기 바이오가스 저장부(500)에서 측정되는 바이오가스의 생성량이 기설정된 값 이하이거나 바이오가스 생성량에서 급격한 변화(감소)가 확인될 경우 상기 반송부의 유량제어부에서 반응조로 반송되는 유기폐수 발효물의 유량을 제어함으로써 상기 반응조에서 상기 여과모듈로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 능동적으로 제어할 수 있다.
- [0176] 또한, 상기 분리부(400)의 압력센서에서 측정된 압력이 기설정된 값을 벗어날 경우, 상기 반송부에서 반응조로 반송되는 유기폐수 발효물의 유량을 제어하여 상기 반응조에서 상기 여과모듈로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 능동적으로 제어할 수 있다.
- [0178] 보다 상세하게는, 상기 분리부(400)의 압력센서에서 측정된 압력값이 기설정된 값을 초과할 경우, 유기물 및 입자성 유기물이 처리수 많이 포함된 것으로서 이는 다이내믹 생물막의 여과능 및 다이내믹 생물막의 형성이 원활하지 않은 것을 의미한다.
- [0179] 이에, 여과모듈 내의 유기폐수 발효물을 반응조로 반송 및 유기폐수 발효물을 다시 상기 여과모듈로 유입시켜 상기 다공성 지지체를 통과하도록 하여 상기 다공성 지지체 표면에 형성되는 다이내믹 생물막의 유변학적 특성을 제어할 수 있다.
- [0181] 즉, 운행 초기에는 반응조(100)에서 여과모듈(300)로 이송되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 전단속도 제어부(200)에서 제어하고, 상기 바이오가스 저장부에서 측정되는 바이오가스의 생성량이 기설정된 값 이하이거나 바이오가스 생성량에서 급격한 감소가 센싱되거나 분리부의 압력센서에서 측정된 압력값이 기설정된 값을 초과할 경우 상기 반송부(600)의 유량제어부에서 반응조(100)로 반송되는 유기폐수 발효물의 유량을 제어함으로써 상기 반응조(100)에서 상기 여과모듈(300)로 이동되는 유기폐수 발효물의 전단속도를 능동적으로 제어하게 되며, 이로써 장치의 운행동력을 최소화하면서 다이내믹 생물막의 유변학적 특성 제어가 가능하여 결과적으로 바이오가스의 생성을 극대화할 수 있다.
- [0183] 이하, 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부한 도면을 참고로 상세하게 설명하기로 한다.

## [0185] 1. 실험방법과 장치

[0186] 충북 청주의 A 양조장 폐수를 UASBR 처리하여 수득된 혐기성 슬러지를 식종슬러지로 사용하였다. 기질로서 음식물쓰레기를 투입하였으며, 상기 음식물쓰레기는 분쇄처리 후 USA standard no. 16 sieve (nominal diameter=1.0 mm)를 이용하여 여과된 것을 사용하였다.

[0188] 하기의 표 1은 혐기성 슬러지와 음식물 쓰레기의 특성을 보여준다.

표 1

	COD [g/L]	TSS [g/L]	VSS [g/L]	TS [g/L]	VS [g/L]	T-N [g/L]	pH
Undiluted food waste	205.3 ± 2.4	144.3 ± 2.1	140.2 ± 3.1	177.6 ± 1.0	155.1 ± 0.9	5.4 ± 0.2	4.8 ± 0.1
Anaerobic digester sludge	-	31.5 ± 5.6	16.2 ± 2.8	45.0 ± 1.5	29.5 ± 0.9	2.1 ± 0.6	7.5 ± 0.3

[0189]

[0190] CSTR(Continuously Stirred Tank React)와 DM모듈을 준비하였으며, CSTR은 총용량 14 L(지름 20.5 cm, 높이 40



cm)와 pH 프로브, 수위센서로 구성되었다. 다공성 지지체로는 지름 4 cm, 너비 10cm, 포어 사이즈 50 $\mu$ m를 갖는 폴리에스터 스크린 메쉬망을 사용하였다.

[0191] CSTR와 DM(Dynamic Membrane)모듈 사이에 연동펌프를 구비하여 유기폐수 발효물을 순환시켰으며, 반응온도 35 $\pm$  1 $^{\circ}$ C, pH 7.0~8.0를 유지하였다. 작업액량은 5.5 L, 식중균은 10% w/v로 투입하고, 유기물부하율(OLR; Organic Loading Rate)은 1 ~ 10 g COD/L/d로 조정하였다.

[0193] 바이오 가스의 생성량을 모니터링하기 위하여 가스 포집기를 준비하였고, 포집된 가스는 기준온도와 압력(0 $^{\circ}$ C, 1 atm)으로 보정하였다. 바이오가스에 포함된 메탄가스를 측정하기 위하여, 메탄과 이산화탄소의 분리가 가능한 가스 크로마토그래피(SRI Instruments, SRI 310, USA)를 이용하였다.

[0195] 휘발성 지방산(VFA)은 300 $\times$ 7.8mm minex HPX- 87H (Bio-Rad, Hercules, CA, USA)칼럼을 장착한 HPLC(1525, Waters, Milford, USA)로 분석하였으며, 지방산의 peak는 UV detector를 이용하여 파장 210 nm에서 측정하고, 이동상 물질은 5mM의 황산을 이용하였다.

[0196] 고형분, COD, 총질소(TN)의 분석은 APHA 에 의거하여 측정되었고, SRT(solids retention time)는 하기의 식 1 을 이용하여 측정되었다.

[0197] [식 1]

$$SRT = HRT \times \frac{\text{Mixed liquor SS}}{\text{Effluent SS}}$$

[0198]

[0199] EPS(Extracellular polymeric substance)는 Zhen et al (2013)에 기술된 절차를 따라 수집되었다. EPS 추출물의 polysaccharide (PS), protein (PN) 을 측정하여 그 특성을 분석하였다. PN은 Lowry' 방법을 이용하여 정량되었고, PS는 페놀-황산법으로 발색시킨 후 490 nm에서 정량되었다.

[0201] DNA extraction은 MoBio PowerSoil DNA extraction kit (MoBio, Solana Beach, CA, USA)를 이용하여 수행되었다.

[0202] 박테리아를 증폭하기 위한 프라이머로 341F (5' -CCTACGGGNGGCWGCAG-3' )와 805R 5' -GACTACHVGGGTATCTAATCC-3' )를 사용하였고, 고세균을 증폭하기 위한 프라이머로는 787F (5' -ATTAGATACCSBGTAGTCC-3' )와 1059R (5'-GCCATGCACWCCTCT-3' )를 사용하였다.

[0204] 증폭된 PCR 산물은 Illumina MiSeq platform 를 이용하여 정렬하였으며, Mothur program (<http://www.mothur.org>)를 이용하여 키메라를 제거하고, 대표시퀀스를 선별하였다. 미생물 군집의 특성은 RDP Pipeline (<http://pyro.cme.msu.edu>)를 이용하여 분석되었다.

[0205] 미생물의 상대적 빈도를 측정하기 위하여, 박테리아와 고세균의 16S rRNA 유전자를 SYBR Green detector (AriaMX Real-Time PCR, Agilent Technologies, USA)가 구비된 유전자증폭기를 사용하였다.

[0206] 박테리아 16S rRNA 유전자 증폭에서, qPCR 열처리 온도는 50 $^{\circ}$ C에서 2분간, 95 $^{\circ}$ C에서 10분간 열처리 한 후, 95 $^{\circ}$ C에서 30초, 52 $^{\circ}$ C에서 1분, 72 $^{\circ}$ C에서 90초씩 40회 반복하고, 마지막으로 72 $^{\circ}$ C에서 5분간으로 제어되었다.

[0207] 고세균 16S rRNA 유전자 증폭에서, qPCR 열처리 온도는 50 $^{\circ}$ C에서 2분간, 95 $^{\circ}$ C에서 10분간 열처리 한 후, 95 $^{\circ}$ C에서 25초, 52 $^{\circ}$ C에서 25초, 72 $^{\circ}$ C에서 25초씩 40회 반복하고, 마지막으로 72 $^{\circ}$ C에서 5분간으로 제어되었다.

[0208] 유전자 copy수는 하기의 식 2에 의해 계산되었다.

[0209] [식 2]

$$\begin{aligned} \text{Gene copies} = & \text{DNA Conc.} \left( \frac{\text{ng}}{\mu\text{l}} \right) \times \left( \frac{1\text{g}}{1000^3 \text{ ng}} \right) \times \left( \frac{1 \text{ mol bp DNA}}{660 \text{ g DNA}} \right) \\ & \times \left( \frac{6.023 \times 10^{23} \text{ bp}}{1 \text{ mol bp DNA}} \right) \times \left( \frac{1 \text{ copy}}{\text{genome or plasmid size [bp]}} \right) \\ & \times (\text{volume of template } [\mu\text{l}]) \end{aligned}$$

[0210]

## [0212] 2. 실험 결과

[0213] 하기의 표 2는 운행조건(HRT, OLR, 전단속도)에 따른 메탄 생성능(메탄생성속도, 메탄생성수율), SRT/HRT 및 DM

막의 두께를 보여준다.

표 2

HRT (d)	Influent (g-COD/L)	OLR (g/L/d)	Shear velocity(m/h)	MPR (L/L/d)	Methane yield (L/g CODadded)	SRT/HRT	Observed DM layer thickness (mm)
40	50	1.25	0.011	0.41 ±0.1	0.33 ±0.1	2.1 ±0.0	2
25	50	2.00	0.017	0.69 ±0.2	0.34 ±0.2	3.1 ±0.2	3
15	50	3.33	0.029	0.99 ±0.2	0.30 ±0.4	12.1 ±2.5	10
12	50	4.17	0.036	0.98 ±0.3	0.23 ±0.1	7.4 ±1.1	3
10	50	5.00	0.043	1.26 ±0.2	0.22 ±0.1	6.1 ±0.3	3
10	50	5.00	0.120	1.43 ±0.1	0.29 ±0.1	1.9 ±0.2	3
10	50	5.00	0.200	1.52 ±0.0	0.30 ±0.0	2.0 ±0.3	3
10	50	5.00	0.340	1.58 ±0.0	0.32 ±0.1	2.0 ±0.1	2
10	50	5.00	0.440	1.56 ±0.0	0.32 ±0.1	1.9 ±0.1	2
10	50	5.00	0.880	1.54 ±0.0	0.31 ±0.1	1.9 ±0.2	2
10	50	5.00	1.740	1.21 ±0.1	0.24 ±0.0	1.6 ±0.1	2
10	80	8.00	0.340	2.08 ±0.1	0.26 ±0.1	1.6 ±0.1	2
10	100	10.00	0.340	2.52 ±0.1	0.24 ±0.1	1.6 ±0.1	2

[0214]

[0215]

도 4는 HRT, OLR 및 메탄생성속도의 상관관계를 보여주는 그래프이고, 도 5는 전단속도에 따른 메탄생성속도 및 메탄생성수율을 보여주는 그래프이다.

[0217]

메탄 생성속도(MPR)는 OLR의 증가에 따라 증가하였다. 초기에는 1.25 g COD/L/d OLR에서 0.414 L/L/d의 낮은 MPR값을 보이다가 후기에는 점점 증가하여 5.0 g COD/L/d의 OLR에서 1.1 L/L/d의 MPR에 도달하였다. 메탄생산수율은 25 d의 HRT에서 0.344 L/g CODadded로 가장 높은 것으로 확인되었다.

[0219]

실험결과, 동일 OLR에서 전단속도(shear velocity)를 0.88 m/h까지 증가시켰을 때 바이오가스 생산속도(MPR)또한 증가하는 추세를 보였으나, 전단속도 1.74 m/h에 도달하였을 때의 MPR은 1.21로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 지나치게 높은 전단속도로 인한 바이오가스 생산 저해 시점에서 전단속도를 0.34 m/h까지 낮춘 후 MPR이 회복되는 것을 확인할 수 있었으며, 이 때 10 g/L/d의 높은 OLR에서 최대 MPR을 얻을 수 있었다.

[0221]

또한, TMP(Transmembrane pressure)는 어떠한 역세공정없이 고농도의 폐수를 공급함에도 전체 운행시간(140 d) 통틀어 10 kPa보다 작은 값을 나타내었다. 일반적으로 높은 OLR 및 VFA(Volatile Fatty Acid)은 잦은 막폐색을 발생시켜 막역세를 요구하나, 본 발명에서는 전단속도를 제어함으로써 막차압을 최소화함을 확인할 수 있었고, 이를 통해 운영비용을 절감하면서 DM 기술이 음식물폐기물과 같이 고농도의 유기폐수의 혐기소화에 적용가능함을 확인할 수 있었다.

[0223]

도 6은 유출수(effluent)의 TSS(Total Suspended Solids)와 유기폐수 발효물(mixed liquor)의 TSS를 비교한 것으로서, 유출수의 TSS는 유기폐수 발효물의 TSS 보다 낮은 값을 나타내었다.

[0224]

또한, 표 2에서 보여주는 바와 같이, 15 d HRT에서 12.1의 높은 SRT/HRT 비를 나타내었으며, 이때, 유출수의 TSS가 2800 mg/L이고, 유기폐수 발효물의 TSS는 >45,000 mg/L 이상으로 측정되었다. 이는 동적막의 형성에 의하여 오염물의 분리능을 향상시킬 수 있음에 기인한 것으로 판단하였다.

[0226]

도 7은 DM layer에서 총 VFA와 TSS의 감소능을 보여준다. 혐기소화에서 높은 TSS와 VFA 농도는 낮은 바이오가스 생성량을 수반하며, 특히, 혐기소화에서 프로피온산의 축적은 유기폐수를 이용한 바이오가스 생산 및 처리 시스템에서 유기폐수의 정화능 및 바이오가스 생성능의 저하와 관련이 있다.

[0228]

본 발명에서 프로피온산은 2.0 g COD/L/d 이상의 OLR에서 주요한 산으로 확인되었으나, 유출수와 유기폐수 발효물에서 모두 VFA와 TSS가 감소하였으며, VFA와 TSS에 대해서 각각 82% 과 87%의 큰 감소가 있었다. 프로피온산의 축적에도 불구하고, 본 시스템에서는 높은 메탄생성특성과 DM막의 유기폐수 여과능을 보여주며, 이는 DM막의 안정적인 형성과 관련된 것으로 판단하였다. 특히, 15 d HRT에서 DM 막의 두께가 가장 두꺼웠으며, 높은 SRT/HRT 비를 나타내었다(표 2에 도시).

[0230]

도 8은 HRT에 따른 DM막의 EPS분석결과를 보여주는 것으로, LB-EPS는 HRT의 변화에 크게 영향을 받지 않은 반면, TB-EPS는 40일에서 15일의 HRT 변화에 따라 증가하다가 10일의 HRT까지 점점 감소하였다. PS(polysaccharides)농도는 PN(protein)농도(400~ 860 mg/L)에 비해 기본적으로 낮게 유지(20~30 mg/L)

되었다.

- [0232] 도 9는 음식물 폐수의 AnDMBR 처리의 Microbial analysis데이터를 보여주는 것으로서, (A)는 고세균과 박테리아의 상대적 비율을 보여주며, (B) HRT변화에 따른 목(Order) 수준에서 고세균의 분포, (C) HRT변화에 따른 종(Species) 수준에서 고세균의 분포, (D) HRT변화에 따른 문(Phylum)수준에서 박테리아 분포를 보여준다.
- [0234] 도 9(A)에서 보여주는 바와 같이, 박테리아 16 s rRNA 유전자는 고세균 16 s rRNA 유전자 보다 10배~100배 많이 관찰되었다. 초기 박테리아와 고세균 유전자 copy 수는 DM반응기에서 보다 유기폐수발효물에서 높게 측정되었으나, 15 d HRT에서 DM반응기 내의 박테리아와 고세균 유전자 copy 수가 6.5% 더 높게 측정되었다. 15d ~ 10d HRT에서 박테리아와 고세균 모두 감소하였으며, OLR은 1.25g/L/d 에서 5g/L/d로 증가되었다. 미생물 유전자 복제수는 각각  $1.5 \times 10^4$  copies/ $\mu$ L,  $4.3 \times 10^3$  copies/ $\mu$ L로 떨어졌다. 전반적으로 DM막에서 박테리아와 고세균 함량이 많이 측정되었으나, 분류분포는 유기폐수발효물과 유사하였다.
- [0236] 도 9(B)와 (C)에서 보여주는 바와 같이, 목 수준에서 Methanosarcinales, Methanomicrobiales 및 Methanobacteriales가 우점하였으며, 초기에 acetoclastic methanogen인 Methanosarcinales이 archaeal 군집 중에서 가장 우점하였다(relative abundance=33.9%).
- [0237] 종 수준에서는 acetoclastic methanogen인 Methanosaeta concili가 가장 우점하였다(relative abundance=29.4%). HRT의 변화(40d~10d)에 따라 우점종에서 주요한 변화가 발생되었는데, 목 수준의 10d HRT에서 Methanomicrobiales 이 42.9%까지 증가한 반면, Methanosarcinales 와 Methanobacteriales의 상대우점도는 각각 15.3%, 1.9%로 감소하였다. 종 수준의 10d HRT에서 Methanolinea tarda 종이 가장 우점하였다(relative abundance=41.7%).
- [0239] 도 9(D)는 문 수준에서 8종의 박테리아 분류를 보여준다: irmicutes, Bacteroidetes, Actinobacteria, Chloroflexi, Thermotogae, Proteobacteria, Spirochaetes 및 Synergistetes. 박테리아 중, Firmicutes, Bacteroidetes 및 Chloroflexi 는 전체 중에서 대략 60~70%로 우점하였다.
- [0240] 초기 40d ~15d HRT에서 Firmicutes가 우점하였으며, 12d, 10d의 HRT에서 Bacteroidetes가 우점하였다. 이때, 프로피온산은 0.1에서 0.9 g/L까지 증가되었고, pH의 큰 변화가 확인되었으며(도 10에 도시), COD 전환율은 68.6% 까지 감소하였다. Chloroflexi, Actinobacteria 및 Proteobacteria 와 같은 Syntrophs은 상대적 빈도가 낮게 나타났다.
- [0242] 상기 결과를 통해, AnDMBR 내의 메탄생성미생물은 고농도의 프로피온산이 존재하는 환경에서도 잘 적응함을 확인할 수 있었으며, 별도의 막 소재의 구비없이 다공성 지지체에 형성된 다이나믹 생물막이 자체적으로 막 소재의 역할을 수행하도록 하여 유기폐수의 고액분리가 가능하고, 별도의 역세공정없이 내부순환강도를 제어함으로써 다이나믹 생물막의 유변학적 특성을 제어하여 바이오가스 생산 효율을 극대화할 수 있음을 확인할 수 있었다.
- [0244] 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 많은 변형의 예들을 포함하도록 기술된 청구범위에 의해서 해석되어야 한다.

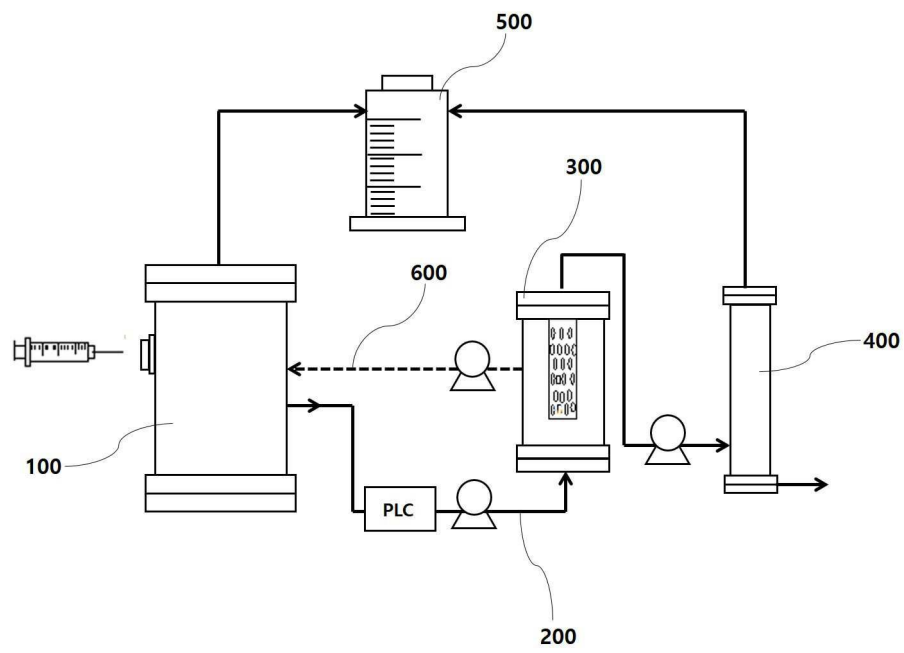
## 부호의 설명

- [0246] 100 : 반응조
- 200 : 전단속도 제어부
- 300 : 여과모듈
- 310 : 다공성 지지체
- 320 : 다이나믹 생물막
- 400 : 분리부
- 500 : 바이오가스 저장부
- 600 : 반송부

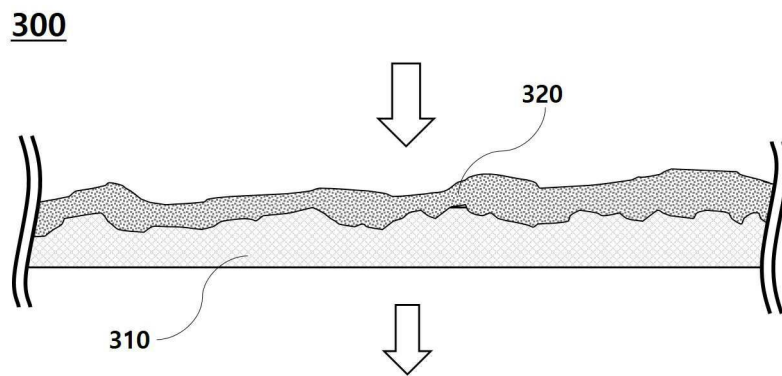


도면

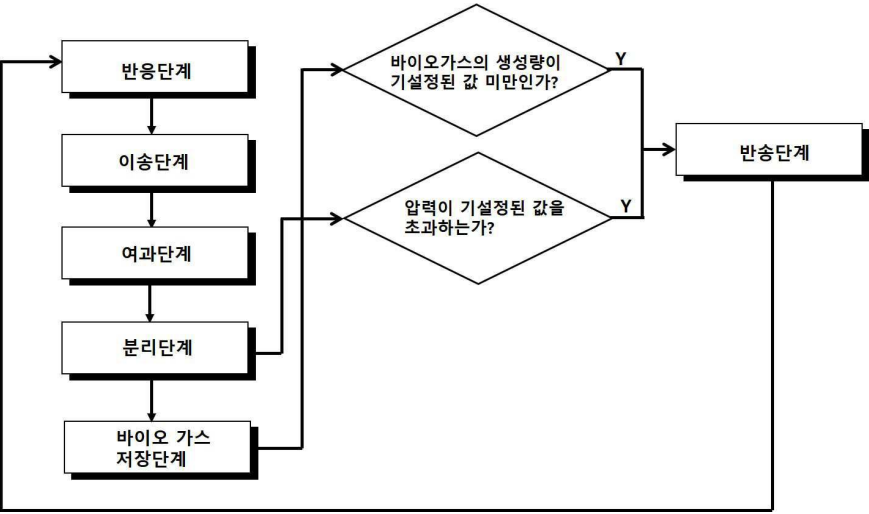
도면1



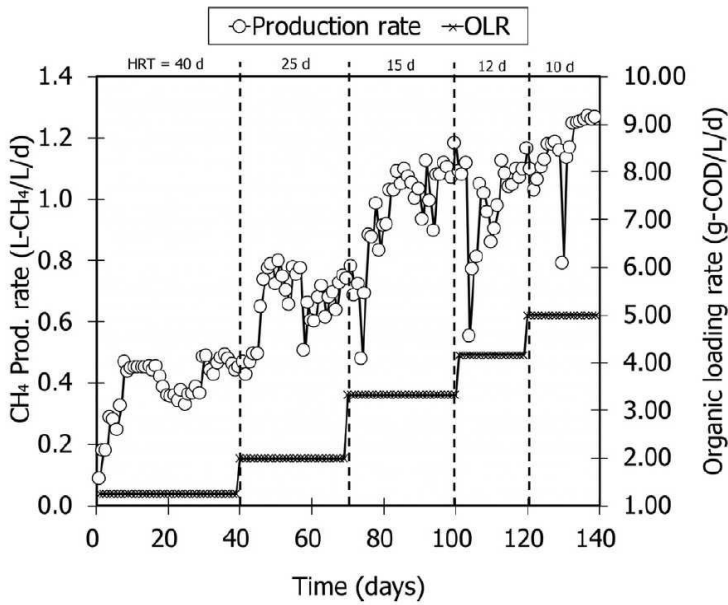
도면2



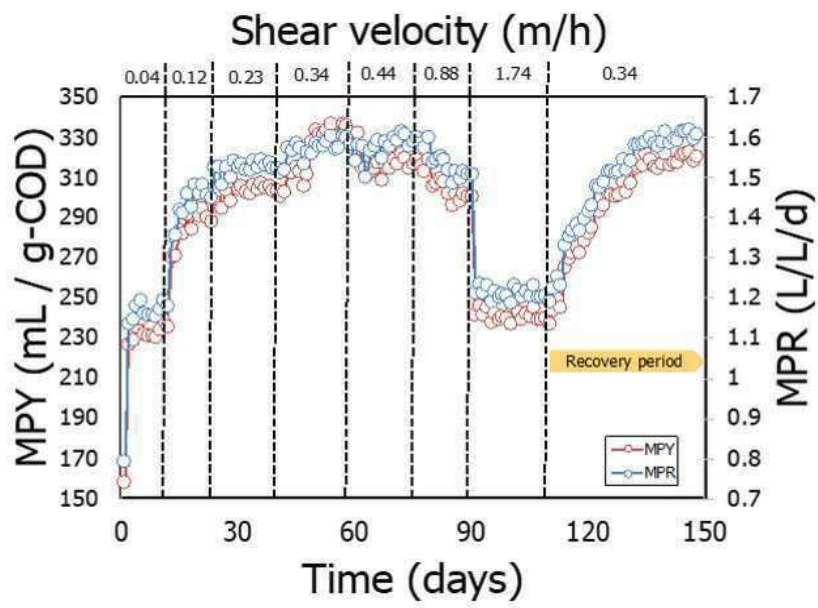
도면3



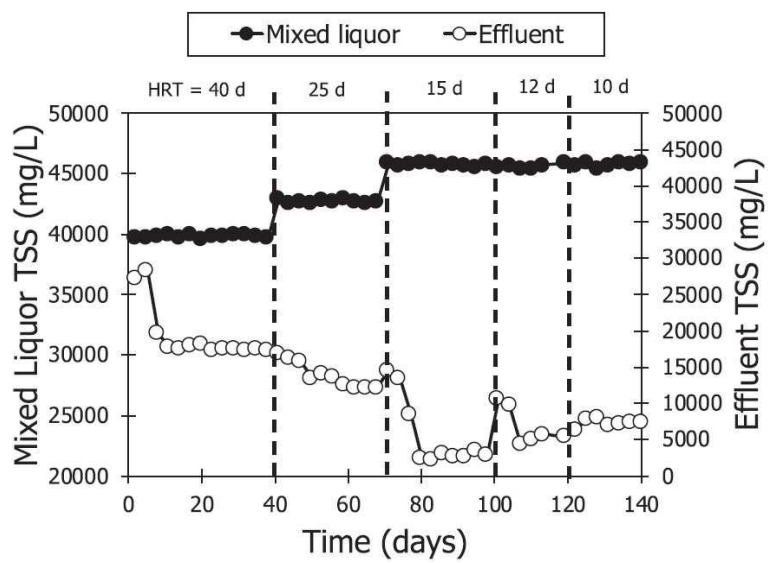
도면4



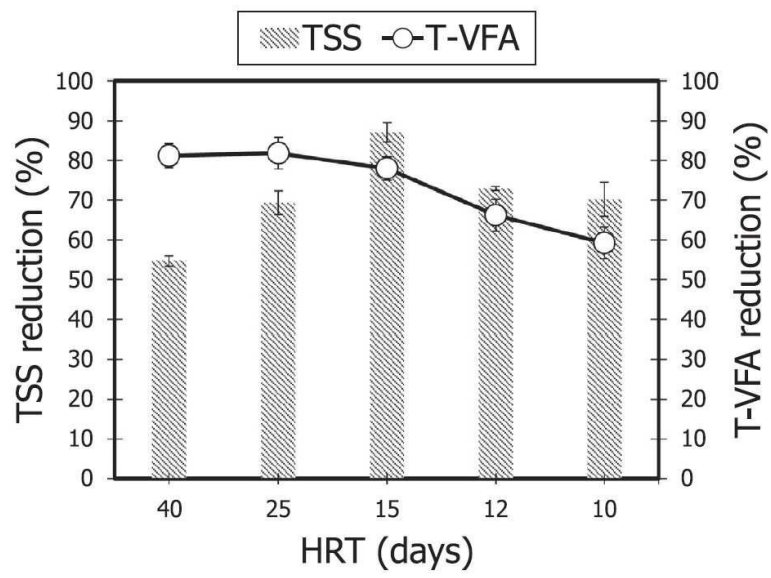
도면5



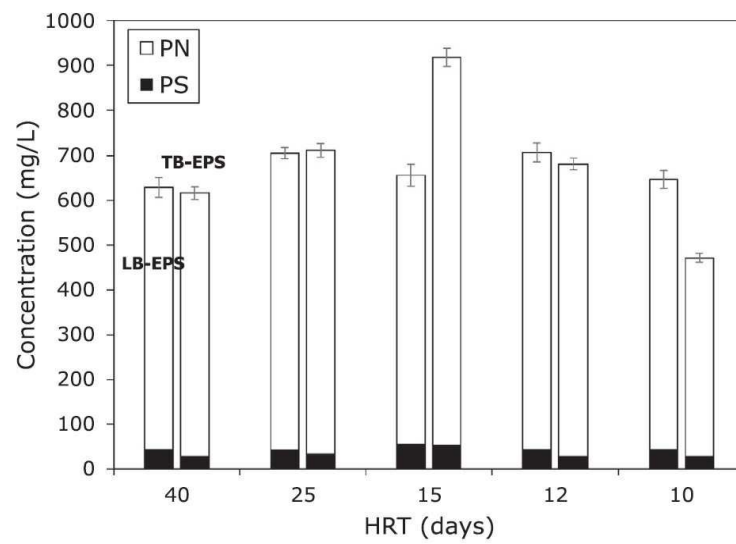
도면6



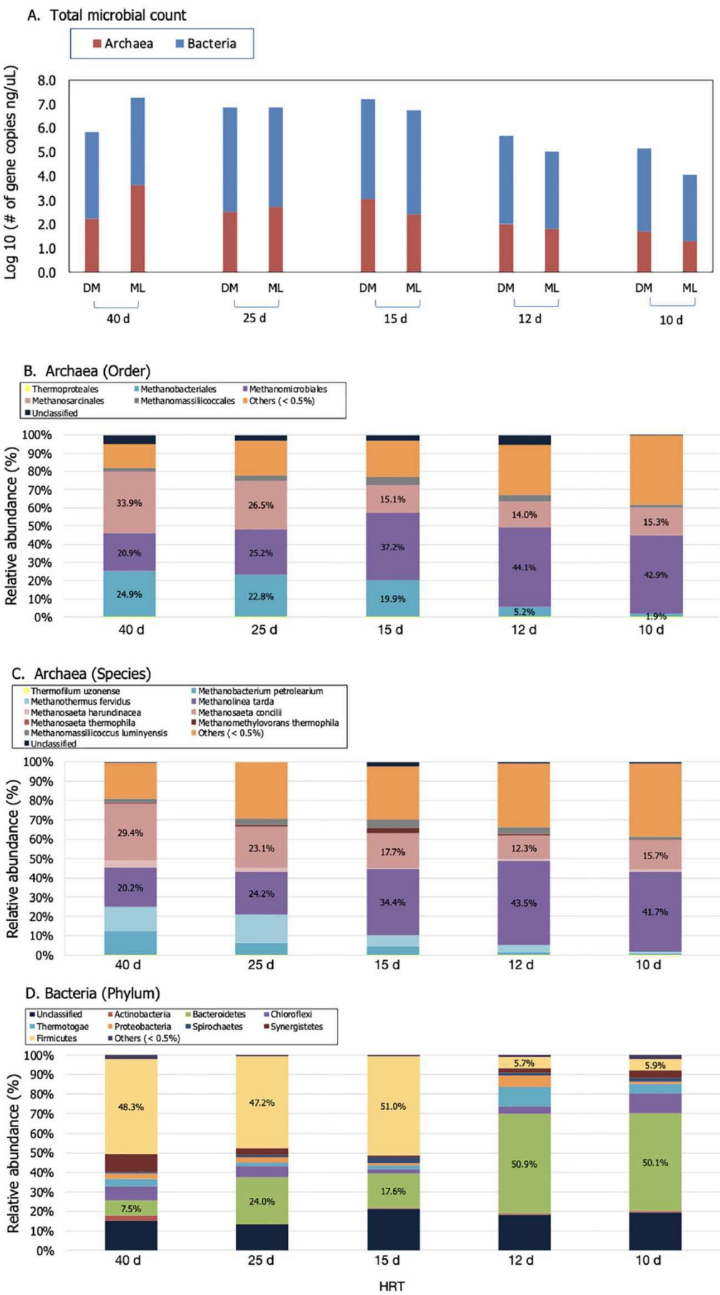
도면7



도면8



도면9



도면10

