



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0011393
(43) 공개일자 2017년02월02일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 <i>C02F 3/28</i> (2006.01) <i>C02F 1/66</i> (2006.01)
 <i>C02F 11/04</i> (2006.01) <i>C02F 3/10</i> (2006.01)
 <i>C02F 3/34</i> (2017.01) <i>C02F 103/32</i> (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 <i>C02F 3/2846</i> (2013.01)
 <i>C02F 1/66</i> (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2015-0103964
 (22) 출원일자 2015년07월22일
 심사청구일자 2015년07월22일</p> | <p>(71) 출원인
 울산과학기술원
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50</p> <p>(72) 발명자
 이창수
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
 조예담
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
 김자애
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50</p> <p>(74) 대리인
 특허법인 프렌즈드림</p> |
|--|--|

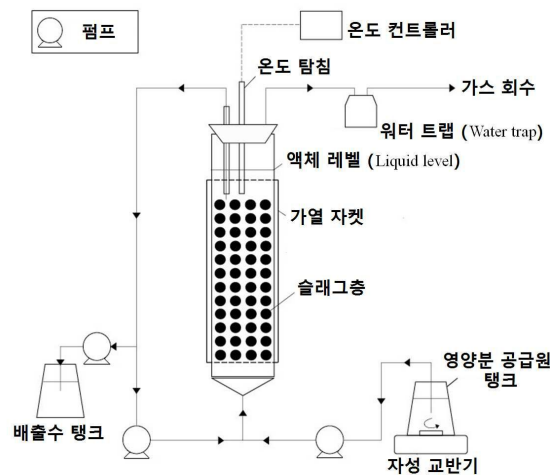
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **상향류식 필터를 이용한 고농도 유기성 폐수 처리 방법 및 장치**

(57) 요약

본 발명은, 고농도 유기성 폐수 처리에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 고로 슬래그로 패킹된 상향류식 필터 내에 혐기성 미생물이 부착 성장되게 함으로써, RWD 또는 고농도 유기성 폐수에 적용하여 지속적인 유기물 제거 및 바이오메탄 생산이 가능하도록 한, 상향류식 필터를 이용한 고농도 유기성 폐수 처리 방법 및 장치에 관한 것이다. 특히, 본 발명의 일 구현예에 따른 상향류식 필터를 이용한 고농도 유기성 폐수 처리 방법 및 장치는 철강 제조에서 유래된 고로 슬래그의 처리, 탁주공장에서 발생하는 유기성 폐수의 처리, 및 바이오메탄의 생산에 대해 지속적인 효과를 발휘할 수 있을 것으로 기대된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C02F 11/04 (2013.01)

C02F 3/104 (2013.01)

C02F 3/34 (2013.01)

C02F 2103/32 (2013.01)

C02F 2209/02 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

상향류식 필터를 포함하는 반응조에 유기성 폐수를 공급하는 단계;

상기 상향류식 필터를 통해, 상기 반응조에 공급된 유기성 폐수로부터 유기물을 제거하고 메탄가스를 생성하는 단계; 및

상기 반응조로부터 유기물이 제거된 폐수를 배출하고 생성된 메탄가스를 회수하는 단계

를 포함하는,

상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 반응조는 고로 슬래그 과립으로 채워진 상향류식 필터를 포함하는 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 고로 슬래그 과립의 크기는 3 mm 내지 20 mm인 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 방법.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 고로 슬래그는 혐기성 미생물로 코팅된 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 혐기성 미생물이 메타노세타 (*Methanosaeta*)인 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 유기성 폐수는 탁주공장 폐수를 포함하는 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 유기성 폐수는 찌뜨물 (RWD)을 포함하는 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 반응조에 공급된 유기성 폐수는 pH가 6 내지 8인 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 유기물을 제거하고 메탄가스를 생성하는 단계는 30℃ 내지 40℃의 온도에서 수행되는 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 유기물이 제거된 폐수는 배출된 후 상기 유입부로 재투입되는 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 방법.

청구항 11

상향류식 필터, 상기 상향류식 필터의 하부에 배치된 유입부, 및 상기 상향류식 필터 상부에 각각 배치된 폐수 배출부 및 메탄가스 회수부를 포함하는 반응조를 포함하며,

상기 반응조는 외벽을 둘러싸도록 배치된 온도 조절 장치

를 포함하는,

상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 장치.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 상향류식 필터는 원통형 컬럼인 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 장치.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 상향류식 필터는 고로 슬래그 과립으로 채워진 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 장치.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 고로 슬래그 과립의 크기는 3 nm 내지 20 nm인 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 장치.

청구항 15

제 13 항에 있어서,

상기 고로 슬래그는 혐기성 미생물로 코팅된 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 장치.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 혐기성 미생물이 메타노세타인 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 장치.

청구항 17

제 11 항에 있어서,

상기 유기성 폐수는 탁주공장 폐수를 포함하는 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 장치.

청구항 18

제 11 항에 있어서,

상기 유기성 폐수는 RWD를 포함하는 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 장치.

청구항 19

제 12 항에 있어서,

상기 반응조는 30℃ 내지 40℃의 온도로 조절되는 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 장치.

청구항 20

제 11 항에 있어서,

상기 배출부를 통해 배출된 폐수는 상기 유입부로 재투입되는 것인, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은, 고농도 유기성 폐수 처리에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 고로 슬래그로 패킹된 상향류식 필터 내에 혐기성 미생물이 부착 성장되게 함으로써, 쌀뜨물 또는 고농도 유기성 폐수에 적용하여 지속적인 유기물 제거 및 바이오메탄 생산이 가능하도록 한, 상향류식 필터를 이용한 고농도 유기성 폐수 처리 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

쌀은 대략적으로 세계의 절반수준 인구의 주식이고, 세계적으로 가장 넓은 지역에서 생산되는 작물이다. 쌀은 직접 소비뿐만 아니라, 그의 높은 전분 함량으로 인해, 면류, 스낵류, 감미료 (sweeteners), 농후제 (thickeners), 및 주류 (alcoholic beverages)와 같은, 다양한 가공식품의 제조에도 사용된다. 쌀은 가공공정에 사용되기 전에 우선 반복 세척을 통해 씻어줘야 하므로, 이 과정에서 유기물 함량이 높은 쌀뜨물 (rice-

washing drainage, RWD)이 대량 형성되고 폐기된다. 높은 유기물 함량 때문에, 이러한 RWD를 적절히 처리하기 위해서는 보통 에너지 집약적인 설비, 예를 들어, 필터 프레스 또는 스프레이 드라이어 등이 요구되는 고비용의 작업이 필요하다.

- [0003] 혐기 소화 (anaerobic digestion, AD)는, 바이오가스 (주로 메탄)의 생산, 통기 (aeration) 제거, 및 적은 슬러지의 발생에 의해 작업비용을 축소시킬 수 있기 때문에, 보통 고농도 유기성 폐수를 처리하기 위한 혐기 처리에 실행 가능한 대안으로 제공된다.
- [0004] 유기폐수 스트림을 처리하기 위한 종래 혐기 공정은 대부분 연속적인 교반 탱크 반응조 (continuously stirred tank reactor, CSTR) 모드를 사용한다. 상기 CSTR 모드는 간단하고 쉬운 작업이지만, CSTR 배열 형태가 혐기성 미생물, 특히 메탄생성균 (methanogens)의 느린 성장 (growth)으로 인해 약간의 한계, 예를 들어, 낮은 반응 속도 및 긴 유압 체류시간 (hydraulic retention times, HRT)을 가지고 있다. 따라서, HRT 및 고형물 체류시간 (solids retention time, SRT)을 분리시킴으로써 높은 밀도의 바이오매스를 보유하기 위한 많은 노력들이 시도되고 있으며, 상향류식 혐기 슬러지 블랭킷 (upflow anaerobic sludge blanket, UASB), 팽창성 입상 슬러지층 (expanded granular sludge bed, EGSB), 혐기성 필터 (anaerobic filter), 다단 혐기성 반응조 (anaerobic baffled reactor), 및 생물막 반응조 (membrane bioreactor)와 같은 다양한 고속 혐기 반응조의 개발로 이어졌다. 일반적으로 이러한 고속 혐기 반응조는, CSTR과 비교하여, 높은 유기물 로딩 속도 (organic loading rate, OLR), 즉 짧은 HRT로 처리할 수 있지만, 부유 입자의 퇴적에 따른 막힘이나 파울링에 민감하다. 따라서, 특히 부유 고형물 함량이 높은 폐수 스트림의 처리 공정을 위해서는 폐수특성의 충분한 검토가 필요하다.
- [0005] 혐기성 필터 공법은 바이오필름을 만들기 위한 패킹 재료의 표면에 미생물을 고정하는 부착 성장 공정이다. 따라서, 필터 매트릭스 내에 효과적으로 활성 바이오매스를 캡처하고 보유하기 위한 방법이 혐기성 필터 반응조의 성능 및 내구성을 결정하는 주요 요소이다. 다양한 자연적 및 인공적 재료, 예를 들어, 조약돌, 껍데기류, 나무 블럭류, 고무 시트류 (rubber sheets), 플라스틱 고리류, 과립화 활성탄, 및 타이어 고무 등이 각종 폐수를 처리하는 혐기성 필터용 패킹 재료로서 사용되고 있다. 적절한 패킹 재료의 사용은 여과재 (filter media)의 물리화학적 특성, 예를 들어, 다공도 및 비표면적과 같은 혐기성 필터의 성능을 증가시키기 위해 중요하며, 바이오매스 부착 (attachment)에 상당한 영향을 미친다. 최근, 반응조 패킹 재료로서 산업 부산물 또는 폐기물을 재활용하여 더욱 경제적이고 친환경적으로 실행할 수 있는 공정을 만드려는 시도가 증가하고 있다.
- [0006] 한편, 철강제조를 위한 철광석 처리로부터 유래된 부산물인 과립화 고로 슬래그 (BFS, blast-furnace slag)는, 이차 시멘팅 재료로서 오랫동안 사용되었으며, 그 외 다른 많은 용도, 예를 들어, 도로 건설, 매립지 커버, 하수 살수여과재 (sewage trickling filter media), 및 오염물질 흡수제로 사용되고 있다. BFS는 중금속의 제한된 침출성을 가지고 있으며, 환경 문제를 제기하지 않는다. 또한, 그의 다공성 및 벌크 구조는 큰 비표면적을 제공하여 바이오필름의 성장을 위한 세포 부착을 지지한다. 이러한 특징들 및 그의 저렴한 가격은 매력적인 반응조 패킹 재료로서 BFS의 잠재력을 보여준다. 그러나, AD에서 BFS의 여과재로서의 용도에 대한 연구는 거의 없다.
- [0007] 대한민국 공개특허 제10-2013-0005675호에는 반응조 내부를 혐기 구간 및 호기 구간으로 구획할 수 있는 원뿔형 배플을 포함하는 상향류식 생물 반응기가 개시되어 있으며, 이 기술에서는 담체로서 고로 슬래그를 사용하고 있다. 그러나, 이 기술은 고로 슬래그를 호기 구간에 설치하여 호기성 여과에 고로 슬래그가 사용되도록 한 것으로서, AD에서의 화학적 산소요구량 (COD)의 감소 및 메탄 가스 생성에 대한 효과는 전혀 개시 또는 시사되어 있지 않다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2013-0005675호 (공개일: 2013년 01월 16일)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 따라서, 본 발명의 목적은, 고로 슬래그로 패킹된 상향류식 필터 내에 혐기성 미생물이 부착 성장되게 함으로써, 탁주공장에서 발생하는 RWD 또는 고농도 유기성 폐수에 적용하여 지속적인 유기물 제거 및 바이오메탄 생산이 가능하도록 한, 상향류식 필터를 이용한 고농도 유기성 폐수 처리 방법을 제공하는 것이다.
- [0010] 또한, 본 발명의 다른 목적은, 고로 슬래그로 패킹된 상향류식 혐기성 필터를, 탁주공장에서 발생하는 RWD 또는 고농도 유기성 폐수에 적용함으로써, 지속적인 유기물 제거 및 바이오메탄 생산이 가능하도록 한, 상향류식 필터를 이용한 고농도 유기성 폐수 처리 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0011] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은, 상향류식 필터를 포함하는 반응조에 유기성 폐수를 공급하는 단계, 상기 상향류식 필터를 통해, 상기 반응조에 공급된 유기성 폐수로부터 유기물을 제거하고 메탄가스를 생성하는 단계, 및 상기 반응조로부터 유기물이 제거된 폐수를 배출하고 생성된 메탄가스를 회수하는 단계를 포함하는, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 방법을 제공한다.
- [0012] 상기 반응조는 고로 슬래그 과립으로 채워진 상향류식 필터를 포함하는 것일 수 있다.
- [0013] 상기 고로 슬래그 과립의 크기는 약 3 mm 내지 약 20 mm인 것일 수 있다.
- [0014] 상기 고로 슬래그는 혐기성 미생물로 코팅된 것일 수 있다.
- [0015] 상기 혐기성 미생물이 메타노세타 (*Methanosaeta*)인 것일 수 있다.
- [0016] 상기 유기성 폐수는 탁주공장 폐수를 포함하는 것일 수 있다.
- [0017] 상기 유기성 폐수는 RWD를 포함하는 것일 수 있다.
- [0018] 상기 반응조에 공급된 유기성 폐수는 pH가 약 6 내지 약 8인 것일 수 있다.
- [0019] 상기 유기물을 제거하고 메탄가스를 생성하는 단계는 약 30℃ 내지 약 40℃의 온도에서 수행되는 것일 수 있다.
- [0020] 상기 유기물이 제거된 폐수는 배출된 후 상기 유입부로 재투입되는 것일 수 있다.
- [0021] 상기 다른 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은, 상향류식 필터, 상기 상향류식 필터의 하부에 배치된 유입부, 및 상기 상향류식 필터 상부에 각각 배치된 폐수 배출부 및 메탄가스 회수부를 포함하는 반응조를 포함하며, 상기 반응조는 외벽을 둘러싸도록 배치된 온도 조절 장치를 포함하는, 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 장치를 제공한다.
- [0022] 상기 상향류식 필터는 원통형 컬럼인 것일 수 있다.
- [0023] 상기 상향류식 필터는 고로 슬래그 과립으로 채워진 것일 수 있다.
- [0024] 상기 고로 슬래그 과립의 크기는 약 3 mm 내지 약 20 mm인 것일 수 있다.
- [0025] 상기 고로 슬래그는 혐기성 미생물로 코팅된 것일 수 있다.
- [0026] 상기 혐기성 미생물이 메타노세타인 것일 수 있다.
- [0027] 상기 유기성 폐수는 탁주공장 폐수를 포함하는 것일 수 있다.
- [0028] 상기 유기성 폐수는 RWD를 포함하는 것일 수 있다.
- [0029] 상기 반응조는 약 30℃ 내지 약 40℃의 온도로 조절되는 것일 수 있다.

[0030] 상기 배출부를 통해 배출된 폐수는 상기 유입부로 재투입되는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0031] 본 발명에 의하면, 고로 슬래그로 폐기된 상향류식 혐기성 필터를 이용하여 RWD 및/또는 고농도 유기성 폐수로부터 높은 효율로 바이오메탄을 생성할 수 있다. 특히, 본 발명의 일 구현예에 따른 상향류식 필터를 이용한 고농도 유기성 폐수 처리 방법 및 장치는 철강 제조에서 유래된 고로 슬래그의 처리, 탁주공장에서 발생하는 유기성 폐수의 처리, 및 바이오메탄 생산에 대해 지속적인 효과를 발휘할 수 있을 것으로 기대된다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 본 발명의 일 구현예에 있어서, 상향류식 혐기성 필터 (upflow anaerobic filter, UAnF) 반응조의 개략도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 382 일의 운용 후 UAnF 반응조로부터 회수된 바이오필름-코팅 BFS 과립을 나타낸다.

도 3은 비교예로서 실시된, 10 일간의 HRT에 대한 CSTR 반응조에서의 메탄생산 및 반응조 pH 프로파일을 나타낸다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 있어서, UAnF 반응조 운용 조건 및 정상-상태 성능 데이터를 나타낸다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 유기물 로딩 속도에 대한 기질 제거 속도의 커브 피팅을 나타낸다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 유기물 로딩 속도에 대한 메탄 생산 속도의 커브 피팅을 나타낸다.

도 7a 및 도 7b는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 반응조로부터 발생시킨 세균 및 고세균의 변성제 구배 겔 전기영동 (denaturant gradients gel electrophoresis, DGGE) 지문을 나타낸다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 있어서, DGGE 지문으로부터 분석된 세균 (A) 및 고세균 (B)의 군집 구조의 클러스터 계통수를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0034] 본 발명의 명세서 및 청구범위에 사용된 용어 또는 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정 해석되지 아니하며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

[0035] 본 발명의 명세서 전체에 있어서, 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함" 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0036] 본 발명의 명세서 전체에 있어서, "A 및/또는 B"는, A 또는 B, 또는 A 및 B를 의미한다.

[0037] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 구체적으로 설명하였으나, 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니다.

[0038] 본 발명의 일 구현예에 따른 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 방법은, 상향류식 필터를 포함하는 반응조에 유기성 폐수를 공급하는 단계, 상기 상향류식 필터를 통해, 상기 반응조에 공급된 유기성 폐수로부터 유기물을 제거하고 메탄가스를 생성하는 단계, 및 상기 반응조로부터 유기물이 제거된 폐수를 배출하고 생성된 메탄가스를 회수하는 단계를 포함한다.

- [0039] 본 발명의 일 구현예에 있어서, 상기 유기성 폐수는 유기물 함량이 약 5 g COD/L 내지 약 20 g COD/L인 고농도 유기성 폐수일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0040] 본 발명은 철강제조를 위한 철광석 처리로부터 유래된 부산물인 과립화 고로 슬래그의 바이오 반응조용 여과재로서의 기능성에 초점을 맞추고 있다.
- [0041] 현재, AD를 위한 여과재로서 BFS를 사용하는 기술에 대한 연구는 거의 없다. 본 발명에서는 현지 탁주공장에서부터 배출되는 RWD의 지속적인 바이오매탄 생성을 위해, BFS 과립으로 채워진 상향류식 혐기성 필터 (upflow anaerobic filter, UAnF)를 이용할 수 있다.
- [0042] 본 발명의 일 구현예에 있어서, 상기 BFS 과립은 약 97 중량% 이상 내지 약 99.9 중량%가 비철금속의 화합물인 CaO, SiO₂, Al₂O₃, 및 MgO로 구성되어 있는 것일 수 있다. 상기 BFS 과립에 철 화합물은 약 0.1 중량% 내지 약 0.99 중량%로 포함되며, 상기 비철금속의 화합물 및 철 화합물을 제외한 그 외 잔량에는 철광석에 존재하는, 철을 제외한 다른 전이금속 또는 비금속의 화합물이 포함될 수 있다. 그러나, 상기 철 화합물 또는 철을 제외한 다른 전이금속의 화합물은 극소량으로 상기 BFS 과립에 포함되어, AD 공정 중 용출되는 철 또는 다른 전이금속 이온의 양은 극히 미량일 수 있으며, 극히 미량으로 용출된 철 또는 다른 전이금속의 이온은 AD 공정에서 메탄 생성 활성에 영향을 미치지 않는다.
- [0043] 상기 BFS 과립은 크기가 약 3 mm 내지 약 20 mm 일 수 있으며, 상기 BFS 과립 크기는 약 5 mm 내지 약 10 mm인 것이 바람직하다.
- [0044] 상기 BFS 과립의 총 표면적은 약 1 m²/g 내지 약 5 m²/g일 수 있으며, 약 2.13 m²/g 내지 약 2.61 m²/g 인 것이 바람직하고, 상기 BFS 과립의 벌크 밀도는 약 1 g/cm³ 내지 약 5 g/cm³일 수 있으며, 약 2.01 g/cm³ 내지 약 2.59 g/cm³인 것이 바람직하며, 상기 BFS 과립의 다공도는 약 10% 내지 약 50%일 수 있으며, 약 10.55% 내지 약 29.25%인 것이 바람직하다.
- [0045] 본 발명의 일 구현예에 따라, 상향류식 필터에 적용될 수 있는 상기 BFS 과립은 전술한 바와 같은 입자 크기, 총 표면적, 벌크 밀도, 및 다공도의 특성에 의해 그 내부 기공 및 외부 표면에 많은 양의 혐기성 미생물이 부착되고 성장되어 코팅될 수 있다. 이와 같이 BFS 과립은 혐기성 미생물이 코팅됨에 따라, AD 과정에서 메탄생성 활성을 향상시킬 수 있다.
- [0046] 본 발명의 일 구현예에 있어서, 상기 혐기성 미생물은 메탄생성 미생물일 수 있고, 예를 들어, 메타노세타가 바람직할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0047] 본 발명의 일 구현예에 있어서, 상기 고농도 유기성 폐수는 탁주공장에서 배출되는 폐수를 포함할 수 있으며, 유기물 함량이 높은 RWD를 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0048] 상기 반응조에 공급되는 유기성 폐수는 pH가 약 6 내지 약 8인 것을 수 있으며, 상기 유기성 폐수는 반응조에 공급되기 전에 약 6 내지 약 8, 예를 들어 약 6 내지 약 7.5의 pH가 되도록 pH 조절 과정을 거칠 수 있다.
- [0049] 여기서, pH 조절 공정은 상기 유기성 폐수에 NaOH 용액을 혼합하는 것을 통해 수행될 수 있다. NaOH 용액의 혼합 외에, 다른 알칼리 용액을 혼합하여 수행될 수 있으며, 또는 pH 완충제 (pH 버퍼)를 투입하여 수행될 수 있다.
- [0050] 본 발명의 일 구현예에 있어서, 유기성 폐수로부터 유기물을 제거하고 메탄을 생성하기 위해, 상향류식 필터 내에서 수행되는 AD는 약 30℃ 내지 약 40℃, 예를 들어 약 32℃ 내지 약 38℃의 온도에서 실시될 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0051] 본 발명의 상향류식 필터에 있어서, 상기 온도 및 pH를 조절하는 것은 혐기성 미생물의 활성을 높이기 위한 것으로서, 혐기성 미생물이 활동하기에 유리한 온도 및 pH 조건을 제공하여, 메탄생산 효율을 높이기 위한 것이다.
- [0052] 상기 상향류식 필터를 통과한 유기성 폐수는 상향류식 필터의 상부에 배치된 배출부를 통해 배출될 수 있으며, 이는 다시 상기 유입부로 이송되어 반응조 내로 재투입될 수 있다. 상기 상향류식 필터의 상부에는 상기 배출부 외에 생성된 메탄을 회수하는 메탄가스 회수부가 존재하며, 이 메탄생성 회수부를 통해 AD 과정에서 생산된 메탄가스가 회수된다.

- [0053] 도 1에 나타난 바와 같이, 본 발명의 일 구현예에 따른 상향류식 필터를 이용한 유기성 폐수 처리 장치는, 상향류식 필터, 상기 상향류식 필터의 하부에 배치된 유입부, 및 상기 상향류식 필터 상부에 각각 배치된 폐수 배출부 및 메탄가스 회수부를 포함하는 반응조를 포함하며, 상기 반응조는 외벽을 둘러싸도록 배치된 온도 조절 장치를 포함한다.
- [0054] 상기 상향류식 필터는 원통형 컬럼일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0055] 상기 상향류식 필터는 BFS 과립으로 채워진 것일 수 있다.
- [0056] 본 발명의 일 구현예에 있어서, 상기 BFS 과립은 약 97 중량% 이상 내지 약 99.9 중량%가 비철금속의 화합물인 CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , 및 MgO 로 구성되어 있는 것일 수 있다. 상기 BFS 과립에 철 화합물은 약 0.1 중량% 내지 약 0.99 중량%로 포함되며, 상기 비철금속의 화합물 및 철 화합물을 제외한 그 외 잔량에는 철광석에 존재하는, 철을 제외한 다른 전이금속 또는 비금속의 화합물이 포함될 수 있다. 그러나, 상기 철 화합물 또는 철을 제외한 다른 전이금속의 화합물은 극소량으로 상기 BFS 과립에 포함되어, AD 공정 중 용출되는 철 또는 다른 전이금속 이온의 양은 극히 미량일 수 있으며, 극히 미량으로 용출된 철 또는 다른 전이금속의 이온은 AD 공정에서 메탄 생성 활성에 영향을 미치지 않는다.
- [0057] 상기 BFS 과립은 크기가 약 3 mm 내지 약 20 mm 일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0058] 상기 BFS 과립의 총 표면적은 약 $1 \text{ m}^2/\text{g}$ 내지 약 $5 \text{ m}^2/\text{g}$ 일 수 있고, 상기 BFS 과립의 벌크 밀도는 약 $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 내지 약 $5 \text{ g}/\text{cm}^3$ 일 수 있으며, 상기 BFS 과립의 다공도는 약 10% 내지 약 50%일 수 있다.
- [0059] 본 발명의 일 구현예에 따라, 상향류식 필터에 적용될 수 있는 상기 BFS 과립은 전술한 바와 같은 입자 크기, 총 표면적, 벌크 밀도, 및 다공도의 특성에 의해 그 내부 기공 및 외부 표면에 많은 양의 혐기성 미생물이 부착되고 성장되어 코팅될 수 있다. 이와 같이 BFS 과립은 혐기성 미생물이 코팅됨에 따라, AD 과정에서 메탄생성 활성을 향상시킬 수 있다.
- [0060] 이에 따라, 상기 상향류식 필터는, 혐기성 미생물이 부착된 BFS 과립을 포함하는 상향류식 혐기성 필터일 수 있다.
- [0061] 본 발명의 일 구현예에 있어서, 상기 혐기성 미생물은 메탄생성 미생물일 수 있고, 예를 들어, 메타노세타가 바람직할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0062] 상기 상향류식 필터를 통과한 유기성 폐수는 반응조 상부에 배치된 배출부를 통해 배출될 수 있으며, 이는 다시 상기 유입부로 이송되어 상기 반응조 내로 재투입될 수 있다.
- [0063] 본 발명의 일 구현예에 따른 유기성 폐수 처리 장치는, 상기 반응조로 유입되도록 연결되는 유기성 폐수의 스트림에 위치한 pH 조절부를 추가 포함할 수 있다.
- [0064] 상기 pH 조절부에서는 유기성 폐수와 NaOH 용액의 혼합 과정이 수행될 수 있으며, 상기 유기성 폐수는 반응조에 공급되기 전에 약 6 내지 약 8, 예를 들어, 약 6 내지 7.5의 pH로 조절될 수 있다.
- [0065] 상기 온도 조절 장치는 상향류식 필터 내 온도를 조절하기 위한 것으로서, 상기 반응조 외벽을 둘러싸도록 배치된 가열 자켓을 포함한다. 상기 온도 조절 장치는 상기 반응조 내부의 온도를 조사하기 위한 온도 탐침(probe) 및 상기 가열 자켓 및/또는 상기 온도 탐침과 연결된 온도 컨트롤러를 더 포함할 수 있다. 상기 상향류식 필터 내 온도가 약 30°C 내지 약 40°C , 예를 들어, 약 32°C 내지 약 38°C 가 되도록 상기 온도 조절 장치에 의해 조절할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0066] 본 발명의 일 구현예에 따른 유기성 폐수 처리 장치에 있어서, 전술한 바와 같이 온도 및 pH 조절이 필요한 이유는, 혐기성 미생물의 활성을 높이기 위한 것으로서, 혐기성 미생물이 활동하기에 유리한 온도 및 pH 조건을 제공하여, 메탄생산 효율을 높이기 위한 것이다.
- [0067] 본 발명의 일 구현예에 따른 유기성 폐수 처리 장치는 상기 고농도 유기성 폐수 처리 방법을 수행하기 위한 것으로서, 유기성 폐수 처리 방법에 대해 기재된 모든 내용을 포함할 수 있으나, 편의상 이를 생략하였다.

[0068] 이하, 실시예 및 도면을 통하여 본 발명을 더욱 상세히 설명 하고자 한다. 이들 실시예 및 도면은 오로지 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로서, 본 발명의 요지에 따라 본 발명의 범위가 이들 실시예 또는 도면에 의해 제한되지 않는다는 것은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 자명할 것이다.

[0069] [실시예]

[0070] 반응조 성능은 380 일의 장기 운용 내내 유기물 제거 및 메탄 생산 면에서 다양한 HRT에 대해 추적 관찰되었다. 반응조 시스템을 더 잘 이해하기 위해 공정 키네틱스 및 미생물 군집 구조의 분석 역시 실시되었다.

[0071] 1. 물질 및 방법

[0072] 1.1 폐수 및 접종원 (inoculum source)

[0073] 반응조 영양분 공급원 (feed)으로서 사용되는 RWD는, 대략적으로 하루 50 m³의 알코올 및 15 m³의 RWD를 양산하는 현지 탁주 (한군 전통 쌀 와인) 제조회사로부터 수득하였다. 수집된 폐수는 분해를 막기 위해 사용 전에 4 °C 온도로 보관되었다. 본 발명에서 사용된 RWD의 기본 특성은 표 1에 나타내었다.

표 1

[0074]

파라미터	단위	수치
pH		5.14
총 COD	g/L	13-16
가용 COD	g/L	3.7-7.1
총 고형물량	g/L	11.8-13.7
휘발성 고형물량	g/L	10.1-12.3
총 질소량	mg/L	215-329
총 인량	mg/L	220-360
탄소 함량	% dw ^a	42.8 (0.52) ^b
수소 함량	% dw	8.68 (0.53)
산소 함량	% dw	35.2 (0.21)
질소 함량	% dw	2.62 (0.03)
황 함량	% dw	0.22 (0.04)

[0075] ^a dw, 건조된 중량 (dry weight)

[0076] ^b 표준편차는 괄호 안에 기재하였음

[0077] 혐기성 씨드 (seed) 슬러지는 한국 부산 현지의 대규모 하수 처리장에서 채취되었다.

[0078] 미생물 접종에 앞서, 상기 슬러지는 체 (860 μm 메쉬 이용)로 걸러 조대입자 (coarse particles)를 제거하였다. 상기 씨드 슬러지의 총 부유 고형물 (suspended solids, SS) 함량은 66 부피%의 휘발성 부유 고형물 (volatile suspended solids, VSS)을 포함하여 18.7 g/L 였다.

[0079] 1.2. 반응조 설치 및 운용

[0080] RWD의 혐기 처리를 위해 2 L 작업용량을 갖는 CSTR (비교예) 및 1.4 L 작업용량을 갖는 UAnF 반응조 (실시예)가 동시에 실시되었다. 상기 반응조들 모두 유리로 제작되었으며, 기밀 부재로 밀봉되었다. RWD는 6 ± 0.2 g/L

의 COD 농도로 끓힌 후에 상기 반응조에 각각 공급되었다. 상기 CSTR은 대략적으로 1의 높이-대-직경 비율을 가졌으며, 상기 UAnF 반응조는 내경 9 cm, 높이 60 cm를 갖는 컬럼으로 만들어졌다. 상기 UAnF 반응조는 36.5 cm 높이까지 5 내지 10 mm 크기의 BFS 과립으로 채워졌고, 이는 물로 반복 세척되었으며, 관통된 강판을 하단부에 배치하여 제 위치에 패킹재 (packing media)가 유지되도록 하고 유입 흐름이 균일하게 분배되도록 하였다. 상기 BFS 과립은 천천히 대기 중에서 냉각시킨 것으로, 현지 철강 제조업체에서 수득되었으며, 97% 이상이 비철 화합물인 CaO, SiO₂, Al₂O₃, 및 MgO로 구성되어 있다. 사용된 BFS 과립의 기본 특성은 표 2에 나타내었다.

표 2

파라미터	단위	수치
크기	mm	5-10
총 표면적	m ² /g	2.37 (0.24) ^a
벌크 밀도	g/cm ³	2.30 (0.29)
다공도	%	19.9 (9.35)
CaO 함량	% dw ^b	42.1
SiO ₂ 함량	% dw	35.9
Al ₂ O ₃ 함량	% dw	14.7
MgO 함량	% dw	4.72
TiO ₂ 함량	% dw	0.58
MnO 함량	% dw	0.35
Fe ₂ O ₃ 함량	% dw	0.29

^a 표준편차는 괄호 안에 기재하였음

^b dw, 건조된 중량 (dry weight)

운용액체의 높이는 50 cm 로 설정하고 1.4 L의 작업용량을 갖게 되었다. AD 과정 후 배출되는 배출수 (effluent)는 연동 펌프에 의해 10 mL/min의 유속으로 반응조의 유입부로 재순환시켰다. 상기 UAnF 시스템의 개략도는 도 1에 도시하였다. 상기 CSTR 및 UAnF 반응조 모두 1:1 부피비의 혐기성 씨드 슬러지로 접종되었고, 35 ± 2℃에서 운용되었다. 고농도 유기성 폐수를 포함하는 유입수 (influent)의 pH는 3 N NaOH 용액을 이용하여 중성 (7 ± 0.3)으로 조절되었으며, 상기 반응조에서 추가 제어는 실시되지 않았다. 우선, 필터 구역 (filter zone)에 바이오매스를 증강시키기 위해, 상기 UAnF 반응조가 50 일의 개시 기간 (start-up period) 동안 간헐적 영양분 공급 및 재순환으로 이용되기 시작하였으며, 이어서 HRT를 10 일에서 7 일, 5.3 일, 3.4 일, 2.2 일, 1.3 일, 및 0.7 일까지 감소시켰다 (상 (phase) 1 내지 7). 각각의 HRT 테스트 동안, HRT는 적어도 3 회 턴오버 후에 정상-상태 데이터가 수집되었다. 가장 짧은 0.7 일 HRT에서 실험한 결과, 상기 HRT는 3.1 일로 회복되었고 (상 8), 미생물 군집 분석을 위한 바이오매스 시료가 수집되었다. 실험 반응조는 개시 기간을 포함하여 총 380 일 동안 운용되었다.

1.3. 분자 감식 및 시퀀싱

미생물 군집 분석을 위해, UAnF 반응조에서 5 개의 상이한 위치에서 부유 또는 부착된 바이오매스 시료가 수집되었다. 혼합 액체 시료는 필터 구역 (S1) 보다 위의 액체 층의 중간 깊이에서 채취되었으며, 바이오필름을 포함하는 BFS 과립은 4 개의 상이한 높이: 상단부 (S2), 2/3 높이 (S3), 1/3 높이 (S4), 하단부 (S5)에서의 필터 구역으로부터 채취되었다. 상기 필터 구역으로부터 채취된 BFS 과립은 382 일간의 운용에 의해 바이오필름으로 코팅된 상태였으며, 그 이미지는 도 2에 나타내었다. 5 개의 BFS 과립이 각 높이에서 무작위로 수집되었으며, 부착된 바이오매스는 증류수 (distilled water, DW) 20 mL에서 5 분 동안 격렬하게 와류시켜 회수되었다. 상기 5 개의 각 시료로부터 1 mL씩 취하여 앞서 설명한 바와 같은 펠렛화 및 증류수 중 현탁화를 반복 수행하여 마이크로튜브 내에서 세척하였다. 각각의 재현탁물의 200 µL 부분이 자동 핵산 추출기 (Exiprogen, Bioneer,

한국 대전)에 로드되어, 총 DNA가 준비되었다. 정제된 DNA는 200 μ l의 용출버퍼에 용출시켜 사용 전까지 -20℃로 보관되었다.

[0087] 앞서 설명된 바와 같이, 세균 및 고세균의 16S rRNA 유전자 각각은 두 개의 도메인-특이 프라이머 세트, BAC338F/805R 및 ARC787F/1059R를 사용하는 터치-다운 (touch-down) 중합효소 연쇄반응 (polymerase chain Reaction, PCR)에 의해 증폭되었다. 증폭된 PCR 프래그먼트 (20 μ l)는 D-코드 시스템 (Bio-Rad, Hercules, CA)에서 80 V로 16 시간 동안 8% 폴리아크릴아미드 겔을 이용하여 전기영동시켰다. 상기 세균 및 고세균의 DGGE 겔에서의 변성제 구배 (denaturant gradients)는 각각 20 내지 60% 및 30 내지 65%였고, 이때, 100% 변성제는 7 M 우레아 및 40% (v/v) 포름아미드에 대응된다. 상기 DGGE 겔은 SYBR Safe DNA gel stain (Molecular Probe, Eugene, OR)을 이용하여 염색되었고, 청색광 투과조명법 하에서 시각화되었다. 상기 겔에서 관심있는 밴드를 잘라 멸균 증류수 40 μ l에 용출시켰다. 용출액의 일부 (2 μ l)는 상기 DGGE 분석 시와 동일한 프라이머를 이용하는 PCR로 재증폭되었으나 부착된 GC-리치 (GCrich) 시퀀스는 없었다. 생성된 PCR 산물은 겔-정제되어 pGEM-T Easy vector (Promega, Madison, WI)로 복제되었다. 삽입된 시퀀스는 T7 프라이머를 사용하여 분석되어 GenBank 및 RDP 데이터베이스와 대조되었다. 상기 RDP 분류는 80% 부트스트랩 신뢰한계 (bootstrap confidence threshold)로 분류학적 분류 (taxonomic classification)를 위해 이용되었다. 본 발명에서 보고된 모든 뉴클레오타이드 시퀀스는 상기 GenBank 데이터베이스: KP771679-771694에 등재되어 있다.

[0088] 1.4. DGGE 프로파일의 클러스터 분석

[0089] 세균 및 고세균의 DGGE 겔 이미지는 TotalLab 1D software (TotalLab, Newcastle, UK)를 이용하여 처리되었으며, 이진 행렬 (binary matrix)은 1 또는 0과 같이 모든 레인에서의 각 밴드의 존재 또는 부재를 평가하여 각 겔로부터 구축되었다. 수득된 매트릭스에서의 클러스터 분석은 UPGMA (산술평균을 이용한 비가중 짝-그룹 방법 (unweighted pair group method)) 알고리즘에 의해 수행되어 상기 DGGE 프로파일에 근거하여 분석된 미생물 군집 구조와의 관계를 확인하였다. 거리 행렬 추정 (distance matrix estimation) 및 클러스터 계통수 해석 (cluster dendrogram construction)은 PAST 3.03 software를 이용하여 수행되었다.

[0090] 1.5. 분석 방법

[0091] COD는 HS-COD-MR kit (Humas, 한국 대전)를 이용하여 비색 측정되었으며, 고형물은 기본적인 방법에 따라 측정되었다. 휘발성 지방산 (VFAs, C₂-C₇)은 불꽃 이온화 검출기 및 Innowax column (Agilent)를 구비한 7820A 기체 크로마토그래피 (Agilent, Palo Alto, CA)를 이용하여 측정되었다. 바이오가스 조성은 열전도도 검출기 및 ShinCarbon ST column (Restek, Bellefonte, PA)을 구비한 7820A 기체 크로마토그래피로 분석되었다. 0.45 μ m-기공 멤브레인 필터를 통해 여과된 시료는 가용 COD 및 VFA 측정을 위해 사용되었다. RWD의 C, H, O, N, 및 S 함량 (건조된 중량 기준)은 원자분석기 (Flash 2000, Thermo Scientific, Delft, The Netherlands)를 이용하여 측정되었다. 상기 BFS의 구조 및 구성 분석은 각각 AutoPore IV 9500 (Micromeritics, Norcross, GA)를 이용한 수은 압입 세공 측정법 및 5300 DV (Perkin Elmer, Waltham, MA)를 이용한 유도 결합 플라즈마 발광 분광기로 분석되었다. 모든 분석은 적어도 2 회 되풀이되었다.

[0092] 2. 결과 및 논의

[0093] 2.1. 반응조 성능

[0094] 도 3은 본 실시예에 있어서, 10 일 HRT에 대한 CSTR에서의 메탄생산 및 반응조 pH 프로파일을 나타낸다. 도 3을 참조하면, 상기 CSTR은 운용 시작 이후에 pH에서 점진적 감소를 보였으며, 10 일의 설계된 HRT에서 정상 상태의 안정한 성능에 이르지 못하였다. COD 제거 및 메탄 생산은 상기 HRT의 3 회의 턴오버 이후 급속히 악화되었고, 5 이하로의 pH 저하에 따른 VFA의 축적이 계속되었다. 상기 CSTR의 운용은 반응조 부피의 6 회 턴오버 후에 멈추었으며, 처리 효율은 마지막 턴오버 시기에 50% 미만이었다.

[0095] 도 4는 UAnF 반응조 운용 조건 및 정상-상태 성능 데이터를 나타내는 것으로, X 축 아래 괄호 안 숫자는 각 운

용 상 (phase)에서의 HRT를 나타낸다. 도 4를 참조하면, 상기 CSTR과 달리, 상기 UAnF 반응조는 1.3 일 이하의 짧은 HRT에서 pH 6 초과 시 안정한 정상-상태 성능을 나타내었다. 10 일 HRT 동안 (0.6 g COD/L · d OLR)의 상기 COD 제거 효율 (CODr)은 91.7%였고, HRT 감소에 따라 점진적으로 감소했다. 반응조 성능에서 긴 섭동 기간 (perturbation period; 대략적으로 100 일)이 상기 HRT를 7 일로 감소시킬 때 관찰되었으며, 이러한 HRT 변경은 긴 적응 기간을 필요로 하는 반응조 미생물의 현저한 전이를 유발할 수 있음을 의미한다. 7 일 HRT (0.9 g COD/L · d OLR)에서 안정화되면, 상기 UAnF 반응조는 10 일 HRT에서의 CODr와 비교될 정도로 높은 CODr (91.7%)를 달성하였다. HRT에서의 감소와 함께 점진적으로 감소되었지만, CODr은 2.2일 이하 HRT (2.7 g COD/L · d OLR)에서 84% 이상을 유지했으며, 1.3 일 HRT (4.6 g COD/L · d OLR) 동안에도 75.6%의 상당히 높은 값을 보였다. 그러나, 0.7 일까지의 HRT (8.5 g COD/L · d OLR)에서 추가 감소는 반응조 산성화 (pH < 5.5)와 함께 처리 효율 (CODr < 50%)에서 가파른 저하를 야기했다. 이것은 상기 0.7 일 HRT가 반응조 바이오매스를 위해 효과적으로 취급하기에는 너무 높은 희석율을 창출했음을 의미한다.

[0096] 산 조성의 변화와 더불어 배출수의 VFA 농도는 HRT의 감소에 따라 증가했다. 이러한 VFA의 축적은 0.7 일의 짧은 HRT에서 pH 및 CODr의 현저한 감소에 대응된다. 아세테이트는 1.3 일 이상의 HRT (분석된 총 VFA의 54 내지 100%)에서의 배출수 중 우세한 VFA였으나, C₃-C₅ 산은 0.7 일 HRT에서 아세테이트의 양과 비슷하거나 그 이상으로 제공되었다. 이것은 수소 분압의 축적에 기인하며, 이는 긴-체인 VFA의 작은 분자, 예를 들어, 아세테이트로의 분해를 저해한 것으로, 이에 따라 불균형 조건 하에서 메탄생성반응이 일어날 수 있었다. 상기 HRT가 3.4 일 이하였을 때, VFA (C₂-C₇)는 배출수의 가용 COD (95% 초과)의 대부분을 포함한 반면, 이러한 기여는 긴 HRT에서 현저하게 낮아졌다: 5.3 일, 7 일, 및 10 일 HRT에서 각각 81%, 54%, 및 47%였음. 이것은 짧은 HRT, 즉, 높은 OLR에서 산성 발효가 더 쉽게 일어났음을 시사한다.

[0097] 바이오가스 부피는 표준 온도 및 압력 조건 (0°C 및 1 atm)에서 보정되었다. 메탄 생성률 (MPR, 하루 동안 단위 반응조 부피당 생산된 메탄)은 743 mL/L · d까지 단계적으로 증가했다. 반면, 상기 CODr은 10 일부터 1.3 일까지로 HRT의 감소와 함께 점진적으로 감소했다. 그러나, HRT가 0.7 일까지로 추가 감소되면 MPR의 큰 감소가 야기되었다 (1.3 일 HRT 때와 비교하여 20% 넘게 감소됨). 이는 1.3 일 HRT 및 0.7일 HRT 간에 공정 안정성의 급격한 하락을 보여준다. 흥미롭게도, 상기 HRT가 3.4 일까지 짧아질 때까지 메탄 수득률 (Y_M, 소모된 기질의 단위 질량당 생산된 메탄)이 0.31 내지 0.33 L/g COD로 높게 유지되었으며, Y_M 최대값을 보였다. HRT의 추가 감소는 0.7 일 HRT에서 0.16 L/g COD 이하까지 Y_M의 극적인 저하 (최대값과 비교하여 50% 넘게 감소됨)를 유도했다. 이는 다른 짧은 HRT에서보다 3.4 일 이상의 HRT에서 상기 UAnF 반응조가 RWD의 유기물을 메탄으로 변환시키기에 보다 효율적이었음을 시사한다. HRT의 감소에 따른 Y_M의 상당한 감소는 메탄생성반응이 테스트된 짧은 HRT 조건 (2.2 일 이하의 HRT)에서 반응조 중 우세한 전자 싱크 (electron sink)가 없었음을 의미한다. 이러한 변화는, 물질 이동 및 에너지 흐름에 영향을 미칠 수 있는, 상기 반응조 바이오매스의 군집 조성 및/또는 바이오필름 구조의 변화에 기인한 것일지 모른다.

[0098] 슬러지 생산 (sludge production, SP: 공급된 기질의 단위 질량당 생산된 과량 슬러지)의 초과량은 0.7 일을 제외한 모든 HRT에서 0.04 및 0.09 g SS/g COD의 사이였다. 이러한 SP 값은 고농도 유기성 폐수를 처리하는 혐기성 필터를 위한 다른 연구에서 보고된 값과 비교할만하거나 또는 보다 낮다. 0.14 g SS/g COD로의 SP의 큰 증가는 0.7 일 HRT에서 나타났으며, 이는 필터 바이오매스의 큰 박리가 짧은 HRT에 의해 유도된 것일 수 있음을 의미한다. 일반적으로, 부착-성장 반응조에서 메탄생성 바이오필름의 손실은 높은 상향류 속도 (즉, 높은 전단 응력) 또는 높은 OLR (즉, 빠른 성장 및 빠른 사멸)과 관련있다. 본 발명의 반응조에서 SP 증가는 10 mL/min (즉, 하루 작업용량의 10 회 턴오버) 만큼 높은 배출수 재순환 속도를 감안할 때, 증가된 상향류 속도보다 증가된 OLR에 더 기인한다고 판단된다.

[0099] 전반적으로, BFS-패킹 UAnF 반응조는 RWD의 혐기 처리에 적합한 것으로 나타났으며, 1.3 일 내지 10 일의 HRT에서 75.6 내지 91.7%의 CODr 범위를 갖고, 상기 반응조는 3.1 일의 HRT로 회복되었다 (85.5%의 높은 CODr와 함께 Y_M 최대값이 관찰된 3.4 일과 가까움). 재안정화의 10 회 초과된 턴오버 후에, 상기 반응조는 3.4 일 HRT에

대한 기록 값과 비교할만한 정상-상태 성능 (CODr: 86.2%, MPR: 477 mL/L · d, Y_M : 0.29 L/g COD)을 달성하였다. 이어서, 3.1 일 HRT의 재안정화된 반응조가 세균 및 고세균의 군집 구조에 대해 분석되었다.

2.2. 혐기성 필터의 키네틱 분석

고정화 시스템을 위해 가장 널리 적용되는 수학적 모델 중에서 수정된 Stover-Kincannon 모델이 유기물 제거 및 메탄 생산의 키네틱스를 설명하기 위해 사용되었다. 이 모델은 하기의 수학적 식 1을 이용하여 OLR의 함수로서 기질 (substrate) 제거를 결정한다:

$$U = \frac{Q}{V}(S_i - S_e) = \frac{U_m(QS_i/V)}{K_B + (QS_i/V)} \quad (1)$$

상기 식에서, U 는 기질 제거 속도 (g COD/L · d)이고, Q 는 상향류 속도 (L/d)이고, V 는 반응조의 작업용량 (V)이고, S_i 는 유입수의 기질 농도 (g COD/L)이고, S_e 는 배출수의 기질 농도 (g COD/L)이고, U_m 은 최대 기질 제거 속도 상수 (g COD/L · d)이며, K_B 는 포화값 상수 (g COD/L)이다.

수학적 식 1은 SigmaPlot 10.0 (Systat Software Inc., San Jose, CA, USA)를 사용한 정상-상태 실험 데이터에 맞춰졌다 (도 4; 공정 저하가 발생한 상 7로부터의 데이터는 제외됨).

도 5에 도시한 그래프는, 본 실시예에 있어 유기물 로딩 속도에 대한 기질 제거 속도의 피팅 커브로, 실선은 피팅된 커브를 나타내고 파선은 95% 신뢰대역 (confidence band)을 나타낸다. 도 5에 나타난 바와 같이, 피팅 커브 (fitted curve)가 우수한 회귀 (regression)를 나타냈다. 이는 상기 OLR (= QS_i/V) 및 상기 기질 제거 속도 간의 관계를 설명하기 위해 맞춰진 수학적 식의 타당성을 보여주는 것이다. 하기 수학적 식 2로부터, 키네틱스 상수 U_m 및 K_B 가 각각 18.65 및 19.58 g COD/L · d 임을 알아냈다.

$$U = \frac{Q}{V}(S_i - S_e) = \frac{18.65(QS_i/V)}{19.58 + (QS_i/V)} \quad (2)$$

수학적 식 2는 수학적 식 3으로 용이하게 바꿀 수 있으며, 이는 상기 UAnF 반응조를 위해 주어진 OLR에서 배출수의 기질 농도를 평가하기 위해 사용될 수 있다.

$$S_e = S_i - \frac{18.65S_i}{19.58 + QS_i/V} \quad (3)$$

유사하게, 상기 메탄 생산 키네틱스 역시 기질 제거 키네틱스를 위한 OLR의 작용으로서 설명될 수 있다:

$$M = \frac{M_m(QS_i/V)}{M_B + (QS_i/V)} \quad (4)$$

여기서 M 은 MPR (L/L · d)이고, M_m 는 최대 MPR (L/L · d)이고, M_B 는 상수 (L/L · d)이다.

도 6에 도시한 그래프는, 본 실시예에 있어 유기물 로딩 속도에 대한 메탄 생산 속도의 피팅 커브로서, 실선은 피팅된 커브를 나타내고 파선은 95% 신뢰대역을 나타낸다. 상기 기질 제거 키네틱스의 평가에서처럼, 두 개의 키네틱스 상수, M_m 및 M_B 는 실험 데이터에 수학적 식 2를 맞추어 밝혀졌다 (도 6). M_m 및 M_B 값이 각각 1.943 및 5.473 L/L · d로 추산되어 (수학적 식 5), 상기 식이 매우 적합함을 알 수 있다 ($R^2 = 0.990$).

$$M = \frac{1.442(QS_i/V)}{3.531 + (QS_i/V)} \quad (5)$$

[0113]

[0114]

커브 적용 결과 (curve fitting results)는 수학적 6이 MPR의 반응 (response)을 OLR의 변화 (variations)로 접근시키기에 매우 적합함을 시사한다.

[0115]

본 실시예에 있어서, 도 5는 유기물 로딩 속도에 대한 기질 제거 속도의 커브 피팅을 나타낸다. 도 5를 참조하면, 수학적 6을 이용한 접근은, MPR와의 직접적인 관계를 가지고 있어야 하는 기질 제거 속도가 OLR의 작용임을 이해하는 것과 일치한다. 전반적으로, 상기 UAnF 반응조로부터 유도된 키네틱 관계는 유기물 제거 및 메탄 생산의 측면에서 공정 성능의 좋은 평가를 보여주었다.

[0116]

2.3. DGGE 및 계통발생론의 연계

[0117]

반응조 내 미생물 군집 구조에 대한 포괄적인 이해를 위해, 부유 또는 부착된 미생물 모두 DGGE에 의해 분석되었고, 이어서 시퀀싱되었다. 상기 상이한 높이 위치 (S1-5)로부터 수득된 세균 및 고세균의 DGGE 프로파일들이 각각 도 7a 및 도 7b에 제공되었다. 도 7a는 반응조로부터 발생시킨 세균의 DGGE 지문을 나타내고, 도 7b는 반응조로부터 발생시킨 고세균의 DGGE 지문을 나타낸다. 필터 구역 상부의 액체층의 중간 깊이에서 수득된 DGGE 프로파일은 S1이고, 슬래그 층의 상단부에서 수득된 DGGE 프로파일은 S2이고, 슬래그 층의 2/3 높이에서 수득된 DGGE 프로파일은 S3이고, 슬래그 층의 1/3 높이에서 수득된 DGGE 프로파일은 S4이며, 슬래그 층의 하단부에서 수득된 DGGE 프로파일은 S5이다. 11 개의 세균 (RWB1 내지 11) 및 5 개의 고세균 (RWA1 내지 5), 총 16 개의 밴드가 상기 겔로부터 절단되었으며, 계통발생 분석을 위해 시퀀싱되었다. 4 개의 세균 시퀀스가 혐기 환경에서 빈번히 발견되는 박테로이데테스 문 (phyla *Bacteroidetes*; RWB1), 후벽균 (*Firmicutes*; RWB5), 및 프로테아박테리아 (*Proteobacteria*; RWB4 및 11)의 알려진 종들과 밀접한 관련이 있었다 (97% 이상의 시퀀스가 유사했음: 표 3).

표 3

[0118]

밴드	가까운 종 및 분류군	수탁번호	유사도 %	분류 ^a
RWB1	<i>Chryseobacterium bovis</i>	NR044166	100	<i>Chryseobacterium</i>
	<i>Chryseobacterium hominis</i>	NR042517	99.6	
	<i>Chryseobacterium arothri</i>	EF554408	99.6	
RWB2	clone MADSa8	AB669229	99.8	<i>Bacteria</i>
	clone AEDQ1DH07	CU922950	99.6	
	<i>Solobacterium moorei</i>	GU470893	78.7	
RWB3	clone TSSUR002_02	AB488224	93.7	<i>Clostridia</i>
	clone F05.ab1	EU136383	93.3	
	<i>Clostridium swelffunianum</i>	NR126179	91.2	
RWB4	<i>Acinetobacter tandoii</i>	KM070561	99.4	<i>Acinetobacter</i>
	<i>Acinetobacter haemolyticus</i>	JX945720	99.4	
	<i>Acinetobacter parvus</i>	KC920997	97.7	
RWB5	<i>Clostridium populeti</i>	X71853	98.2	<i>Clostridium</i>
	<i>Acetivibrio ethanoligignens</i>	NR104783	97.5	

RWB6	clone VHW_F_N1	JQ085675	99.1	<i>Ruminococcus</i>
	clone T1_2_7	AB824503	96.8	
	<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	JF970206	96.8	
RWB7	Clone GB7	KJ679870	99.8	<i>Spirochaetaceae</i>
	clone MADSa69	AB669259	99.8	
	<i>Spirochaetes bacterium</i> SA-10	AY695841	94.0	
RWB8	clone QEDN3BD02	CU925891	99.3	<i>Clostridiales</i>
	clone 07Nov1-02	AB618372	98.9	
	<i>Catabacter hongkongensis</i>	JF514887	90.8	
RWB9	clone SGE310D	GU390008	98.3	<i>Bacteria</i>
	clone B6_319	HM228845	97.6	
	<i>Spirochaetes bacterium</i> SA-10	AY695841	95.7	
RWB10	clone HAW-RM37-2-B-1209d-A3	FN563261	100.0	<i>Spirochaetaceae</i>
	clone QEDQ3CF03	CU922923	100.0	
	<i>Spirochaetes bacterium</i> SA-10	AY695841	93.8	
RWB11	<i>Paenirhodobacter enshiensis</i>	NR125604	99.8	<i>Rhodobacteraceae</i>
	<i>Rhodobacter vinaykumarii</i>	AM600642	98.9	
	<i>Roseicetrum antarcticum</i>	NR116571	98.6	
	<i>Paracoccus siganidrum</i>	KF817620	98.4	

[0119] ^a 최하 랭크는 80% 부트스트랩 신뢰한계에서 RDP 분류에 의해 지정되었음

[0120] RWB1는 크리세오박테리움 보비스 (*Chryseobacterium bovis*, *C. bovis*)와 100% 시퀀스 유사도를 보였으며, 상기 *C. bovis*는 본래 가공되지 않은 우유로부터 분리된 것이다. 상기 *C. bovis* 스트레인은 혐기적 및 호기적으로 성장할 수 있고, 글루코오스 및 당류를 발효시켜 산류 (acids)를 제조할 수 있다. 혐기성 유동층 반응조에서 우세한 세균 그룹으로 크리세오박테리움을 확인한 최근 연구에서는 발효 수소 생산을 위해 합성 글루코오스 배지를 공급했다. 따라서, RWB1에 해당하는 유기체는 영양분 공급원 (feed) 중 탄수화물의 산 발효에 관여하고 있을 것으로 판단된다. 상기 DGGE 밴드 강도가 확실한 양적이 아니었지만, 이것 또한 상기 RWD 유입부 부근의 필터 하단부로부터 채취된 시료를 중 상기 밴드의 현저히 강한 강도에 의해 뒷받침된다 (도 7a). RWB4는 아키네토박터 (*Acinetobacter*) 종과 밀접한 관련이 있다. 일반적으로 아키네토박터가 절대 호기성 속 (genus)으로 간주되고 있지만, 그 구성원들은 AD 시스템을 포함하는 다양한 혐기성 또는 산소-제한 환경에서 풍부히 존재하고 활성이 있는 것으로 확인되었다. AD 환경에서 그들의 역할은 혐기 호흡을 통한 유기물 또는 황화물의 산화와 연관이 있을 수 있다. RWB5는 부트스트랩 값 94%로 클로스트리디움 (*Clostridium*) 속과 연계되었으며, 클로스트리디움 포푸레티 (*Clostridium populeti*, *C. populeti*)와 가장 밀접한 관련이 있다. 클로스트리디움 종은 고농도 유기성 폐수 처리를 위한 AD 공정에서 공통적으로 그리고 풍부한 양으로 관찰되며, *C. populeti*는 글루코오스 및 셀룰로오스를 H₂, CO₂, 아세테이트, 부티레이트 및 락테이트로 발효시킬 수 있는 다당분해종 (polysaccharolytic species)이다. 이로 인해, RWB5에 상응되는 *C. populeti*-유사 개체는 반응조 내에서 당류 및 다당류의 분해를 관할할 것으로 판단된다. RWB11는 로도박테라세과 (*Rhodobacteraceae* family)의 다양한 속의 임의의 종과 밀접하게 관련이 있으며, 이들 종은 혐기성 발효 환경에 공통적으로 존재하고, 속 수준으로 분류할 수는 없다 (부트스트랩 값: 60% 미만). 가장 가까운 종인 페니로도박터 엔시엔시스 (*Paenirhodobacter enshiensis*)는 최근 토양에서 분리된 통성 (facultative) 발효조이며, 로도박터 (*Rhodobacter*)의 동족 (relatives)으로 97.1%까지 높은 16S rRNA 유전자 시퀀스 유사도 갖는다. 그러나, *P. enshiensis* 은 광합성

멤브레인 구조 및 피그먼트가 부족하고 종속 영양화학적으로 성장하며, 로도박터 종은 모두 광합성을 한다. 이에 따라, 반응조 운용 조건을 고려하면, RWB11는 추정적으로 발효성 페니로도박터-관련 세균으로부터 유래되었다. 흥미롭게도, RWB4, 5 및 11은 필터 시료에서보다 액체 시료에서 상당히 큰 강도를 보였으며 (도 7a), 이는 해당하는 세균이 플랑크톤 군집에서 더 우세함을 보여준다.

[0121] 나머지 7 개의 세균 시퀀스는 알려진 종과 밀접한 관련이 없었으며, RWB3은 상기 데이터베이스에 어떠한 배양 클론과도 관련이 없었다. RWB3은 클로스트리디움 (*Clostridium*) 및 다른 발효성 속을 포함하는 클로스트리디아 부류 (*Clostridia* class)에 해당하지만, 이 밴드에 해당하는 개체의 추정상의 역할은 불분명하다. RWB2 및 9는 전술한 문 레벨 (phylum level)에도 분류될 수 없지만, 그들은 혐기 공정으로부터의 환경적 클론과 높은 시퀀스 유사도를 보였다. 이것은 AD 환경에서 상기 세균 밀도는 대체로 여전히 알려져 있지 않음을 나타낸다. RWB6은 루미노코쿠스 플라베라시엔스 (*Ruminococcus flavefaciens*, *R. flavefaciens*)와 96.8%의 유의한 시퀀스 유사도를 보였으며, 부트스트랩 값 99%로 루미노코쿠스 속으로 분류되었다. 상기 종은 혐기가 불가피한 포유류의 위 (rumen) 및 장 (intestines)에서 주로 발견되며 탄화수소의 발효에 의해 성장한다. *R. flavefaciens* 및 다양한 다른 종 역시 섬유질, 예를 들어, 셀룰로오스 및 헤미셀룰로오스를 사용할 수 있으며, 이로 인하여 혐기 공정에서 셀룰로오스 물질의 소화에 중요한 역할을 할 것으로 판단된다. RWB7 및 10은 스피로체타세 (*Spirochaetaceae*)과로 분류되었으며, 이들의 동족은 혐기성 소화에서 풍부한 양으로 빈번히 발견된다. 유기영양체 스피로체타세 종은 발효성 성장을 위해 탄수화물 및/또는 아미노산을 사용하여 주로 에탄올, 아세트이트, H_2 , 및 CO_2 를 생산한다. 따라서, RWB7 및 10으로 추정되는 상기 스피로체타세-관련 미생물은 RWD 중 다당류 및/또는 단백질의 저하와 관련이 있는 것으로 보인다. 여기서 RWB10가 필터 시료에서만 등장하고 있음에 주목해야 하며 (도 7a에서 라인 S2-5), 이것은 필터 바이오필름에 결합 (즉, 부착 성장)되었을 때만이 이 밴드에 해당하는 세균이 활성화될 수 있다는 것을 의미한다. 스피로체테스 (*Spirochaetes*)종이 전자주개 (electron donor)로서 유기물을 사용하여 Fe(III)을 혐기적으로 환원시킬 수 있음을 고려하면, 이러한 관찰은 상기 스피로체타세 개체가 환원시킬 수 있는 전자 받개 (electron acceptor)로서의 BFS 과립으로부터 금속 이온을 이용한 혐기성 호흡에 의해 성장할 수 있음을 시사한다. RWB8은 클로스트리디아레스 (*Clostridiales*)로 분류되었으며, 그의 구성원들은 발효성이고 혐기 환경에서 풍부한 양으로 존재하며, 폐수 슬러지 처리를 위한 AD 공정으로부터 일부 배양되지 않은 세균 클론과 밀접한 관련이 있다. 이들의 특이 작용이 불분명하지만, RWB8에 해당되는 클로스트리디아레스 개체는 추정적으로 반응조 중 유기 물질의 발효에 참여했다. 상기 밴드에 관련된 세균 개체들은 공통적으로 모든 반응조 시료에서 강한 강도 (즉, RWB2, 7, 및 8)로 관찰되었고, 액체 구역 (부유-성장 형태) 및 필터 구역 (부착-성장 형태)에서 유기 화합물의 가수분해 및 산 발효 공정에 기여한 것으로 보인다.

[0122] 회수된 (recovered) 고세균 시퀀스는 모두 알려진 메탄생성 미생물 종과 3 가지 순서로 밀접한 관련이 있었다: 수분 영양 메타노마이크로비아레스 (*Methanomicrobiales*: RWA1) 및 메탄토박테리아레스 (*Methanobacteriales*: RWA5) 및 아세트산 메타노사르키나레스 (*Methanosarcinales*: RWA2-4) (표 4).

표 4

밴드	가까운 종 및 분류군	수탁번호	유사도 %	분류 ^a
RWA1	<i>Methanolinea tarda</i>	NR028163	98.9	<i>Methanolinea</i>
RWA2	<i>Methanosaeta concilii</i>	NR102903	99.6	<i>Methanosaeta</i>
RWA3	<i>Methanosaeta concilii</i>	NR102903	99.6	<i>Methanosaeta</i>
RWA4	<i>Methanosarcina siciliae</i>	U89773	99.3	<i>Methanosarcina</i>
RWA5	<i>Methanobacterium beijingense</i>	EU544027	98.5	<i>Methanobacterium</i>

[0124] ^a 최하 랭크는 80% 부트스트랩 신뢰한계에서 RDP 분류에 의해 지정되었음

[0125] 이러한 결과는 AD 환경에서 고세균이 대부분 메탄생성균이라는 일반적인 이해와 일치한다. 고세균의 DGGE 지문은 비록 강한 양적을 보이지 않았지만 반응조가 그 메탄생성미생물의 활성을 위해 슬래그층 바이오필름에 의존했음을 시사한다. 상기 바이오매스에 부착된 메탄생성 미생물 군집은 아세트산 개체 (RWA2-4)에 의해 대체로 우세한 것으로 보여지며, 이는 아세트산 경로가 반응조 중 메탄생성반응의 주 경로임을 시사한다. RWA2 및 3 모두 절대적으로 아세트산 속 메타노세타 (*Methanosaeta*)에 배치된 반면, RWA4는 메타노사르키나

(*Methanosarcina*) 속에 배치되었으며, 이는 대사작용적으로 더 다목적이다. 메타노세타는 안정한 AD 시스템에서 메타노사르키나 이상으로 우세한 것으로 알려져 있으며, 잔류 VFA 농도는 그들의 바이오키네틱 특성에서의 차이로 인하여 낮고, 공통 기질 아세테이트에서 낮은 최대 특이 성장 속도 (μ_{max}) 및 낮은 반 포화 계수(K_s)로 묘사된다. 따라서, 우세한 메타노세타-관련 밴드는 상기 반응조 환경 (상 8에서, CODr: 85% 초과, 잔류 VFA 함량: 400 mg/L 미만; 도 4)이 메타노세타-지배 군집의 성장에 호의적이었음을 시사한다. 추가적으로, 상기 필터는 메타노세타 종의 부착-성장을 위한 지지체 매트릭스를 제공했고, 그렇지 않았다면 그의 저 성장으로 인해 반응조로부터 씻겨졌을 것이다 [*M. concilii*의 배가시간 (doubling time; T_d)은 4-7 일임]. 부착-성장 조건 하에서, 메타노세타 역시 바이오필름 매트릭스를 구성하기 위한 그의 실 모양 모폴로지의 이점을 가진다. 이것은 필터 시료에서 상기 메타노세타-관련 밴드가 우세한 강도로 검출되었지만, 액체 시료에서는 분명히 관찰되지 않는 사실과 일치한다. 메타노사르키나 관련 RWA4는 비록 낮은 강도였지만, 액체 구역으로부터의 시료를 포함한 모든 바이오매스 시료에서 나타났으며, 메타노사르키나 의 더 빠른 성장 속도에 기인할 가능성이 있다 [*M. siciliae*를 위한 T_d 는 7 시간임]. 나머지 두 개의 밴드 RWA1 및 5는, 각각 교대로 메타노리니아 (*Methanolinea*) 및 메타노박테리움 (*Methanobacterium*) 종과 밀접한 관련이 있었다. 수분 영양 경로가 반응조 중 메탄생성반응에 제한적으로 공헌하여 RWA1 및 5의 제한적인 발생을 제공했지만, 그것은 혐기성 환경에서 긴-체인 지방산의 효과적인 안정화를 위해 필수인 병렬성 (syntrophic) 지방산 산화에 중요한 역할을 할 수 있었다. 이들 밴드에 해당하는 메타노리니아- 및 메타노박테리움-관련 메탄생성균은 추정적으로 상기 반응조 중에서 수소 스캐빈저로서 병렬적인 관계에 관여되었다 (도 4의 B). 병렬적인 파트너간의 긴밀한 근접성 (proximity)이 전반적인 반응을 실현 가능하게 하는 것에 필수적임을 고려하면, 상기 필터 시료에서의 배타적인 RWA1 및 5의 존재 (도 7b에서 라인 S2-5)는 적어도 일부가, 상기 바이오필름 매트릭스에서 병렬적인 VFA-산화 세균 및 수분 영양 메탄 생성균의 긴밀한 협력을 형성하기 위한 호의적인 조건과 관련될 수 있다. 이러한 경우에는, 필터 구역에서 발생하는 세균 개체만이 지방산 산화를 위한 병렬적인 파트너일 수 있음이 추측된다 (도 7a).

2.4. 미생물 군집 구조

상기 다양한 높이에서의 필터 시료 중 세균 및 고세균의 DGGE 밴드 패턴의 분명한 차이는 관찰되지 않은 반면, 액체 구역에서의 부유 바이오매스에서는 상기 필터의 바이오필름으로부터 분석된 것과는 다른 DGGE 프로파일을 보였다 (도 7a 및 도 7b).

도 8은 본 실시예에 있어서, DGGE 지문으로부터 분석된 세균 (A) 및 고세균 (B)의 군집 구조의 클러스터 계통수를 나타낸다. 도 8에 나타나 바와 같이, 상술한 다른 DGGE 프로파일은 상기 DGGE 프로파일에 구성된 UPGMA 클러스터 계통수 (dendrograms)에 의해 재확인되었다. 세균 및 고세균 군집의 계통수 모두에서, 필터에서 회수된 시료들은 채취 높이 (또는 위치)에 관계없이 모두 매우 유사한 DGGE 프로파일을 보이며 서로 근접하게 위치하여 하나의 클러스터를 형성하였으나 (소렌슨 유사도, Sorensen similarity, S_s : 96% 초과), 필터 상부의 부유-성장 구역 (반응기 내부 반응용적 가운데 BFS로 채워지지 않은 구역)에서 회수된 시료들은 서로 매우 유사도가 낮은 DGGE 프로파일을 보이며 필터에서 회수된 시료들이 형성한 클러스터와 멀리 떨어져 위치하였다. 이는 슬래그 필터의 높이에 관계없이 부착된 미생물의 군집이 비슷하게 형성되고, 필터에 부착되지 못한 부유 미생물의 군집과는 다르게 형성된다는 사실을 보여준다.

상기 액체 구역에서 슬래그층의 다양한 레벨에 걸쳐 세균 및 고세균 군집 구조 및 바이오매스 중 하나에서 변화가 거의 없었다는 것은 다른 미생물 군집 구조를 확실히 갖는다는 것을 보여준다. 이러한 관찰은 상기 필터의 내·외부간 성장 모드의 차이 (즉, 부착-성장 대 부유-성장)가 미생물 군집 구조의 성장(발달)에서 상당한 영향력을 갖는다는 것을 시사한 반면, 상기 UAnF 반응조 중 슬래그 층에서의 높이 위치에 대해서는 시사하는 바가 없었다. 모든 필터 시료에서 고세균의 군집 구조는 동일했다 [즉, 개별 DGGE 밴드의 존재 및 부재에 기반하여 비교했을 때, 유사도 (S_s) 100%임]. 이것은 간단한 밴드 패턴 (즉, 낮은 다양성)의 결과라고 간주될 수 있으며, 메탄생성균의 제한된 기질 범위 때문에 AD 시스템에서 세균에 비해 고세균의 낮은 다양성을 반영한 것이라고 판단된다. 상기 DGGE 지문은, 상기 필터 바이오매스가 상기 부유 바이오매스에 관련된 세균 및 고세균의 군집 모두에서 높은 밀도를 갖는다는 것을 보여준다. 이것은 그 매트릭스 내에 높은 미생물 밀도를 유지하고 {즉, 확장 바이오매스 체류시간, extended biomass retention time), 이로 인해 더디게 성장하는 개체 (즉, 메타노세타는 상기 반응조에서 우세한 메탄생성미생물 군으로서 시사되었음)를 허용하여 이 시스템에 남겨두려는 바이오필름의 능력에 의해 설명될 수 있다. 그러므로, 건강하고 안정한 바이오필름 구조가 부착-성장 배양

에 기초한 고속 AD 공정의 성능을 위해 증대하다. 전반적인 실험 결과는 RWD와 함께 다루기 위해 본 발명에서 개발된 상기 BFS-패킹 반응조 및 다양한 운용 조건에서 상기 공정에 관련된 바이오필름 군집 구조의 견고함을 입증하였다.

3. 결론

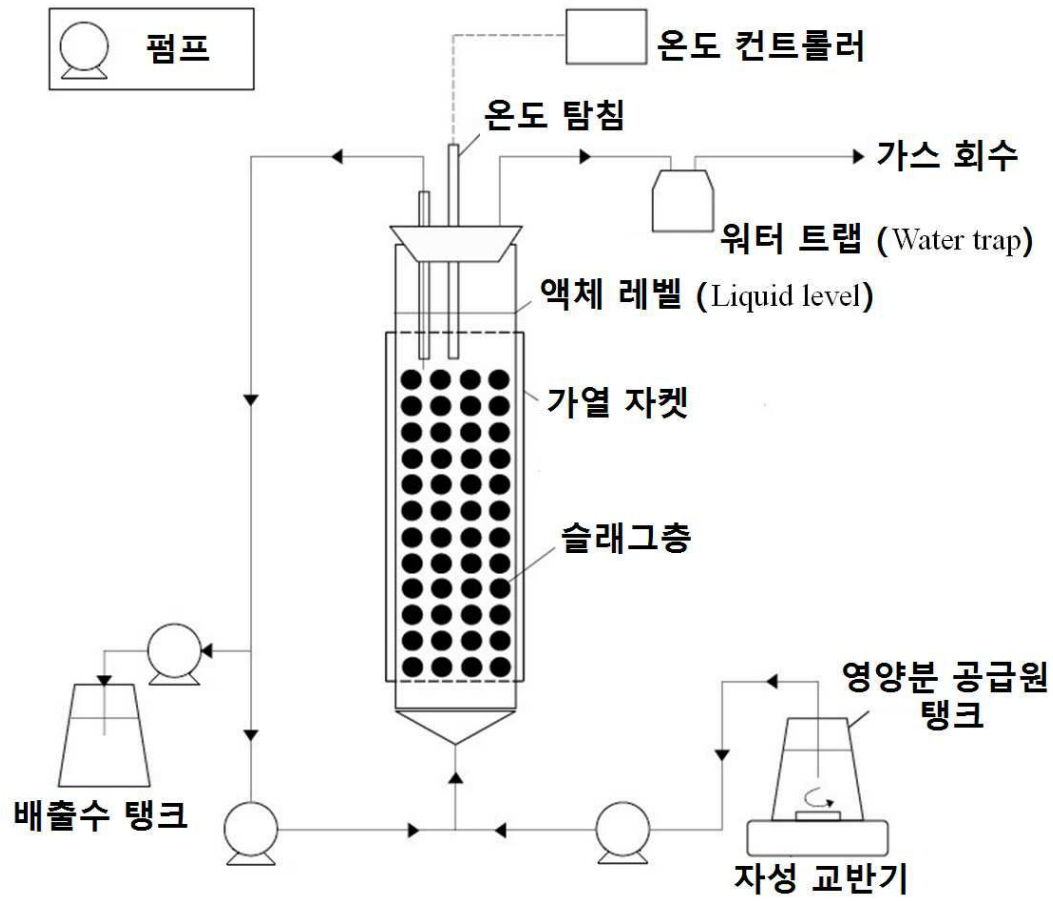
UAnF 반응조 및 BFS 여과재가 다양한 유압 처리조건 하에서 RWD의 바이오메탄 생산을 위해 실험된 결과, HRT가 2.2 일로 감소될 때까지 상기 반응조는 변동 없는 처리 효율을 유지하였다 (CODr: 84% 초과). Y_M 은 3.4 일 이상의 HRT에서 0.31 내지 0.33 L/g COD 로 높게 유지된 반면, 짧은 HRT에서는 크게 저하되었다. 기질 제거 및 메탄 생산 키네틱스를 평가해본 결과, 분자분석을 통해 상기 반응조의 메탄생산 활성이 상기 필터에 형성된 바이오필름에 의존하는 것으로 추측되었다. 즉, 본 실시예에 따른 UAnF 공정은 지속적인 RWD 처리 및 바이오메탄 생산에 대해 효과적임을 알 수 있다.

전술한 바와 같이, 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 기술을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로, 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며, 한정적이지 않은 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

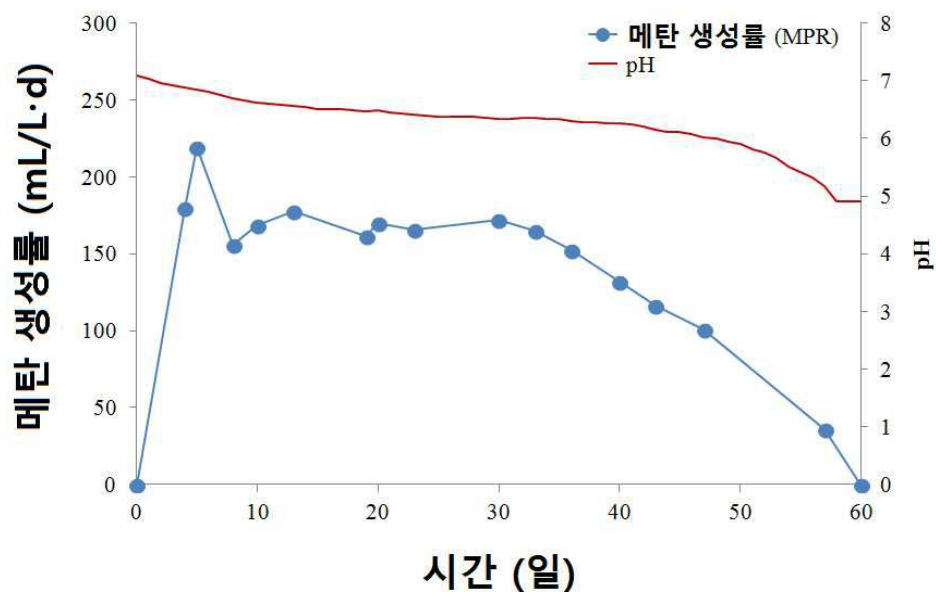
도면1



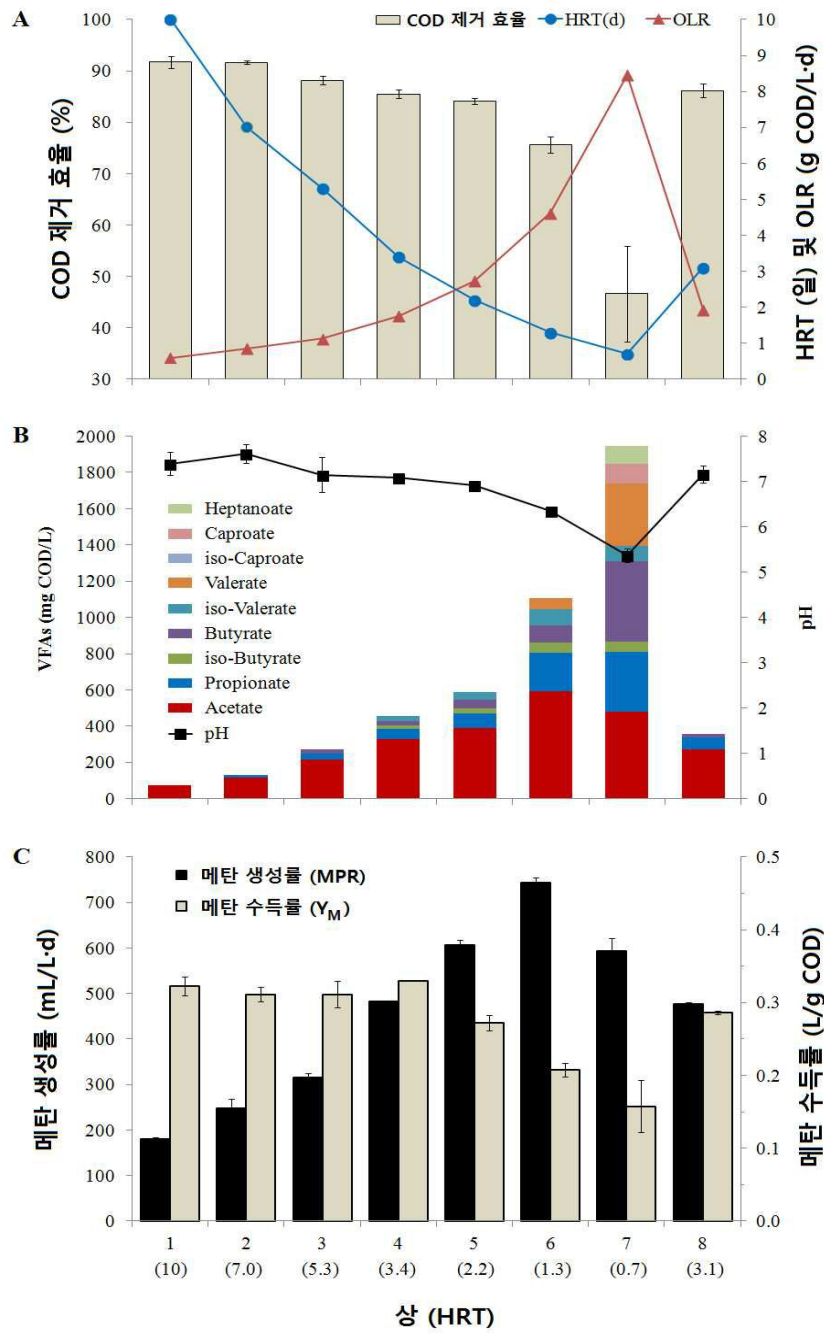
도면2



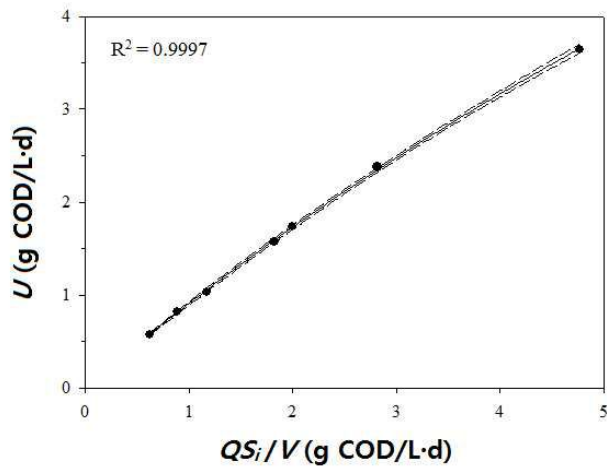
도면3



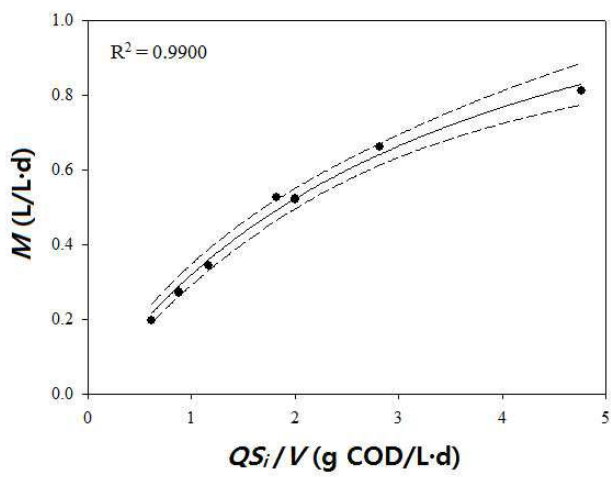
도면4



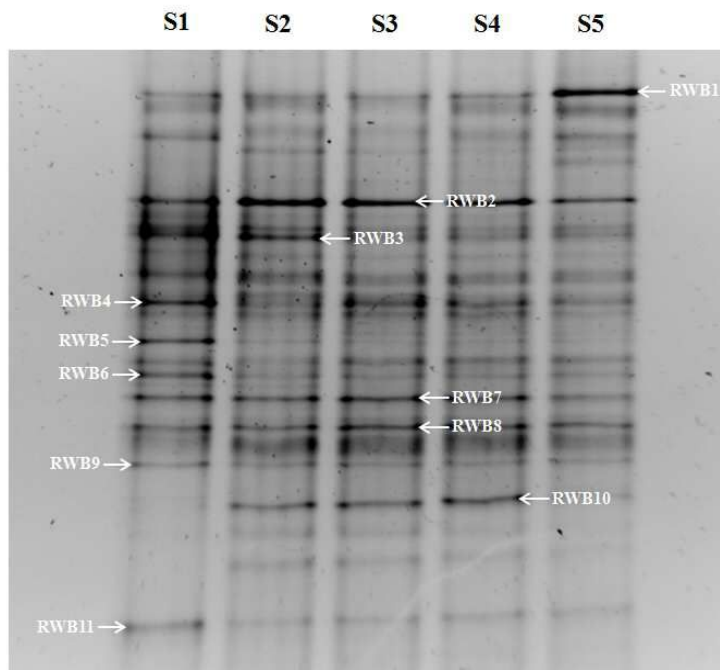
도면5



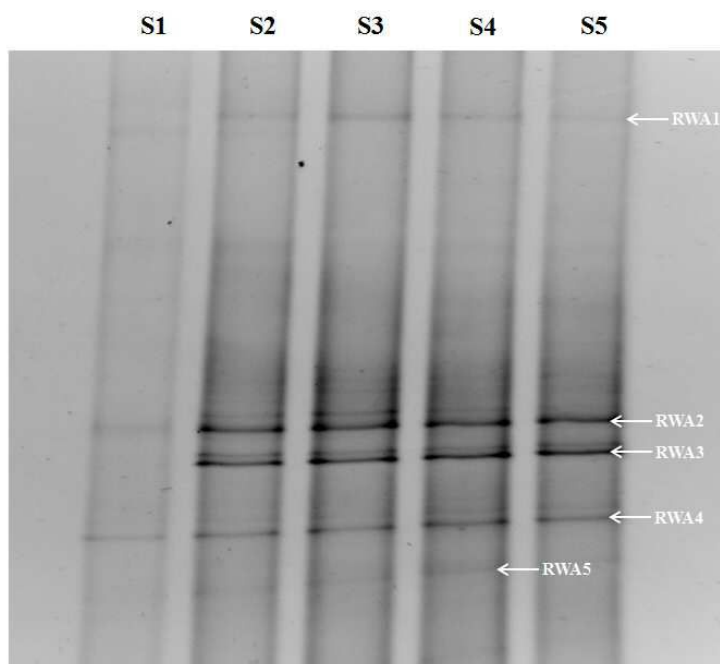
도면6



도면7a



도면7b



도면8

