(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년09월21일
(11) 등록번호 10-1066391
(24) 등록일자 2011년09월15일

(51) Int. Cl.
C02F 11/04 (2006.01) *C02F 3/28* (2006.01)
C02F 1/36 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0041513
(22) 출원일자 2011년05월02일
심사청구일자 2011년05월02일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020080021571 A*
KR1020100125857 A*
KR1020100137184 A
KR100745201 B1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한발대학교 산학협력단
대전 유성구 덕명동 산16-1
(72) 발명자
오세은
대전광역시 서구 둔산동 크로바아파트 117동 903호
조시경
대전광역시 유성구 구성동 한국과학기술원 KAIST 건설환경공학과
(74) 대리인
홍성일

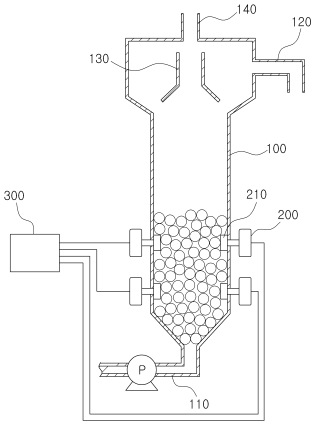
전체 청구항 수 : 총 5 항 심사관 : 이강옥

(54) 초음파 진동자를 구비한 혐기소화조

(57) 요 약

본 발명은 유기성 폐기물을 소화 처리하기 위한 혐기성 소화조에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 반응조에 일정 크기 이하의 초음파를 조사할 수 있는 초음파 진동자를 설치함으로써 UASB에서 나타나는 입상(granule) 슬러지층의 압밀화를 방지하고, 메탄 가스 생성균의 활성도를 높여 바이오 가스 생성량을 증가시킬 수 있는 혐기성 소화조에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

슬러지에 미생물들이 응집되어 형성되는 입상(granule) 슬러지가 수용되는 반응조(100);

상기 반응조(100) 내부에 설치되며, 상기 입상(granule) 슬러지에 존재하는 탈수소효소(DHA) 및 ATP의 농도를 상기 입상(granule) 슬러지에 응집된 바이오 가스 생성 미생물의 활성도를 증가시키고 상기 입상(granule) 슬러지의 유동성을 증가시킬 수 있는 농도로 변화시키는 파워(power)의 초음파를 상기 입상(granule) 슬러지에 조사(照射)하기 위한 초음파 진동자(210);

를 포함하는 것을 특징으로 초음파 진동자 구비 혐기성 소화조.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 반응조(100)는 유기성 폐기물이 상기 입상(granule) 슬러지로 이루어진 입상(granule) 슬러지층을 하방향으로부터 상방향으로 통과하는 상향식 반응조이고,

상기 초음파 진동자(210)는 상기 입상(granule) 슬러지층이 형성되는 상기 반응조(100)의 하층부에 설치되는 것을 특징으로 하는 초음파 진동자 구비 혐기성 소화조.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 입상(granule) 슬러지층을 이루는 상기 입상(granule) 슬러지의 부피 당 상기 초음파 진동자(210)에 의하여 조사(照射)되는 초음파의 파워(power)인 초음파 조사밀도, 상기 초음파 진동자(210)의 작동시간 및 상기 초음파 진동자(210)의 작동 시간 간격을 조절하는 제어부(300)를 포함하는 것을 특징으로 하는 초음파 진동자 구비 혐기성 소화조.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 초음파 조사밀도는 0.05 W/㎖ 인 것을 특징으로 하는 초음파 진동자 구비 혐기성 소화조.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 초음파 진동자(210)의 작동시간은 1 ~ 5 sec 이고,

상호 이웃한 상기 초음파 진동자의 작동 시간 사이의 간격은 50 sec ~ 3 min 인 것을 특징으로 하는 초음파 진동자 구비 혐기성 소화조.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 유기성 폐기물을 소화 처리하기 위한 혐기성 소화조에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 반응조에 일정 크기 이하의 초음파를 조사할 수 있는 초음파 진동자를 설치함으로써 UASB에서 나타나는 입상(granule) 슬러지

층의 압밀화를 방지하고, 메탄 가스 생성균의 활성도를 높여 바이오 가스 생성량을 증가시킬 수 있는 혐기성 소화조에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 유기성 폐기물을 소화 처리하기 위한 종래의 혐기성 소화조로는 UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket)와 EGBS(Expended Granular Sludge Bed) 등이 있다.

[0003] 도9는 종래의 UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket)의 개략적 구성도를 나타낸다.

[0004] 도9를 참조하면 UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket)는 반응조(10)를 가진다. 반응조(10)에는 유기성 폐기물이 유입되는 유입관(11) 및 유기성 폐기물이 유출되는 유출관(12)이 형성된다. 반응조(10)에는 바이오 가스를 포집하기 위한 바이오 가스 캡(13) 및 바이오 가스가 유출되는 바이오 가스 유출관(14)이 형성된다.

[0005] 도9를 참조하면 반응조(10) 하층부에는 다수의 입상(granule) 슬러지가 수용된다. 상기 다수의 입상(granule) 슬러지는 입상(granule) 슬러지층을 형성하며 수용된다.

[0006] UASB는 특정 조건하에서 미생물 스스로 슬러지에 응집됨으로써 입상(granule) 슬러지 군을 형성하는 특징을 혐기성 폐수처리에 활용하는 것으로, 입상(granule) 슬러지는 구형이다. 이러한 입상(granule) 슬러지를 사용함으로써 고율 고부하 혐기성 소화조 운전이 가능하게 되었으며, 입상(granule) 슬러지는 장기간 저장하였다가 신설 혐기성 소화조에 식종 슬러지로 사용이 가능하다. 입상(granule) 슬러지의 발견으로 고율 혐기성 소화조는 비약적인 발전을 이루었으나 UASB도 여러가지 단점이 알려지게 되었다. UASB의 경우 반응조(10) 하층부에 형성되는 입상(granule) 슬러지층의 압밀화로 인하여 입상(granule) 슬러지층을 통과하는 유기성 폐기물의 플럭스(flux)가 낮아지는 문제점이 발생한다. 또한 UASB는 산업폐수와 같이 농도나 물량 변화가 심할 경우, 입상(granule) 슬러지가 유실되는 단점이 있다.

[0007] 도10은 종래의 EGBS(Expended Granular Sludge Bed)의 개략적 구성도를 나타낸다. EGBS(Expended Granular Sludge Bed)는 반응조(10)를 가진다. 반응조(10)에는 유입관(11), 유출관(12), 바이오 가스 캡(13) 및 바이오 가스 유출관(14)이 형성된다. 한편, 반응조(10)에는 반응조(10) 하층부에 형성되는 입상(granule) 슬러지층의 압밀화 방지를 위하여 반송관(15)이 형성된다. 반송관(15)은 혐기성 소화가 이루어진 상층부의 유기성 폐기물을 하층부로 반송시킴으로써 입상(granule) 슬러지층을 이루는 입상(granule) 슬러지의 유동성을 증가시켜 입상(granule) 슬러지층을 통과하는 유기성 폐기물의 플럭스(flux)를 증가시키기 위한 것이다. 그러나, EGBS(Expended Granular Sludge Bed)는 유기성 폐기물을 하층부로 반송시키기 위해 에너지를 소모해야 하는 문제점이 있다. 또한, EGBS(Expended Granular Sludge Bed)는 입상(granule) 슬러지의 증가된 유동성으로 인하여 발생되는 입상(granule) 슬러지의 유실을 방지하기 위하여 반응조(10)의 길이를 길게 형성하여야 하는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 종래의 EGBS에서와 같은 반송관을 형성하지 않고, 또한 EGBS에서와 같이 반응조의 길이를 길게 형성하지 않고도, 반응조에 일정 크기 이하의 초음파를 조사할 수 있는 초음파 진동자를 설치함으로써 UASB에서 나타나는 입상(granule) 슬러지층의 압밀화를 방지하고, 메탄 가스 생성균의 활성도를 높여 바이오 가스 생성량을 증가시킬 수 있는 혐기성 소화조를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명은 슬러지에 미생물들이 응집되어 형성되는 입상(granule) 슬러지가 수용되는 반응조(100); 상기 입상(granule) 슬러지에 초음파를 조사(照射)하여 상기 입상(granule) 슬러지에 응집된 바이오 가스 생성 미생물의 활성도가 증가되고, 상기 입상(granule) 슬러지의 유동성이 증가되도록, 상기 반응조(100) 내부에 설치되는 초음파 진동자(210); 를 포함하는 것을 특징으로 초음파 진동자 구비 혐기성 소화조에 관한 것이다.

[0010] 본 발명에 있어서, 상기 반응조(100)는 유기성 폐기물이 상기 입상(granule) 슬러지로 이루어진 입상(granule) 슬러지층을 하방향으로부터 상방향으로 통과하는 상향식 반응조이고, 상기 초음파 진동자(210)는 상기 입상(granule) 슬러지층이 형성되는 상기 반응조(100)의 하층부에 설치될 수 있다.

[0011] 본 발명은 상기 입상(granule) 슬러지층을 이루는 상기 입상(granule) 슬러지의 부피 당 상기 초음파 진동자(210)에 의하여 조사(照射)되는 초음파의 파워(power)인 초음파 조사밀도, 상기 초음파 진동자(210)의 작동시간 및 상기 초음파 진동자(210)의 작동 시간 간격을 조절하는 제어부(300)를 포함할 수 있다.

[0012] 본 발명에 있어서, 상기 초음파 조사밀도는 0.05 W/mℓ 일 수 있고, 상기 초음파 진동자(210)의 작동시간은 1 ~ 5 sec 이고, 상호 이웃한 상기 초음파 진동자의 작동 시간 사이의 간격은 50 sec ~ 3 min 일 수 있다.

발명의 효과

[0013] 본 발명은 반응조에 일정 크기 이하의 초음파를 조사할 수 있는 초음파 진동자를 설치함으로써 메탄 가스 생성균의 활성도를 증가시킴에 따라 UASB에서 나타나는 입상(granule) 슬러지층의 압밀화를 방지하여 바이오 가스 생성량을 증가시킬 수 있는 장점이 있다.

[0014] 본 발명은 메탄 가스 생성균의 활성도가 증가하고, 입상(granule) 슬러지층을 형성하는 입상(granule) 슬러지의 유동성이 상승하므로, 높은 유기물 부하율(organic loading rate ; OLR)에서도 적절한 처리 효율이 보장되며, 높은 휘발성 부유물 농도의 유기성 폐기물도 적절하게 처리할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도1은 본 발명에 따른 일실시예의 개략적 구성도.

도2는 도1의 일실시예의 개략적 작동도.

도3 및 도4는 본 발명에 따른 일실시예의 초음파 조사밀도에 따른 DHA 및 ATP의 농도 그래프.

도5 내지 도7은 본 발명에 따른 일실시예의 초음파 조사시간에 따른 DHA, ATP 및 SMA 그래프.

도8은 본 발명에 따른 일실시예의 연속적 운전에 따른 메탄 가스 생성량의 비교 그래프.

도9는 종래의 UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket)의 개략적 구성도.

도10은 종래의 EGBS(Expended Granular Sludge Bed)의 개략적 구성도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하, 도면을 참조하며 본 발명의 일실시예에 대하여 상세히 설명한다.

[0017] 도1은 본 발명에 따른 일실시예의 개략적 구성도를, 도2는 도1의 일실시예의 개략적 작동도를, 도3 및 도4는 본 발명에 따른 일실시예의 초음파 조사밀도에 따른 DHA 및 ATP의 농도 그래프를, 도5 내지 도7은 본 발명에 따른 일실시예의 초음파 조사시간에 따른 DHA, ATP 및 SMA 그래프를, 도8은 본 발명에 따른 일실시예의 연속적 운전에 따른 메탄 가스 생성량의 비교 그래프를 나타낸다.

[0018] 도1을 참조하면 본 발명에 따른 일실시예는 반응조(100)를 가진다. 반응조(100)에는 다수개의 입상(granule) 슬러지가 수용된다. 입상(granule) 슬러지는 슬러지에 메탄 가스 생성균을 포함하는 바이오가스 생성 미생물들이 응집됨으로써 형성된다. 입상(granule) 슬러지가 다수개 층을 이루며 수용됨으로써 반응조(100) 하층에는 입상(granule) 슬러지층이 형성된다.

[0019] 도1을 참조하면 반응조(100) 하부에는 유기성 폐기물이 유입되는 유입관(110)이 형성된다. 반응조(100) 상부에는 상기 입상(granule) 슬러지로 이루어진 입상(granule) 슬러지층을 하방향으로부터 상방향으로 통과하며 소화처리된 유기성 폐기물이 유출되는 유출관(120)이 형성된다. 즉, 반응조(100)는 유기성 폐기물이 상기 입상(granule) 슬러지로 이루어진 입상(granule) 슬러지층을 하방향으로부터 상방향으로 통과하는 상향식 반응조이다.

[0020] 도1을 참조하면 반응조(100)의 상부에는 메탄 가스를 포함한 바이오 가스를 포집하기 위한 가스 캡(130) 및 가스 캡(130)을 통하여 포집된 상기 바이오 가스를 유출하기 위한 가스 유출관(140)이 설치된다.

[0021] 도1을 참조하면 반응조(100) 내부에는 초음파 진동자(210)가 설치된다. 초음파 진동자(210)는 상기입상(granule) 슬러지에 초음파를 조사(照射)하여 상기 입상(granule) 슬러지에 응집된 바이오 가스 생성 미생물들, 특히 메탄 가스 생성균의 활성도를 증가시키는 한편, 상기 입상(granule) 슬러지의 유동성을 증가시키기 위한 것으로 이는, 초음파 조사 시 발생되는 acoustic wave (음파)가 압밀된 상기 입상슬러지 층으로 전달되면서 유동성이 증가하는 것이다. 초음파 진동자(210)는 입상(granule) 슬러지층에 초음파를 고르게 조사(照射)하도록

상호 이격되며 다수개 설치될 수 있다.

[0022] 도2를 참조하면 상기 입상(granule) 슬러지의 유동성이 증가하여 상기 입상(granule) 슬러지층의 압밀도가 감소하고 이에 따라 상기 입상(granule) 슬러지층을 통과하는 유기성 폐기물의 플럭스(flux)가 증가한다. 상기 입상(granule) 슬러지층을 통과하는 유기성 폐기물의 플럭스(flux)가 증가함에 따라 반응조(100) 내에서 소화 처리되어 발생되는 메탄 가스를 포함한 바이오 가스의 양이 많아 진다.

[0023] 메탄 가스 생성균의 활성도는 상기 입상(granule) 슬러지층에 존재하는 탈수소효소(Dehydrogenase activity: DHA)의 농도와 ATP의 농도 등과 밀접한 연관성이 있는 것으로 알려져 있다.

[0024] 도3 및 도4에는 상기 입상(granule) 슬러지층을 이루는 상기 입상(granule) 슬러지의 부피가 2L 이고, 초음파 진동자(210)에 의한 초음파 조사시간이 10 min 일 때, 초음파 조사밀도에 따른 DHA 농도 및 ATP의 농도 그래프가 도시되어 있다. 초음파 조사밀도는 상기 입상(granule) 슬러지층을 이루는 상기 입상(granule) 슬러지의 부피 당 초음파 진동자(210)에 의하여 조사(照射)되는 초음파의 파워(power)를 말한다. 초음파의 파워(power)의 단위는 일률이므로, 초음파 조사밀도의 단위는 W/L 또는 W/㎖ 이다.

[0025] 도3을 참조하면 D_{11} 점은 초음파 조사밀도가 0.0125 W/㎖ 일 때의 DHA 농도를 나타내고, D_{12} 점은 초음파 조사밀도가 0.025 W/㎖ 일 때의 DHA 농도를 나타내고, D_{13} 점은 초음파 조사밀도가 0.05 W/㎖ 일 때의 DHA 농도를 나타내고, D_{14} 점은 초음파 조사밀도가 0.075 W/㎖ 일 때의 DHA 농도를 나타내고, D_{15} 점은 초음파 조사밀도가 0.10 W/㎖ 일 때의 DHA 농도를 나타낸다.

[0026] 도4를 참조하면 A_{11} 점은 초음파 조사밀도가 0.0125 W/㎖ 일 때의 ATP 농도를 나타내고, A_{12} 점은 초음파 조사밀도가 0.025 W/㎖ 일 때의 ATP 농도를 나타내고, A_{13} 점은 초음파 조사밀도가 0.05 W/㎖ 일 때의 ATP 농도를 나타내고, A_{14} 점은 초음파 조사밀도가 0.075 W/㎖ 일 때의 ATP 농도를 나타내고, A_{15} 점은 초음파 조사밀도가 0.10 W/㎖ 일 때의 ATP 농도를 나타낸다.

[0027] 도3 및 도4를 참조하면 초음파 조사밀도가 0.05 W/㎖ 보다 커짐에 따라 DHA 농도의 증가량은 작고, ATP 농도는 감소하므로 최적의 초음파 조사밀도를 0.05 W/㎖ 로 선택한다. 이는 초음파 조사밀도가 어느 임계점 이하에서는 메탄 가스 생성균의 활성도를 증가시키는 DHA 등의 효소의 활성도, 세포 성장 및 세포막 투과성 등을 증가시키기 때문으로 판단된다.

[0028] 도5 및 도6에는 상기 입상(granule) 슬러지층을 이루는 상기 입상(granule) 슬러지의 부피가 2L 이고, 상기 초음파 조사밀도가 0.05 W/㎖ 일 때 초음파 조사시간에 따른 DHA 농도 및 ATP 농도 그래프가 도시되어 있다.

[0029] 도5를 참조하면 D_{21} 점은 초음파 조사시간이 5 min 일 때의 DHA 농도를 나타내고, D_{22} 점은 초음파 조사시간이 10 min 일 때의 DHA 농도를 나타내고, D_{23} 점은 초음파 조사시간이 15 min 일 때의 DHA 농도를 나타내고, D_{24} 점은 초음파 조사시간이 20 min 일 때의 DHA 농도를 나타내고, D_{25} 점은 초음파 조사시간이 30 min 일 때의 DHA 농도를 나타낸다.

[0030] 도6을 참조하면 A_{21} 점은 초음파 조사시간이 5 min 일 때의 ATP 농도를 나타내고, A_{22} 점은 초음파 조사시간이 10 min 일 때의 ATP 농도를 나타내고, A_{23} 점은 초음파 조사시간이 15 min 일 때의 ATP 농도를 나타내고, A_{24} 점은 초음파 조사시간이 20 min 일 때의 ATP 농도를 나타내고, A_{25} 점은 초음파 조사시간이 30 min 일 때의 ATP 농도를 나타낸다.

[0031] 도5 및 도6을 참조하면 초음파 조사시간이 10 min 일 때 DHA 농도 및 ATP 농도가 최적임을 알 수 있다.

[0032] 도7에는 상기 입상(granule) 슬러지층을 이루는 상기 입상(granule) 슬러지의 부피가 2L 이고, 상기 초음파 조사밀도가 0.05 W/㎖ 일 때 서로 다른 초음파 조사시간 경과 후의 시간의 흐름에 따른 SMA(specific methanogenic activity) 결과 그래프가 도시되어 있다.

[0033] 도7을 참조하면 초음파 조사시간이 5 min 일 때와 10 min 일 때 시간이 흐름에 따라 축적되는 메탄 생성량이 거의 동일함을 알 수 있다.

[0034] 따라서, 상기 초음파 조사밀도가 0.05 W/㎖ 일 때 1회에 걸쳐 인가되는 최적의 초음파 조사시간을 5 min 로 선택한다.

[0035] 도8에는 입상(granule) 슬러지층을 이루는 상기 입상(granule) 슬러지의 부피가 2L 이고, 초음파 조사밀도(SD)가 0.05 W/㎖ 이고, 1회에 걸쳐 가해지는 초음파 조사시간(ST)이 5 min 이며, 상호 이웃한 초음파 조사시간(ST) 사이의 시간 간격, 즉 초음파 휴지(休止)시간이 8 hour 일 때의 연속적인 시간의 흐름에 따른 메탄 가스 생성량의 그래프(M2)와, 입상(granule) 슬러지층을 이루는 상기 입상(granule) 슬러지의 부피가 2L 이고, 초음파 조사밀도(SD)가 0.05 W/㎖ 이고, 1회에 걸쳐 가해지는 초음파 조사시간(ST)이 1 sec 이며, 상호 이웃한 초음파 조사시간(ST) 사이의 시간 간격, 즉 초음파 휴지(休止)시간이 59 sec 일 때의 연속적인 시간의 흐름에 따른 메탄 가스 생성량의 그래프(M3)가 도시되어 있다. M1은 초음파 진동자(210)가 설치되지 않은 경우 연속적인 시간의 흐름에 따른 메탄 가스 생성량의 그래프를 나타낸다.

[0036] 도8을 참조하면 M2의 경우 P2 점에 해당하는 날짜를 경과하게 되면 M1 보다 메탄 가스 생성량이 줄어드는 것을 알 수 있다. 이는 과다한 초음파 조사가 메탄 가스 생성균의 세포벽 내지 세포막을 손상시켜 메탄 가스 생성균의 활성도를 떨어뜨리기 때문으로 판단된다. 따라서, 연속적인 초음파 조사의 경우 초음파 조사밀도 외에 초음파 조사 시간 및 상호 이웃한 조사 시간 사이의 간격이 중요한 요소가 됨을 알 수 있다. 따라서, 일정한 시간 간격으로 초음파를 인가하는 연속 운전의 경우 초음파 조사밀도(SD)가 0.05 W/㎖ 이고, 1회에 걸쳐 가해지는 초음파 조사시간(ST)이 1 sec 이며, 상호 이웃한 초음파 조사시간(ST) 사이의 시간 간격, 즉 초음파 휴지(休止)시간이 59 sec 로 선택한다. 도8을 참조하면 초음파가 조사되지 않은 경우 메탄 가스의 생성량은 2254 mL/day 이고 M3의 경우 메탄 가스의 생성량은 3219 mL/day 이므로, 메탄 가스 생성량이 약 43 % 증가함을 알 수 있다.

[0037] 도1을 참조하면 본 발명의 일실시예는 제어부(300)를 가진다. 제어부(300)는 초음파 진동자(210)에 연결된 초음파 발생기(200)에 연결된다. 제어부(300)는 상기 초음파 조사밀도, 상기 초음파 진동자(210)의 작동시간 및 상호 이웃한 상기 초음파 진동자(210)의 작동 시간 사이의 간격을 조절하기 위한 것이다. 제어부(300)는 초음파 조사밀도(SD)가 0.05 W/㎖ 이고, 1회에 걸쳐 가해지는 초음파 조사시간(ST)이 1 sec 이며, 상호 이웃한 초음파 조사시간(ST) 사이의 시간 간격, 즉 초음파 휴지(休止)시간이 59 sec 가 되도록 초음파 발생기(200)를 제어할 수 있다.

[0038] 한편, 본 발명에 따른 다른 일실시예는 이와 달리 상기 초음파 조사밀도는 0.05 W/㎖ 이고, 상기 초음파 진동자(210)의 작동시간은 1 ~ 5 sec 이고, 상호 이웃한 상기 초음파 진동자의 작동 시간 사이의 간격은 50 sec ~ 3 min 인 것으로 할 수 있다.

[0039] 한편, 실시예1에서 초음파 조사밀도를 0.05 W/㎖ 로 선택하였으나, 다른 실시예의 경우 최적의 초음파 조사밀도를 입상 슬러지의 성상 및 처리 유기성 폐기물에 따라 다른 값으로 선택할 수 있다.

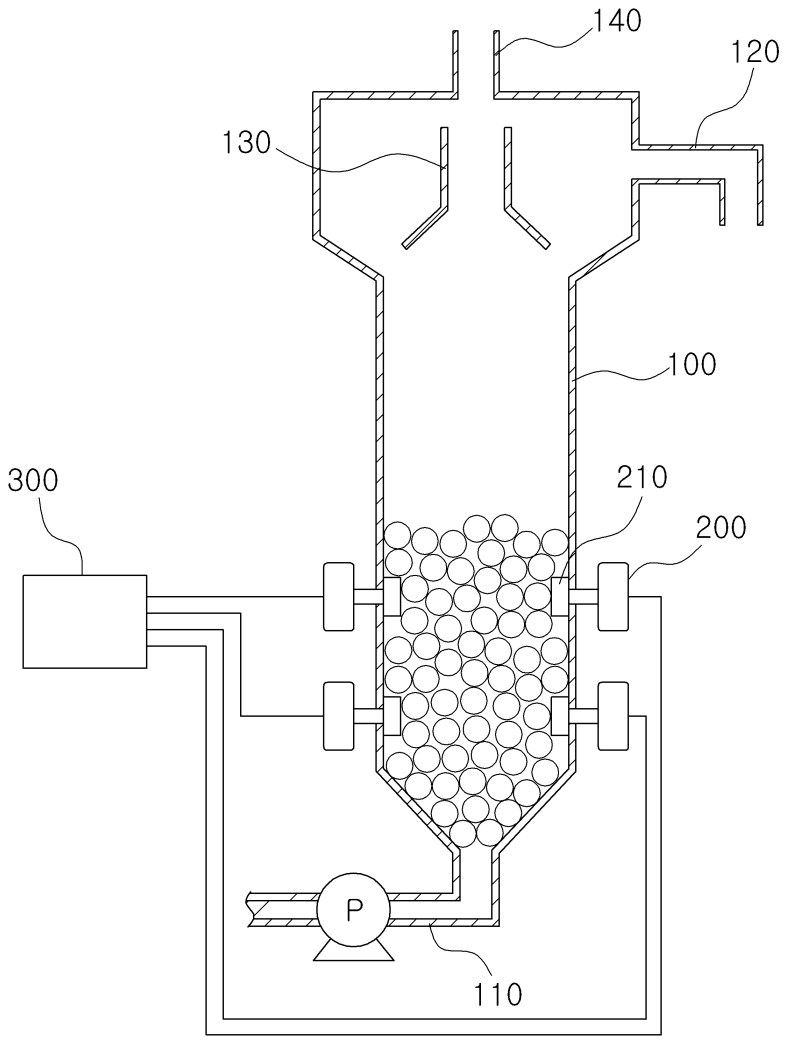
부호의 설명

[0040] 100:반응조 210:초음파 진동자

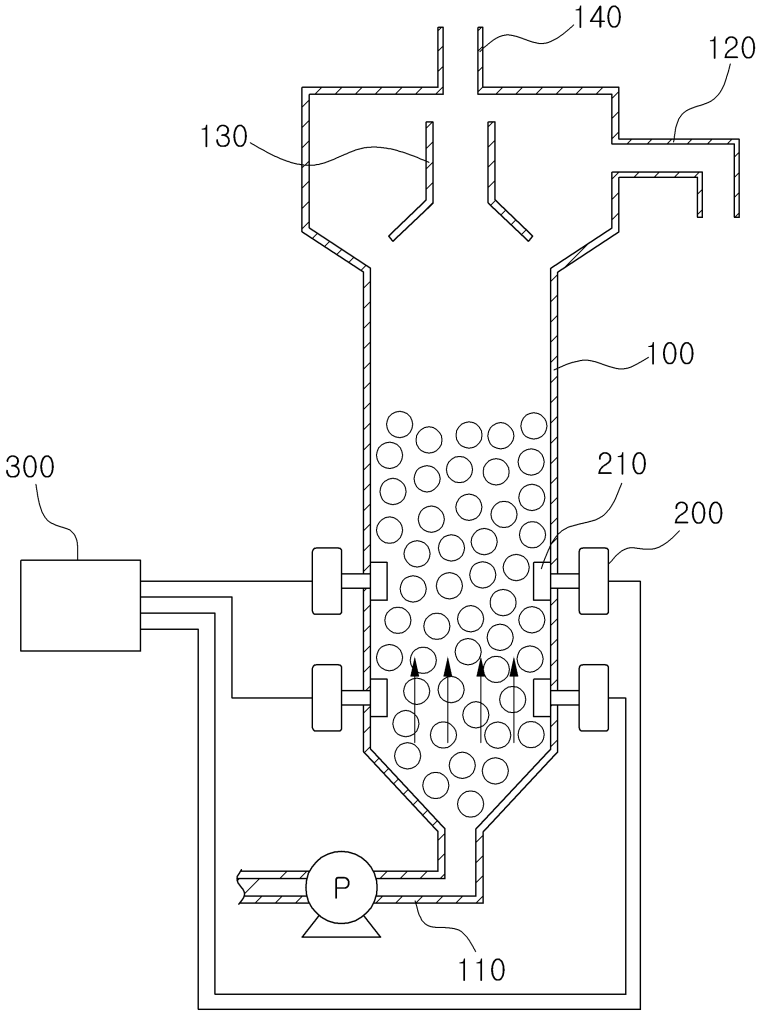
300:제어부

도면

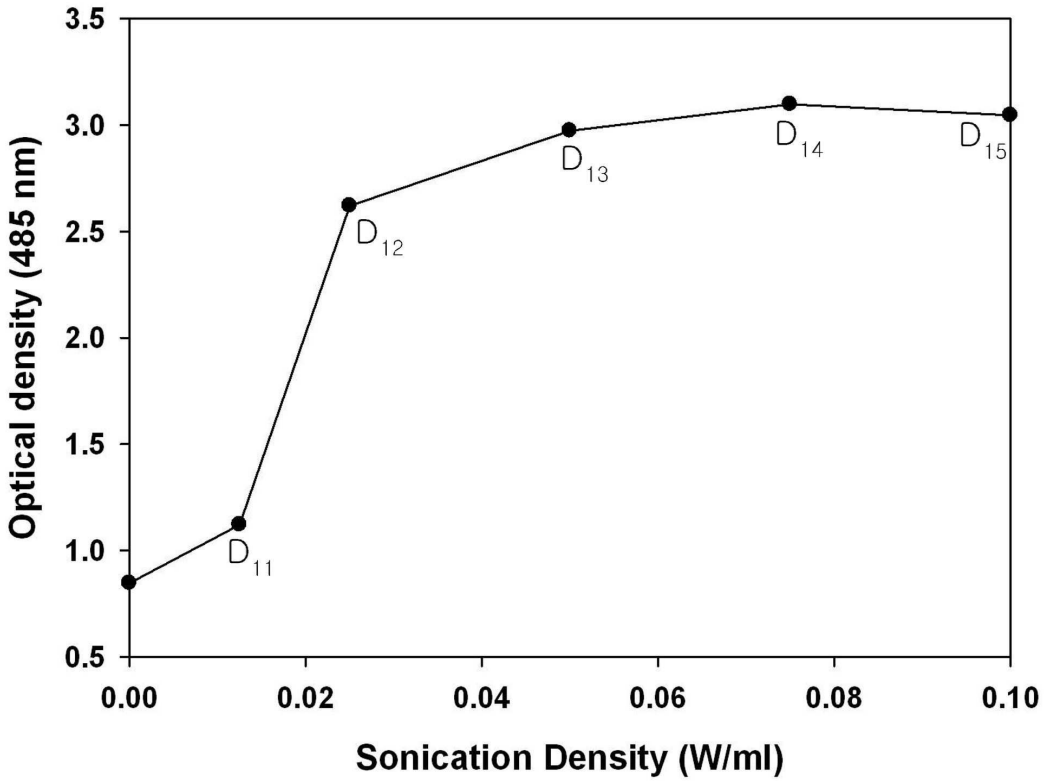
도면1



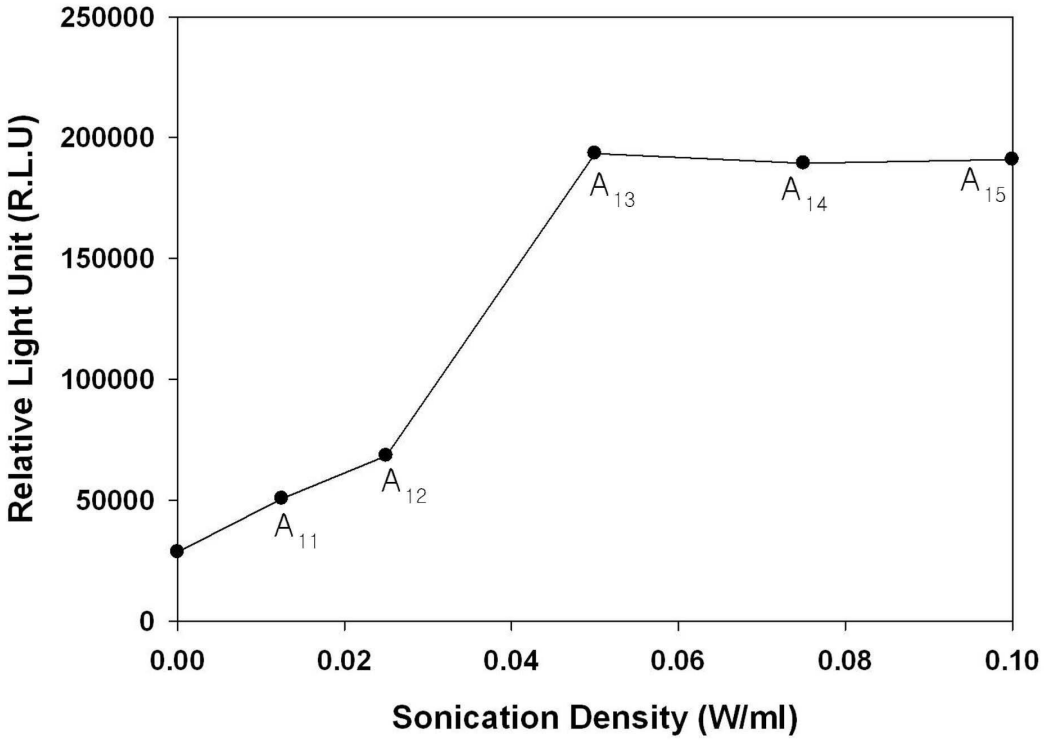
도면2



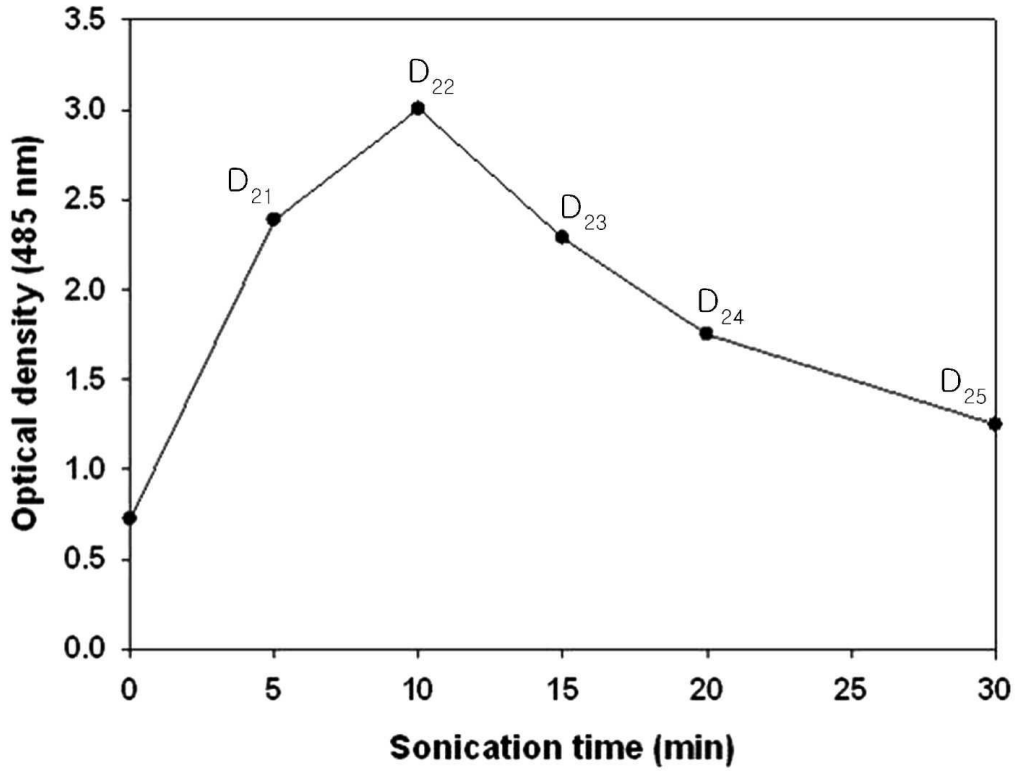
도면3


Optical density (485 nm)
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.00
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
Sonication Density (W/ml)
D11
D12
D13
D14
D15

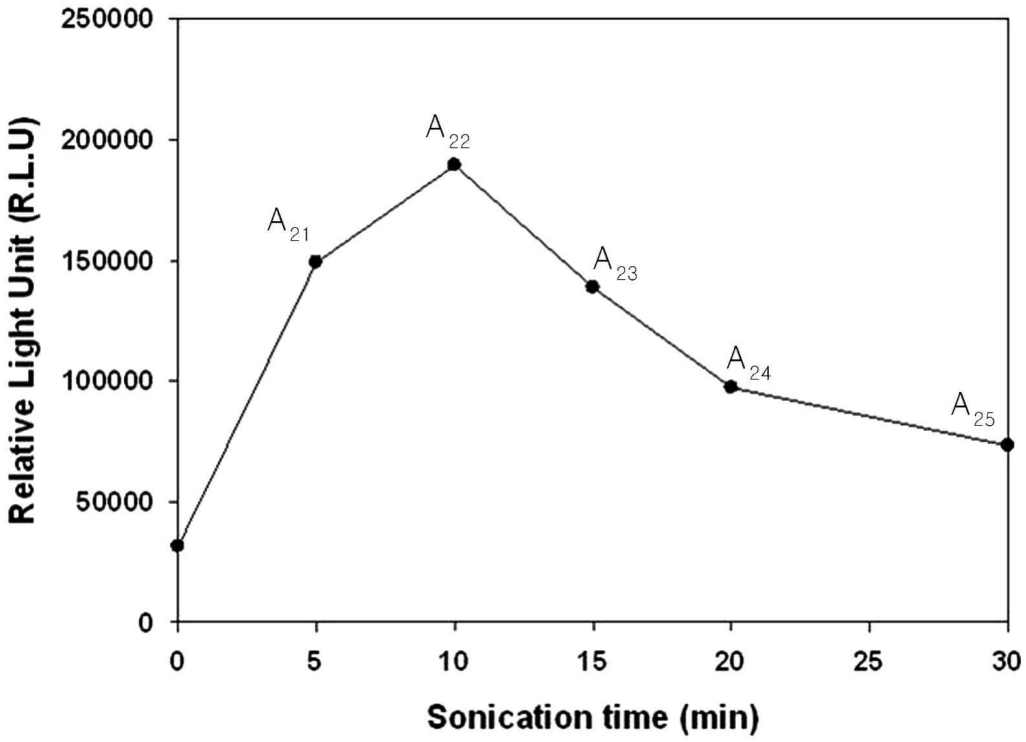
도면4


Relative Light Unit (R.L.U)
250000
200000
150000
100000
50000
0
0.00
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
Sonication Density (W/ml)
A11
A12
A13
A14
A15

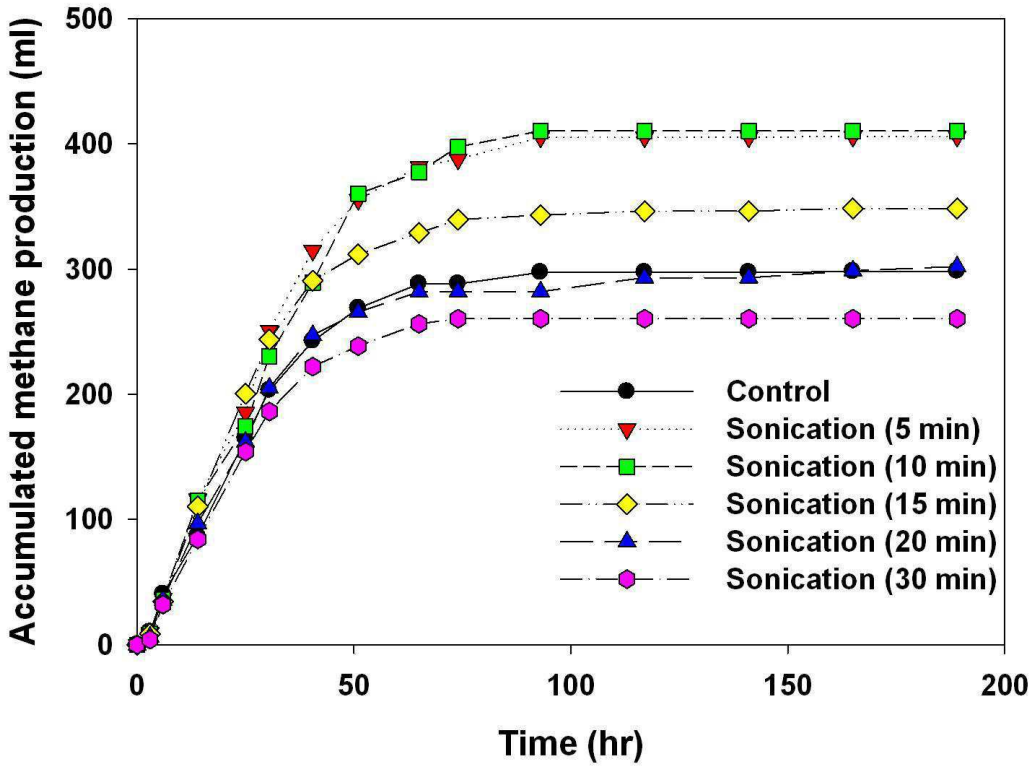
도면5


Optical density (485 nm)
Sonication time (min)
D21
D22
D23
D24
D25

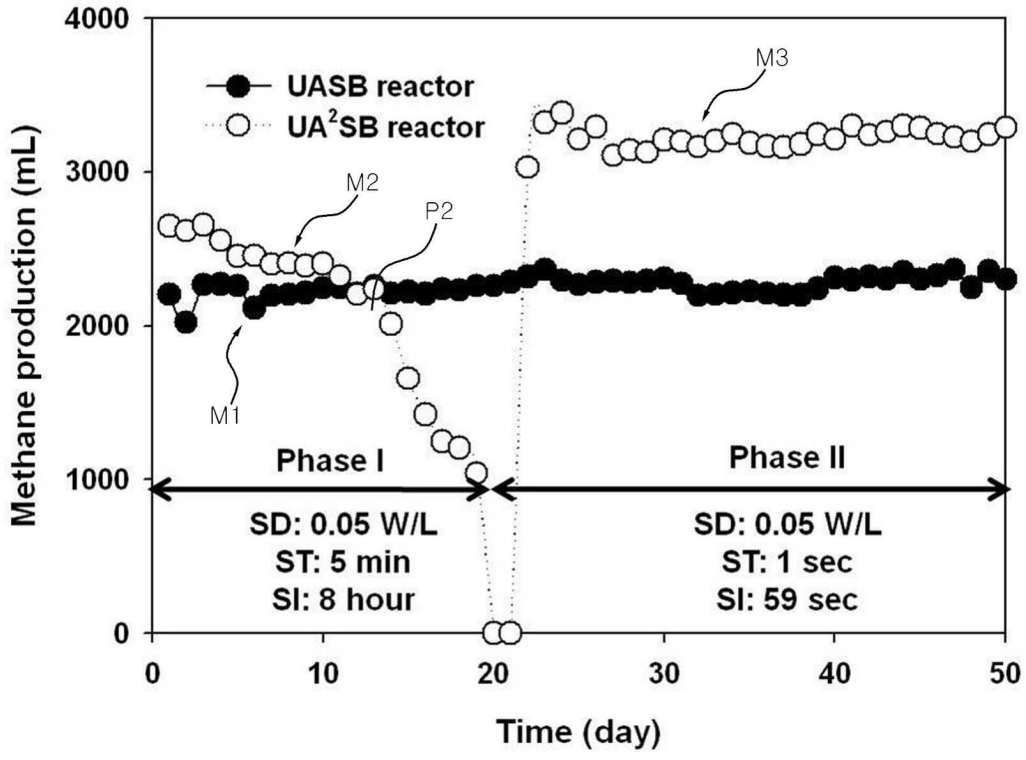
도면6


Relative Light Unit (R.L.U)
Sonication time (min)
A21
A22
A23
A24
A25

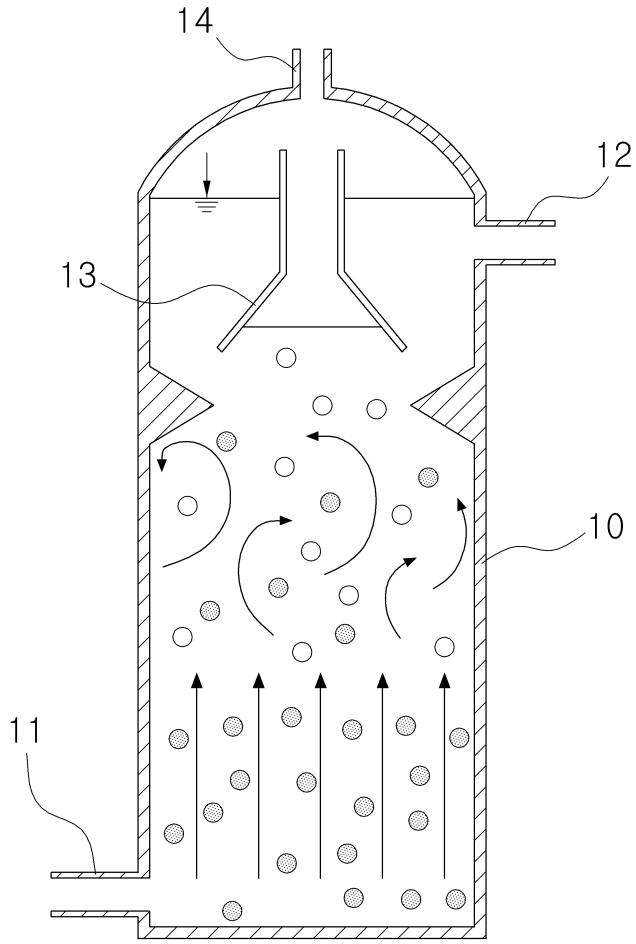
도면7


Accumulated methane production (ml)
Time (hr)
Control
Sonication (5 min)
Sonication (10 min)
Sonication (15 min)
Sonication (20 min)
Sonication (30 min)

도면8


Methane production (mL)
Time (day)
UASB reactor
UA²SB reactor
M1
M2
M3
P2
Phase I
SD: 0.05 W/L
ST: 5 min
SI: 8 hour
Phase II
SD: 0.05 W/L
ST: 1 sec
SI: 59 sec

도면9



도면10

