(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0133410
(43) 공개일자 2013년12월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B05B 7/10 (2006.01) *B01F 5/02* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0056631
(22) 출원일자 2012년05월29일
심사청구일자 2012년05월29일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
(72) 발명자
이제근
부산광역시 남구 대연3동 1808 대연비치아파트 103동 102호
손민기
부산광역시 남구 대연5동 1480-16
(74) 대리인
특허법인 동원

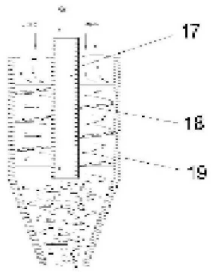
전체 청구항 수 : 총 6 항

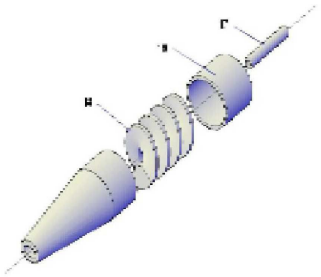
(54) 발명의 명칭 **이유체선회노즐과 이를 구비한 장치**

(57) 요 약

본 발명은 이유체노즐에 관한 것으로서, 가스유입관과, 가스유입관을 감싸고 토출구가 유입구보다 작은 액체유입관과, 가스유입관의 외벽주위와 액체유입관의 내벽주위를 연속으로 선회하는 곡면으로 연결하는 선회유도스크류를 포함하는 이유체선회노즐을 개발하고, 반응조에 선회류 형성기와 이유체 유도부재를 설치하여, 기존의 이유체 노즐 대신 본 발명의 이유체선회노즐을 설치함으로써 반응기 내부에서 난류강도가 증가하게 되고, 이로 인하여 기-액 필름에서의 농도구배가 증가하게 되어 기-액간 물질전달율을 향상시킬 수 있으며, 본 발명의 이유체 선회노즐을 장착한 루프 반응기 등은 노즐의 단순한 구조로 인해 막힘 현상이 일어나지 않아 가동효율이 증가되는 효과가 있는 이유체선회노즐과 이를 구비한 장치를 제공한다.

대 표 도 - 도4





특허청구의 범위

청구항 1

가스유입관;

상기 가스유입관을 감싸고, 토출구가 유입구보다 작은 액체유입관;

상기 가스유입관의 외벽주위와 상기 액체유입관의 내벽주위를 연속으로 선회하는 곡면으로 연결하는 선회유도스크류;를 포함하는 이유체선회노즐.

청구항 2

제1항의 이유체선회노즐;

상기 이유체선회노즐에서 뿜어져 나온 미세기포와 처리수가 혼합되는 반응조;

상기 이유체선회노즐의 하단부가 일부 삽입되어 미세기포와 처리수가 상기 반응조 바닥으로 유도되는 유도관;

상기 반응조 안의 상향류 유체를 기체와 액체로 분리하는 기-액 분리조;를 포함하는 제트루프 반응기.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 기-액 분리조는 액체순환펌프와 가스유출밸브를 갖는 것을 특징으로 하는 제트루프 반응기.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 유도관 최하단에 형성된 복수개의 개구와,

상기 개구를 사이에 두고, 상기 유도관의 외측으로 돌출된 복수개의 선회유도판으로 구성되는 선회류 형성기;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 제트루프 반응기.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 반응조 내부 상단에 고정되는 통공형 원뿔대인 이유체 유도부재;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 제트루프 반응기.

청구항 6

제2항의 제트루프 반응기;

상기 제트루프 반응기와 순환구조로 연결된 LED광생물 반응기;를 포함하며,

상기 제트루프 반응기의 기-액 분리조의 측면과 상기 LED광생물 반응기의 투입부 사이에 놓여진 파이프와 연결된 순환펌프;와

상기 제트루프 반응기의 이유체선회노즐의 상면과 상기 LED광생물 반응기의 배출부 사이에 놓여진 파이프와 연결된 양액공급조;와

상기 양액공급조와 연결된 파이프와 연결되는 미세조류탱크;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 조류배양기.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 노즐에 관한 것으로, 반응기에 장착되는 노즐이 개선되어, 반응기 내부의 기-액간 물질전달율이 향상되는 이유체선회노즐과 이를 구비한 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로 제트루프 반응기(도 1)는 가스를 반응조로 유입시킴과 동시에 처리수도 유입시키는 이유체 혼합노즐이 사용되어 가스와 처리수가 혼합되어 순환하면서 반응조 내의 폐수를 처리하는 장치이다.

[0003] 종래의 제트루프 반응기는 일반적으로 노즐의 높은 유속으로 인한 액체 제트로 미세기포를 생성하며, 유체의 반응기내 순환에 따른 혼합효과를 증진시킨다.

[0004] 그러나 종래의 제트루프 반응기의 기존의 일반적인 노즐(도 2)에서는 처리조 내로 주입된 기-액상의 흐름을 축방향 흐름에 의존하므로, 반응기 내부에 수용되는 액체와 노즐에서 뿜어지는 기체간 혼합이 제한되는 문제점이 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국 공개번호 2009-0018649 (2009.02.20)

(특허문헌 0002) 미국 공개번호 20030146301 (2003.08.07)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 상기 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은, 이유체가 선회력을 가질 수 있도록 이유체선회노즐을 개발하여 기존의 제트루프 반응기의 성능이 향상되고, 반응조(Annular space)에 선회류 형성기를 설치함으로써 기-액간 물질전달율이 향상되고, 반응조 내벽을 따라 상향이동하는 이유체를 유도관 상단으로 유도하여 유도관을 따라 하향이동하게 하는 이유체 유도부재가 적용되어 가스이용율이 증진 되도록 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명은 상기 첫 번째 목적을 달성하기 위하여, 가스유입관과 가스유입관을 감싸고, 토출구가 유입구보다 작은 액체유입관과 가스유입관의 외벽주위와 액체유입관의 내벽 주위를 연속으로 선회하는 곡면으로 연결하는 선회유도스크류를 포함하는 이유체선회노즐을 제공한다.

[0008] 본 발명은 상기 두 번째 목적을 달성하기 위하여, 상기 이유체선회노즐과, 이유체선회노즐에서 뿜어져 나온 미세기포와 처리수가 반응기 바닥으로 하향 유도되는 유도관과, 유도관을 통과한 기포와 처리수가 반응조(annular space)를 통해 상향류로, 그리고 반응조 안의 상향류 유체를 기체와 액체로 분리하는 기-액 분리조를 포함하는 제트루프 반응기를 제공한다.

[0009] 본 발명의 하나의 측면에 의하면, 상기 기-액 분리조는 액체순환펌프와 가스유출밸브를 가질 수 있다.

[0010] 본 발명의 다른 측면에 의하면, 상기 유도관 최하단에 형성된 복수개의 개구와, 개구를 사이에 두고, 유도관의 외측으로 돌출된 복수개의 선회유도판으로 구성되는 선회류 형성기를 더 포함할 수 있다.

[0011] 또한, 상기 반응조 내부 상단에 고정되는 통공형 원뿔대인 이유체 유도부재를 더 포함할 수 있다.

[0012] 본 발명의 또 다른 측면에 의하면, 상기 제트루프 반응기와, 제트루프 반응기와 순환구조로 연결된 LED광생물 반응기를 포함하며, 제트루프 반응기의 기-액 분리조의 측면과 LED광생물 반응기의 투입부 사이에 놓여진 파이프와 연결된 순환펌프와, 제트루프 반응기의 이유체선회노즐의 상면과 LED광생물 반응기의 배출부 사이에 놓여진 파이프와 연결된 양액공급조와, 양액공급조와 연결된 파이프와 연결되는 미세조류탱크를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 조류배양기를 제공한다.

발명의 효과

[0013] 기존의 이유체 노즐 대신 본 발명의 이유체 선회노즐을 설치함으로써 반응기 내부에서 난류강도가 증가되고, 이로 인하여 기-액 흡수반응이 일어날 때, 기체경막(gas film)과 액체경막(liquid film)에서 기전력(driving force) 에 해당하는 농도구배가 증가 되어, 기-액간 물질전달율이 향상된다.

[0014] 본 발명의 이유체선회노즐을 장착한 루프반응기 등은 노즐의 단순한 구조로 인해 막힘 현상이 일어나지 않아 가동효율이 증가된다.

[0015] 또한, 이유체 선회노즐에서 생성된 선회류가 반응조(annular space)에서 더 강화되어 난류강도가 더 증가된다. 이로 인하여 기-액 필름에서의 농도구배가 더 증가되기 때문에, 기-액간 물질전달율이 향상된다.

[0016] 또한, 반응기 내벽에 이유체 유도부재가 설치되므로, 반응조 측벽을 따라 상승하는 이유체가 유도관(draft tube)으로 재순환되는 비율이 증가되고, 이에 따라 버블의 반응조 내에서의 체류시간이 길어져 가스이용율이 증진된다. 추가적으로 이유체 유도부재에 일정간격으로 구멍이 설치됨으로써 사역(dead space)이 생기는 문제가 방지된다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 종래 기술의 제트루프 반응기,

도 2는 종래 기술의 이유체 노즐의 팁부분 단면도,

도 3은 본 발명의 제1 실시예의 제트루프 반응기의 흐름도,

도 4는 본 발명의 이유체 선회노즐의 팁부분 단면도 및 구성도,

도 5는 기존노즐과 신규노즐의 pH변화그래프,

도 6은 본 발명의 제2 실시예의 제트루프 반응기의 요부 단면도,

도 7은 본 발명의 제3 실시예의 제트루프 반응기의 요부 단면도,

도 8은 본 발명의 제4 실시예의 조류배양기의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 바람직한 실시예에 의해 상세히 설명하기로 한다.

[0019] 도 3은 본 발명의 제1 실시예의 제트루프 반응기의 흐름도이고, 도 4는 본 발명의 이유체 선회노즐의 팁부분 단면도 및 구성도이고, 도 5는 기존노즐과 신규노즐의 pH변화그래프 이다.

[0020] 본 발명의 제1 실시예의 제트루프 반응기(Jet Loop Reactor)는 전체 모양이 원통형이며 내부에 유도관(draft tube)(13)이 있는 형태이다. 전체 구성은 반응조(12), 유도관(draft tube)(13), 노즐(10), 기-액 분리조의 4부분이다. 반응조(12)의 전체높이는 1m이고, 유효용적은 14L 이다. 반응조(12), 유도관(draft tube)(13), 기-액분리조는 투명아크릴로 제작된다. 반응조(12)는 실린더 형으로 높이 850㎜, 내부직경 100㎜, 두께 5㎜로 제작되고, 유도관(draft tube)(13)은 높이 600㎜, 내부직경 49㎜, 두께 3㎜로 제작되고, 기-액분리조는 높이 350㎜, 내부직경 300㎜, 두께 5㎜로 제작된다.

[0021] 본 발명의 제1 실시예의 이유체선회노즐(도4)의 액체유입관(19)은 16㎜의 내부직경을 가지며 PVC재질로 제작되고, 노즐(10)의 토출부는 5㎜의 내부직경을 가지며, 산 높이 5㎜, 산 간격 7㎜, 전체높이 15㎜의 선회류 유도스크류(18)가 액체유입관(19)에 삽입되는데, 노즐(10)의 토출부로부터 75㎜ 상단까지 삽입된다.

[0022] 가스유입관(17)은 내경 2㎜, 두께 0.5㎜인 스테인레스강 재질로 제작되어 액체유입관(19)과 동심원을 이루며 설치되어, 액체유입관(19)과 노즐(10)의 토출부의 경계지점까지 위치된다.

[0023] 이러한 노즐(10)을 채용한 제트루프 반응기는 내부에 기계 부품이 없어서 막힘 현상이 발생치 않으므로, 이를 이용하여 미세조류를 LED광생물 반응기로 순환시키면 예상되는 문제점이 최소화 된다.

[0024] 또한, 회분식(batch experiment) 또는 반회분식 배양장치에서 미세조류를 배양할 때 발생되는 pH상승 문제점이 제트루프 반응기의 CO_2자동 공급에 의해 해소될 수 있다.

[0025] 도 3의 본 발명의 제1 실시예의 제트루프 반응기(Jet Loop Reactor)의 작동원리는 다음과 같다. 먼저 액체유입용 정량펌프(4)로 반응조(12)가 처리수로 채워진 뒤, 순환펌프(9)가 이유체 선회노즐(10)의 액체유입관(19)으로

액을 유입시킨다. 가스는 CO_2가 함유된 air bomb의 레귤레이터를 통해 이유체선회노즐(10)의 가스유입관(19)으로 공급된다. 노즐(10)의 토출부 상단 75㎜에서 가스유입관을 통해 유입된 가스와 액체유입관을 통해 유입된 처리수가 혼합되고 미세버블이 형성되어 토출부로 분사된다.

[0026] 노즐(10)로부터 분사된 이유체는 유도관(draft tube)(13)의 내부를 통해 하향류로 흐르게 되고, 바닥의 원뿔과 부딪혀 이유체에 포함된 가스는 더 미세한 기포로 쪼개진 후 반응조(annular space)(12)를 상향류로 통과하며 기포중의 용질이 액체 중으로 흡수된다.

[0027] 상승하는 기-액흐름 중 유도관(draft tube)(13) 외벽쪽에 근접한 유선(stream line)은 노즐(10)에서 분사되는 유속에 의해 다시 유도관(draft tube)(13) 내부로 재순환된다.

[0028] 그러나 상향류의 유체 중 반응조(12) 벽에 가까운 유체(즉, 유도관(draft tube)(13) 외벽으로부터 먼 쪽 유체)는 재순환되지 않고 기-액 분리조로 흘러들어간다. 기-액 분리조로 흘러들어간 유체 중 기체는 분리되어 상부 가스유출밸브(11)를 통해 배출되고 처리수는 다시 순환펌프(9)를 통해 반응기 외부로 순환되어 다시 이유체 선회노즐(10)로 분사된다.

[0029] 본 발명의 제1 실시예는 선회류를 갖는 액체의 흐름이 이유체 노즐(10) 토출부에서 CO_2가스 기포를 미세하게 만드므로, 제트루프 반응기 내부에서 미세 CO_2기포에 의한 기액 접촉 면적이 커져 CO_2흡수 속도가 증대 된다.

[0030] 즉, 노즐(10) 내부에서의 강한 순환 흐름에 의해 혼합강도가 증가하여 CO_2흡수 속도가 증진된다.

[0031] 본 발명의 제1 실시예의 제트루프 반응기를 다음과 같은 조건으로 실험하였다.

[0032] · 회분식 반응기내 폐수량 : 14L · 폐수 온도 : 16 ℃

[0033] · 알칼리폐수의 pH : 10.10 · CO_2함유가스 주입량 : 0.5L/min

[0034] · 액체 순환유속 : 12L/min · CO_2가스 농도 : 14.63%

[0035] 도 5는 기존노즐과 신규노즐의 pH변화그래프이다. 본 발명의 제1 실시예의 제트루프 반응기를 상기 조건으로 실험한 결과로써, 기존 이유체 노즐과 이유체 선회노즐에 CO_2 함유 공기를 공급한 다음 작동시간에 따른 pH변화를 측정하였다.

[0036] 측정결과 작동시간에 따른 pH저감속도는 기존 이유체 노즐에 비해 본 발명품인 이유체 선회노즐을 사용한 경우 빠르게 나타났다.

[0037] 이와 같은 결과가 나온 이유는 기존 이유체 노즐의 경우 노즐로부터 분사된 이유체는 축방향 흐름만 존재하지만, 이유체 선회노즐의 경우 스크류에서 생성된 선회류에 의해 축방향 흐름과 접선방향 흐름이 동시에 존재하게 되어 반응기 내에서 난류강도가 증가하고, 이로 인하여 기-액 흡수반응이 일어날 때, 기체경막(gas film)과 액체경막(liquid film)에서 기전력(driving force)에 해당하는 농도구배가 증가 되어, 기-액간 물질전달율이 향상될 수 있기 때문이다.

[0038] 도 6은 본 발명의 제2 실시예의 제트루프 반응기의 요부 단면도이다.

[0039] 선회류 형성기(20)는 유도관(13) 최하단에 일정간격으로 형성된 복수개의 개구(21)와, 개구(21)를 사이에 두고 설치되며, 개구의 테두리로부터 외측으로 돌출된 복수개의 선회유도판(22)을 포함하여 구성된다.

[0040] 선회유도판(22)은 몸체의 평면형상이 호형인 판체이다. 선회유도판(22)의 폭은 개구(21)의 테두리로부터 반응조(13) 벽까지의 너비를 고려하여 선회력이 증가된 이유체가 정체되지 않도록 하는 것이 바람직하다.

[0041] 본 발명의 제2 실시예의 제트루프 반응기는 본 발명의 제1 실시예의 제트루프 반응기의 유도관(draft tube)(13) 하단에 유도관(draft tube)(13)의 횡단면적과 동일한 면적의 출구면적을 가지도록 4군데의 사각형상의 개구(21)(폭10㎜, 높이47.15㎜)를 뚫고, 개구(21)의 테두리에 선회유도판(22)을 설치함으로써 선회류 형성기(20)가 구비된다.

[0042] 이유체선회노즐(10)에서 분사된 선회류가 유도관(13) 하단에 구비된 선회류 형성기(20)를 통과하여 반응조(12)로 유입된다. 그러므로, 개구(21)를 통과한 이유체는 선회유도판(22)을 거치면서 난류강도가 더 증가된다. 이로 인하여 기체경막(gas film)과 액체경막(liquid film)에서 기전력(driving force)에 해당하는 농도구배가 증가

되어, 기-액간 물질전달율을 향상시킬 수 있다.

[0043] 도 7은 본 발명의 제3 실시예의 제트루프 반응기의 요부 단면도이다.

[0044] 본 발명의 제1 실시예의 상향류 유체 중 반응조(12) 벽에 가까운 유체(즉, 유도관(draft tube)(13) 외벽으로부터 먼 쪽 유체)는 재순환 되지 않고 기-액분리조로 흘러들어가고, 기-액분리조에서 제트루프 반응기 외부로 기체가 배출됨에 따라 기-액간 물질전달율이 낮아지는 문제점이 있었다.

[0045] 본 발명의 제3 실시예는 이러한 제1 실시예의 문제점을 해결하기 위해 제1 실시예의 제트루프 반응기의 반응조(12) 내부 상단에 내측으로 돌출되게 이유체 유도부재(23)가 형성된 것을 특징으로 한다.

[0046] 이유체 유도부재(23)는 반응조 내부 상단에 고정되는 통공형 원뿔대이다.

[0047] 이유체 유도부재(23)는 반응조(12)와 기-액분리조의 인접부근에서 상향 기울기를 가지며 반응조(12)의 벽에서부터 반응조(12)의 중심축을 향해 돌출 형성된다. 추가적으로 이유체 유도부재(23)에 일정간격으로 구멍을 설치함으로써 사역(dead space)이 생기는 문제를 방지할 수 있다.

[0048] 이와 같은 이유체 유도부재(23)가 반응조(12) 내측에 형성되면, 반응조(annular space)(12) 내벽에 가까운 상향류 유체도 유도관(draft tube)(13)으로 재순환 되는 효과를 가진다.

[0049] 더욱 자세히 설명하면, 유도관(draft tube)(13) 외부로부터 반경방향으로 멀리 떨어져 상승하는 이유체가 유도관(draft tube)(13)의 상단에 근접하도록 유도된다.

[0050] 유도된 이유체가 이유체선회노즐(10)의 분사압으로 인한 유도관(13) 내의 압력차이로 유도관(13) 안으로 빨려들므로 유도관(draft tube)(13)으로의 이유체의 재순환율이 증가된다.

[0051] 이에 따라 버블의 체류시간이 길어져 기-액간 물질전달율이 증대되어 가스 이용율이 증진된다.

[0052] 도 8은 본 발명의 제4 실시예의 조류배양기의 흐름도로써, 본 발명의 제1 내지 제3 실시예의 제트루프 반응기가 LED광생물 반응기와 조합되어 조류배양에 사용되었다.

[0053] 본 발명의 이유체선회노즐과 제트루프 반응기는 LED광생물 반응기에 사용되어 본 발명의 제4 실시예인 미세조류 연속배양용 순환식 조류배양기를 구성할 수 있다.

[0054] 제4 실시예의 주요장치는 이유체선회노즐을 포함하는 CO_2용해용 루프반응기와 LED광생물 반응기이다. 보조장치는 양액공급조(Nutrient Tank), 미세조류탱크(Algae Tank), 펌프, 시스템운전 제어장치이다.

[0055] 상기 주요장치와 보조장치로 구성된 본 발명의 제4 실시예의 조류배양기는 다음과 같은 특성을 갖는다.

[0056] 외부로부터 유해성 오염물질(병원성 세균, 유해가스)의 유입이 없어 Algae 배양 중 폐사 발생율이 크게 낮아지며(운전 중 보충수 및 배양액은 멸균수 사용), 완전 순환형 양식 시스템인 관계로 온도, pH 및 농도 조절이 용이하다. 또한, 연속적인 CO_2 공급과 최적 파장의 LED 광원에 의한 Algae 대량 배양이 가능하며, 고 Algae농축액 배출 및 새로운 Algae feeding이 용이하다.

[0057] 본 발명의 제4 실시예의 조류배양기에 사용되는 LED광생물 반응기의 구조는 다음과 같다.

[0058] LED광생물 반응기의 본체는 직육면체 구조를 갖고, 내부에 일정 굳기의 석영 유리 재질의 원통형 광생물 반응기가 수직 또는 수평으로 배열되고, 본체 벽면 내부에 LED 광을 조사할 수 있도록 LED 광원이 설치된다.

[0059] 제트루프 반응기로부터 CO_2가 용해된 액이 펌프에 의해 LED광생물 반응기로 유입되어 LED광생물 반응기를 통과한 후 제트루프 반응기로 순환된다.

[0060] 석영유리재질의 LED광생물 반응기는 반응기 본체와 탈부착이 용이하도록 제작된다.

[0061] LED 광원으로부터 발생된 열은 팬(FAN)에 의해 반응기 본체 밖으로 배출된다.

[0062] 이러한 구조의 LED광생물 반응기의 특징은 다음과 같다.

[0063] 순환 흐름형 배양기로써 미세조류가 부분적으로 정체되거나 침강하지 않고, 시스템 내부에서 균일한 농도로 유지된다.

[0064] 미세조류 양식에 필요한 탄소원은 제트루프 반응기로부터 일정농도로 공급받기 때문에 LED광생물 반응기 내부에

서 탄소원의 결핍현상이 없어 성장이 촉진된다.

[0065] 미세조류 양식에 최적인 파장대의 LED 광원을 사용함에 따라 성장속도가 촉진된다.

[0066] LED 광원을 사용하고 시스템을 순환식으로 운전함에 따라 배양 온도를 균일하게 조절할 수 있어 운전이 안정적이다.

[0067] 본 명세서에 기재된 본 발명의 실시 예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 실시 예에 불과할 뿐이고 발명의 기술적 사상을 모두 포괄하는 것은 아니므로, 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

[0068] 따라서, 본 발명은 상술한 실시 예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 권리범위 내에 있게 된다.

부호의 설명

[0069] 1: 저장조 2: 샘플링 밸브

3: 밸브 4: 액체유입용 정량펌프

5: 밸브 6: 체크밸브

7: 액체 유량계 8: 밸브

9: 순환펌프 10: 노즐

11: 가스유출밸브 12: 반응조

13: 유도관(draft tube) 14: 처리용액 유출밸브

15: 가스유량계 16: CO_2 bomb

17: 가스유입관 18: 선회류 유도 스크류

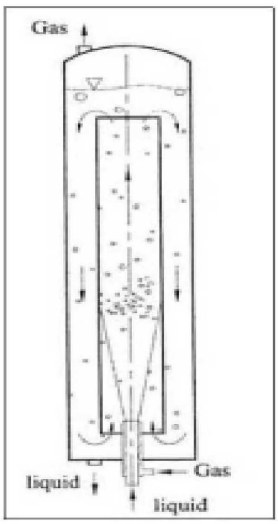
19: 액체유입관 20: 선회류형성기

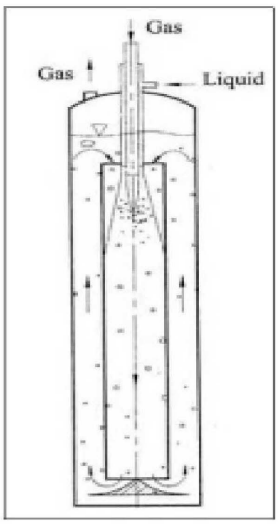
21: 개구 22: 선회유도판

23: 이유체 유도부재

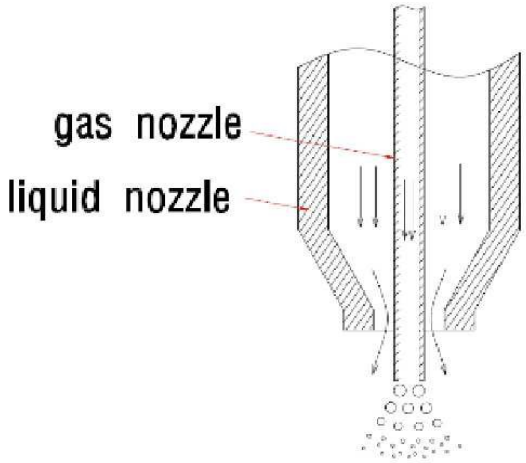
도면

도면1

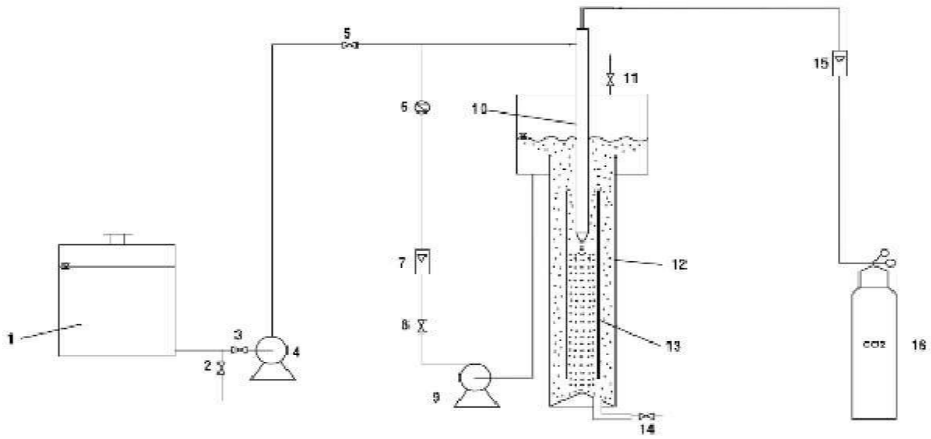




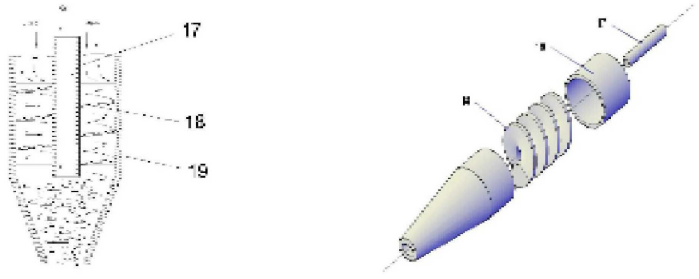
도면2


gas nozzle
liquid nozzle

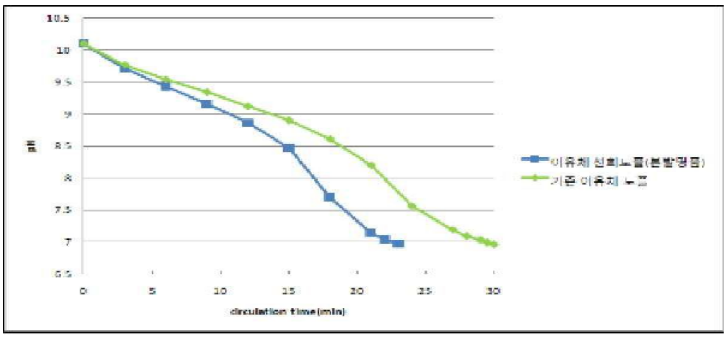
도면3


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
CO2
16

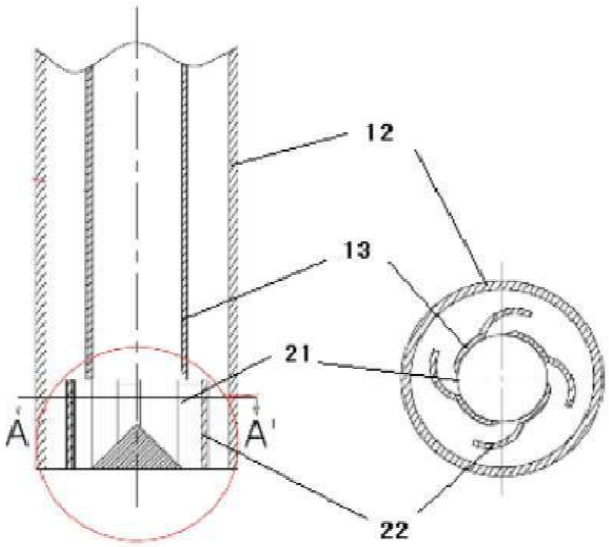
도면4


17
18
19

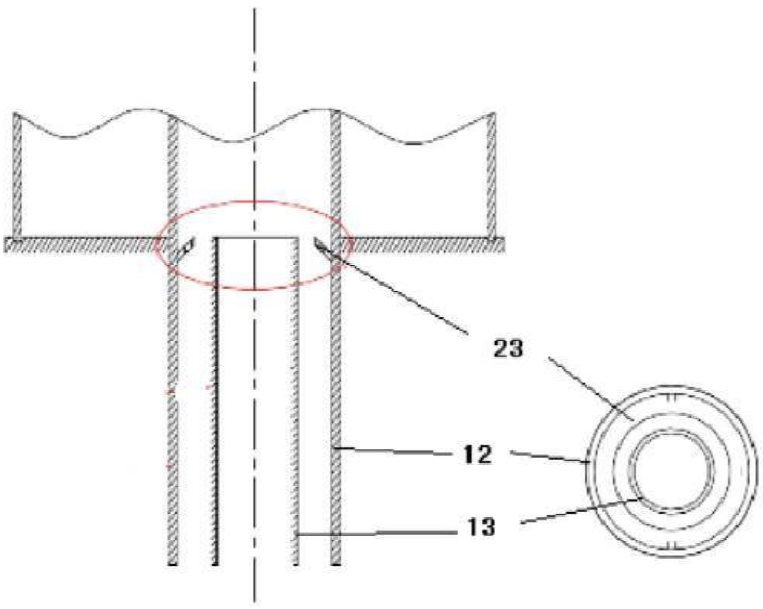
도면5


10.5
10
9.5
9
8.5
8
7.5
7
6.5
0
5
10
15
20
25
30
circulation time(min)

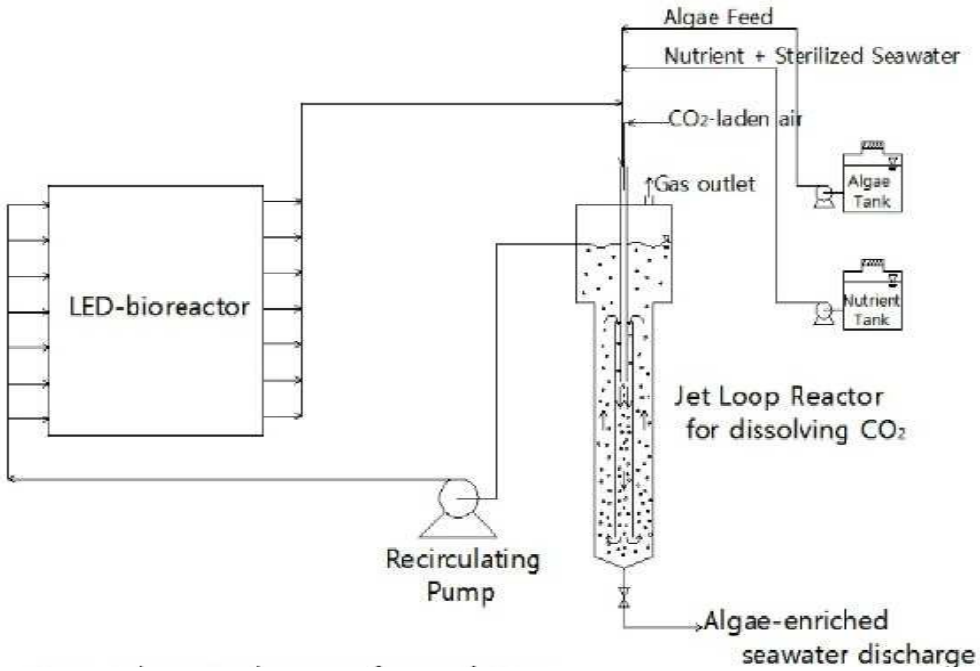
도면6


12
13
21
A
A'
22

도면7


23
12
13

도면8


Algae Feed
Nutrient + Sterilized Seawater
CO2-laden air
Gas outlet
Algae Tank
Nutrient Tank
LED-bioreactor
Jet Loop Reactor for dissolving CO2
Recirculating Pump
Algae-enriched seawater discharge