



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0110837
 (43) 공개일자 2014년09월17일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C12M 1/00 (2006.01) *C12P 7/06* (2006.01)
B01J 19/24 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2014-7008100
- (22) 출원일자(국제) 2012년09월20일
 심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2014년03월27일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2012/056261
- (87) 국제공개번호 WO 2013/043824
 국제공개일자 2013년03월28일
- (30) 우선권주장
 13/236,797 2011년09월20일 미국(US)

- (71) 출원인
아쿠아텍 바이오에너지 엘엘씨
 미국, 사우스 다코타 57110-1300, 시옥스 폴스,
 908 에스. 폰 코트
- (72) 발명자
하겐, 토니 에이.
 미국, 사우스 다코타 57110-1300, 시옥스 폴스,
 사우스 폰 코트 908
- (74) 대리인
김순용

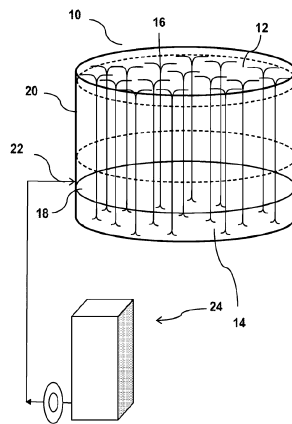
전체 청구항 수 : 총 23 항

(54) 발명의 명칭 수생 셀에서 물을 수집하기 위한 방법 및 시스템

(57) 요약

수생 식물에 의해 혐기성 대사 중에 생산된 에탄올을 수집하고, 정제하고, 및/또는 추출하기 위한 방법과 시스템이 개시된다. 시스템은 물과 수생식물, 그리고 물에서 에탄올을 제거하기 위해 셀과 유체 연통하는 에탄올 추출 어셈블리를 구비하는 셀을 포함한다. 수생 식물에 도달하는 광합성 유도 광을 조절하는 것과 같이 식물 내에서 혐기성 처리를 개시함으로써 수생 식물에 의해 에탄올이 방출된다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

식물 부산물을 제거하도록 구성된 수생 셀(aquatic cell)에 있어서, 상기 수생 셀은,
물;

입자상 물질을 포함하는 기관;

상기 기관에 배치된 적어도 뿌리 부분을 갖는 적어도 하나의 수생 식물;

상기 셀에 물을 전달하도록 구성된 물 유입구;

상기 셀에서 물을 제거하도록 구성된 물 유출구; 및

상기 물 유출구에 유동적으로 연결된 에탄올 추출 어셈블리를 포함하고,

적어도 하나의 물 유입구와 물 유출구는 기관에서 또는 그 아래에서 셀 내에 배치되고 다른 하나의 물 유입구와 물 유출구는 기관에서 또는 그 위에서 셀 내에 배치되어 유출구를 통해 셀에서 제거된 물이 기관을 통해 이동하도록 하는 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 물 유출구는 기관에 또는 그 아래에 배치되고 상기 물 유입구는 기관에 또는 그 위에 배치되는 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 물 유출구는 기관 아래의 셀의 벽 또는 바닥에 배치되는 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 물은 제 1 온도를 갖는 상부 수층 및 제 2 온도를 갖는 하부 수층을 포함하고, 상기 제 2 온도는 제 1 온도보다 낮은 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 물 유입구는 하부 수층 내에 그리고 기관 위에 배치되는 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

기관 높이에 대한 수심의 비율은 대략 1:1 내지 1:2인 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 수생 식물은 가래과(Potamogetonaceae), 붕어마름과(Ceratophyllaceae), 개미담과(Haloragaceae), 및 줄말과(Ruppiaceae) 중 하나에서 선택되는 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 수생 식물은 가래과에서 선택되는 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 수생 식물은 스투케니아 펙티나타(*Stuckenia pectinata*) 식물 또는 이의 교잡종(cross-breed) 또는 잡종(hybrid)인 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 10

제 1 온도를 갖는 상부 수층 및 제 2 온도를 갖는 하부 수층을 포함하는 물; 여기서 상기 제 2 온도는 제 1 온도보다 낮고;

상기 하부 수층에 배치된 물 유입구;

상기 저온 수층에 또는 그 아래에 배치되고 상부 토양층 및 적어도 하나의 입자상 물질을 함유하는 하부층을 포함하는 기관; 및

상기 기관 내에 배치된 적어도 뿌리 부분을 갖는 적어도 하나의 수생 식물을 포함하는 수생 셀.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 입자상 물질은 자갈을 포함하는 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 12

제 10 항에 있어서,

상기 기관은 광물질(mineral material)을 포함하는 제 3 층을 포함하는 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 13

제 10 항에 있어서,

상기 물 유입구는 제 1 온도보다 낮은 온도를 갖는 수원(water source)에 유동적으로 연결되는 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 14

제 10 항에 있어서,

상기 수생 식물에서의 광합성을 선택적으로 억제하도록 구성된 광합성 광 조절기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 15

제 10 항에 있어서,

상기 광합성 광 조절기는 광합성 차광막(light barrier)을 포함하는 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 16

제 10 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 수생 식물은 스투케니아 펙티나타 식물 또는 이의 교잡종 또는 잡종인 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 17

제 10 항에 있어서,

유출구를 통해 셀에서 제거된 물이 기관을 통해 이동하도록 기관에서 또는 그 아래에서 셀 내에 배치된 물 유출구를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수생 셀.

청구항 18

물, 미립자 기관, 및 상기 기관 내에 배치된 적어도 뿌리 부분을 갖는 적어도 하나의 수생 식물을 포함하는 수생 셀에서 물을 수집하는 방법에 있어서, 상기 방법은,

상기 기관을 통해 물을 에탄올 수집 어셈블리와 유체 연통하는 물 유출구로 이동시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 물 유출구는 기관에 또는 그 아래에 배치되고, 상기 이동 단계는 물을 기관 또는 그 위의 영역으로부터 아래를 향해 물 유출구 내로 이동시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 20

제 18 항에 있어서,

상기 셀 내에 상부 및 하부 수층을 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 21

제 20 항에 있어서,

상부 수층의 수온보다 낮은 온도를 갖는 하부 수층으로 물을 유입시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 22

제 18 항에 있어서,

상기 에탄올 수집 어셈블리로 이동된 물에서 에탄올을 제거하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 23

제 18 항에 있어서,

상기 셀의 광합성이 억제되는 동안 물이 물 유출구로 이동하는 것을 특징으로 하는 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 수생 식물을 재배하기 위한 셀(cell) 및 이러한 셀로부터 물을 수집하기 위한 방법 및 시스템에 관한 것이다. 에탄올을 포함한 다양한 수생 식물 부산물이 수집된 물로부터 제거될 수 있다.

배경기술

[0002] 현재의 에탄올 생성 공정은 주로 바이오매스 소스(biomass source)를 직접 에탄올로 변환하는 것에 의존한다. 곡물 기반 에탄올 생산에서, 예를 들어, 옥수수나 같은 곡물이 기계적으로, 열적으로 및/또는 화학적으로 가공되며, 가공된 곡물로부터 추출된 일부가 미생물을 포함하는 발효 탱크에 배치된다. 발효된 추출물은 이후 증류된다.

[0003] 종래의 에탄올 생산에서의 단점은 높은 원료(즉, 곡물) 소비, 부산물 생성, 및 물과 에너지의 소비를 포함한다. 따라서, 종래의 에탄올 제품에 대한 대안이 요구되고 있다.

[0004] 발명의 요약

[0005] 일 실시형태는, 물, 기관, 적어도 하나의 수생 식물, 물 유입구 및 물 유출구를 포함하는 셀이다. 적어도 하나의 물 유입구와 물 유출구는 기관의 깊이에서 또는 그 아래에서 셀 내에 배치되고, 나머지 물 유입구와 물 유출구는 기관의 깊이에서 또는 그 위에서 셀 내에 배치된다. 유출구를 통해 셀에서 제거되는 물은 제거되기 전에 기관을 통해 흐르거나 이동한다.

[0006] 또 다른 실시형태는, 제 1 온도의 상부 수층(water stratum)과 제 2 온도의 하부 수층을 갖는 물을 포함하는 셀이며, 여기서 제 2 온도는 제 1 온도보다 낮다. 셀은 적어도 하나의 수생 식물, 하부 수층의 깊이에 배치된 물 유입구, 및 저온의 수층에 또는 그 아래에 배치된 기관을 더 포함한다. 기관은 상부 토양층 및 적어도 하나의 입자상 물질(particulate material)을 함유하는 하부층을 포함할 수 있다.

[0007] 또 다른 실시형태는, 물, 미립자 기관, 및 기관 내에 배치된 적어도 뿌리 부분을 갖는 적어도 하나의 수생 식물을 포함하는 수생 셀에서 물을 수집하는 방법이다. 물은 물 수집 어셈블리에 연결된 기관에 또는 그 아래에 배치된 물 유출구로 기관을 통해 이동한다.

[0008] 따라서, 다음에 이어지는 본 개시의 상세한 설명이 더욱 잘 이해될 수 있도록, 그리고 기술분야에 대한 본 기여도가 더욱 잘 인정될 수 있도록, 본 개시의 더욱 중요한 특징이 오히려 광범위하게 기술되었다. 본 개시의 추가의 특징이 이하에서 설명될 것이고, 첨부된 청구항의 요지를 형성할 것이다.

[0009] 본 개시의 목적은, 본 개시를 특징짓는 새로운 다양한 특징과 함께, 본 개시에 첨부되고 이의 일부를 형성하는

청구항에서 특히 나타난다.

도면의 간단한 설명

- [0010] 본 개시의 다음과 같은 상세한 설명을 고려할 때 본 개시가 더욱 잘 이해될 것이며, 위에서 명시한 것 이외의 목적이 더욱 분명해 질 것이다. 이러한 설명은 첨부한 도면을 참조로 한다, 도면에서,
 - 도 1은 본 개시의 일 실시형태에 따른 수생 식물을 재배하기 위한 시스템의 개략도이다.
 - 도 2는 본 개시의 일 실시형태에서 수생 식물을 재배하기 위한 기관의 단면도이다.
 - 도 3은 본 개시의 일 실시형태에서 수생 식물을 재배하기 위한 기관의 단면도이다.
 - 도 4는 본 개시의 일 실시형태에 따른 수생 식물을 재배하기 위한 시스템의 개략도이다.
 - 도 5는 본 개시의 일 실시형태에 따른 수생 식물로부터 에탄올을 분리하기 위한 시스템의 개략도이다.
 - 도 6은 본 개시의 일 실시형태에 따른 수생 식물에 의해 생산된 에탄올을 수득하는 방법을 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 도 1은 물(12), 일반적으로 수생 셀(10)의 바닥 근처의 물 아래에 배치된 기관(14), 및 하나 이상의 수생 식물(16)을 포함하는 수생 셀(10)의 개략도이다.
- [0012] 셀(10)의 치수는 셀로 도입되는 수생 실물의 크기, 유형 및 수, 수심 및 기관높이에 의해 결정된다. 각각의 셀의 깊이는 대략 10 cm 내지 대략 20 m(예를 들어, 10 cm 내지 100 cm, 50 cm 내지 1 m, 100 cm 내지 1 m, 500 cm 내지 3 m, 1 m 내지 5 m, 4 m 내지 10 m, 5 m 내지 7 m, 5 m 내지 10 m, 또는 10 m 내지 20 m)의 범위일 수 있다.
- [0013] 광범위한 수심이 사용될 수 있다. 어떠한 깊이에서 비정상적으로 높은 수온과 같은 기타 환경 요인을 제공하는 매우 깊은 깊이에서 일부 식물이 성장할 수 있다는 것이 밝혀졌다. 예를 들면, *스투켄니아 펙티나타(Stuckenia pectinata)*는 20 m 이상의 수심에서 성장하는 것으로 나타났고, 이 수심에서는 열 수구(thermal vent)가 일반적으로 북미 호수에서 발견되는 것보다 적어도 따뜻한 물을 제공한다. 다른 실시형태에서, 상당히 얕은 수심이 사용될 수 있다.
- [0014] 셀의 폭과 길이는 시스템에 있어서 중요하지 않다. 셀의 폭과 길이가 동일할 필요는 없고, 시스템에서 사용될 식물의 수와 유형을 수용하도록 조정될 수 있으며, 셀의 형상, 사용 가능한 토지 면적, 원자재에 대한 접근, 및 원가 관리에 따라 더 결정될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 셀이 하나의 식물을 유지하는 크기를 가질 때, 시스템 내에 하나 이상의 셀을 포함하는 것이 유리할 수 있다.
- [0015] 셀(10) 내에 포함되는 물(12)은, 예를 들어, 열 교환기 또는 셀 내부의 히터를 사용하여 온도 조절될 수 있다. 셀에 대한 열은 또한 인접하는 에탄올 가공 설비에서 방출되는 폐열 또는 그 밖의 다른 편리한 폐열 소스로부터 얻을 수 있다. 지열 또는 태양열과 같은 추가적인 열원이 편리할 경우 이용될 수 있다. 일 실시형태에서, 폐수 처리 설비 또는 전기 설비에서 배출되는 물은 온도를 조절하고 수생 식물에 추가적인 영양분을 제공하기 위해 이용될 수 있다. 또한, 특히 더운 기후에서, 셀은 식물에 해를 끼칠 온도를 방지하기 위해 냉각을 필요로 할 수 있다. 사용되는 수생 식물의 다양성에 따라, 식물 성장과 에탄올 생산을 최적화할 수 있는 온도 범위가 선택될 수 있다. 예를 들면, *스투켄니아 펙티나타*와 같은 일부 선택된 식물은 최적의 성장을 위해 대략 32°C 내지 23°C 사이에서 유지될 수 있으나, 성장과 에탄올 생산을 위한 전체 온도 범위는 훨씬 더 넓은 범위에 속한다는 것을 이해해야 한다. 온도를 제어하는 한 가지 방식은 셀 주위의 토양이 셀의 온도를 완화시키는 땅 속에 셀을 파묻는 것이다.
- [0016] 일부 실시형태에서, 셀 내의 물의 온도는 다양한 수심에서 다양한 수온의 범위가 존재하도록 제어된다. 특히, 물의 온도는, 도 1에 도시된 온도 수층(18 및 20)과 같이, 둘 이상의(예를 들어, 3, 4, 또는 5 개의) 대체로 수평인 온도 수층으로 계층화 될 수 있다. 각각의 수층에서의 온도는 일반적으로 균일하거나 구배(gradient)를 반영할 수 있다.
- [0017] 수층 사이의 경계는 물리적 장벽을 사용하거나 사용하지 않고 유지될 수 있다. 일 실시형태에서, 적어도 대략 1°C인, 수층(18, 20) 사이의 온도 차이는 비-장벽 경계를 형성한다. 각각의 온도 영역에서 물의 이동과 온도 변

동을 최소화하는 것은 물리적 장벽을 사용하지 않고 수층 사이의 온도 차이를 유지할 수 있는 장점을 제공할 수 있다. 그러나, 온도 영역 사이의 경계를 안정화하기 위해 약간의 물 흐름이나 순환이 사용될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 계층화는 식물이 이를 통해 성장할 수 있는 천, 메쉬, 또는 다른 물질과 같은 물리적 장벽을 사용하여 안정화될 수 있다. 일부 실시형태에서, 영역 사이의 온도 차이가 대략 1°C 이상인 경우 물리적 장벽이 사용된다. 또한, 물리적 장벽은 하나의 온도 영역 내의 물로 전달되는 복사 에너지(예를 들어, 광원으로부터의 복사 에너지)의 양을 줄일 수 있다. 일부 실시형태에서, 물리적 장벽은, 식물이 장벽을 통해 성장할 수 있도록, 식물의 정착 이전에 제자리에 배치된다.

- [0018] 수온이 계층화되는 경우, 온도 영역은 사용되는 수생 식물에 맞도록 크기, 위치 및 온도가 조정될 수 있다. 예를 들면, 도 1에 도시된 바와 같이, 수층(20)은 식물(16)의 잎 부분이 있는 물(12)의 표면으로부터 식물(16)의 줄기 부분이 있는 깊이까지 연장된다. 수층(18)은 수층 경계로부터 적어도 기관 표면으로 그리고 가능하면 식물의 하부의 줄기 및/또는 뿌리가 있는 기관(14) 내로 연장된다.
- [0019] 상부 수층(20)은 대략 37°C까지의 온도, 더욱 상세하게는 대략 32°C까지의 온도, 그리고 더욱 상세하게는 대략 31°C까지의 온도를 가질 수 있다(대략 2°C 내지 대략 21°C, 대략 2°C 내지 대략 16°C, 대략 4°C 내지 대략 18°C, 대략 4°C 내지 대략 10°C, 대략 10°C 내지 대략 13°C, 대략 16°C 내지 대략 20°C, 대략 17°C 내지 대략 19°C, 대략 17°C, 대략 18°C, 대략 19°C 등을 포함함). 하부 수층(18) 내의 수온은 상부 수층(20)의 온도보다 낮은 대략 1 내지 14°C, 더욱 상세하게는 상부 수층(20)의 온도보다 낮은 대략 2 내지 6°C일 수 있다. 각각의 수층은 일반적으로 온도가 균일하거나, 또는 깊이가 깊어질수록 온도가 점차 낮아질 수 있다.
- [0020] 각각의 수층에서의 온도는 임의의 적절한 수단을 사용하여 제어될 수 있다. 예를 들면, 일부 실시형태에서, 수면 근처의 물은 태양 또는 인공 광원과 같은 광원의 방사열로 노출됨으로써 가열될 수 있다. 대안적으로, 수면 근처의 물은 발열체와 같은 열원을 사용하여 가열되거나, 셀의 외부에서 가열되어 수면 근처의 셀로 유입될 수 있다. 서늘한 온도 영역 내의 온도는, 예를 들어, 물리적 장벽 또는 염료(예를 들어, 청색 염료)와 같은 그 밖의 수단의 사용을 통해 복사 에너지원(예를 들어, 광)에 노출되는 것을 제한함으로써, 또는 제한된 온도의 물을 유입함으로써 제어될 수 있다.
- [0021] 일 실시형태에서, 셀(10)은 각각 하나의 수층의 깊이에 배치된 적어도 하나의 물 유입구를 포함한다. 물 유입구는, 온도 조절된 물을 수층으로 유입시키는 수원(water source)에 부착된다. 도 1에 도시된 셀(10)에서, 물 유입구(22)는 하부 수층(18)의 깊이 내에 배치된다. 물 유입구(22)는 수원(24)에 연결되어 있고 상부 수층(20)의 온도 보다 낮은 온도, 그리고 더욱 상세하게는 하부 수층(18)에 대해 바람직한 온도 또는 그 근처의 온도로 수층(18)에 물을 전달하도록 구성된다. 이러한 방식으로 수층(18)의 서늘한 온도는 유지되고 수층(18 및 20)은 장벽을 사용하지 않고 존재한다. 또 다른 실시형태에서, 각각의 수층에 대응하는 물 유입구가 독립적으로 수온을 조절하기 위해 사용된다.
- [0022] 온도 수층 외에도, 그 밖의 물 조건(예를 들어, 용존 가스 정도, 영양소 정도, 물 흐름 등)이 수층(18, 20) 또는 다른 영역에서 변경되어 식물의 성장, 탄수화물 생산, 및/또는 에탄올 생산에 도움을 줄 수 있다. 예를 들면, 식물(16)의 잎 부분 또는 그 근처의 물 조건은 탄수화물 생산을 촉진하기 위해 용존 CO₂를 첨가하는 것을 포함할 수 있다. CO₂ 농도는 식물(16)의 줄기 또는 뿌리 부분에 해당하는 물 영역 이하 일 수 있다. 또 다른 예에서, 수생 식물의 잎 부분 또는 그 근처의 물의 유량은 잎에서의 조류의 증착을 방지하기 위해 조정될 수 있다.
- [0023] 또 다른 예에서, 영양소의 함량은 셀의 수층 또는 다른 영역에서 다를 수 있다. 줄기 부분에 해당하는 영역에서의 물의 영양소 함량은 잎에 해당하는 영역에서의 물보다 더 높은 농도의 다량영양소(macronutrient) 및/또는 미량영양소(micronutrient)를 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 기관의 표면 근처의 물은 다른 영역에서의 물보다 더 높은 질소 농도를 가질 수 있다. 영양소 농도는 수생 식물에 영양소를 공급할 뿐만 아니라 조류의 성장을 낮게 유지시키기 위해 조정될 수 있다.
- [0024] 기관(14)은 식물(12)의 근계(root system)를 고정하며, 아래에서 더욱 더 설명되는 바와 같이, 에탄올과 같은 식물 부산물이 방출되는 영역을 포함할 수 있다. 일 실시형태에서, 기관은 주요 정착 기구(anchoring mechanism) 역할을 하는 입자상 물질을 포함한다. 그러나, 뿌리가 둘러볼고 서로 결합하는 격자(grid) 또는 스크린(screen)과 같은 기계적 정착 장치가 또한 선택적으로 사용될 수 있다. 기관 두께에 대한 수심의 비율은 대략 2:1 내지 대략 1:2 범위일 수 있다. 일 실시형태에서, 수심은 예를 들어, 대략 1:1 이하, 더욱 상세하게는 대략 1:1 내지 대략 1:2의 수심/기관 두께 비율과 같이, 기관 두께보다 작거나 같을 수 있다. 또 다른 실시형태

에서, 수심은 예를 들어, 1:1 이하의 수심/기관 두께 비율과 같이, 기관 두께보다 작다.

- [0025] 일 실시형태에서, 기관(14)은 다공성 광물질(mineral material)로 형성된 조립자(coarse particulate)를 사용할 수 있다. 일 실시형태에서, 기관(14)은 층으로 형성될 수 있는 두 개 이상의 물질을 포함할 수 있다. 화학적 조성(예를 들어, 영양소 함량 또는 pH), 물리적 조성(예를 들어, 거침(coarseness) 또는 밀도), 생물학적 조성(예를 들어, 박테리아) 등의 변화를 포함하는 각각의 기관층의 특징은, 사용되는 식물에 적합하도록 구성될 수 있다.
- [0026] 일부 실시형태에서, 기관(14)의 하나의 층은, 부엽토를 포함할 수 있는, 토양 조성을 포함하고, 이는 영양소를 저장하고 물에 영양소를 방출하는 능력을 가지며, 기관(14)의 다른 하나의 층은, 질소 고정 박테리아와 같이, 세균의 군체 형성에 적합한 다공성 물질을 포함한다. 물, 열, 기체 및/또는 영양소가 투과할 수 있도록 하는 기관 물질의 능력과 같은 그 밖의 특징이 또한 고려될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 기관은 콩 자갈(pea gravel)과 같은 대형 입자상 물질의 층을 포함할 수 있으며, 이는 기관을 통한 물의 흐름을 가능하게 할 수 있다.
- [0027] 도 2는 일 실시형태에 따른 기관(14)의 단면도이다. 기관(14)은 기관(14)의 표면으로부터 대략 15 cm 내지 대략 30 cm(예를 들어, 대략 15 내지 대략 25 cm, 대략 20 cm 내지 대략 30 cm, 대략 25 cm 내지 대략 30 cm, 대략 15 cm, 대략 18 cm, 대략 20 cm, 대략 25 cm 등)의 깊이로 연장되는 토양 또는 부엽토의 상부층(24)을 포함한다. 상부층(24)은 식물의 뿌리에 영양소를 공급할 수 있고 및/또는 질산염 등의 영양소를 기관(14) 위의 물로 침출시킬 수 있다. 하부층(26)은, 본원에서 더 논의되는 이유로 인해, 기관을 통해 물이 흐를 수 있게 하는데 적합한 콩 자갈과 같은 조립자 물질이다. 하부층(26)은 또한, 발열체가 기관 아래에 배치된 경우, 열 전도를 촉진할 수 있다. 하부층(26)은 대략 15 cm 내지 대략 30 cm(예를 들어, 대략 15 내지 대략 25 cm, 대략 20 cm 내지 대략 30 cm, 대략 25 cm 내지 대략 30 cm, 대략 15 cm, 대략 18 cm, 대략 20 cm, 대략 25 cm 등)의 깊이를 가질 수 있다.
- [0028] 도 3은 또 다른 실시형태에 따른 기관(14)의 단면도이며, 이는 다공성 광물질(예를 들어, 몬모릴로나이트(montmorillonite), 하소 적철광(calcined hematite))을 함유하는 추가층(28)을 포함한다. 추가층(28)은 질소 고정 호기성 및 혐기성 세균의 부착 부위를 제공할 수 있다. 추가층(28)은 기관(14)의 최상층으로 도시되었으며, 대략 15 cm 내지 대략 30 cm(예를 들어, 대략 15 내지 대략 25 cm, 대략 20 cm 내지 대략 30 cm, 대략 25 cm 내지 대략 30 cm, 대략 15 cm, 대략 18 cm, 대략 20 cm, 대략 25 cm 등)의 높이를 가질 수 있다. 대안적인 실시형태에서, 추가층(28)은 층(24 및 26) 사이의 중간층으로 제공될 수 있다.
- [0029] 일부 실시형태에서, 영양소가 기관에 첨가되어 식물 및/또는 질소 고정 세균에 다량영양소 및/또는 미량영양소를 제공한다. 예를 들어, 물 유입구(22)를 통해 펠렛 비료 또는 영양분이 풍부한 물을 첨가하는 것과 같이, 임의의 적절한 방법을 사용하여 기관에 영양소를 첨가할 수 있다.
- [0030] 수생 식물(16)은 물에서 직접 또는 영구적인 포화 토양과 같은 수생 환경에서 쉽게 살아가는 얼마든지 많은 수의 수생 식물에서 선택될 수 있다. 더욱 일반적으로, 용어 "수생 식물"은, 지속적으로 물에 잠기거나 또는 홍수 기간 동안 간헐적으로 침수되는 것에 대해 높은 내성을 갖는 임의의 조류, 수생 식물 또는 반-수생 식물을 포함할 수 있다. 또한, 한 가지 이상의 유형의 수생 식물이 하나의 셀 내에서 사용될 수 있다.
- [0031] 더욱 상세하게, 적절한 식물은 본원에 개시된 조건 하에서 에탄올을 분비하는 것들을 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 수생 식물(16)은 유전자 조작되지 않는 식물이다. 다른 실시형태에서, 수생 식물(16)은 유전자 조작된 식물이다. 유전자 조작은 해충에 대한 내성, 농약 또는 제초제에 대한 내성, 열에 대한 내성, 추위에 대한 내성 및/또는 식물 부산물(예를 들어, 에탄올)의 높은 농도에 대한 내성을 부여하는 이식유전자의 도입을 제한 없이 포함한다.
- [0032] 적절한 수생 식물은, 예를 들어, 조류, 이에 제한되지 않으나, *스투케니아 펙티나타*(이전에는 *포타모게톤 펙티나투스*(*Potamogeton pectinatus*)로 알려졌고 일반적으로 사고 가래속 수초(Sago Pondweed)라 불림), *Stuckenia vaginata*(*스투케니아 바지나타*), *스투케니아 필리포르미스*(*Stuckenia filiformis*), *말즘*(*Potamogeton crispus*), *가래*(*Potamogeton distinctus*), *포타모게톤 노도수스*(*Potamogeton nodosus*), *줄말*(*Ruppia maritima*), *이삭물수세미*(*Myriophyllum spicatum*), *검정말*(*Hydrilla verticillata*), *엘로테아 덴사*(*Elodea densa*), *쇠뜨기말풀*(*Hippuris vulgaris*), *아포노게톤 보이비니아누스*(*Aponogeton boivinianus*), *아포노게톤 리기디폴리우스*(*Aponogeton rigidifolius*), *아포노게톤 롱기플루물루스*(*Aponogeton longiplumulosus*), *디디폴리스 디안드라*(*Didiplis diandra*), *베시쿨라리아 두비아나*(*Vesicularia dubyana*), *하이그로필라 안구스티폴리*

아(*Hygrophila angustifolia*), 미크란테뭉 움브로숨(*Micranthemum umbrosum*), 에이크호니아 아주레아(*Eichhornia azurea*), 사우루루스 케르누스(*Saururus cernuus*), 크립토크리네 링구아(*Cryptocoryne lingua*), 히드로트리케 호토니플로라(*Hydrotriche hottoniiflora*), 에우스테랄리스 스텔라타(*Eusteralis stellata*), 발리스네리아 루브라(*Vallisneria rubra*), 하이그로필라 살리시폴리아(*Hygrophila salicifolia*), 시페루스 헬페리(*Cyperus helferi*), 크립토크리네 펠치(*Cryptocoryne petchii*), 발리스네리아 아메리카나(*Vallisneria Americana*), 발리스네리아 토타(*Vallisneria torta*), 히드로트리케 호토니플로라(*Hydrotriche hottoniiflora*), 크라슐라 헬시(*Crassula helmsii*), 림노필라 세실리플로라(*Limnophila sessiliflora*), 넓은잎말(*Potamogeton perfoliatus*), 로탈라 왈리치(*Rotala wallichii*), 크립토크리네 베키테티(*Cryptocoryne beckettii*), 블랙사 아우베르티이(*Blyxa aubertii*), 및 하이그로필라 디포미스(*Hygrophila difformis*)와 같은 침수생 수생 허브, 이에 제한되지 않으나, 개구리밥(*Spirodela polyrrhiza*), 울피아 글로보사(*Wolffia globosa*), 램나 트리술카(*Lemna trisulca*), 램나 기바(*Lemna gibba*), 램나 미노르(*Lemna minor*), 및 란돌티아 푼타타(*Landoltia punctata*)와 같은 잠개구리밥(duckweed), 이에 제한되지 않으나, 물 상추(*Pistia stratiotes*)와 같은 물 배추(water cabbage), 이에 제한되지 않으나, 미나리아재비속(*Ranunculus*)과 같은 미나리아재비(buttercup), 이에 제한되지 않으나, 트라파 나탄스(*Trapa natans*) 및 트라파 비코니스(*Trapa bicornis*)와 같은 물 마름쇠(water caltrop), 이에 제한되지 않으나, 님피아아 로투스(*Nymphaea lotus*), 수련과(*Nymphaeaceae*) 및 연꽃과(*Nelumbonaceae*)와 같은 수련(water lily), 이에 제한되지 않으나, 부레옥잠(*Eichhornia crassipes*), 볼비티스 헤우델로티(*Bolbitis heudelotii*), 및 어항마름속(*Cabomba*)과 같은 부레옥잠(water hyacinth), 및 이에 제한되지 않으나, 헤테란테라 조스테리폴리아(*Heteranthera zosterifolia*), 포시도니아과(*Posidoniaceae*), 거머리말과(*Zosteraceae*), 자라풀과(*Hydrocharitaceae*), 키모도케아과(*Cymodoceaceae*)와 같은 해조(seagrass), 및 이러한 식물의 잡종을 포함할 수 있다. 또한, 다양한 실시형태 중 하나의 실시형태에서, 녹조류(green algae), 홍조류(red algae), 갈조류(brown algae), 규조류(diatom), 해조류(marine algae), 담수조류(freshwater algae), 단세포 조류(unicellular algae), 다세포 조류(multicellular algae), 해초(seaweed), 내한성 조류 균주(cold-tolerant algal strain), 내열성 조류 균주(heat-tolerant algal strain), 에탄올 내성 조류 균주(ethanol-tolerant algal strain), 및 이들의 조합으로 이루어진 균에서 호스트 조류(host algae)가 선택될 수 있다.

[0033] 더욱 상세하게, 수생 식물(16)은 가래과(*Potamogetonaceae*), 붕어마름과(*Ceratophyllaceae*), 개미담과(*Haloragaceae*), 및 줄말과(*Ruppiaaceae*)에서 선택된 과의 중(예를 들어, 자연적으로 발생하는 중), 교잡종(cross-breed) 또는 잡종(hybrid)이다. 스투케니아 펙티나타종 및 이들의 교잡종과 잡종(예를 들어, 스투케니아 펙티나타 x 스투케니아 바지나타 및 스투케니아 필리포르미스 x 스투케니아 펙티나타)이 특히 적합하다. 이러한 수생 식물은, 호기성 CO₂ 생산에 대한 혐기성 CO₂ 생산의 비율을 높이는, 큰 파스퇴르 효과(Pasteur effect)를 가질 수 있다. 통상적으로, 이러한 비율은 대략 1:3이지만, 스투케니아 펙티나타와 같은 수생 식물은 이러한 비율을 2:1로 높일 수 있다.

[0034] 수생 식물은, 호수나 연못에서 식물을 수집하거나, 이들을 탱크에서 재배하거나, 또는 이들을 셀(10)에서 직접 재배하는 것과 같은 임의의 편리한 방식으로 채취하여 셀 내에 배치할 수 있다. 셀에서 사용되는 물의 유형은 식물의 종류에 따라 달라질 수 있으나, 담수, 염수 및 기수(brackish water)가 다양한 실시형태에 모두 적합하다.

[0035] 도 4는 셀(12)의 또 다른 실시형태를 도시하고 있으며, 이는 기관(14)의 깊이에서 또는 공간(34)과 같은 기관의 아래에서 셀(10)에 유동적으로 연결된 물 유출구(30)를 더 포함한다. 물 유출구(30)는 도 5에 더 설명되는 물 수집 어셈블리(34)에 유동적으로 연결되어 있다. 물이 유출구(30)를 통해 이동할 때, 예를 들어 펌프를 이용하여, 셀(10)의 흡수선(water line) 위의 개구부와 같은 물 유입구를 통해 추가의 물이 유입(예를 들어, 펌핑)되거나, 또는 수원(24)에 연결된 물 유입구(22)를 통해 펌핑될 수 있다.

[0036] 물에서 다양한 다른 성분 또는 부산물을 추출하는데 물 수집 어셈블리(34)가 사용될 수 있다. 일 실시형태에서, 도 5에 도시되고 도 5를 참조로 더욱 자세하게 논의되는 에탄올 추출 어셈블리를 사용하여 물에서 에탄올이 수집된다. 본원에 명시된 실험 결과는, 에탄올이 식물에 의해 하루 수층(18) 및/또는 기관(14)으로 방출되는 것을 나타낸다. 이와 같이, 기관 위에 배치된 수원과 함께 기관 또는 그 아래로의 물 유출구(30)의 배치는, 에탄올(또는 그 밖의 부산물)이 가장 잘 농축되는 기관 영역을 통해 물이 이동할 수 있게 한다. 물 유입구(22)가 기관(14)의 깊이에 또는 그 아래에 배치되고 물 유출구(30)가 기관의 깊이에 또는 그 위에 배치되도록 셀(12)이 구성되는 경우도 유사한 결과를 얻을 수 있다.

[0037] 도 5는 셀(60)과 에탄올 제거 어셈블리(66) 사이에 순환 루프(67)를 포함하는 시스템(50)을 도시하고 있다. 이

시스템은 펌프(63)에 의해 순환 루프(67)를 통해 이동하는 물을 처리하기 위해 통풍기(78) 및/또는 산소 제거 장치(76)를 구비하는 선택적 순환 루프(90)를 더 포함한다. 시스템(50)은 차광막(light barrier)과 함께 또는 단독으로 광 조절 시스템(62)의 역할을 하는 선택적 인공 광원(86)을 포함한다. 특히, 인공 광원(86)은 밝은 기간 동안 광합성 유도 광 및/또는 어두운 기간 동안 비-광합성 유도 광을 제공할 수 있다.

[0038] 에탄올 제거 어셈블리(66)는 물에서 에탄올을 추출하고 수집할 수 있는 다양한 시스템 및 시스템 구성요소를 포함할 수 있다. 도시된 실시형태에서, 어셈블리(66)는 물에서 에탄올을 분리하는 기능을 하는 하나 이상의 증류기(84)를 포함한다. 증류기(84)는 증기를 정화하기 위한 하나 이상의 분자체(molecular sieve, 70) 또는 에탄올 증기를 포획하기 위한 응축기(미도시), 및/또는 에탄올을 저장하기 위한 용기(74)와 유체 연통한다. 원하는 경우, 투과증발기(pervaporator, 미도시) 및/또는 기체 분리기(gas stripper)가 또한 사용될 수 있다. 예를 들면, 기체 분리는 에탄올의 농도가 비교적 낮은 지점에서 시스템에 포함될 수 있고, 증류기(84)는 에탄올의 농도가 높은 지점에서 시스템에 포함될 수 있다. 어셈블리(66)는 셀 내에서 수행되는 공정을 중단시키지 않고 계속해서 에탄올이 제거될 수 있게 한다. 에탄올 제거 어셈블리는 시스템의 임의의 지점 및 시스템 내의 물에서 에탄올을 제거하는데 적합한 임의의 조합에 포함될 수 있다. 일부 실시형태에서, 에탄올 제거 어셈블리는 시스템 내의 다수의 지점에 포함된다.

[0039] 추가의 실시형태에서, 도시된 시스템 중 어느 하나의 시스템에서의 에탄올 제거 어셈블리는 본원에 개시된 임의의 다른 구성요소와 함께 또는 단독으로 하나 이상의 에탄올 흡수 수집 시스템을 사용할 수 있다. 일반적으로, 에탄올 흡수 수집 시스템은 물과 그 밖의 관련 없는 물질에서 에탄올을 분리하기 위해 멤브레인 또는 다른 흡수 기술을 이용한다. 이러한 멤브레인의 한 가지 예는 Vaperma Gas Separation Solutions에서 제조한 "Siftek" 멤브레인이다.

[0040] 셀(10)과 에탄올 제거 어셈블리 사이에 유체 연통을 제공하기 위한 폐쇄 루프 시스템(67)을 통해 하나 이상의 펌프(63)에 의해 물이 셀에서 나오거나 셀로 재유입된다. 이러한 폐쇄 루프 시스템에서, 물 유출구(80)는 기관에 또는 그 아래에 배치될 수 있고, 물 유입구(92)는 기관에 또는 그 위에 배치될 수 있다. 이러한 구성은 상당한 농도의 에탄올이 있는 기관을 통해 물이 이동할 수 있게 한다. 폐쇄 루프 시스템(67)은, 물을 대기에 과도하게 노출시키지 않고, 위에서 논의한 모든 첨가물이 물에 공급될 수 있도록 하는 물에 대한 접근 지점을 포함할 수 있다.

[0041] 광합성 광 조절 시스템(62)은 셀 내부로 광합성 유도 광을 선택적으로 허용/억제하도록 사용된다. 방법(100)과 관련하여 얼마간의 광 조절 수단이 논의되며, 임의의 이러한 수단은 광 조절 시스템(62)의 전부 또는 일부를 구성할 수 있다. 예를 들면, 광 조절 시스템(62)은 셀(60) 위에 차광 커버 또는 차광막을 포함할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 광 조절 시스템(62)은 셀(60)이 내부에 수용되거나 포함된 구조를 갖는다. 광 조절 시스템(62)은 모든 광이 시스템의 식물에 도달하는 것을 억제할 수 있으나 반드시 그럴 필요는 없다는 것을 이해해야 한다. 오히려, 광 조절 시스템(62)은 시스템의 식물에서의 광합성을 유도할 수 있는 소정 파장이나 강도의 광만을 억제할 수 있다. 예를 들면, 광 조절 시스템(62)은 광합성을 유도하지 않는 파장만이 통과할 수 있게 하는 필터일 수 있다. 광합성을 유도하는 파장의 예는 대략 380 nm 내지 대략 710 nm의 파장을 포함한다. 사용되는 식물에 따라, 광합성을 유도하는 파장의 범위는 더 넓거나 좁을 수 있지만, 공지된 방법을 사용하여 확인될 수 있다. 일 실시형태에서, 밀봉막(sealing barrier, 65)과 광 조절 시스템(62)은 서로 분리될 수 있거나 분리될 수 없는 하나의 구조를 구성한다.

[0042] 광 조절 시스템(62)은 호기성 대사(aerobic metabolism) 중에 또는 호기성 대사를 유도하는 시점과 같은 일부 시점에서 광합성 유도 광을 선택적으로 허용하는 반면, 혐기성 대사 중에 또는 혐기성 대사를 유도하는 시점과 같은 일부 다른 시점에서 광합성 유도 광을 억제하도록 구성될 수 있다. 예를 들면, 광 조절 시스템(62)은 제거될 수 있다. 또 다른 예에서, 광 조절 시스템(62)은, 장치의 투명도나 색상이 전류의 인가에 의해 제어될 수 있도록, 전기 변색성(electrochromic)일 수 있다. 일부 실시형태에서, 광 조절 시스템(62)은 광합성 유도 광 및/또는 광합성을 유도하지 않는 광을 제공하기 위해 인공 광원(86)을 포함할 수 있다. 이러한 인공 광원(86)은 원하는 조건에 적합한 강도 또는 스펙트럼의 광을 방출하도록 구성될 수 있다. 예를 들면, 인공 광원(86)은 낮은 강도의 광 또는 혐기성 대사 기간 중 또는 혐기성 대사를 유도하는 동안 시스템의 식물에 대한 광합성 유도 광의 범위 이외의 파장을 갖는 광을 방출할 수 있다. 마찬가지로, 인공 광원(86)은 시스템의 식물의 호기성 대사 중 또는 호기성 대사를 유도하는 동안 광합성 유도를 위한 강도 또는 파장의 광을 방출할 수 있다.

[0043] 도면에 도시되고 본원에 기술되는 셀과 시스템의 다양한 구성요소가 방법(100)을 수행하기 위해 다양한 조합으로 사용될 수 있다는 것이 분명할 것이다. 또한, 물 흐름을 제어하고, 미립자를 제거하고, 물 매개변수(예를 들

어, pH)를 모니터링 및/또는 유지하고, 에탄올 농도를 모니터링하고, 식물 매개변수를 모니터링 및/또는 유지하고, 식물을 절단, 손상 또는 제거하기 위해 종래의 구성요소가 포함될 수 있다. 예를 들면, 예시적인 시스템은 밸브(82), 필터(80), 광 센서 및/또는 광도계(예를 들어, 광합성 활성 방사선 센서), pH 미터 등과 같은 구성요소를 포함할 수 있다.

- [0044] 도 6은 본 발명의 일 실시형태에 따른 에탄올을 형성하고 수집하기 위한 방법(100)을 도시하며, 여기서 수생 식물(씨앗, 덩이줄기, 식물 등의 형태)이 셀 내부로 유입된다(블록 110). 수생 식물이 셀 내부에서 정착하게 되면, 식물에서의 광합성은 억제되고, 이는 식물이 물로 에탄올을 방출하게 한다(블록 112). 선택적으로, 셀로의 광합성 유도 광 및/또는 산소의 재유입을 통해 식물의 광합성을 촉진시키고(블록 114), 이후 다시 한번 광합성을 억제시킴으로써 공정이 반복될 수 있다. 물(또는 물에 포함된 부산물)은 원하는 대로 셀에서 제거된다(블록 116).
- [0045] 씨앗 또는 덩이줄기를 심은 경우, 적절한 성장 조건 하에서 수생 식물이 충분히 성장하고 도 6에 도시된 처리 단계를 견딜 수 있게 되기까지는 어디서든지 14 일 내지 12 개월이 걸릴 것이다. 스투케니아 펙티나타의 경우, 식물이 독자 생존 가능하기까지 5 개월 내지 8 개월이 걸릴 것이다.
- [0046] 광합성을 촉진하는 광원으로부터 식물을 차단함으로써 광합성이 억제될 수 있다. 아래의 실시예에서 더 설명되는 바와 같이, 이러한 어두운 단계는 에탄올의 방출을 촉진하고 광합성을 통한 산소의 형성을 방지한다. 셀 내의 어두운 조건을 형성하기 위해 임의의 종래의 방법에 의해 광이 조절될 수 있다. 차단되어야 하는 "광"이라는 용어는 오직 복사 광의 형태 또는 광의 과장으로 적용되고, 이는 광합성 촉매로서 작용하고 각각의 식물에 의해 사용되는 화학 수용체의 종류에 의존한다는 것을 이해해야 한다. 따라서, 본원에서 사용되는 용어 "어두운"은 광합성을 촉진하는 광의 주파수의 실질적인 부재를 나타내는 것을 의미한다.
- [0047] 수생 식물에 광합성 유도 광이 도달하도록 조절하는(예를 들어, 선택적으로 차단/허용하는) 다양한 수단이 사용될 수 있다. 이러한 수단은, 예를 들어, 적어도 혐기성 처리 동안 차광막의 역할을 하는 장벽, 커버, 돔 또는 그 밖의 인클로저 구조를 포함한다. 상기한 이들 장벽, 커버 등은 수생 식물을 혐기성 조건에서 더 이상 유지하는 것이 바람직하지 않을 때 제거될 수 있다. 일 실시형태에서, 셀은 인간에게 가지적이지만 식물에 대해서는 "어두운" 조건을 촉진시키는 광을 받는다. 그 밖의 적절한 조절 수단은 광합성 유도 광을 분산시키는 광 필터를 포함한다. 인공 광원은 어두운 조건을 유지하고 및/또는 혐기성 조건이 바람직하지 않을 때 선택적으로 광합성을 허용하기 위해 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, "밝은" 조건에서 "어두운" 조건으로의 점진적인 변화 및/또는 반대의 경우는 식물에 충격을 주는 위험을 줄이는데 바람직하다.
- [0048] 선택적으로, 어두운 단계와 함께, 유기적, 화학적, 또는 기계적 수단의 사용을 통해 심각하게 산소가 고갈된(즉, 무산소(anoxic) 상태의) 셀에 물을 유입시킴으로써 셀의 산소 함량이 감소될 수 있다. 이는 또한 셀에 포함된 물에서 산소를 제거함으로써 달성될 수 있다. 용어 "무산소"는 매우 적은 양의 산소가 물에 용해되어 있을 수 있는 것과 같이, 반드시 물에서의 산소의 완전한 부재를 의미하지는 않는다는 것을 이해해야 한다.
- [0049] 대안적으로 또는 추가적으로, 옥수수, 효모, 세균(예를 들어, 유전자 조작된 박테리아 및/또는 발효할 수 있는 박테리아), 또는 이산화탄소를 생성하면서 산소와 당분을 소비하는 효모와 같은 산소 감소 첨가제가 셀에 첨가되어 산소 수준을 고갈시킬 수 있다. 산소 수준의 고갈을 촉진하기 위해, 예를 들어, 옥수수, 당밀, 밀 또는 설탕의 다른 소스와 같은 보조 탄수화물원(carbohydrate source)이 산소 감소 첨가제에 의한 사용을 위해 물에 첨가될 수 있다. 보조 탄수화물원은 시스템에서 상당한 양의 산소를 제거하기에 충분히 강한 반응을 일으키도록 효모와 함께 첨가될 수 있다. 산소 감소의 한 가지 이득은 산소 감소 첨가제에 의한 에탄올의 추가 생산일 수 있다.
- [0050] 상기한 과정은 수생 식물이 탄수화물을 대사시키고 에탄올을 생산할 수 있게 한다. 에탄올의 생산은 화학 촉매와 CO₂의 도입에 의해 더 촉진될 수 있다. 적절한 화학 촉매는 아세트산과 2,4-디클로로페녹시아세트산(일반적으로 2,4d로 알려짐)을 포함한다. CO₂는 전기 설비 및 석유 정제시설과 같은 폐기물원(waste source)으로부터 얻을 수 있다. 추가적인 영양소 및 칼륨, 질소와 인의 염과 같은 염이 더 첨가되어 수생 식물의 성장을 촉진할 수 있다. 또한, 사용되는 수생 식물의 종에 따라, 이에 제한되지 않으나, 자당, 포도당 및 초산올을 포함하는 유기 기질이 또한 셀에 첨가될 수 있다.
- [0051] 식물의 광합성은 하루 내지 수일에 걸쳐 억제될 수 있다. 스투케니아 펙티나타의 경우, 광합성은 1 내지 14 일, 더욱 상세하게는 2 내지 10일, 그리고 더욱 상세하게는 3 내지 7 일에 걸쳐 억제될 수 있다. 요구되는 시간은, 광 확산, 영양소의 이용 가능성, 셀의 크기, 식물의 크기, 식물의 다양성 및 식물의 탄소 함량과 같은 많은 요

인에 따라 달라질 수 있다. 시간의 길이의 결정은, 광합성을 재도입함으로써 여전히 식물의 복구를 허용하면서, 에탄올의 생산량을 최대화하는 것에 주로 의존한다. 식물이 유용한 매개변수를 넘어서 이의 에탄올 생산을 줄이게 되면, 무산소 조건에서 이를 유지할 필요가 없을 수 있다. 또한, 셀의 pH는 물이 지나치게 산성 또는 염기성이 되는 것을 방지하기 위해 모니터링되어야 한다. 이는, 탄산 칼슘과 염소산 칼슘과 같은 칼슘 완화 화합물로 제어되거나 (염기성 물에) CO₂를 도입하거나 또는 pH를 높이기 위해(예를 들어, 스트리핑(stripping) 또는 광합성 주도의 고갈에 의해) CO₂를 고갈시킴으로써 제어될 수 있지만, 결국은 셀 내의 특정 수생 식물 종의 내성에 의존할 것이다. 일부 실시형태에서, 세포내 pH의 저하(예를 들어, 대략 0.2 pH 단위의 저하)는 에탄올 형성을 촉발시킬 수 있다. pH 저하가 식물의 내성 및/또는 세포내 산과다증(acidosis)을 초과하는 것을 방지하기 위해 에탄올 형성 유도 직전에 pH가 상승될 수 있다.

[0052] 추가의 실시형태에서, 염기성 처리는, 셀 내부와 외부로의 가스(예를 들어, 공기, 산소, CO₂, 질소 등)의 이동을 조절하기 위해 하나 이상의 밀봉막으로 셀을 덮음으로써 촉진될 수 있다. 예를 들면, 밀봉막은 셀 내부로의 산소의 원치 않는 유입을 방지할 수 있다. 밀봉막(또는 추가의 밀봉막)은 또한, 특히 CO₂가 셀에 첨가되고 있는 경우, 셀 내부에 CO₂를 유지하기 위해 사용될 수 있다. 또한, 높은 CO₂ 수준이 또한 물에서의 모든 O₂를 더 희석하기 위해 유지되거나 또는 밀봉과 셀 사이에서 가두어질 수 있다. 밀봉막은 셀을 밀봉하여 셀과 인접한 대기 사이의 유체 연통을 방지할 것이다. 이는 산소가 셀에 침투하는 것을 방지하고 혐기성 처리를 촉진할 것이다. 일부 실시형태에서, 밀봉막은 또한 수면 위의 습기 수준의 유지를 촉진시켜 물에 잠긴 잎의 건조를 방지할 것이다. 또한, 잎은 건조를 방지하기 위해 물이 분무될 수 있다. 밀봉막은 수생 식물에 광을 제공하기 위해 자연적으로 및/또는 인공적으로 사용되는 광원으로부터의 복사열의 포획을 촉진하기 위한 반투명 막일 수 있다. 밀봉막은 또한, 상기한 바와 같이, 혐기성 처리 동안 광이 셀에 침투하는 것을 방지하기 위해 셀 위에 배치된 차광막을 구성하거나 구성하지 않을 수 있다. 밀봉막과 차광막은 종래의 물질로 형성될 수 있다. 그러나, 셀 주위에 구성되는 주택, 탱크, 돔 또는 그 밖의 구조가 그와 같은 역할로 사용되는 경우 또한 밀봉막과 차광막을 형성할 수 있다는 것을 이해해야 한다.

[0053] 일 실시형태에서, 상기한 처리는 식물의 광합성을 재개하기 이전, 이후 또는 교대로 진행된다. 수생 식물은 셀 내부에서 산소화된 조건을 허용함으로써 광합성을 유도하고 혐기성 처리를 중단하기 위해 광에 노출되며, 이는 호기성 처리를 개시하고 및/또는 촉진시킨다. 이러한 밝은 단계는 본원에서 논의되는 광 조절 수단과 시스템을 조합함으로써 달성될 수 있다. 예를 들면, 자연 또는 인공 광합성 유도 광이 수생 식물에 도달할 수 있도록 차광막, 커버, 또는 필터 등이 제거될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 차광막은 제자리에 남을 수 있고 광합성 유도 광이 수생 식물에 도달할 수 있도록 인공 광원이 조절될 수 있다.

[0054] 밝은 단계 동안, 셀 내부에 수생 식물에 의한 탄수화물의 생성과 저장을 촉진시키는 산소화된 조건을 형성함으로써 호기성 처리가 더 개시될 수 있다. 이러한 산소화된 조건은 독립적으로 또는 합동으로 사용될 수 있는 다양한 방법에 의해 형성될 수 있다. 일 실시형태에서, 산소 공급된 물이 셀에 첨가되거나 또는 산소가 셀 내에 포함된 물에 직접 유입될 수 있다. 또 다른 실시형태에서, 물의 산소 농도가 자연적으로 증가할 수 있도록 가스 장벽이 제거된다. 따라서, 산소 공급된 물을 셀에 유입시킴으로써, 무산소수를 제거하고 및/또는 산소를 방출하는 식물에 의해 그리고 산소화된 분위기에 노출시킴으로써 물이 자연적으로 산소 공급 되도록 함으로써 산소화된 조건이 달성될 수 있다.

[0055] 호기성 처리 동안, 영양소가 셀에 첨가되어 수생 식물에 영양소를 제공할 수 있다. 또한, 수생 식물의 성장을 촉진하는 온도 조절이 되도록 최대 태양광/인공 광의 여과가 촉진된다. 광 그 자체는 인공 광의 첨가에 의해 강화될 수 있다.

[0056] 일반적으로, 밝은 단계는 1/2 일 내지 15 일, 더욱 일반적으로는 3 내지 10 일 동안 계속되어 수생 식물이 탄수화물을 재형성하도록 할 수 있지만, 이러한 기간은 식물의 특정 요건에 대해 조절될 수 있다. 이러한 시간 동안, 수생 식물은 대사 과정을 통해 탄수화물을 형성하고 보유한다. 호기성 처리의 기간은 여러 요인에 의존하지만, 탄수화물 생산이 둔화되기 시작하거나 소정 수준에 도달할 때 일반적으로 종료할 것이다. 포타모게톤 펙티나투스(스투케니아 펙티나투스)인 경우, 이는 셀 내부의 환경 조건에 따라 2 일 내지 14일, 더욱 상세하게는, 3 일 내지 10 일일 수 있다. 본원에서 사용되는 용어 "일"은 24 시간 주기를 의미한다.

[0057] 특히, 밝고 어두운 조건을 조작하는 것은 수생 식물이 에탄올과 당분을 생산하는 방식에 영향을 주는 것이 밝혀졌다. 예를 들면, 일부 수생 식물은 에탄올 생산 공정을 촉진시키기 위해 어두운 단계를 형성하는 연속적인 수일 동안 광을 제한한 다음 밝은 단계를 형성하는 연속적인 수일 동안 광에 노출될 수 있다. 일 실시형태에서,

혐기성 조건의 개시 이전 또는 이후 동시에 또는 얼마 후에, 바람직하게는 1 내지 3 일 이내에 어두운 단계가 발생하도록 맞춰진다.

- [0058] 밝은 단계가 종료되면, 산소화된 단계 및 산소의 양이 고갈된 무산소 단계 사이에 과도기가 있을 수 있다. 과도기 동안, 셀에 효모를 첨가하는 것이 유리할 수 있으며, 이는 산소의 감소를 촉진할 것이고 효모가 에탄올을 형성할 수 있게 할 것이다. 효모에 의해 형성된 에탄올은 식물에 의한 혐기성 활동에 대한 촉매 역할을 할 수 있고 추가적인 에탄올 생산 수단을 제공할 것이다. 효모와 함께 첨가된 당분 또는 그 밖의 탄수화물은 혐기성 활동을 더 향상시킬 수 있다.
- [0059] 일반적으로, 밝은 단계에 대한 어두운 단계의 비율은 1:2 이내 그리고 1:10과 같이 작을 것이고, 1:2 내지 1:7 의 더욱 일반적인 비율일 것이다. 밝은 단계 및 어두운 단계 동안 당분과 에탄올 모두의 형성을 촉진하도록 CO₂ 가 물에 첨가될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 마지막으로, 특정 식물이 어두운 단계의 4 시간 미만 이후 에탄올 생산을 경험할 수 있으므로, 상기한 밝은 단계 및 어두운 단계를 제어하는 능력과 본원에 개시된 비율은 모든 수생 식물에 적용할 수 없다. 이러한 유형의 수생 식물에 있어서, 어두운 단계에 대한 밝은 단계의 비율은 2:1보다 클 수 있지만, 이러한 수생 식물은 스투케니아 펙티나타와 같은 식물이 경험하는 것 보다 에탄올 생산에 대해 다양한 제한을 가질 수 있다.
- [0060] 최대의 탄수화물 생성 또는 이의 소정 수준의 생성이 이루어지면, 어두운 단계는 탄수화물 대사 및 에탄올 생성의 과정을 시작하도록 다시 개시된다. 광합성 조건을 억제하고 재도입하는 단계는 탄수화물 생산 이후에 에탄올 생산을 계속해서 촉진하도록 반복될 수 있다. 일부 실시형태에서, "밝은" 기간 그리고 "어두운" 기간은 밤과 낮의 조건을 시뮬레이션하는 방식으로 맞춰지거나 조절될 수 있다. 이전의 "밝은" 기간 동안 저장된 탄수화물의 에탄올 변환 가능성을 극대화하기 위해 "어두운" 기간의 초반에 에탄올 생산을 개시하는 것이 바람직할 수 있다.
- [0061] 이러한 과정은, 식물의 성장이 식물 노화와 관련 없는 식물과 에탄올 생산의 확립된 내성을 더 이상 충족하지 않는 식물 모두를 보충하기 때문에, 자립 사이클이다. 보충 목적으로 또는 다른 셀에 식물 재료를 제공하기 위해 사용될 수 없는 추가적인 식물 성장이 종래의 방법을 이용하여 제거되고 발효되어 에탄올을 생산할 수 있다. 발효 과정에서 방출된 이산화탄소는 포집되어, 탄수화물의 생산을 촉진하도록 셀에 복귀될 수 있다. 발효 과정 이전 또는 이후의 식물 폐기물은 공급재로서 셀에 영양소를 보충하기 위해 더 사용될 수 있고 및/또는 에탄올 및 디젤 바이오 연료, 의약품, 화장품, 염료, 도료 등과 같은 생화학적 산업용으로 가공될 수 있다.
- [0062] 방법(100)이 실시되는 동안, 세균 및 조류 증식이 발생할 수 있고, 이는 항생제, 중황산염(bisulfate), 홉(hop), 살조제(algaecide), 염소처리(chlorination), 자외선 노출 및 그 밖의 일반적인 관행에 의해 제어될 수 있다. 또한, 탄수화물 농도를 낮추고 세균 성장을 억제할 목적으로 에탄올 생성 효모가 셀에 첨가될 수 있다. 대안적으로, 또는 효모와 함께, 탄수화물 농도를 줄이기 위해 효소 또는 세균이 또한 사용될 수 있다. 효모 첨가의 잠재적인 이득은 에탄올 생산량의 증가이다. 효모는 특히, 무산소 조건이 확립되고 대략 3 일 이상 유지된 이후, 교체할 필요가 있지만, 이는 사용되는 효모의 균주에 의존한다. 또한 보조 탄수화물원이 시스템에 첨가되어 효모가 더욱 강렬하게 반응하도록 할 수 있다.
- [0063] 상기한 과정은, 1) 탄수화물이 형성되도록 물이 산소를 공급 받고 및/또는 식물이 광에 노출되는 충전 단계; 2) 셀이 광합성 유도 광을 빼앗기고 및/또는 에탄올을 형성하고 산소를 고갈시키기 위해 효모가 첨가되는 전이 단계; 및 3) 식물이 에탄올을 방출하는 발효 단계를 포함하도록 더욱 광범위하게 정의될 수 있다. 선택적인 제 4 단계가 광합성이 재도입되는 제 2 전이 단계로서 정의될 수 있다. 각각의 단계는, 본원에서 교시되는 바와 같이, 식물의 성장과 에탄올 생산량을 극대화하도록 변경될 수 있다. 하나의 방법에서, 충전 단계는 0.5 내지 12 일에 걸쳐 발생할 수 있으며, 이후 0.5 내지 6 일의 전이 단계, 그리고 사용되는 식물의 유형에 따라 20 일 이상으로 증가될 수 있는 적어도 6 일의 무산소 단계가 계속된다. 또 다른 방법에서, 충전 단계는 3 내지 10 일에 걸쳐 발생할 수 있으며, 이후 2 내지 6 일의 전이 단계, 그리고 사용되는 식물의 유형에 따라 20 일 이상으로 증가될 수 있는 적어도 2 일의 무산소 단계가 계속된다. 물의 양을 줄이고 무산소 단계 동안 에탄올을 더 농축시키기 위해, 충전 단계 이후 그리고 무산소 단계 이전에 수위를 줄이는 것이 바람직할 수 있다.
- [0064] 밝은 단계 또는 어두운 단계 중 언제라도, 에탄올과 같은 부산물을 추출하기 위해 셀에서 물이 제거될 수 있다. 도 4 및 도 5에 도시된 셀을 사용하여 수행될 수 있는 일 실시형태에서, 에탄올 제거 어셈블리에 연결된 물 유출구로 기판을 통해 물을 흐르게 함으로써 물이 제거된다. 실시예에서 더 나타낸 바와 같이, 상당한 양의 에탄올이 기관 및/또는 물의 하부 수층 영역 내에 포함되어 있다. 기관을 통해 그리고 물 유출구로 물을 이동시킴으로써, 향상된 에탄올 추출 효율이 달성된다. 일 실시형태에서, 물 유출구는 기관에 또는 그 아래에 배치되고,

물은 기관을 통해 그리고 유출구로 이동한다. 셀의 상부에서 물을 첨가하는 것을 포함하여, 유입구를 통해 시스템 내부로 물이 유입될 수 있다.

[0065] 실시예에서 더 나타낸 바와 같이, 에탄올은 특정 조건 하에서 아세트산으로 전환될 수 있다. 따라서, 아세트산 전환이 전체 에탄올 농도를 감소시키기 시작하기 전에 어두운 단계에서 에탄올을 추출하는 것이 유리할 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 물에서의 초산균(acetobacter)의 존재를 제한하기 위해 셀 조건이 조작될 수 있다.

[0066] **실시예**

[0067] **실시예 1**

[0068] 부착된 덩이줄기를 갖는 두 개의 스투케니아 펙티나타 식물을 비축 성장 탱크에서 제거하여 35 ml의 끓인 증류수를 담은 시험관에 각각 배치하였다. 레자주린(Resazurin) 계기를 물에 포함시켜 무산소 조건을 나타냈다. 광합성 유도 광이 식물에 도달하는 것을 방지하여 어두운 조건을 형성하기 위해 호일 랩 내에 이러한 무산소 샘플을 배치하였고, 식물 내의 물이 다시 산소를 공급 받을 수 있게 하였다. 그리고 나서, 샘플을 정압(positive pressure) 질소 분위기의 챔버 내에 배치하여, 세포외 샘플의 물이 다시 산소를 공급 받을 수 없도록 하였다. 그리고 나서, 이 챔버에서 대략 24°C에서 3 일 동안 샘플이 배양하도록 하였다. 넷째 날 아침, 2 ml의 물 샘플을 각각의 샘플에서 제거하여, 사우스 다코다 주립대학교(South Dakota State University)에서 고압 액체 크로마토그래피(high pressure liquid chromatography, HPLC)로 분석하여 에탄올의 존재를 검출하였다. 각각의 샘플에서 HPLC 피크는 에탄올이 존재하는 것을 나타낸다.

[0069] **실시예 2**

[0070] 사우스 다코다 호수에서 수집된 호수 물질에서 스투케니아 펙티나타 식물 샘플을 채취하고 끓인 증류수를 담은 바이알 내에 배치하여, 첨가된 무산소 조건만이 식물을 덮도록 하였다. 여덟 개 샘플, D1-4, D9-10 및 D12-13을 배양기 내의 밀봉된 스테인리스 냄비 내에 배치하여, 샘플에 어두운 조건을 제공하였다. 에어록(airlock)을 갖는 투명한 플라스틱 쿼트 컨테이너(quart container) 내에 나머지 샘플, D1-4, D9-10 및 D12-D13을 배치하였다. 세균에 의해 에탄올이 아세트산으로 전환되는 것을 방지하기 위해 샘플 D9-D16에 항생제를 첨가하였다. 샘플을 대략 21°C의 배양기 내에 배치하고 7 일 동안 배양하도록 하였다. 각각의 샘플에서 물을 빼내어, 사우스 다코다 주립대학교에서 고압 액체 크로마토그래피(high pressure liquid chromatography, HPLC)로 분석하여 에탄올과 아세트산 농도를 결정하였다.

[0071] 어두운 조건에서 항생제 없이 배양된 네 개의 샘플, D5, D6, D7 및 D8은 각각 10.825 g/L, 6.817 g/L, 7.733 g/L, 및 10.595 g/L의 농도로 에탄올을 함유하였다. 항생제와 함께 어두운 조건에서 배양된 샘플 D11과 D14는 각각 6.573 g/L 및 237 g/L의 에탄올 농도를 가졌다. 또한, 샘플 D11은 아세트산을 함유하지 않는 반면, 샘플 D14는 2.192 g/L의 농도로 아세트산을 함유하였으며, 이는 샘플 D14에서의 항생제의 양이, 세균에 의해 에탄올이 아세트산으로 전환되는 방지하기에는 충분하지 않은 것을 나타낸다. 투명 컨테이너에서 배양된 샘플은 검출 가능한 에탄올을 함유하지 않았고, 이는 광합성이 식물 샘플에 의한 에탄올 생산을 방해한 것을 나타낸다. 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1

[0072]

샘플	어두운 조건	항생제	아세트산(g/L)	에탄올(g/L)
D1	-	-	1.332	0
D2	-	-	1.616	0
D3	-	-	0.503	0
D4	-	-	1.142	0
D5	+	-	2.204	10.825
D6	+	-	2.865	6.817
D7	+	-	1.420	7.733
D8	+	-	5.091	10.595
D9	-	+	0	0
D10	-	+	0	0

D11	+	+	0	6.573
D12	-	+	0.863	0
D13	-	+	0.749	0
D14	+	+	2.192	4.237
D15	+	+	0.730	0
D16	+	+	0	0

[0073] 실시예 3

[0074] 대략 184 cm의 높이, 대략 46 cm의 폭, 그리고 대략 58 cm의 깊이를 갖는 셀에 기관과 물을 채웠다. 기관은 대략 8 cm의 깊이였고, 물은 대략 43 cm의 깊이였다. 기관은 대략 4 cm의 흑색토의 하부층 및 상업적으로 이용 가능한 Agri-Lime(Premium Infield from Prochoice One)의 상부층을 포함하였다. 샘플 포트는 탱크의 상부, 탱크의 중간부 및 기관의 하부에 포함시켰다.

[0075] 대략 70 개의 스투케니아 팩티나타 식물을 셀에 심었고 2 개월 동안 성장하도록 하였다. 이 때 물은 순환되지 않았다. 식물이 성장하여 정착하게 되면, 셀로부터 채취한 소량의 물을 설탕과 혼합한 후, 추가의 혼합 없이 해당 양의 물을 다시 셀에 첨가함으로써 셀의 상부로부터 3 테이블스푼의 설탕을 첨가하였다. 증발을 억제하기 위해 투명한 플라스틱 커버를 수면 위에 배치하고, 차광 플라스틱으로 셀을 덮었으며, 탱크의 상부를 밀봉하였다. 탱크를 이러한 방식으로 연속 6 일 동안 유지하였다. 그리고 나서, 세 시간 동안 셀에 기포를 발생시키고 나서, 차광 플라스틱의 일부를 제거하여 점진적으로 밝은 조건을 재도입하였다. 시간이 흐르고 나서, 나머지 차광 플라스틱을 제거하였다.

[0076] 광합성이 억제된 6 일의 기간 동안 매일 상부, 중간 및 하부 포트에서 물 샘플을 제거하였다. 샘플을 에탄올 및 아세트산에 대해 테스트하였다. 결과를 리터당 그래프로 표 2에 나타내었다.

표 2

[0077]

일	상부 에탄올	중간 에탄올	하부 에탄올	상부 아세트산	중간 아세트산	하부 아세트산
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.031	0.000	0.000	0.093
3	0.000	0.010	0.032	0.000	0.000	0.269
4	0.011	0.010	0.027	0.055	0.056	0.265

[0078] 최고 농도가 관찰되었음을 나타낸다. 이는 어두운 단계의 첫 번째 며칠 동안 식물의 뿌리/덩이줄기 부위에서 에탄올이 방출되었음을 시사한다. 마찬가지로, 어두운 단계의 나머지 기간 동안 하부 포트에서 채취한 샘플에서 주로 아세트산의 최고 농도가 관찰되었다. 이는, 아마도 기관 내에 존재하는 초산균에 의해, 물 내의 에탄올이 아세트산으로 전환되었음을 나타낸다.

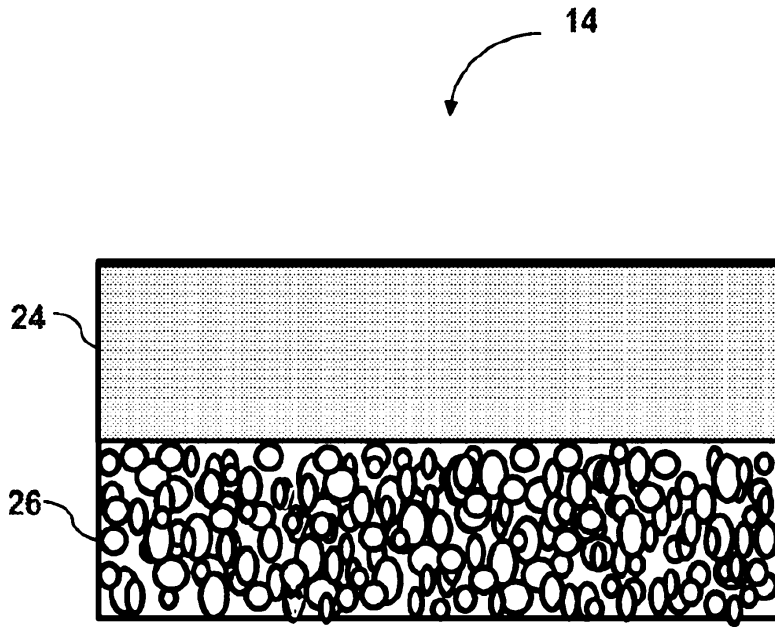
[0079] 어두운 단계 이전에 셀에 설탕을 첨가한 것이 실질적으로 에탄올의 측정된 농도에 기여한 것으로 보이지 않는다. 우선, 설탕은 추가의 혼합 없이 탱크의 상부에서 첨가된 반면, 에탄올은 하부 포트에서 채취한 샘플에서 주로 관찰되었으며, 이는 에탄올이 다른 소스에서 생산된 것을 나타낸다. 또한, 측정된 에탄올/아세트산 농도는, 심지어 100 퍼센트 전환을 가정하여도, 첨가된 설탕에서 얻을 수 있는 이론적 수율보다 크다.

[0080] 밝은 조건을 재도입하고 나서 며칠 후, 11 개의 식물 줄기가 생존하였고 새로운 잎의 성장을 나타내었다. 줄기가 생존하지 않은 식물의 일부는 식물의 기저 근처에서 새로운 잎의 성장을 보였다.

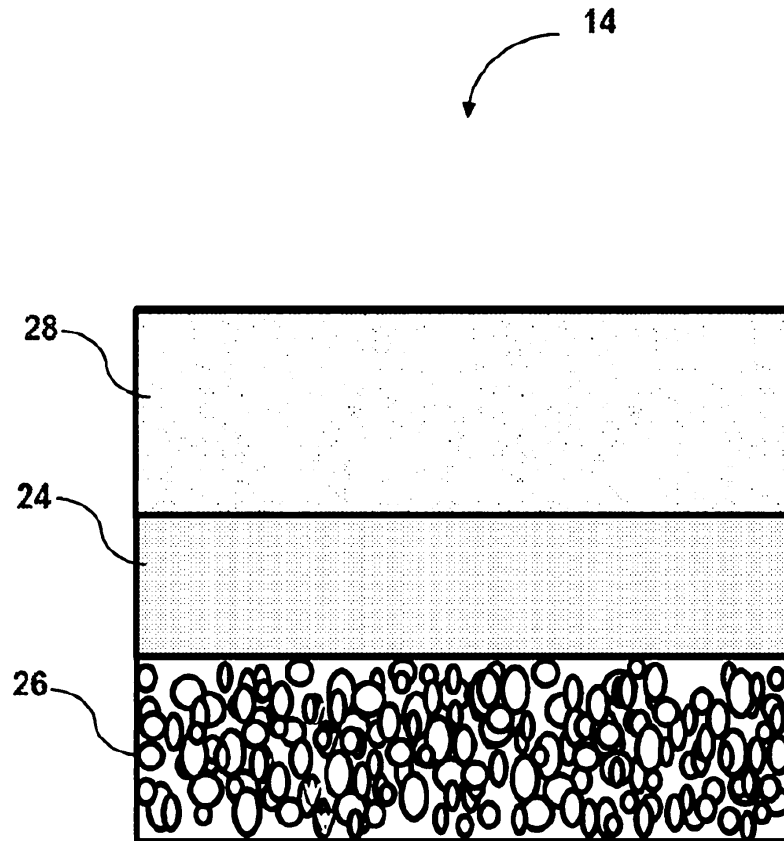
[0081] 다음, 상기한 설명과 관련하여, 본 개시에 의해 크기, 재료, 형상, 형태, 작동의 기능과 방식, 조립 및 사용의 변화를 포함할 수 있는 실시형태의 부분에 대한 최적의 치수 관계는 본 기술분야의 숙련자에게 쉽게 명백하고 자명한 것으로 인정되며, 도면에 도시되고 명세서에 기술된 것들에 대한 모든 동등한 관계는 본 개시의 실시형태에 포함되도록 의도되는 것을 인식해야 한다.

[0082] 따라서, 전술한 바는 단지 본 개시의 원리를 예증하는 것으로 간주된다. 또한, 수많은 수정 및 변경이 본 기술분야의 숙련자에게 쉽게 일어날 수 있기 때문에, 도시되고 기술된 정확한 구성과 동작에 본 개시를 제한하는 것은 바람직하지 않으며, 따라서, 모든 적당한 변형과 등가물이 본 개시의 범위에 의존하며 이에 포함된다.

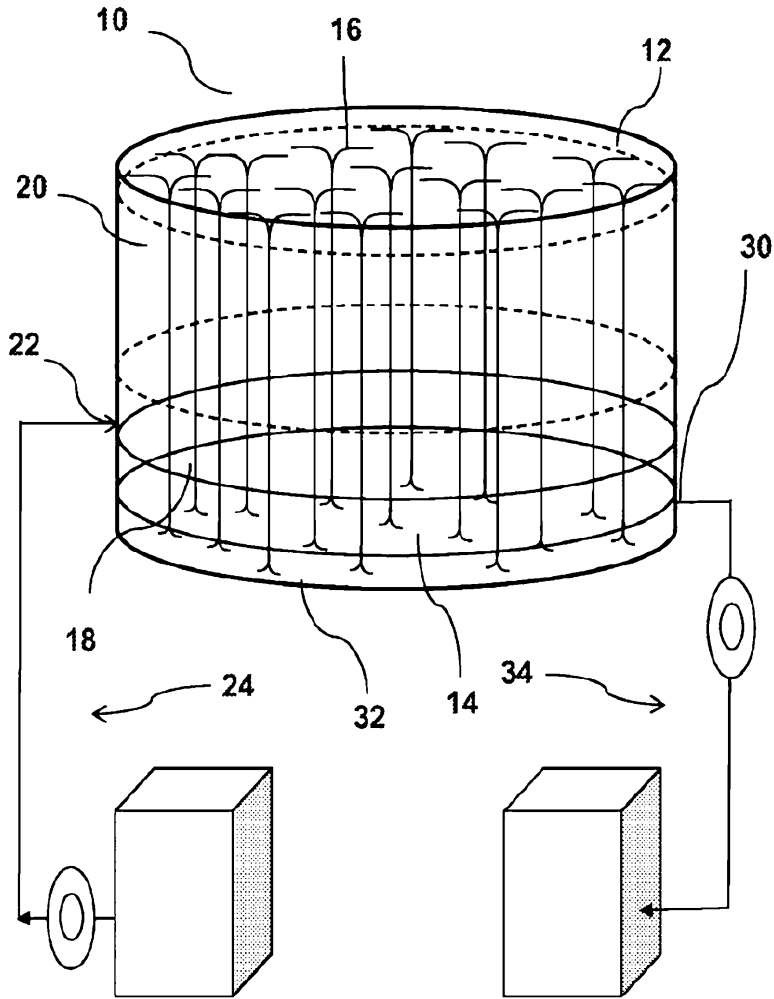
도면2



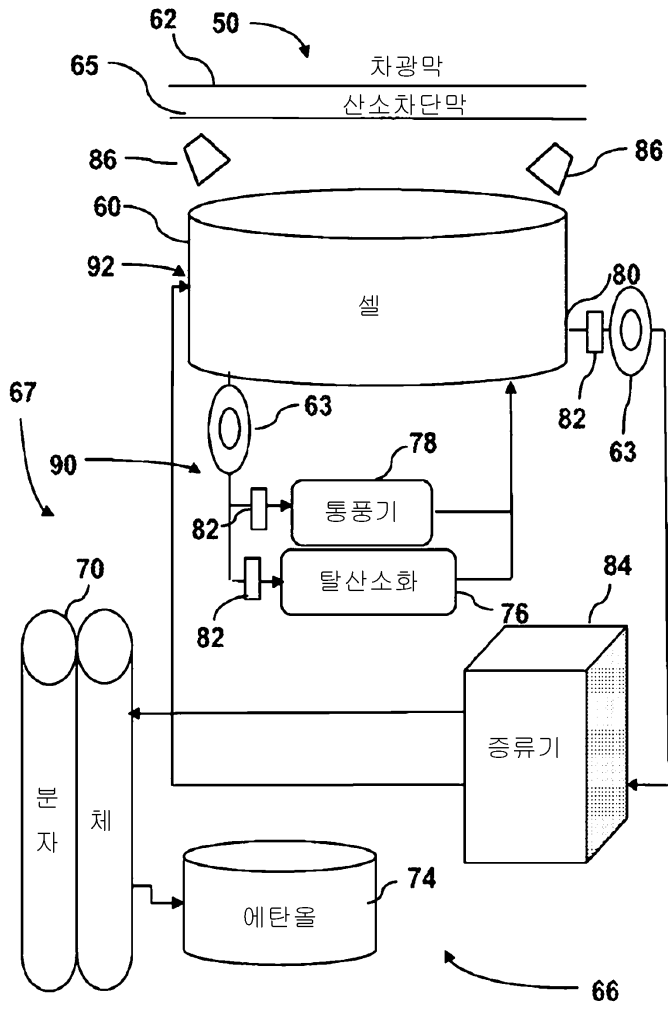
도면3



도면4



도면5



도면6

