



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0120843

(43) 공개일자 2015년10월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C12N 1/12 (2006.01) C12M 3/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0182993
(22) 출원일자 2014년12월18일
심사청구일자 2014년12월18일
(30) 우선권주장
1020140046662 2014년04월18일 대한민국(KR)

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
이철균
서울특별시 서초구 신반포로 270 반포자이아파트 104동 801호
박한울
인천광역시 남구 인주대로252번길 25, 204호 (용현동, 관후주택)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
최규환

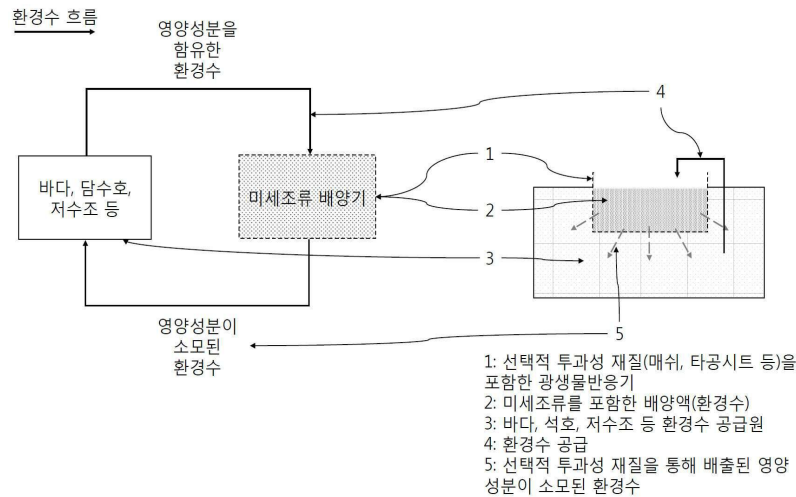
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 환경수의 추가적인 공급에 의한 광합성 미세조류의 대량 배양방법

(57) 요약

본 발명은 (a) 배양액은 통과하되 미세조류는 통과하지 않는 배양용기를 포함하는 광생물 반응기를 환경수에 침지하는 단계; 및 (b) 상기 배양용기의 내부에 환경수를 추가적으로 공급하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법에 관한 것으로, 본 발명을 통해 경제적이며 효율적인 미세조류의 대량 배양이 가능할 것으로 기대된다.

대표도 - 도25



(72) 발명자

김지훈

인천광역시 남구 인주대로252번길 25, 301호 (용현동, 관후주택)

임상민

인천광역시 부평구 부흥로 246 동아2단지아파트 21동 1103호

신동우

충청북도 제천시 의림대로 173-1 (의림동)

김필한

서울특별시 강서구 양천로 507, 103동 2002호 (가양동, 강나루현대아파트)

유단비

경기도 부천시 오정구 원종로107번길 14-12, 201동 604호 (고강동, 동광모닝스카이2차아파트)

정대우

경상남도 통영시 발개로 105 (봉평동)

이종찬

서울특별시 영등포구 여의동로3길 10 여의도자이아파트 401동 2102호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 D10906213H320000110

부처명 해양수산부

연구관리전문기관 한국해양과학기술진흥원

연구사업명 해양바이오에너지생산기술개발사업

연구과제명 해양미세조류 이용 바이오디젤 생산기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2013.08.01 ~ 2014.06.30

명세서

청구범위

청구항 1

- (a) 배양액은 통과하되 미세조류는 통과하지 않는 배양용기를 포함하는 광생물 반응기를 환경수에 침지하는 단계; 및
- (b) 상기 배양용기의 내부에 환경수를 추가적으로 공급하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 (b) 단계는 하기 식으로부터 산출되는 공급량의 환경수를 공급하는 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법:

$$V_{min} = \frac{K_p \cdot A}{C_{salt}}$$

(식 중, V_{min} 은 최소 환경수 공급량(ℓ /day), K_p 는 해당 환경수에서 경계면의 영양성분 최대 투과량($\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$), A 는 환경수에 침지되어 있는 메쉬 시트의 표면적(m^2), C_{salt} 는 배양기 외부 환경수의 영양성분 농도(mg/ℓ)를 의미함).

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 환경수는 전체 메쉬 시트 크기의 1m^2 를 기준으로 했을 때, 0.38 내지 50000 ℓ /day로 공급되는 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 환경수는 전체 메쉬 시트 크기의 1m^2 를 기준으로 했을 때, 670 내지 2000 ℓ /day로 공급되는 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 환경수는 해수, 담수, 기수, 생활하폐수, 인공조성 배지 또는 부영양화된 오염수인 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 해수는 인공해수 또는 자연해수인 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 미세조류는 담체가 포함되지 않은 배양배지 내에서 분산되어 배양되는 것을 특징으로 하는 미세조류 배양방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 배양용기의 전체 또는 일부 경계면은 망목 크기(mesh size)가 0.1 내지 200 μm 인 메쉬 시트 또는 미세 구멍의 크기가 0.1 내지 200 μm 인 타공 시트로 이루어진 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법.

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 배양용기의 메쉬 시트 또는 타공 시트로 이루어진 경계면을 제외한 나머지 경계면은 불투과성 또는 반투과성의 투명 또는 반투명 재질로 이루어진 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 광생물 반응기는 공기 주입식 튜브 형상의 부양수단을 포함하여 수면 위에 떠 있거나, 침강수단을 포함하여 침강된 상태인 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 배양용기는 상부에 광차단 덮개를 포함하고, 상기 광차단 덮개에 의해 미세조류에 공급되는 광에너지가 조절되는 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 광생물 반응기는 서로 연결된 복수 개인 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 미세조류 군주는 클로렐라(*Chlorella*), 클라미도모나스(*Chlamydomonas*), 헤마토코커스(*Haematococcus*), 보트리오코커스(*Botryococcus*), 세네데스무스(*Scenedesmus*), 스피룰리나(*Spirulina*), 테트라셀미스(*Tetraselmis*), 두날리엘라(*Dunaliella*), 난노클로롭시스(*Nannochloropsis*), 시네코코커스(*Synechococcus*), 시네코시스티스(*Synechocystis*), 노스톡(*Nostoc*), 페오닥틸럼(*Phaeodactylum*), 포피리디움(*Porphyridium*), 네오클로리스(*Neochloris*), 카에토세로스(*Chaetoceros*), 이소키시스(*Isochysis*), 타라씨오시라(*Thalassiosira*), 스티코코커스(*stichococcus*), 피라미모나스(*pyramimonas*), 오실라토리아(*oscillatoria*), 오시스티스(*Oocystis*), 오크로모나스(*ochromonas*), 나비쿨라(*navicula*), 클로로코쿰(*chlorococcum*) 및 니츠시아(*Nitzschia*)로 구성된 군으로부터 선택되는 1종 이상인 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법.

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 단계(b)에서 환경수의 추가적인 공급은 파도펌프, 통돌이펌프, 수차펌프, 수격펌프, 풍력펌프 또는 태양광펌프를 이용하는 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 환경수의 추가적인 공급에 의한 광합성 미세조류의 대량 배양방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 (a) 배양액은 통과되 미세조류는 통과하지 않는 배양용기를 포함하는 광생물 반응기를 환경수에 침지하는 단계; 및 (b) 상기 배양용기의 내부에 환경수를 추가적으로 공급하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

지구온난화와 세계인구의 급증으로 식량문제, 환경문제 및 에너지문제가 전 지구적 규모로 발생하고 있다. 최근 원유가격의 급격한 상승으로 생물자원을 활용한 대체에너지 개발, 특히 바이오연료(바이오에탄올, 바이오디젤, 바이오 가스 등) 생산이 주목을 받고 있다. 특히 해수나 담수에 널리 분포하는 광합성 미생물 미세조류로 부터 생산되는 바이오연료는 소위 곡물 자원을 사용한 1세대 바이오연료, 작물의 줄기나 폐목재 등을 사용하는 2세대 바이오연료에 이어 미래의 3세대 바이오연료로 인식되고 있다.

[0003]

미세조류는 대기나 수중의 이산화탄소와 물을 원료로 광에너지를 이용하여 유기물질을 합성하고 산소를 생산하는 광합성 생물로써 지구상에서 육상식물과 대등한 수준의 이산화탄소를 흡수하여 전환하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 미세조류의 단위면적당 바이오디젤 생산(오일 함량이 30%인 경우)은 약 58,700 l /ha로 대두의 446 l /ha에 비해 130배에 달한다. 또한 미세조류는 고밀도 대량배양이 가능하고, 생명공학기술의 핵심인 형질전환 기술을 이용한 미세 조류의 분자적 개량이 고등식물보다 용이할 것으로 보인다. 뿐만 아니라 미세조류는 작물과 경쟁하지 않고, 유향 경작지를 이용하여 바이오연료를 생산할 수 있다는 장점이 있다.

[0004]

그러나 광합성 단세포 미생물인 미세조류를 이용한 이산화탄소의 제거 또는 바이오연료 제조와 같은 유용한 산

물을 실용화하기 위해서는 미세조류의 고농도 배양, 대량배양 또는 고농도 대량배양이 필요하다. 따라서 이를 가능하게 할 배양방법이 필수적으로 요구되고 있다.

[0005]

종래부터 실내 또는 육상에 설치되는 여러 형태의 광생물 반응을 이용한 배양방법이 사용되었으나, 종래의 배양 방법은 조명수단, 배지 또는 가스의 공급 및 혼합수단 등과 같은 미세조류의 배양에 필요한 많은 비용이 요구되어, 상업화에 필요한 미세조류를 대량 배양하는 것이 용이하지 않았다. 따라서, 미세조류의 상업적인 규모의 대량배양을 위해서는 경제성 확보가 무엇보다 중요한 선결과제이며, 저비용으로도 고농도의 배양이 가능하면서도 규모의 확대가 용이한 배양방법의 개발이 절실히 요구되고 있다.

[0006]

한국등록특허 제1385939호에는 '미세조류 대량배양을 위한 광생물 반응기 및 이를 이용한 미세조류 배양방법'이 개시되어 있고, 한국공개특허 제2012-0021566호에는 '공배양에 의한 광합성 미세조류의 배양방법'이 개시되어 있으나, 본 발명에서와 같이 환경수의 추가적인 공급에 의한 광합성 미세조류의 대량 배양방법에 관해서는 밝혀진 바가 없다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007]

본 발명은 상기와 같은 요구에 의해 도출된 것으로서, 광생물 반응기에 추가적인 환경수 공급을 통해 영양성분을 공급한 결과, 인공해수뿐만 아니라 자연해수와 같이 영양성분의 함량이 낮은 환경수를 이용한 미세조류의 배양이 가능함을 확인함으로써, 본 발명을 완성하게 되었다.

과제의 해결 수단

[0008]

상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명은, (a) 배양액은 통과하되 미세조류는 통과하지 않는 배양용기를 포함하는 광생물 반응기를 환경수에 침지하는 단계; 및 (b) 상기 배양용기의 내부에 환경수를 추가적으로 공급하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법을 제공한다.

발명의 효과

[0009]

기존 광생물 반응기를 통한 배양방법은 환경수와 배양액 간의 물질 교환이 확산에 의해 이루어지기 때문에 환경수와 배양액 사이의 영양성분 및 노폐물의 농도차이에 의해 미세조류의 생산성이 제한되는 문제점이 있었다. 이와 같은 문제점을 해결하고 경제적인 미세조류의 생산성 증진을 목적으로 광생물 반응기에 영양성분을 포함하고 있는 환경수를 추가적으로 공급하여 미세조류 배양시 발생할 수 있는 영양성분의 고갈을 해결함으로써 미세조류의 생산량이 증가된 배양방법을 개발하였다. 상기 광생물 반응기를 이용한 배양방법을 통해 경제적이며 효율적인 미세조류의 대량 배양이 가능할 것으로 기대된다.

도면의 간단한 설명

[0010]

도 1은 메쉬 시트로 제조된 광생물 반응기에 대한 예시이다.

도 2는 광생물 반응기의 배양용기에 튜브형 부양수단(a)이 연결된 예시이다. (b)는 도 2a의 광생물 반응기의 단면도이다.

도 3은 다양한 형태로 연결된 배양용기에 대한 예시이다. (a) 수직으로 연결된 배양용기, 서로 연결된 부양수단에 의해 직렬(b) 또는 직병렬(c)로 연결된 배양용기 및 부양수단이 구비되지 않고 부유식 연결수단에 의해 환형(d) 또는 전후좌우(e)로 연결된 배양용기에 대한 것이다.

도 4는 배양용기가 수면 아래 일정한 깊이로 잠겨있도록 하는 배양용기의 하부에 연결된 침강수단에 대한 예시이다.

도 5는 배양용기의 일말단은 부양수단에 연결되고 타말단은 침강수단에 연결된 예시이다.

도 6는 가두리형 광생물 반응기(a)와 수면 위에 부양하도록 설치가 되는 경주로(raceway) 연못형 광생물 반응기(b)에 대한 예시이다.

도 7은 미세조류에 공급되는 광에너지가 조절되도록 고안된 광차단 덮개에 대한 예시이다.

도 8은 광생물 반응기가 복수개로 구성된 미세조류 배양장에 대한 예시이다. (a) 부양수단을 구비하지 않은 광

생물 반응기로 이뤄진 미세조류 배양장 및 (b) 부양수단이 구비된 광생물 반응기로 이뤄진 미세조류 배양장에 대한 것이다.

도 9는 광생물 반응기의 주입구에 구비될 수 있는 개폐수단에 대한 예시이다. (a) 지퍼 형태의 개폐수단 및 (b) 밸브 형태의 개폐수단에 대한 것이다.

도 10은 광생물 반응기에 부착될 수 있는 날개에 대한 예시이다. (a) 서로 다른 방향으로 연장된 형태의 날개 구조, (b) 곡선형의 날개 구조, (c) 배양용기의 양 측면이 신장된 바람개비와 같은 형태의 날개 구조 및 (d) 배양용기를 관통하는 축에 배양용기 내측 회전날개와 외측 회전날개로 구성된 날개 구조에 대한 것이다.

도 11은 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 메쉬 시트의 구조를 주사 전자현미경으로 촬영한 사진이다.

도 12는 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 광생물 반응기의 미세조류 용출여부를 확인하기 위한 실험 과정을 촬영한 사진이다.

도 13은 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 광생물 반응기의 배양용기 외부로 미세조류가 용출되었는지의 여부를 확인하기 위하여, 배양용기 내의 세포 입자의 크기 및 입자수를 분석한 결과 그래프이다.

도 14는 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 광생물 반응기의 배양용기 외부로 미세조류가 용출되었는지의 여부를 확인하기 위하여, 일정기간 세포를 배양한 후 배양용기를 수용하고 있는 외부 수조 내의 세포 입자의 크기 및 입자수를 분석한 결과 그래프이다.

도 15는 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 광생물 반응기 제조에 이용된 메쉬 시트와 반투과막 종류에 따른 미세조류의 성장성을 비교하기 위한 실험 과정을 촬영한 사진이다.

도 16은 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 광생물 반응기 제조에 이용된 메쉬 시트와 반투과막 종류에 따른 미세조류의 성장성을 비교한 그래프이다:

●, △: 폴리에스터 메쉬 시트,

○, ■: 나일론 메쉬 시트,

▼, □: 50 kDa 분획분자량(Cut-off) 반투과막,

f/2: f/2 배양배지 및

NSW: 자연 해수(natural seawater).

도 17은 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 광생물 반응기의 영양염류 투과성을 확인한 그래프이다.

도 18은 실제 바다에서 미세조류 배양시 이용한 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 광생물 반응기를 개략적으로 도시한 예시도이다.

도 19는 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 광생물 반응기를 이용하여 실제 바다에서 미세조류 배양시 이용한 비투과성 플라스틱 용기를 촬영한 사진이다.

도 20은 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 광생물 반응기를 이용하여 실제 바다에서 미세조류를 배양하기 위한 실험 설계를 개략적으로 나타낸 개요도이다.

도 21은 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 광생물 반응기를 이용하여 실제 바다에서 미세조류를 배양하였을 때의 대기 및 해수의 온도 변화를 나타내는 그래프이다.

도 22는 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 광생물 반응기를 이용하여 실제 바다에서 미세조류를 배양하였을 때의 일평균 광도(PAR, photosynthetically active radiation)(a) 및 광조사 시간(b)을 나타내는 그래프이다.

도 23은 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 광생물 반응기를 이용하여 실제 해양에서 미세조류를 배양하였을 때의 미세조류 성장성을 확인한 결과로, (a)는 배양결과 산출된 세포농도를 의미하고, (b)는 배양결과 산출된 생체균체중량을 의미한다.

도 24는 본 발명에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 광생물 반응기에 사용한 메쉬 시트의 재사용에 따른 질

산업 투과성을 반투과성 막을 이용하여 제조한 광생물 반응기와 비교한 그래프이다.

도 25는 환경수의 공급에 의한 광생물 반응기를 이용한 배양방법에 대한 개념도이다.

도 26은 인공해수에서 메쉬 시트로 제조된 광생물 반응기를 이용한 두날리엘라 테르티오렉타(*Dunaliella tertiolecta*) 배양 실험에서 배양 시간에 따른 미세조류의 생체 중량 변화에 대한 그래프이다.

도 27은 자연해수에서 광생물 반응기를 이용한 테트라셀미스(*Tetraselmis*) 배양 실험에서 배양 시간에 따른 미세조류의 생체 중량 변화에 대한 그래프이다.

도 28은 자연해수의 공급량에 따른 테트라셀미스(*Tetraselmis*) 배양 실험에서 배양 시간에 따른 미세조류의 생체 중량 변화에 대한 그래프이다.

도 29는 7일 배양 후 3 ℓ/day의 환경수 공급에 따른 미세조류의 생체 중량 변화를 보여주는 사진이다.

도 30은 환경수의 공급량에 따른 배양액의 pH 변화에 대한 그래프이다.

도 31은 자연해수의 공급여부에 따른 일일 단위면적당 미세조류의 생산성을 확인한 그래프이다.

도 32는 강우 조건에서, 지속적인 자연해수의 공급에 따른 배양액 내의 염도를 확인한 그래프이다.

도 33은 파도펌프의 개념도이다.

도 34는 태양광펌프의 개념도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011]

본 발명의 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은

[0012]

(a) 배양액은 통과하되 미세조류는 통과하지 않는 배양용기를 포함하는 광생물 반응기를 환경수에 침지하는 단계; 및

[0013]

(b) 상기 배양용기의 내부에 환경수를 추가적으로 공급하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 미세조류의 배양방법을 제공한다.

[0014]

본 발명의 일 구현 예에 있어서, 상기 (b) 단계는 하기 식으로부터 산출되는 공급량의 환경수가 공급될 수 있다.

[0015]

$$V_{min} = \frac{K_p \cdot A}{C_{salt}}$$

[0016]

여기서 V_{min} 은 최소 환경수 공급량(ℓ/day)을, K_p 는 해당 환경수에서 경계면의 영양성분(탄소, 질소 또는 인) 최대 투과량($\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$)을, A 는 환경수에 침지되어 있는 메쉬 시트의 표면적(m^2)을, C_{salt} 는 배양기 외부 환경수의 영양성분 농도(mg/ℓ)를 의미한다.

[0017]

또한, 본 발명의 일 구현 예에 있어서, 상기 단계(b)에서 환경수의 추가적인 공급은 외부 전력 공급없이, 파도펌프, 통돌이펌프(sling pump), 수차펌프(wheel pump), 또는 태양광펌프를 이용하는 것이 바람직하지만 이에 한정하지 않는다.

[0018]

상기 파도펌프는 도 33에 개시한 바와 같이, 체크 밸브와 신축성 관을 이용하여 너울 또는 파도 등 해수가 상하로 움직이는 힘을 이용해 환경수를 양수하는 펌프이고, 통돌이펌프와 수차펌프는 물의 흐름에 의한 회전력을 동력으로 이용하는 펌프이며, 수력펌프는 높은 곳에서 원형 관 속을 흘러 어지는 물의 에너지를 수력현상을 이용하여 양수하는 펌프이고, 풍력펌프는 바람에 의해 회전되는 터빈으로 만들어진 전기 또는 회전력 자체를 동력으로 이용하는 펌프이며, 태양광펌프는 도 34에 개시한 바와 같이, 태양전지판을 이용하여 전력을 얻는 펌프이다.

[0019]

또한, 본 발명의 일 구현 예에 있어서, 상기 환경수는 전체 메쉬 시트 크기의 1m^2 를 기준으로 했을 때, 바람직하게 0.38 내지 50000 ℓ/day, 더욱 바람직하게는 670 내지 2000 ℓ/day로 공급될 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0020]

또한, 본 발명의 일 구현 예에 있어서, 상기 환경수(environmental water)는 본 발명의 광생물 반응기가 투입되

어 배양이 수행되는 공간의 물을 의미하며, 해수, 담수, 기수, 생활하폐수, 인공조성 배지 또는 부영양화된 오염수를 포함하고, 인공적으로 조성한 저수조 또는 연못의 물도 포함될 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 구현 예에 있어서, 상기 해수란 해수에 근사한 이온 조성, 삼투압 및 pH를 갖도록 조제된 인공해수 또는 자연해수를 의미한다.

[0022] 영양성분(nutrient)은 생물이 영양을 위해 섭취하는 물질로서 호흡을 위한 산소, 광합성을 위한 이산화탄소 및 물을 제외한 탄수화물, 지방, 단백질 및 비타민과 같은 유기영양소와 암모늄, 질산염, 철, 나트륨염, 칼륨염, 인산염 및 마그네슘염 등 무기염류를 포함한다.

[0023] 또한, 본 발명의 일 구현 예에 있어서, 상기 미세조류는 담체가 포함되지 않은 배양배지 내에서 분산되어 배양되는 것일 수 있다.

[0024] 또한, 본 발명의 일 구현 예에 있어서, 상기 배양용기의 전체 또는 일부 경계면은 망목 크기(mesh size)가 0.1 내지 200 μm 인 메쉬 시트 또는 미세 구멍의 크기가 0.1 내지 200 μm 인 타공 시트로 이루어진 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0025] 상기 메쉬 시트의 망목 크기 또는 타공 시트의 타공 크기는 배양하고자 하는 미세조류의 크기에 따라 조절될 수 있으며, 예를 들어, 상기 망목 크기 또는 타공 크기는 2 내지 5mm, 1 내지 5mm, 0.1 μm 내지 200 μm , 0.1 μm 내지 100 μm , 0.2 μm 내지 50 μm , 0.5 μm 내지 25 μm , 0.5 μm 내지 10 μm , 0.7 μm 내지 7 μm , 1 μm 내지 5 μm , 1 μm 내지 3 μm 일 수 있다. 선택적으로, 상기 구멍의 크기는 배양하고자 하는 광합성 미생물의 크기의 50% 내지 300%, 70 내지 250%, 85% 내지 200%, 90% 내지 160%, 100% 내지 150%, 100% 내지 140%, 100% 내지 130% 또는 110% 내지 120%일 수 있다.

[0026] 미세조류는 서로 결합하거나 엉킴 현상에 의해 그 크기가 커질 수 있으므로 메쉬 시트의 망목 크기 또는 타공 시트의 타공 크기가 미세조류 단일세포의 크기보다 커지는 것이 문제되지 않을 수 있다.

[0027] 메쉬 시트는 직물(woven fabric)과 같이 경사와 위사가 서로 아래 위로 교차하여 짜여진 형태의 구조를 포함하여(도 1), 예를 들어 평직, 능직 또는 주자직 등의 패턴으로 직조 되거나, 겹조직, 파일 조직 또는 익조직 등과 같이 사용되는 시트재질의 종류 또는 가공방법을 달리하여 제조될 수 있으며, 섬유 직물의 제조에 이용되는 기술이 적용되어 제조된 시트를 의미한다. 직물구조로 이루어진 메쉬 시트는 기체, 물 및 영양성분의 자유로운 통과에는 제한이 없으나, 미세조류의 통과는 제한되어, 경제적이고 편리하게 미세조류의 대량생산에 적용될 수 있다.

[0028] 망목 크기는 메쉬 구조상의 서로 교차하여 짜여진 위사와 경사 사이의 공간의 크기를 의미한다.

[0029] 타공 시트(perforated sheet)는 판상의 재질에 인위적으로 천공하여 구멍이 형성된 시트를 의미하며, 상기 판상의 재질은 필름일 수 있고, 상기 필름은 불투과성 막 또는 반투과성 막일 수 있다. 상기 타공 시트는 인위적으로 천공함으로써, 상기 메쉬 시트와 동일한 효과를 제공할 수 있다.

[0030] 상기 타공 시트는 고분자막에 마이크로 천공장치를 이용하여 불규칙적이거나 규칙적으로 천공함으로써 제조될 수 있으며, 이는 반투과성 또는 불투과성 고분자막에 인위적으로 구멍을 뚫어서 제조된 것이라는 점에서 통상의 반투과성 막과 구분된다.

[0031] 자유로운 통과는 메쉬 시트 또는 타공 시트로 구분되는 두 공간 사이에 특정 물질이 아무런 제한 없이 통과할 수 있는 상태를 의미하며, 통과는 양 공간 사이의 특정 물질의 농도의 차이와 무관한 개념이고, 확산은 특정 물질이 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하는 현상을 의미한다.

[0032] 구체적으로, 상기 메쉬 시트 또는 타공 시트는 환경수, 기체 및 영양성분의 자유로운 통과가 가능하며, 미세조류나 오염성 미생물의 자유로운 통과는 차단되는 것을 특징으로 한다. 보다 구체적으로, 환경수의 유입이 가능함으로써, 미세조류의 성장이 요구되는 영양성분의 공급 및 미세조류 성장과정에서 배출되는 노폐물이 환경수와 함께 제거될 수 있다. 이는 별도의 영양공급 장치 및 정화장치 등이 요구되지 않기 때문에 비용, 시간 및 노동력을 절감하는 효과를 제공한다. 또한, 미세조류의 광합성 과정에서 필요한 이산화탄소 공급 및 발생하는 산소의 배출이 메쉬 시트를 통하여 이루어질 수 있다. 나아가 미세조류가 관리 가능한 제한적인 배양용기 내에서 배양됨에 따라, 미세조류의 대량 배양에 따른 환경오염을 방지할 수 있으며, 대량 배양된 미세조류의 수확이 용이하다는 장점을 갖는다.

[0033] 또한, 본 발명의 일 구현 예에 있어서, 상기 배양용기의 메쉬 시트 또는 타공 시트로 이루어진 경계면을 제외한

나머지 경계면은 불투과성 또는 반투과성의 투명 또는 반투명 재질로 제조될 수 있다.

- [0034] 반투과(semipermeable)는 막(membrane) 또는 판(plate) 등 경계면을 경계로 일부 물질만 선택적으로 통과할 수 있는 현상을 의미하며, 대부분의 물질이 통과 가능한 투과(permeable) 및 대부분의 물질의 통과가 불가능한 불투과(nonpermeable)에 대응된다.
- [0035] 반투명(translucent)은 막(membrane) 또는 판(plate) 등의 경계면을 경계로 빛의 일부가 통과하는 현상을 의미하며, 거의 대부분의 빛이 통과되는 투명(transparent) 및 빛의 통과가 실질적으로 차단되는 불투명(opaque)과 대응된다.
- [0036] 상기 메쉬 시트 및 타공 시트가 반투과성 막(semipermeable membrane)과 다른 점은 반투과성 막은 단백질 등 일정 크기 이상의 고분자(macromolecule) 물질에 대한 투과성이 제한되는 반면 메쉬 시트 및 타공 시트는 세포 크기의 물질을 제외한 고분자의 투과가 자유롭다는 것이다.
- [0037] 상기 메쉬 시트는 고분자로 이루어진 섬유로 직조될 수 있다. 상기 고분자는 생분해성 고분자 또는 난분해성 고분자일 수 있다. 상기 생분해성 고분자로는 폴리카프로락톤(poly ϵ -caprolactone), 폴리락트산(poly lactic acid), 폴리락트산-폴리카프로락톤 공중합체(poly lactic-co-glycolic acid), 셀룰로오스(cellulose), 메틸셀룰로오스(methyl cellulose), 에틸셀룰로오스(ethyl cellulose), 초산셀룰로오스(cellulose acetate), 커들란(curdlan), 폴리글루탐산(polyglutamic acid), 폴리라이신(polylysine), 폴리히드록시 알카노에이트(polyhydroxy alkanoate), 폴리에틸렌 글리콜(polyethylen glycol), 폴리글리콜산(polyglycolic acid) 및 폴리에스테르(polyester)로 구성된 군으로부터 선택된 1종 이상일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0038] 또한, 상기 난분해성 고분자로는 테프론(teflon, polytetrafluoroethylene), 폴리올레핀(polyolefine), 폴리아마이드(polyamides), 폴리아크릴레이트(polyacrylate), 실리콘(silicon), 폴리메틸 메타아크릴레이트(poly methyl methacrylate), 폴리스티렌(polystyrene), 에틸렌-비닐 아세테이트 코폴리머(ethylene-vinyl acetate copolymer), 폴리에틸렌-말레 안하이드리드 코폴리머, 폴리아미드(polyamide), 폴리비닐 클로라이드(polyvinyl chloride), 폴리비닐 플로라이드(polyvinyl chloride), 폴리비닐 이미다졸(polyvinyl imidazole), 클로로술포네이트 폴리올레핀(chlorosulphonate polyolefin), 폴리에틸렌 테트라프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET), 나일론(nylon), 저밀도 폴리에틸렌(low density polyethylene, LDPE), 고밀도 폴리에틸렌(high density polyethylene, HDPE), 아크릴(acryl), 폴리에테르케톤(polyetheretherketone), 폴리이미드(polyimide), 폴리카보네이트(polycarbonate), 폴리우레탄(polyurethane) 및 폴리에틸렌 옥사이드(polyethylene oxide)으로 구성된 군으로부터 선택되는 1종 이상일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0039] 상기 불투과성 고분자는 테프론(teflon, polytetrafluoroethylene), 폴리올레핀(polyolefine), 폴리아마이드(polyamides), 폴리아크릴레이트(polyacrylate), 실리콘(silicon), 폴리메틸 메타아크릴레이트(poly methyl methacrylate), 폴리스티렌(polystyrene), 에틸렌-비닐 아세테이트 코폴리머, 폴리에틸렌-말레 안하이드리드 코폴리머, 폴리아미드(polyamide), 폴리(비닐 클로라이드), 폴리(비닐 플로라이드), 폴리비닐 이미다졸(poly(vinyl imidazole)), 클로로술포네이트 폴리올레핀(chlorosulphonate polyolefin), 폴리에틸렌 테트라프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET), 나일론(nylon), 저밀도 폴리에틸렌(low density polyethylene, LDPE), 고밀도 폴리에틸렌(high density polyethylene, HDPE), 아크릴(acryl), 폴리에테르케톤(polyetheretherketone), 폴리이미드(polyimide), 폴리카보네이트(polycarbonate), 폴리우레탄(polyurethane) 및 폴리에틸렌 옥사이드(poly(ethylene oxide))으로 구성된 군으로부터 선택되는 1종 이상일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0040] 상기 반투과성 고분자막은 셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 에틸셀룰로오스, 초산셀룰로오스, 폴리비닐알콜(polyvinyl alcohol), 셀로판(cellophane), 니트로셀룰로오스(nitrocellulose) 및 폴리에스테르(polyester)로 구성되는 군으로부터 선택되는 1종 이상의 친수성 폴리머로 구성될 수 있고, 상기 친수성 폴리머와 상기 불투과성 고분자막을 구성하는 고분자 섬유와 복합소재로 구성될 수 있다.
- [0041] 또한, 본 발명의 일 구현 예에 따른 상기 광생물 반응기에 있어서, 상기 배양용기는 부양수단에 의해 수면 위에 떠 있거나(도 2a, 도 2b 및 도 5), 침강수단에 의해 수면 아래로 가라앉도록 할 수 있다(도 4 및 도 5). 이때, 상기 부양수단은 상기 배양용기 외부에 별도로 설치된 부표와 같은 부양장치일 수도 있고(도 5), 별도로 설치되지 않고 상기 배양용기에서 연장되어 형성된 공기주입식 튜브형상일 수도 있다(도 2a 및 도 2b). 아울러, 상기 침강수단은 상기 배양용기가 수면 아래 일정한 깊이로 잠겨있도록 배양용기의 하부에 연결된 무게추(도 4 및 도 5)일 수도 있고, 수중 또는 수저면에 설치된 수중 구조물일 수 있다.

- [0042] 또한, 상기 배양용기의 일말단은 상기 부양수단에 연결되고 타말단은 상기 침강수단에 연결될 수도 있다(도 5).
- [0043] 또한, 상기 배양용기는 폐쇄형 배양용기 또는 상부면이 개방된 개방형 배양용기일 수 있고(도 6a 및 도 6b), 상기 개방형 배양용기는 경주로(raceway) 형태의 연못 구조를 가질 수 있으며(도 6b), 배양액의 순환을 위한 배양액 순환장치를 추가로 구비할 수 있다(도 6b).
- [0044] 상기 개방형 배양용기는 상부 프레임 및 상기 상부 프레임에 연결되어 미세조류를 수용하는 경계면을 포함할 수 있으며, 상기 경계면의 전부 또는 일부는 물, 기체 및 영양성분의 자유로운 통과는 가능하나 상기 미세조류의 통과가 제한되는 소재로 구성되며, 상기 개방형 배양용기는 추가적으로 수직 프레임 및 하부 프레임을 포함할 수 있다(도 6a 및 도 6b). 상기 상부 프레임은 부양성 소재로 구성되거나(도 6b), 부양수단을 추가로 구비할 수 있고(도 6a), 상기 상부 프레임이 부양성 소재로 구성되는 경우, 속이 진공이거나 공기 또는 부력을 제공할 수 있는 기체가 포함된 플라스틱 튜 또는 튜브일 수 있다(도 6b). 필요에 따라, 상기 경계면은 상기 상부 프레임에 수용가능함으로써, 상기 배양용기의 깊이가 조절될 수 있다.
- [0045] 경계면은 배양용기의 외부와 배양 대상인 미세조류가 포함된 배양용기의 내부를 공간적으로 구분하는 구조물을 의미한다. "물, 기체 및 영양성분의 자유로운 통과가 가능하나, 미세조류의 통과가 제한된다"는 것은 특정 분자만 선택적으로 투과되는 것이 아니라, 물, 기체 및 영양성분 등 고분자를 포함한 대부분 물질의 자유로운 통과는 가능하나 미세조류와 같은 세포의 자유로운 통과는 제한한다는 것을 의미하며, 세포의 일부는 상기 경계면을 통과할 수도 있으나, 경계면을 사이로 세포 농도가 평형상태를 이루지는 않는다. 반투과막의 경우 기체의 통과가 제한되며, 고분자(macromolecule) 물질의 상당수는 아예 통과를 하지 못한다는 점에서 상기 "물, 기체 및 영양성분의 자유로운 통과가 가능하나, 미세조류의 통과가 제한되는 경계면"과 구분된다. 상기 경계면은 예를 들어 메쉬(mesh) 시트 또는 타공 시트일 수 있다.
- [0046] 또한, 본 발명의 일 구현 예에 따른 상기 광생물 반응기에 있어서, 상기 배양용기 상부에 있는 광차단 덮개에 의해 미세조류에 공급되는 광에너지가 조절되도록 고안될 수 있다(도 7). 상기 광차단 덮개는 광필터 기능이 있어, 광생물 반응기로 공급되는 태양광 중 일부 영역의 파장만이 선택적으로 투과 또는 차단될 수 있도록 한다. 상기 파장영역은 예를 들어, 태양광 파장 가운데 청색, 적색 또는 녹색 계열 등으로 분류되는 것일 수 있다. 이때, 투과 또는 차단되는 파장 영역은 배양되는 미세조류의 종류에 따라 적절하게 선택될 수 있다. 이러한 광필터 기능을 가진 막은 플라스틱 또는 고분자 재질에 특정 파장영역의 광파장을 흡수할 수 있는 화학성분을 혼합하여 제조한 것일 수 있다. 이러한 화학성분은 색소안료에 포함될 수 있다.
- [0047] 또한, 본 발명의 일 구현 예에 따른 상기 광생물 반응기는 서로 연결된 복수 개로 구성된 미세조류 배양장을 형성할 수 있다(도 8a 및 도 8b).
- [0048] 상기와 같이 구성된 미세조류 배양장을 이용하여 배양할 경우, 특별한 고정장치가 없더라도 광생물 반응기의 망실을 방지할 수 있고, 광생물 반응기의 투하 및 회수가 용이할 수 있다.
- [0049] 상기 광생물 반응기의 망실을 방지하기 위해 가설된 프레임과 프레임 사이를 연결한 격벽을 포함하며, 상기 격벽에 의해 상기 배양장 내부와 외부가 구분되도록 한다. 상기 격벽은 플라스틱, 나무, 합판 및 그물 등 다양한 소재로 구성될 수 있으나, 비용의 측면과 환경수의 자유로운 소통을 고려할 때 그물로 이루어진 것이 바람직하다. 이와 같이 형성된 미세조류 배양장은 일종의 가두리 양식장과 유사한 구조를 갖게 된다. 한편, 상기 수상 구조물의 수면 위에 형성된 프레임에는 상기 수상 구조물을 수면 위에 떠있게 하기 위한 부양수단이 부착될 수 있다. 상기 부양수단은 배양되는 미세조류가 필요로 하는 영양염류 및 태양 에너지 등의 조건을 고려하여 부력을 조절할 수 있다. 상기 부양수단은 스티로폼, 내부가 진공이거나, 공기 또는 부력을 제공할 수 있는 기체가 포함된 플라스틱 통 등의 다양한 소재로 제조될 수 있고(도 15 및 도 19), 상부 프레임에 덧씌워진 형태로 구성되거나, 상부 프레임이 별도의 부양수단에 연결될 수도 있다(도 8a 및 도 8b). 상기 부양수단이 상부 프레임에 덧씌워진 경우, 상기 부양수단은 작업자가 배양장에서 작업을 수행할 때 사용되는 작업공간이 될 수도 있다. 아울러, 수상 구조물은 작업자가 관리 작업을 할 수 있는 작업자 지지수단이 구비되도록 고안될 수 있다. 상기 작업자 지지수단은 작업자가 그 위에서 작업을 수행할 수 있는 지지체의 역할을 수행하며, 상기 부양수단에 연결되거나 혹은 부양수단과 별도로 수중 또는 수상 시설물에 연결될 수 있다. 이때, 상기 광생물 반응기는 부양수단을 구비하지 않은 것(도 8a) 또는 부양수단을 구비한 것(도 8b)일 수 있다. 광생물 반응기가 부양수단을 구비하지 않은 경우에는 광생물 반응기가 수면 아래로 너무 깊이 가라앉지 않도록 상기 수상 구조물의 바닥면의 깊이를 세포의 농도나 광도의 변화에 대응하기 위해 적절히 조절할 수 있다.
- [0050] 또한, 본 발명의 일 구현 예에 있어서, 상기 미세조류는 광합성을 할 수 있는 녹조류, 홍조류 또는 남조류일 수

있으며, 바람직하게는 클로렐라(*Chlorella*), 클라미도모나스(*Chlamydomonas*), 헤마토코커스(*Haematococcus*), 보트리오코커스(*Botryococcus*), 세네테스무스(*Scenedesmus*), 스피룰리나(*Spirulina*), 테트라셀미스(*Tetraselmis*), 두날리엘라(*Dunaliella*), 난노클로롭시스(*Nannochloropsis*), 시네코코커스(*Synechococcus*), 시네코시스티스(*Synechocystis*), 노스톡(*Nostoc*), 페오닥틸럼(*Phaeodactylum*), 포피리디움(*Porphyridium*), 네오클로리스(*Neochloris*), 카에토세로스(*Chaetoceros*), 이소키시스(*Isochysis*), 타라썬오시라(*Thalassiosira*), 스티코코커스(*stichococcus*), 피라미모나스(*pyramimonas*), 오실라토리아(*oscillatoria*), 오시스티스(*Oocystis*), 오크로모나스(*ochromonas*), 나비쿨라(*navicula*), 클로로코쿰(*chlorococcum*) 및 니츠시아(*Nitzschia*)로 구성된 군으로부터 선택되는 1종 이상일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 이때 상술한 미세조류는 배양용기 내에서 카로테노이드, 균체, 파이코빌리프로테인, 지질, 탄수화물, 불포화지방산 또는 단백질 등의 대사물질을 생산할 수 있다.

[0051] 상기 광생물 반응기에 있어서, 상기 배양용기에 하나 이상의 주입구가 구비될 수 있으며, 상기 주입구는 개폐수단을 구비할 수 있는데(도 9a 및 도 9b), 예를 들어 예를 들어 지퍼백, 밸브, 체크밸브, 튜브마개, 부착식 테이프, 클립 또는 집게핀 형태일 수 있다.

[0052] 상기 광생물 반응기에 있어서, 상기 배양용기의 한 면에 부착된 날개에 의해 바람 또는 물에 의한 힘에 의해 상기 배양용기가 축방향을 중심으로 회전하도록 고안될 수 있다(도 10a 내지 도 10d). 상기 날개는 서로 다른 방향으로 연장(extended)되어 있는 두 개 이상의 날개를 포함하여 구성될 수 있으며, 서로 교차될 수 있다. 또한, 상기 날개는 배양용기가 수직방향 축을 중심으로 회전하도록 굴곡을 가질 수 있다.

[0053] 이하, 본 발명의 도면에 도시된 광생물 반응기의 예시를 설명하면 다음과 같다. 그러나 본 발명은 이하에 개시되는 도면에 도시된 광생물 반응기의 예시에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있는 것으로, 이하의 도면에 도시된 광생물 반응기의 예시는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 또한 설명의 편의를 위하여 도면에서는 구성 요소들이 그 크기가 과장 또는 축소될 수 있다.

[0054] 본 발명에 따른 메쉬 시트를 이용한 미세조류 대량배양을 위한 광생물 반응기는 최소의 비용으로 미세조류의 성장을 극대화함으로써, 미세조류를 효율적으로 대량 생산할 수 있다. 또한, 수면에 부유식 또는 수면 아래 일정한 깊이로 가라앉도록 설치됨으로써, 대량 생산에 필요한 공간적 제약을 극복하는 효과를 제공한다.

[0055] 본 발명의 도면 1에 도시된 광생물 반응기(101)는 미배양 대상인 미세조류와 환경수를 공간적으로 구분하기 위한 경계면의 전부 또는 일부가 메쉬(mesh) 시트(111)로 제조된 배양용기(110)를 포함한다. 메쉬 시트는 타공 시트와 같이 기체, 물 및 영양성분의 자유로운 통과가 허용되고 미세조류의 자유로운 통과가 차단되는 소재라면 어느 것이라도 사용가능하다.

[0056] 구체적으로, 상기 메쉬 시트는 환경수, 기체 및 영양성분의 자유로운 출입이 가능하며, 미세조류나 오염성 미생물의 자유로운 통과가 차단되는 것을 특징으로 한다. 보다 구체적으로, 환경수의 유입이 가능함으로써, 미세조류의 성장이 요구되는 영양성분의 공급 및 미세조류 성장과정에서 배출되는 노폐물이 환경수와 함께 제거될 수 있다. 이는 별도의 영양공급 장치 및 정화장치 등이 요구되지 않기 때문에 비용, 시간 및 노동력을 절감하는 효과를 제공한다. 또한, 미세조류의 광합성 과정에서 필요한 이산화탄소 공급 및 발생하는 산소의 배출이 메쉬 시트를 통하여 이루어질 수 있다. 나아가 미세조류가 관리가능한 제한적인 배양용기 내에서 배양됨에 따라, 미세조류의 대량 번식에 따른 환경오염을 방지할 수 있으며, 대량 배양된 미세조류의 수확이 용이하다는 장점을 갖는다. 특히, 본 발명의 도 1에 도시된 메쉬 시트(111)를 이용하여 제조된 광생물 반응기는 종래의 반투과막을 이용하여 제조된 광생물 반응기에 비하여 미세조류의 성장을 1.5~2배 가량 증진시키는 효과를 제공하고 있어, 미세조류의 생산 효율을 현저하게 개선시켰다.

[0057] 상기 메쉬 시트는 물, 영양성분, 가스 및 미세조류의 배설물의 자유로운 유입 및 유출이 가능하며, 미세조류의 자유로운 통과가 차단되는 것을 특징으로 하며, 예를 들어, 상기 메쉬 시트는 고분자로 이루어진 섬유로 직조될 수 있다. 상기 고분자는 생분해성 고분자 또는 난분해성 고분자일 수 있다.

[0058] 상기 메쉬 시트를 이용하여 제조된 배양용기는 미세조류를 수용할 수 있는 형상을 가지지만 하면 되는데, 예를 들어, 원, 타원형, 원뿔형 또는 원통형 등의 형태로 제조될 수 있으며, 그 형상이 특별히 제한되지 않는다.

[0059] 또한, 상기 배양용기의 경계면의 전부 또는 일부만이 메쉬 시트로 제조될 수 있으며, 입체적인 형상을 유지하며 부유를 위하여 불투과성 또는 반투과성의 투명 또는 반투명 재질을 이용하여 제조될 수 있다. 예를 들어 미세조류를 수용한 플라스틱 용기의 일 단면을 메쉬 시트를 이용하여 봉입하는 경우, 플라스틱 용기의 부력에 의하여

해수면 근처에 부유할 수 있다.

[0060] 본 발명의 도 2a에 도시된 광생물 반응기(102)는 도 1에 도시된 배양용기(110)를 포함하되, 배양용기(110)로부터 연장되어 형성된 튜브 형상의 부양수단(120)을 추가적으로 구비할 수 있다. 상기 튜브 형상의 부양수단은 배양용기의 주재질과 동일하거나 이질적인 소재로 형성될 수 있으며, 제조공정을 고려할 때 동일한 소재로 형성되는 것이 바람직하다. 본 발명의 광생물 반응기 예시에 따르면, 공기가 주입되어 형성된 풍선 형태의 배양용기의 가장자리를 가열압착하여 접착시킴으로써 튜브형상의 부양수단을 형성할 수 있다. 이 경우, 배양용기(110) 부분은 부양수단(120)에 둘러싸인 형태가 되고, 배양용기(110)의 전부 또는 일부는 메쉬 시트(111)로 치환될 수 있다.

[0061] 한편 부양수단은 통상적인 스티로폼, 부표, 속이 빈 통 등의 물체로서 배양용기에 연결수단을 통해 연결된 것일 수 있다(도 5).

[0062] 본 발명의 도 3에 도시된 광생물 반응기(103)는 도 1에 도시된 배양용기(110)를 포함하되, 상기 배양용기(110)에 연결된 하나 이상의 연결수단(130)을 추가로 포함할 수 있다. 연결수단(130)은 본 발명에 도면에 도시된 광생물 반응기의 예시에 따른 배양용기를 서로 연결하거나, 배양용기와 부양수단을 연결하여 고정할 수 있는 것이 라면, 형상이나 재질을 불문한다. 예를 들어, 밧줄이나 쇠사슬 같은 것을 사용할 수 있다. 배양용기(110)는 수직상으로 연결될 수 있는데, 이 경우 부양수단(120)은 최상단의 배양용기에만 구비되고, 상기 최상단의 배양용기의 아래쪽에 연결된 배양용기(110', 110'')는 부양수단(120)을 구비하지 않는다(도 3a). 선택적으로 본 발명의 예시에 따른 광생물 반응기(103)는 복수의 배양용기(110)가 별도의 연결수단 없이 서로 연결된 부양수단(120)에 의해 직렬(도 3b) 또는 직병렬(도 3c)로 연결될 수 있다. 선택적으로 도 3d 및 3e에 도시된 바와 같이, 부양수단을 구비하지 않은 복수의 배양용기(110)가 부유식 연결수단(130')에 의해 환형(도 3d) 또는 전후좌우(도 3e)로 연결될 수 있는데, 부유식 연결수단(130')은 배양용기(110)의 수표면으로의 부상을 위해 부양이 가능한 재질, 예를 들어, 부표, 스티로폼, 속이 진공이거나 내부에 공기 또는 부력을 제공할 수 있는 기체가 포함된 플라스틱 통 또는 튜브 등으로 구성될 수 있다. 이 경우 배양용기(110)에 부양수단(120)이 추가로 구비될 수도 있다(미도시). 이러한 배양용기의 연결 방식은 배양되는 미세조류의 종류 및 상기 배양용기를 설치하는 해양 환경에 따라 변경될 수 있으며, 예를 들어 하나 이상의 미세조류를 배양하는 경우에는 상하로 배양용기를 연결하여 바다에 설치할 수 있다. 또한, 한 종류의 미세조류를 배양하는 경우에는 좌우 또는 환형으로 연결하여, 배양하는 미세조류의 배양에 요구되는 태양광이 투과되는 수심 범위에 위치할 수 있도록 부력이 조정된 부유식 연결수단을 이용할 수 있다.

[0063] 본 발명의 도 4에 도시된 광생물 반응기(104)는 도 1에 도시된 배양용기(110)를 포함하되, 배양용기(110)가 적절한 수심에서 가라앉아 있을 수 있도록, 배양용기(110)에 연결된 하나 이상의 침강수단(140)을 추가로 포함할 수 있다. 침강수단(140)은 예를 들어, 무게추일 수 있고, 수저면 또는 수중에 설치된 구조물일 수 있다.

[0064] 본 발명의 도 5에 도시된 광생물 반응기(105)는 도 1 또는 도 2의 배양용기(110)를 포함하되, 배양용기(110)에 연결된 부양수단(120)과 침강수단(140)을 추가로 포함한다. 예를 들어, 부양수단(120)이 배양용기(110)의 일말단에 연결수단(130)을 통해 연결되고, 침강수단(140)이 배양용기(110)의 타말단에 연결될 수 있다. 부양수단(120)과 침강수단(140)을 통해 배양용기의 부양정도 및 침강정도를 조절할 수 있다.

[0065] 본 발명의 도 6a에 도시된 광생물 반응기(109)는 상면이 개방된 개방형 배양용기(110')를 가질 수 있다. 이 경우, 배양용기(110')는 상부 프레임(113)과 이에 연결된 경계면으로 구성될 수 있으며, 상기 경계면의 일부 또는 전부는 메쉬 시트 또는 타공 시트와 같은 기체, 물 및 영양성분의 자유로운 통과가 가능하고 미세조류의 자유로운 통과가 제한되는 소재(111)로 구성될 수 있다. 상부 프레임(113)은 직사각형, 정사각형 등 다각형, 원형 또는 타원형 등 개방형 배양용기(110')의 입체적 구조를 형성시킬 수 있는 형태라면 어느 형태라도 가질 수 있고, 상기 경계면은 상부 프레임(113)에 뜰채와 같은 형태로 연결될 수 있다(미도시). 선택적으로 개방형 배양용기(110')의 체적을 극대화하고 구조의 안정을 위해, 상부 프레임(113)에 연결된 수직 프레임(114) 및/또는 하부 프레임(115)을 추가적으로 구비할 수 있다. 이하, 도 6a에 도시된 것 같이 상부프레임(113)이 직사각형이고, 상기 직사각형의 네 모서리에 수직 프레임(114)과 상기 수직 프레임(114)를 서로 연결하는 하부 프레임(115)을 갖추고 이들 프레임과 프레임 사이를 연결하고 있는 바닥벽(116) 및 전후좌우 네 측벽(117)을 구비한 개방형 배양용기(110')에 대하여 상세히 설명한다. 바닥벽(116)의 일부 또는 전부가 메쉬 시트나 타공 시트와 같이 미세조류의 자유로운 통과만 제한되고, 기체, 물 및 영양 성분 등의 자유로운 통과가 가능한 소재(111)로 이루어져 있고, 그 외의 부분은 미세조류를 실질적으로 가둘 수 있는 불투과성 필름 소재로 이루어질 수 있다. 선택적으로 바닥벽(116)은 불투과성 필름 소재로 구성되고, 네 측벽(117)의 일부 또는 전부가 메쉬 시트나 타공 시트와 같

이 미세조류의 자유로운 통과만 제한되고, 기체, 물 및 영양 성분 등의 자유로운 통과가 가능한 소재(111)로 이루어질 수 있으며, 바닥벽(116), 네 측벽(117) 모두가 메쉬 시트나 타공 시트와 같이 미세조류의 자유로운 통과만 제한되고, 기체, 물 및 영양 성분 등의 자유로운 통과가 가능한 소재(111)로 이루어질 수 있다. 이와 같은 구조를 갖는 개방형 배양용기(110')는 수면 위로의 부상이 곤란할 수 있기 때문에, 별도의 부양수단(120)을 상부 프레임(113)의 전부 또는 일부에 구비할 수 있다. 선택적으로, 개방형 배양용기(110')는 상부 프레임(113) 자체가 부양성 소재로 구성되거나, 상부 프레임(113)에 직간접적으로 부양수단(120)이 연결된 구조를 가질 수 있다. 전자의 경우, 배양용기(110')의 상부 프레임(113)은 공기가 주입된 하나 이상의 튜브로 구성되거나, 속이 빈 플라스틱 틀로 이루어질 수 있다. 후자의 경우 스티로폼, 내부가 진공이거나 공기 또는 부력을 제공할 수 있는 기체가 포함된 플라스틱 통 등의 부양수단이 상부 프레임(113)의 측면이나 하단에 부착될 수 있다. 상부 프레임(113)에 작업자가 미세조류를 접종 또는 회수 작업을 용이하게 하기 위한 작업대가 부가될 수 있다. 선택적으로, 상부 프레임(113)이 직접 부양수단이 되거나 상부 프레임(113)에 부양수단(120)이 덧씌워진 경우, 상기 작업대는 생략될 수 있다. 필요에 따라, 바닥벽(116) 또는 네 측벽(117)은 상부 프레임(113)에 수용가능함으로써, 배양용기(110')의 깊이가 조절될 수 있다. 즉, 태양광이 약한 계절이나 흐린 날씨에는 바닥벽(116) 또는 네 측벽(117)이 상부 프레임(113) 내로 수용됨으로써 배양용기(110')의 깊이가 작질 수 있고, 태양광이 강한 계절이나 맑은 날씨에는 바닥벽(116) 또는 네 측벽(117)이 상부 프레임(113)으로부터 인출되어 배양용기(110')의 깊이가 커질 수 있다.

[0066]

아울러, 본 발명의 도 6b에 도시된 광생물 반응기(209)는 수면 위에 부양하도록 설치가 되는 경주로(raceway) 연못형 개방형 배양용기(210)를 포함할 수 있다. 이 경우 도 6b에 도시된 바와 같이, 경주로 연못형 개방형 배양용기(210)의 가운데에는 격벽(218)이 설치되어 배양액이 한쪽 방향으로 회전할 수 있는 구조를 가질 수 있다. 이 경우 배양액의 원활한 회전을 위해 수차나 펌프 등 배양액 순환장치(219)가 추가로 구비될 수 있다. 배양액 회전장치(219)는 기본적으로 바람이나 파도에 의해 회전할 수 있고, 한 방향으로의 지속적인 회전을 위해 배터리 또는 태양광 발전기 등 별도의 전원 에 의해 회전력을 공급하는 모터(미도시)를 추가적으로 구비할 수 있다. 상기 경주로 연못형 개방형 배양용기(210)의 기본적인 구조는 도 6a에 도시된 개방형 배양용기(110')와 유사하다. 경주로 연못형 개방형 배양용기(210)는 타원형, 길이 방향으로 신장된 타원형 또는 원형으로 형성된 상부 프레임(213) 및 상기 상부 프레임(213)에 연결된 경계면으로 구성될 수 있다. 이 때, 경주로 연못형 개방형 배양용기(210)의 체적을 극대화하고 구조의 안정을 위해, 상부 프레임(213)에 연결된 수직 프레임(214) 및/또는 하부 프레임(215)를 추가적으로 구비할 수 있다. 이하, 도 6b에 도시된 것 같이 상부프레임(213)이 길이 방향으로 신장된 타원형이고, 상기 타원형 상부 프레임(213) 아래쪽으로 연결된 수직 프레임(214) 및 상기 수직 프레임(214) 사이를 서로 연결하는 하부 프레임(215)을 갖추고 이들 프레임과 프레임 사이를 연결하고 있는 바닥벽(216)과 측벽(217)을 갖춘 형태의 경주로 연못형 개방형 배양용기(210)에 대하여 상세히 설명한다. 바닥벽(216)의 일부 또는 전부가 메쉬 시트나 타공 시트와 같이 미세조류의 자유로운 통과만 제한되고, 기체, 물, 영양 성분 등의 자유로운 통과가 가능한 소재(211)로 이루어져 있고, 그 외의 부분은 미세조류를 실질적으로 가둘 수 있는 불투과성 필름 소재로 이루어질 수 있다. 선택적으로 바닥벽(216)은 불투과성 필름 소재로 구성되고, 측벽(217)의 일부 또는 전부가 메쉬 시트나 타공 시트와 같이 미세조류의 자유로운 통과만 제한되고, 기체, 물 및 영양 성분 등의 자유로운 통과가 가능한 소재(211)로 이루어질 수 있으며, 바닥면(216) 및 측벽(217) 모두가 메쉬 시트나 타공 시트와 같이 미세조류의 자유로운 통과만 제한되고, 기체, 물 및 영양 성분 등의 자유로운 통과가 가능한 소재(211)로 이루어질 수 있다. 이와 같은 구조를 갖는 경주로 연못형 개방형 배양용기(210)는 수면 위로의 부상이 곤란할 수 있기 때문에, 별도의 부양수단(220)을 상부 프레임(213)의 전부 또는 일부에 구비할 수 있다. 선택적으로, 경주로 연못형 개방형 배양용기(210)는 상부 프레임(213) 자체가 부양성 소재로 구성되거나, 상부 프레임(213)에 직접 부양수단(220)이 덧씌워진 구조를 가질 수 있다. 전자의 경우, 경주로 연못형 배양용기(210)의 상부 프레임(213)은 공기가 주입된 하나 이상의 튜브로 구성되거나, 속이 빈 플라스틱 틀로 이루어질 수 있다. 작업자가 미세조류의 접종 또는 회수 작업이 용이하게 하기 위해 상부 프레임(213)에 작업대가 부가될 수 있다. 선택적으로, 상부 프레임(213)이 직접 부양수단이 되거나 상부 프레임(213)에 부양수단(220)이 덧씌워진 경우, 상기 작업대는 생략될 수 있다.

[0067]

상기와 같이 상부가 개방되고 측면 및/또는 바닥면의 전부 또는 일부가 기체, 물 및 영양성분의 자유로운 통과가 가능하고, 미세조류의 자유로운 통과가 제한되는 경계면으로 구성되는 배양용기를 사용할 경우 원가가 크게 절감되고, 기체의 교환이 더욱 자유롭고, 광합성 과정에서 생성된 노폐물의 제거와 환경수로부터 영양성분의 공급이 원활하기 때문에, 보다 효율적으로 미세조류의 배양이 가능하다.

[0068]

본 발명의 도 7에 도시된 광생물 반응기(107)는 도 1에 도시된 배양용기(110)를 포함하되, 배양용기(110)의 일 단면에 구비된 광차단 영역(160)을 추가로 포함한다. 예를 들어, 광차단 영역(160)이 배양용기(110)의 일 단면에

구비됨으로써, 배양하는 미세조류에 전달되는 광에너지의 양 또는 파장을 조절할 수 있도록 고안되었으며, 패턴과 같은 형태로 배양기에 구비될 수 있다.

[0069]

본 발명의 도 8에 도시된 미세조류 배양장(1000)은 미세조류를 배양할 수 있는 복수의 배양용기를 수면에 특정 위치에 고정하여 망실 없이 배양한 후 회수를 용이하게 하기 위한 것으로서, 광생물 반응기(1100) 및 이를 담지하고 있는 수상 구조물(1200)을 포함할 수 있다. 수상 구조물(1200)은 광생물 반응기(1100)의 망실을 방지하기 위해, 배양장 상부 프레임(1210) 및 상기 배양장 상부 프레임(1210) 사이를 연결하여 배양장(1000)의 내부와 외부 구분하는 울타리(1220)를 포함한다. 본 발명의 도 8a에 도시된 미세조류 배양장(1000)은 수면 위로 부상되어 있는 배양장 상부 프레임(1210) 외에, 수면 아래로 가라앉아 있는 배양장 수직 프레임(1211) 및 배양장 하부 프레임(1212)을 추가로 구비할 수 있는데, 배양장 상부 프레임(1210)은 정사각형, 직사각형, 다각형, 원형 또는 타원형 등 배양용기(1110)를 입체적으로 형성할 수 있는 것이라면 어떠한 형태라도 가질 수 있고, 울타리(1220)가 뜰채와 같이 배양장 상부 프레임(1210)에 연결될 경우에는(미도시) 배양장 수직 프레임(1211) 및 배양장 하부 프레임(1212)은 생략이 가능하다. 울타리(1220)는 플라스틱, 나무, 합판 또는 그물 등의 다양한 소재로 구성될 수 있으나, 비용의 측면과 환경수의 자유로운 소통을 고려할 때 그물로 이루어진 것이 바람직하다. 이와 같이 형성된 미세조류 배양장(1000)은 일종의 가두리 양식장과 유사한 구조를 갖게 된다. 한편, 상기 수상 구조물(1200)의 수면 위에 형성된 배양장 상부 프레임(1210)에는 수상 구조물(1200)을 수면 위에 부상시킬 수 있게 하기 위한 배양장 부양수단(1213)이 구비될 수 있다. 배양장 부양수단(1213)은 배양되는 미세조류의 배양에 필요로 하는 영양염류 및 태양 에너지 등의 조건을 고려하여 부력을 조절할 수 있다. 배양장 부양수단(1213)은 스티로폼, 내부가 빈 플라스틱 등 다양한 소재로 제조될 수 있고, 배양장 상부 프레임(1210)에 덧씌워진 형태로 구성되거나, 배양장 상부 프레임(1210)에 별도의 연결수단에 의해 연결될 수 있다. 아울러, 수상 구조물(1200)은 작업자가 관리 작업을 할 수 있는 작업자 지지수단(미도시)이 구비되도록 고안될 수 있다. 상기 작업자 지지수단은 작업자가 그 위에서 작업을 수행할 수 있는 지지체의 역할을 수행하며, 배양장 부양수단(1213)에 연결되거나 혹은 배양장 부양수단(1213)과 별도로 수중 또는 수상 시설물(미도시)에 연결될 수 있다. 한편, 상기 작업자 지지수단은 그 자체로 부양성 소재로 구성되어, 배양장 부양수단(1213)을 대체할 수 있다. 즉, 부양성 소재로 된 지지수단(미도시)이 배양장 상부 프레임(1210)에 씌어질 경우, 배양장 부양수단(1213)은 생략될 수 있다. 한편, 도 8b에 도시된 것과 같이, 배양장 상부 프레임(1210)이 부양성 소재, 예를 들어, 튜브 또는 속이 빈 플라스틱 튜브와 같은 소재로 구성되는 경우 배양장 부양수단(1213)과 작업자 지지수단은 생략될 수 있다. 광생물 반응기(1000)는 부양수단을 구비하지 않은 것 또는 부양수단을 구비한 것일 수 있다. 광생물 반응기(1000)가 부양수단을 구비하지 않은 경우에는 광생물 반응기(1000)가 수면 아래로 너무 깊이 가라앉지 않도록 수상 구조물(1200)의 바닥면(1221)의 깊이를 적절하게 조절할 수 있다. 다만, 광생물 반응기(1100)가 부양수단을 구비하고 있는 경우에는 도 8b에 도시된 바와 같이, 수상 구조물(1200)의 바닥면(1221)과 배양장 하부 프레임(1212)은 생략될 수 있다.

[0070]

상기와 같이 미세조류 배양장을 이용하여 본 발명에 따른 광생물 반응기를 가둬서 배양을 할 경우, 특별한 고정장치가 없더라도 광생물 반응기의 망실을 방지할 수 있고, 광생물 반응기의 투하 및 회수가 용이할 수 있다.

[0071]

본 발명의 도 9에 도시된 광생물 반응기(106)는 도 1에 도시된 배양용기(110)를 포함하되, 배양용기(110)에 연결된 개폐수단(150)을 추가로 포함한다. 예를 들어, 개폐수단(150)이 배양용기(110)의 일단면에 구비되어, 미세조류가 배양용기(110) 내에 담지될 수 있도록 고안되었으며, 개폐가 용이하도록 지퍼(도 9a), 지퍼백 또는 밸브(도 9b)와 같은 형태로 구비될 수 있다.

[0072]

본 발명의 도 10에 도시된 광생물 반응기(108)는 파도나 바람에 의해 배양용기(110)가 요동할 수 있는 요동구조를 가진 것을 특징으로 한다. 예를 들어, 도 10a에 도시된 바와 같이, 도 1에 도시된 배양용기(110)를 포함하되 상기 요동구조로 배양용기에 연결된 날개(170)를 추가로 포함할 수 있다. 날개(170)가 배양용기의 아랫면 또는 윗면에 부착되어, 바람 또는 물에 의한 힘에 의해 상기 배양용기가 수직방향을 중심으로 회전하도록 고안되었다. 날개(170)는 하나 또는 두 개가 교차되어 배양용기의 아랫면 또는 윗면에 부착될 수 있으며, 도 10b에 도시된 바와 같이 바람이 닿는 단면적을 넓혀 회전이 용이하도록 곡선형으로 고안될 수 있다. 아울러, 상기 요동구조는 배양용기(110) 자체의 형상에 반영될 수 있다. 예를 들어 도 10c에 도시된 바와 같이, 배양용기(110)의 양 측면이 신장되어 바람개비와 같은 날개(170)를 갖추어 파도나 바람에 의해 배양용기(110)를 요동시킬 수 있다. 이 때, 배양용기(110)의 효율적인 요동을 위해 돌출된 양 날개(170)의 방향이 서로 180도를 이루는 것이 바람직하다. 선택적으로, 상기 요동구조는 배양용기를 관통하는 축(112)에 부착되어 파도나 바람에 의해 회전하는 외측 회전날개(170')와 상기 외측 회전날개(170')와 연동되어 배양용기 내부에서 회전하는 내측 회전날개(170'')로 구성될 수 있다(도 10d). 외측 회전날개(170')의 형상은 바람개비, 프로펠라 또는 물레방아 등 물

의 흐름이나 바람에 의해 회전할 수 있는 구조라면 어느 것이라도 무방하다.

[0073] 이하, 본 발명을 실시예에 의해 상세히 설명한다. 단, 하기 실시예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0074] **실시예 1: 메쉬 시트로 제조된 광생물 반응기의 미세조류 투과성 측정**

[0075] 미세조류가 메쉬 시트를 통해 용출 여부를 확인하고자 실험을 실시하였다. 총 부피가 100ml 플라스틱 용기의 하단에 각각 PET, 폴리에스테르 또는 나일론으로 제작된 메쉬 시트를 부착하여 배양용기를 제작하였고, 배양용기 내부에 생체중량(wet weight)으로 0.5g/ℓ 미세조류(*Tetraselmis* sp.) 60ml를 넣고, 1ℓ의 f/2-Si 배지가 담긴 플라스틱 용기에 부유시킨 후, 미세조류가 메쉬 시트로 제조된 배양용기 외부로 용출되는지의 여부를 확인하고자 하였다. 나일론 및 PET의 망목 크기는 5 μ m이며, 폴리에스테르의 망목 크기는 15 μ m이다. 만약 미세조류가 메쉬 시트 외부로 유출된다면 미세조류는 외부의 배지를 이용하여 성장할 것이다. 미세조류 배양시 온도는 20℃로 유지시켰으며, 광도 100 μ m/m²/s의 형광등을 이용하여 공급하였다. 배양 5일 후에 반응기 외부와 내부의 미세조류 농도를 쿨터 계수기(coulter counter, model: multi-sizer 3, Beckman Inc., USA)를 이용하여 미세조류 농도를 확인하였다. 상기 실험에 사용한 나일론, 폴리에스테르 및 PET 재질의 메쉬 시트 및 6~8kDa의 분획 분자량(Cut-off value)을 갖는 반투과막에 대하여 주사 전자현미경으로 촬영한 결과는 도 11에 도시되어 있다.

[0076] 이때, 사용한 메쉬 시트의 특성 및 배양용기 내에 수용된 배양액의 부피는 하기 표 1에 기재된 바와 같다.

[0077] 도 12에 나타난 바와 같이 메쉬 시트로, PET를 이용하여 플라스틱 용기의 일면을 막고, 상기 용기 내에 미세조류를 주입하고 배양하며, 미세조류의 용출여부를 확인하였다. 그 결과, 배양용기 내부의 미세조류의 세포 크기 및 분포도는 도 13과 같이 나타나며 배양용기 내에 평균 약 11 μ m의 미세조류가 분포하고 있는 것을 확인할 수 있었으며, 배양용기 외부에는 도 14에 나타난 바와 같이 약 5 μ m 이하의 세포가 관찰되었으나, 배양한 미세조류가 배양용기로부터 용출되지 않은 것을 확인할 수 있었다(도 13 및 도 14).

표 1

[0078]

	길이(m)	폭(m)	표면적(m ²)	두께(m)	배양액 부피(m ³)
나일론(nylon)	0.065	0.045	0.002925	0.000100	0.00006
폴리에스테르(polyester)	0.065	0.045	0.002925	0.000065	0.00006
PET	0.065	0.045	0.002925	0.000033	0.00006

[0079] **실시예 2: 메쉬 시트로 제조된 광생물 반응기를 이용한 미세조류의 성장수준 측정**

[0080] 메쉬 시트로 제조된 배양용기를 이용하여 실제로 미세조류를 배양하였으며, 이에 대한 대조군으로 셀룰로오스 재질의 반투과막을 이용하여 미세조류를 배양하였다.

[0081] 2ℓ의 수용액을 수용하는 플라스틱 수조 2개에 f/2-Si와 인천 해수의 용존된 질소, 인 농도와 유사한 조건을 만들기 위해 f/2 배지를 1/30로 희석한 자연 해수(natural seawater, NSW)를 각각 1ℓ씩 제조하여 넣었으며, 폴리에스테르 또는 나일론 재질의 메쉬 시트를 0.003m²을 플라스틱 반응기 하단에 부착하였으며, 생체중량(wet weight)으로 0.05g/ℓ의 미세조류를 접종한 100ml를 플라스틱 용기 넣고, 수조에 부유시키며 미세조류를 배양하였다(도 15). 대조군으로 셀룰로오스 재질, 50kDa의 분획분자량(molecular weight cut off)의 반투과막(product number 132544, spectrumlabs, USA)을 같은 넓이로 부착하여 실험을 실시하여 미세조류의 성장성을 비교하였다. 배양용기 내부와 외부의 영양염의 농도차를 일정하게 유지하기 위하여 배지는 매일 1회씩 주기적으로 교환하였으며, 배양시 형광등을 이용하여 24시간 동안 100 μ E/m²/s의 빛을 공급하였고, 배양온도를 20℃로 유지하고 18일 동안 배양하였다. 배양 0, 3, 6, 9, 12, 15 및 18일째에 배양기 상부에 구비된 샘플링 포트를 통하여 약 1~2 ml의 배양액을 채취한 후, 세포의 성장성과 배양액의 질소 농도를 측정하였다.

[0082] 그 결과, 도 16에 나타난 바와 같이, 배지의 종류에 상관없이 대조구인 셀룰로오스 반투과막에 비하여 폴리에스테르 또는 나일론 메쉬 시트를 이용한 경우, 미세조류의 성장이 우수한 것을 확인할 수 있었다. 구체적으로 미

세조류의 생체 중량은 대조구인 50kDa 셀룰로오스 반투과막에 비해 f/2에서 배양한 것은 약 25% 성장성이 더 우수하였으며, 근사 해수가 들어 있는 수조에서는 약 60~80% 더 성장성이 우수한 것으로 나타났다(도 16). 이러한 결과는 배양용기 외부 수조에 있는 영양염들이 반투과막에 비해 메쉬 시트에 대하여 높은 투과성을 가지고 있으며, 이에 따라 미세조류의 성장을 촉진할 수 있다는 것을 입증한 것이다.

실시예 3: 메쉬 시트로 제조된 광생물 반응기의 염 투과성 측정

본 실시예에서는 메쉬 시트로 제조된 배양용기로 영양염의 투과성을 측정하였으며, 이에 대한 대조군으로 셀룰로오스 재질의 반투과막을 이용하여 미세조류를 배양하였다.

영양염 투과성은 미세조류 배양에 있어 중요 인자인 질산염의 투과속도로 측정하였으며, 메쉬 시트의 영양염 투과성 측정 방법으로는 사각 수조에 100, 200 또는 400mg/ℓ 농도의 질산염이 포함된 해수(2ℓ)를 제조하고, 질산염의 들어있지 않은 해수 100ml이 담긴 사각 플라스틱 용기를 수조에 부유시킨 후, 수조에서 플라스틱 용기로 들어오는 질산염의 농도차의 변화를 시간에 따라 측정하였다.

그 결과, 하기 표 2 및 도 17에 나타난 바와 같이 셀룰로오스 반투과막에 비하여 나일론, 폴리에스테르 또는 PET 재질의 메쉬 시트를 통하여 질산염 성분이 배양용기 내부로 약 30배 정도 더욱 잘 투과되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 경향성은 반투과막에서는 동일하게 나타나지 않았는데, 반투과막의 경우 3.5kDa, 6~8kDa, 15kDa 및 50kDa으로, 분획분자량(molecular weight cut off)을 증가시키더라도, 투과량이 증가하지 않았으며, 최대값이 메쉬 시트의 1/28의 수준에 불과했다. 이러한 결과는 반투과막만으로는 미세조류를 환경수에서 직접 배양하는 것에 한계가 있음을 보여주는 것으로서, 본 실시예에 따른 메쉬 시트로 제조된 배양용기가 미세조류의 용출 없이, 성장에 필요한 영양염류를 미세조류에 공급함으로써 효과적으로 미세조류의 생산성을 증가시킬 수 있음을 입증하는 것이다.

표 2

	NO ₃ ⁻ transfer rate (mg/ℓ/min)	timated Max. NO ₃ -transfer rate (mg/m ² /day)	timated Max. NO ₃ ⁻ transfer rate (g/m ² /day)
3.5kDa 반투과막	0.0291	154	0.154
6~8kDa 반투과막	0.0257	136	0.136
15kDa 반투과막	0.0325	172	0.172
50kDa 반투과막	0.0352	187	0.187
나일론(Nylon) 메쉬 시트	0.1866	5512	5.512
폴리에스테르 (Polyester) 메쉬 시트	0.1869	5522	5.522
P.E.T 메쉬 시트	0.1835	5420	5.420

실시예 4: 메쉬 시트로 제조된 광생물 반응기를 이용한 미세조류의 해양 배양시의 성장성 측정

본 발명자는 본 발명의 일 실시예에 따른 광생물 반응기를 영흥도 해양 배양장에 설치하고, *Tetraselmis* sp.(KCTC12236BP)를 9일 동안 배양하며, 균주의 성장 및 질소원의 투과정도를 확인하였다. 이때, 본 실시예에 따른 메쉬 시트를 이용하여 제조한 배양기와 함께, 불투과막(polyethylene) 및 반투과막을 이용하여 제조한 광생물 반응기에 동일 미세조류를 배양하였다. 광생물 배양기는 도 18에 나타난 바와 같은 구조를 가지며, 도 19와 같은 플라스틱 용기를 이용하였으며, 밀면을 메쉬 시트 또는 비교를 위하여 비투과막 또는 반투과막을 이용하여 미세조류를 배양용기 내부에 넣었다(도 18 및 19). 구체적으로 사용한 불투과성 막은 폴리에틸렌(polyethylene)을 이용하였으며, 메쉬 시트로 PET, 나일론 또는 폴리에스테르를 이용하였고, 3배의 f/2-Si 배지와 탄소원 공급을 위해 4g/ℓ의 중탄산나트륨(sodium bicarbonate)을 첨가하여 배양하였으며, 반투과막

(semipermeable membrane, SPM)으로는 셀룰로오스 재질의 6~8kDa 및 15kDa 분획분자량 반투과막(product number 132544, spectrumlabs, USA)을 이용하였다(도 20).

Tetraselmis sp.를 9일 동안 배양하는 동안 영흥도 해양 배양장의 기온, 수온, 실측 수온 및 실측 기온은 도 21에 나타난 바와 같다. 미세조류를 배양 시작일을 0시간으로 정했다. 또한, 배양시의 일평균 광도(PAR, photosynthetically active radiation) 및 광조사 시간은 도 22a 및 도 22b에 정리하였고, 미세조류 배양기간 동안 평균 수온은 9.9℃였고, 평균 기온은 4.2℃였으며, 평균 광도는 $295.5 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 였고, 평균 광조사 시간은 7.4시간이었다(도 21, 도 22a 및 도 22b). 광생물 배양기 내부의 미세조류의 성장수준은 미세조류의 세포농도와 생체중량을 기준으로 판단하였으며, 폴리에스테르 또는 PET 소재의 메쉬 시트를 이용하여 제조한 배양기를 이용한 경우 미세조류의 성장이 각각 $1.68 \times 10^6 \text{ cells}/\text{mL}$, $1.77 \times 10^6 \text{ cells}/\text{mL}$ 로 증가하였고(도 23a), 생체균체중량 역시 폴리에스테르 또는 PET 소재의 메쉬 시트를 사용한 경우가 반투과막을 사용한 15kDa 경우보다 1.14~1.48배 증가하였다(도 23b). 독특한 점은 낮은 제한치(cut off value)를 갖는 6~8kDa 반투과막의 경우 불투과성 막을 사용한 대조군에 비해 낮은 가장 낮은 값을 나타냈다(표 3).

표 3

Day 9	Control	Polyester	P.E.T	6~8 kDa	15 kDa
생체중량 (g/ℓ)	0.79	0.78	0.81	0.55	0.71
세포농도 (cells/mL)	1.70E+06	1.68E+06	1.77E+06	1.29E+06	1.60E+06

실시예 5: 메쉬 시트로 제조된 배양용기의 재사용 효율 측정

본 실시예에 따른 메쉬 시트의 재사용 효율을 측정하기 위하여 상기 실시예4에서 이용한 메쉬 시트를 회수하여, 이를 세척 또는 비세척한 조건에서 *Tetraselmis* sp. 균주를 9일 동안 영흥도 해양 배양장치에서 배양하며, 질산염의 이동효율을 측정하였다. 이때, 대조군으로는 실시예4에서 이용한 셀룰로오스 재질의 6~8kDa 및 15kDa 분획분자량 반투과막을 세척 또는 비세척 조건으로 사용하였다. 또한, 전체 실험에 대한 비교를 위하여 사용하지 않은 막을 이용하였다. 구체적으로 세척은 흐르는 수돗물에 사용한 각각의 막을 2ℓ의 수조에 1ℓ의 수돗물을 채운 수조에 약 5분간 담갔으며, 약 1분간 막의 앞면과 뒷면을 별도의 세척도구를 사용하지 않고 손을 이용하여 흐르는 수돗물에 세척하였다.

Tetraselmis sp. 균주를 9일 동안 배양하며, 실시예3과 동일한 방법으로 질산염의 막 이동율을 비교한 결과, 도 24에 나타난 바와 같이 본 실시예에 따른 재사용된 폴리에스테르 및 PET 메쉬 시트를 이용하여 제조된 광생물 배양기는 반투과막에 비해서도 질산염 투과효율이 우수하였으며, 별도의 처리 없이 단순히 수돗물에 세척함으로써 투과효율이 증가하였다. 이러한 결과는 본 발명에 따른 메쉬 시트는 수돗물에 행구는 간단한 과정을 통해서 재사용이 가능함을 의미하며, 산업적 이용 가능성이 매우 우수하다는 것을 의미한다.

실시예 6: 메쉬 시트로 제조된 광생물 반응기와 인공해수를 이용한 미세조류 두날리엘라 테르티오렉타(*Dunaliella tertiolecta*) 배양 실험

환경수의 공급이 미세조류 성장성을 증가시키는 것을 입증하기 위하여 미세조류 두날리엘라 테르티오렉타를 인공적으로 조성된 해수에서 배양하는 실험을 진행하였다. 총 부피가 200mℓ인 플라스틱 용기의 하단에 폴리에스테르로 제작된 메쉬 시트를 부착하여 배양용기를 제작하였고, 배양용기 내부에 생체중량이 0.03g/ℓ인 두날리엘라 테르티오렉타 150mℓ를 넣고, 25ℓ의 인공해수가 담긴 아크릴수조에 부유시켰다. 본 실시예의 실험군에는 하루에 1ℓ의 인공해수를 수액정량조절기를 통하여 넣어주었고 대조군에는 추가적인 인공해수 공급없이 부유시켜 확산으로만 영양성분을 공급받도록 하였다. 인공해수 내의 영양성분을 일정하게 유지하기 위하여 25ℓ의 인공해수는 매일 1회씩 교환하였으며, 배양시 형광등을 이용하여 24시간 $200 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 빛을 공급하였고, 배양온도는 20℃로 유지하였다. 매일 배양액의 부피와 배양액 내의 세포 생체 중량을 확인하여 미세조류의 성장을 확인하였다. 그 결과, 인공해수(환경수)를 하루 1ℓ씩 공급하였을 때 배양 0~10일 동안 미세조류 평균 생산량이 0.083g/ℓ/day(환경수 무공급)에서 0.16g/ℓ/day(1ℓ/day의 환경수 공급)로 94% 증가하였다(도 26).

[0097] 실시예 7: 자연해수를 이용한 미세조류 테트라셀미스(*Tetraselmis* sp. KCTC12236BP) 배양 실험

[0098] 인공해수뿐만 아니라 자연해수에서도 적용되고 미세조류에 보편적으로 적용가능하다는 것을 입증하기 위하여 인천 앞바다의 자연해수와 다른 종류의 미세조류인 테트라셀미스 종을 이용하여 배양실험을 진행하였다. 총 부피가 200ml인 플라스틱 용기의 하단에 폴리에스테르로 제작된 메쉬 시트를 부착하여 배양용기를 제작하였고, 배양용기의 내부에 생체중량이 0.08g/ℓ 인 테트라셀미스 150ml을 넣고, 60ℓ의 자연해수가 담긴 아크릴수조에 부유시켰다. 본 실시예에서는 하루에 1ℓ의 자연해수를 수액정량조절기를 통하여 넣어주었고 대조군에는 추가적인 자연해수 공급없이 부유시켜 확산으로만 영양성분을 공급받도록 하였다. 자연해수 내의 영양성분을 일정하게 유지하기 위하여 60ℓ의 자연해수를 매일 1회씩 교환하였으며, 배양시 형광등을 이용하여 24시간 200 μE/m²/s로 빛을 공급하였고, 배양온도는 20℃로 유지하였다. 매일 배양액의 부피와 배양액 내의 세포 생체 중량을 확인하여 미세조류의 성장을 확인하였다. 그 결과, 도 27에 개시한 바와 같이 자연해수(환경수)를 하루 1ℓ씩 공급하였을 때 배양 0~6일 동안 미세조류 평균 생산량이 0.025g/ℓ/day(환경수 무공급)에서 0.056g/ℓ/day(1ℓ/day의 환경수 공급)로 122% 증가하였다. 따라서 인공적으로 조성된 배양액이 아닌 자연해수를 이용하여 미세조류를 배양할 수 있고 환경수의 강제공급으로 미세조류 생산성을 증가시킬 수 있다는 것을 입증하였다.

[0099] 실시예 8: 자연해수의 공급량 조절에 따른 미세조류 테트라셀미스(*Tetraselmis* sp. KCTC12236BP) 배양 실험

[0100] 환경수 공급량을 증가시킬수록 미세조류의 생산성이 증가된다는 것을 입증하기 위하여 실시예 7과 동일한 조건에서 환경수 공급량을 1, 2 또는 3ℓ/day로 증가시켜 배양실험을 진행하였다. 총 부피가 200ml인 플라스틱 용기의 하단에 폴리에스테르로 제작된 메쉬 시트를 부착하여 배양용기를 제작하였고, 배양용기의 내부에 생체중량이 약 0.25g/ℓ 인 테트라셀미스 150ml을 넣고, 40ℓ의 자연해수가 담긴 아크릴수조에 부유시켰다. 실험군을 3군으로 나누어 각각 1, 2 또는 3ℓ/day의 자연해수를 수액정량조절기를 통하여 넣어주었고 대조군에는 추가적인 자연해수 공급없이 부유시켜 확산으로만 영양성분을 공급받도록 하였다. 자연해수 내의 영양성분을 일정하게 유지하기 위하여 40ℓ의 자연해수를 매일 1회씩 교환하였으며, 배양시 형광등을 이용하여 24시간 200 μE/m²/s로 빛을 공급하였고, 배양온도는 20℃로 유지하였다. 매일 배양액의 부피와 배양액 내의 세포 생체 중량을 확인하여 미세조류의 성장을 확인하였고, 배양액 내의 pH를 측정하여 환경수 공급량에 따라 배양액 내의 화학적 조성이 얼마나 잘 유지되는지 보았다. 그 결과, 도 28에 개시된 바와 같이 자연해수(환경수)의 공급량이 증가할수록 미세조류 생산량이 증가하였다. 배양기간 7일 기준으로 환경수 3ℓ/day를 공급해주었을 때 평균 미세조류 생산성이 0.24g/ℓ/day로 대조군(환경수 무공급)의 0.080g/ℓ/day 비해 199% 증가하였다(도 28 및 도 29). 배양 2일째까지는 배양기 내의 미세조류 세포 생체 중량이 낮아서 영양분 포화 현상이 일어나 실험군들의 미세조류 생산성이 모두 0.2g/ℓ로 서로 차이를 보이지 않았지만 배양 2일~4일에는 환경수 공급량이 무공급에서 3ℓ/day로 증가함에 따라 미세조류 생체 중량이 각각 0.1, 0.2, 0.3 또는 0.4g/ℓ로 증가하여 환경수 공급량에 따라 미세조류 생산성이 증가함을 입증하였다(도 28). 또한 환경수 공급량이 증가할수록 배양액의 화학적 조성이 신선한 배양액과 가깝게 유지된다는 것을 pH 값을 통하여 확인할 수 있었다(도 30).

[0101] 배양 효율을 증진시키는데 필요한 최소 환경수 공급량은 세포의 자유로운 통과는 제한하되 영양성분의 통과는 허용하는 경계면(메쉬 시트 또는 타공 시트)과 환경수 내의 영양성분 농도에 따라 다르며 하기의 식으로 표현할 수 있다.

[0102]

$$V_{min} = \frac{K_p \cdot A}{C_{salt}}$$

[0103] 여기서 V_{min} 은 최소 환경수 공급량(ℓ/day)을, K_p 는 해당 환경수에서 경계면의 영양성분(탄소, 질소 또는 인) 최대 투과량(mg/m²/day)을, A 는 환경수에 침지되어 있는 표면적(m²)을, C_{salt} 는 배양기 외부 환경수의 영양성분 농도(mg/ℓ)를 의미한다.

[0104] 실시예 9: 확대된 규모의 자연해수 공급을 통한 미세조류 테트라셀미스 (*Tetraselmis* sp. KCTC12432BP) 배양 실험

형

[0105]

확대된 규모에서도 환경수 공급을 통해 미세조류 생산성을 증가시킬 수 있다는 것을 입증하기 위하여 옥외에서 레이스웨이 연못을 이용하여 배양실험을 진행하였다. 총 부피가 6ℓ인 플라스틱 용기를 잘라내고 폴리에스테르로 제작된 메쉬 시트를 상단을 제외한 다섯면을 감싸도록 배양용기를 제작하였고, 배양용기의 내부에 건조중량이 약 0.006g/ℓ인 테트라셀미스 3ℓ를 넣고, 1톤의 자연해수가 담긴 레이스웨이에 부유시켰다. '해수 공급'군에는 레이스웨이에 담겨져 있는 자연해수를 배양기간과 미세조류 농도에 따라 10, 40, 160ℓ/day의 양으로 공급하였다. 레이스웨이 내의 자연해수는 미세조류와 다른 미생물이 축적되지 않도록 주기적으로 교환하였다. 대조군으로는 같은 배양용기에 자연해수를 공급해주지 않는 '확산'군과 영양염 교환이 이루어지지 않는 플라스틱용기를 배양용기로 사용한 '불투과'군을 두었다. 매일 배양액의 부피와 배양액 내의 세포 생체 중량을 확인하여 미세조류의 성장을 확인하였고, 배양액 내의 염도를 측정하여 배양액 내의 화학적 조성이 얼마나 잘 유지되는지를 보았다. 그 결과, 도 31에 개시된 바와 같이 자연해수가 공급되었을 때 미세조류의 생산성이 가장 높았으며 영양염 투과가 이루어지지 않는 '불투과'군에서는 미세조류 농도가 약간 증가 후 감소하는 것을 볼 수 있었다. 자연해수를 공급한 실험의 최대 일일 단위면적당 미세조류 생산성은 배양 기간 13-17일 기준 10 g/m²/day로 같은기간 자연해수를 공급해주지 않은 실험군의 1.7 g/m²/day 대비 약 6배 증가하였다(도 31). 또한 강우 조건에서 '불투과'군과 '확산'군의 배양액의 염도가 감소된 것에 반해 자연해수를 지속적으로 공급해주는 경우에는 배양액의 염도가 낮아지지않고 레이스웨이의 염도와 근접하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다(도 32).

부호의 설명

[0106]

101~109, 209, 1100: 광생물 반응기
 110: 배양용기
 110': 개방형 배양용기
 111, 211: 메쉬 시트 또는 타공 시트
 112: 축
 113, 213: 상부 프레임
 114, 214: 수직 프레임
 115, 215: 하부 프레임
 116, 216: 바닥벽
 117, 217: 측벽
 120, 220: 부양수단
 130: 연결수단
 140: 침강수단
 150: 개폐수단
 160: 광차단 영역
 170, 170', 170'': 날개
 210: 경주로(raceway) 연못형 배양용기
 218: 격벽
 219: 배양액 순환 장치
 1000: 미세조류 배양장
 1200: 수상 구조물
 1210: 배양장 상부 프레임

1211: 배양장 수직 프레임

1212: 배양장 하부 프레임

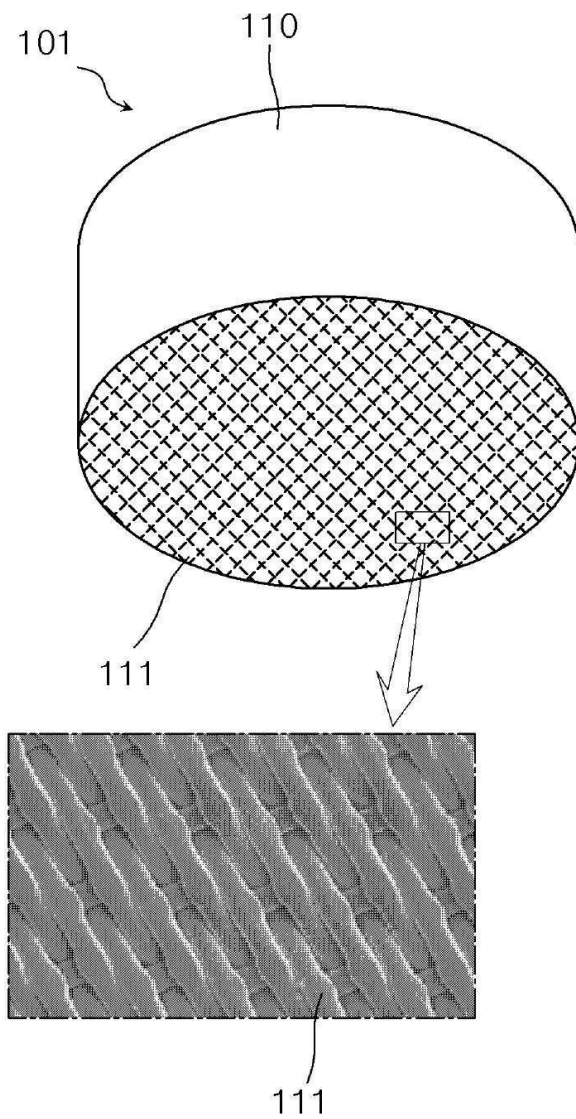
1213: 배양장 부양수단

1220: 울타리

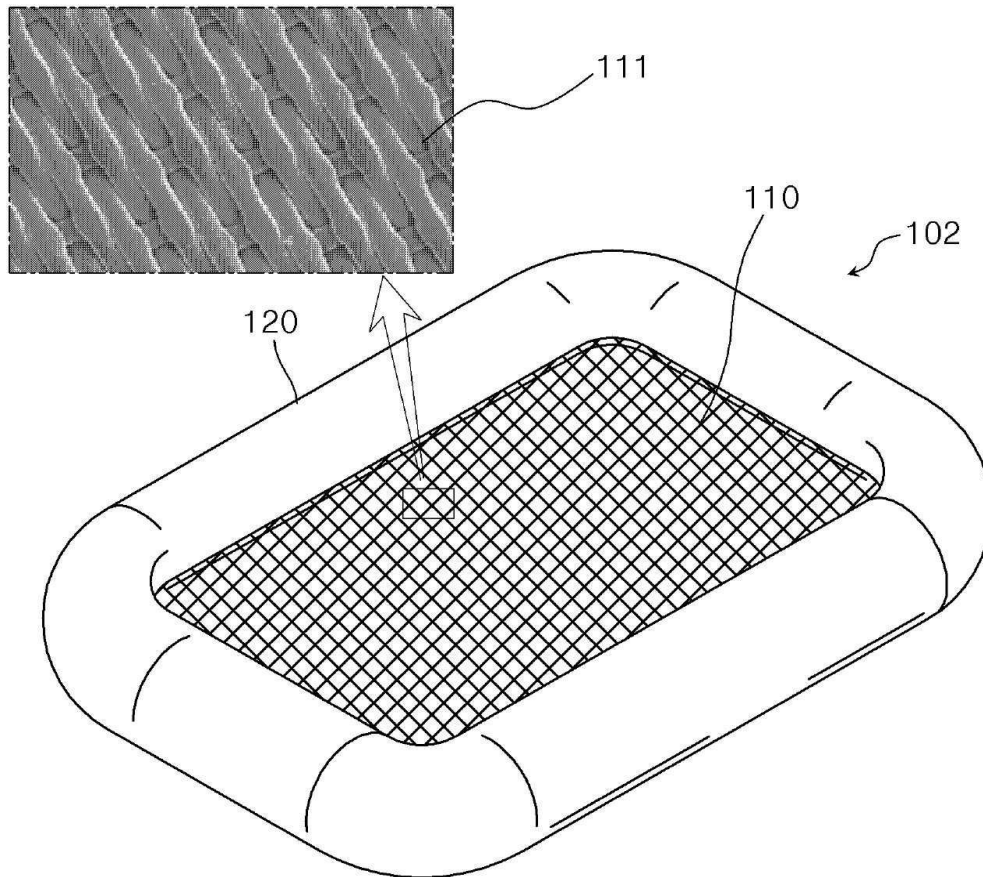
1221: 바닥면

도면

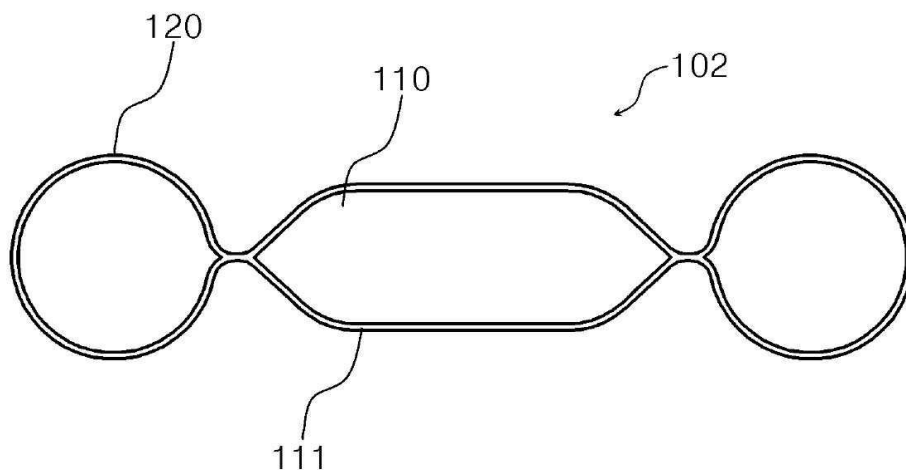
도면1



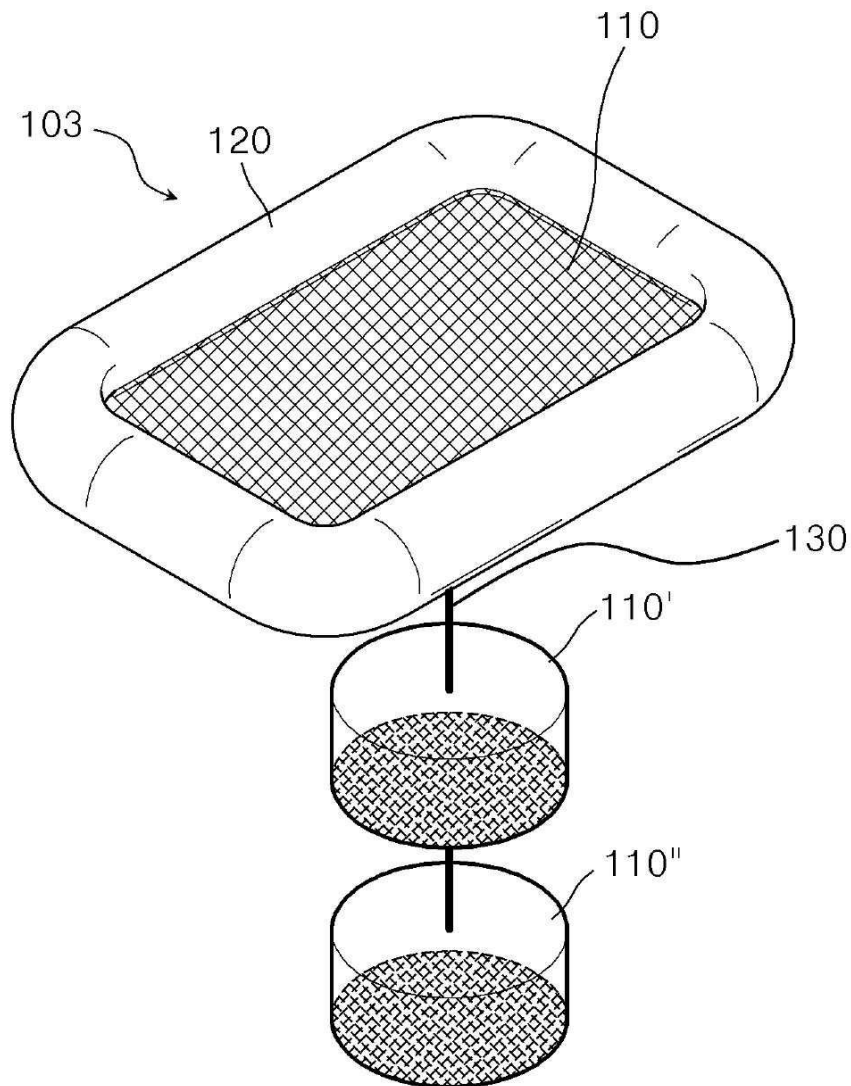
도면2a



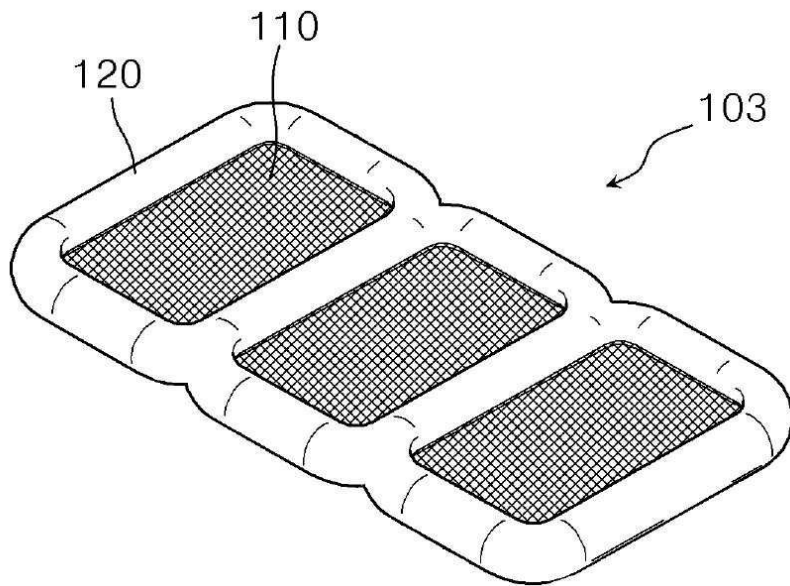
도면2b



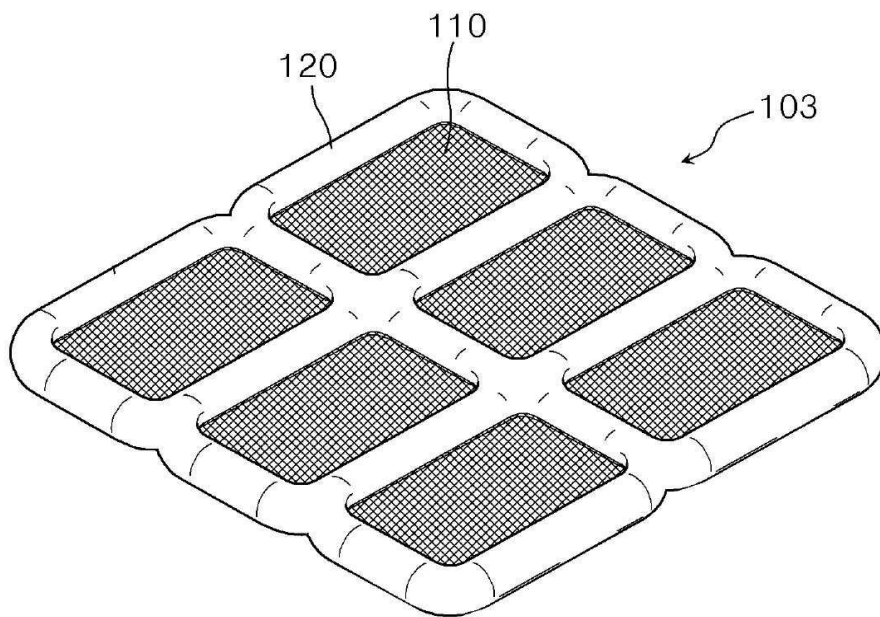
도면3a



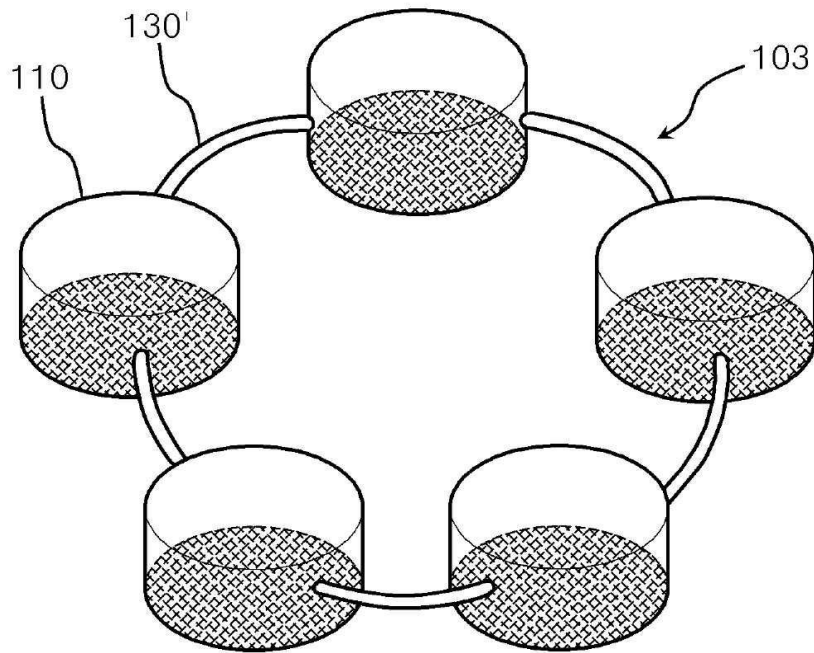
도면3b



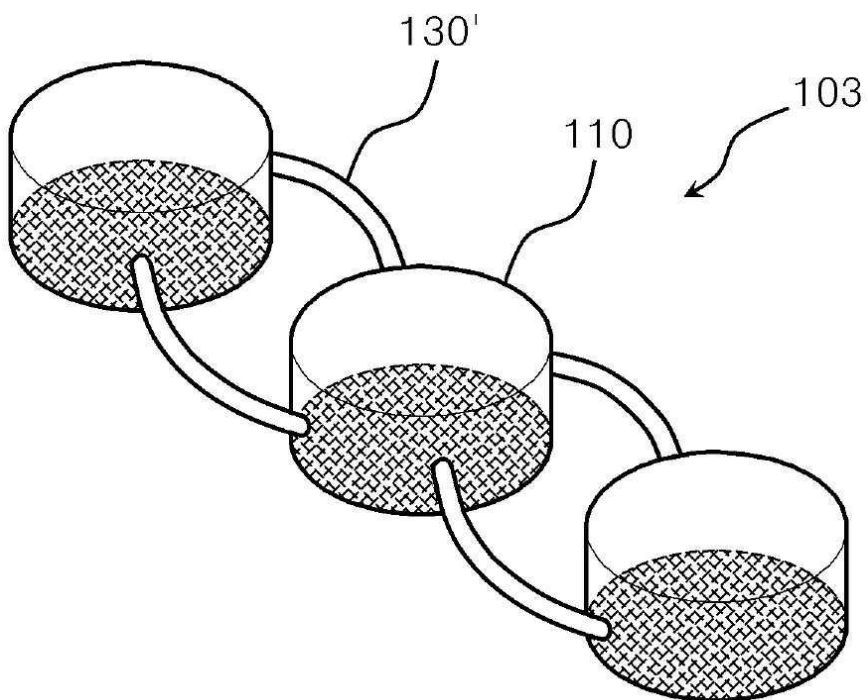
도면3c



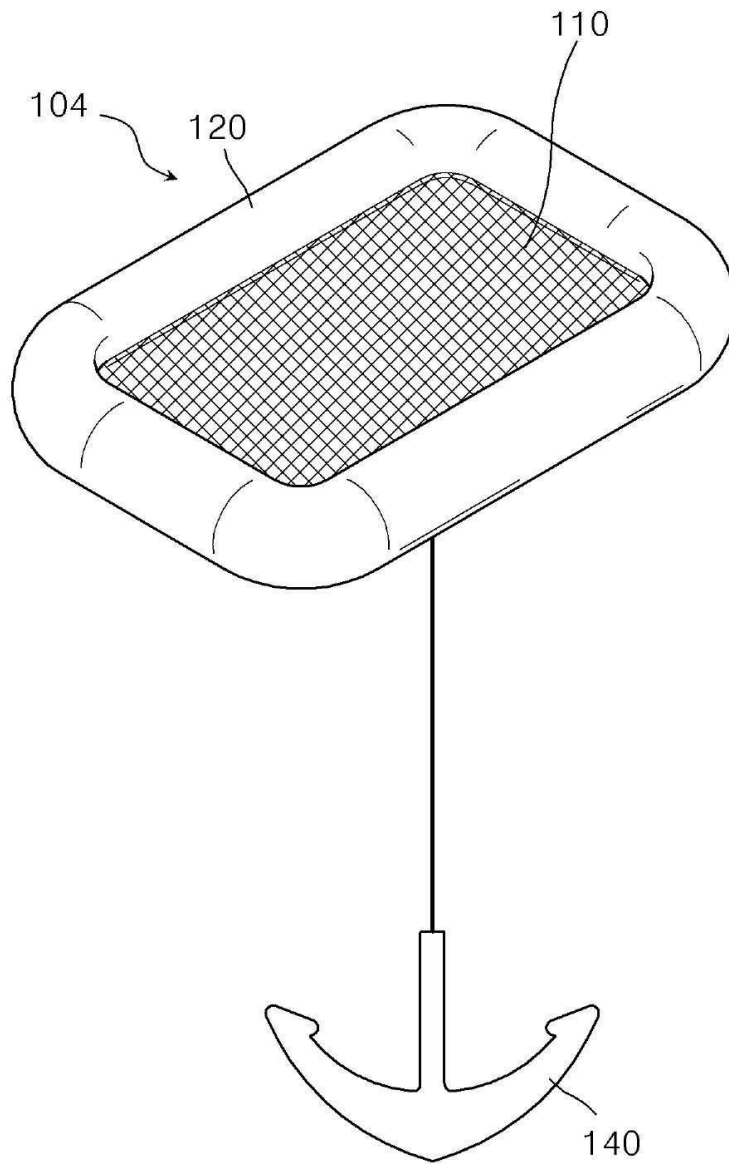
도면3d



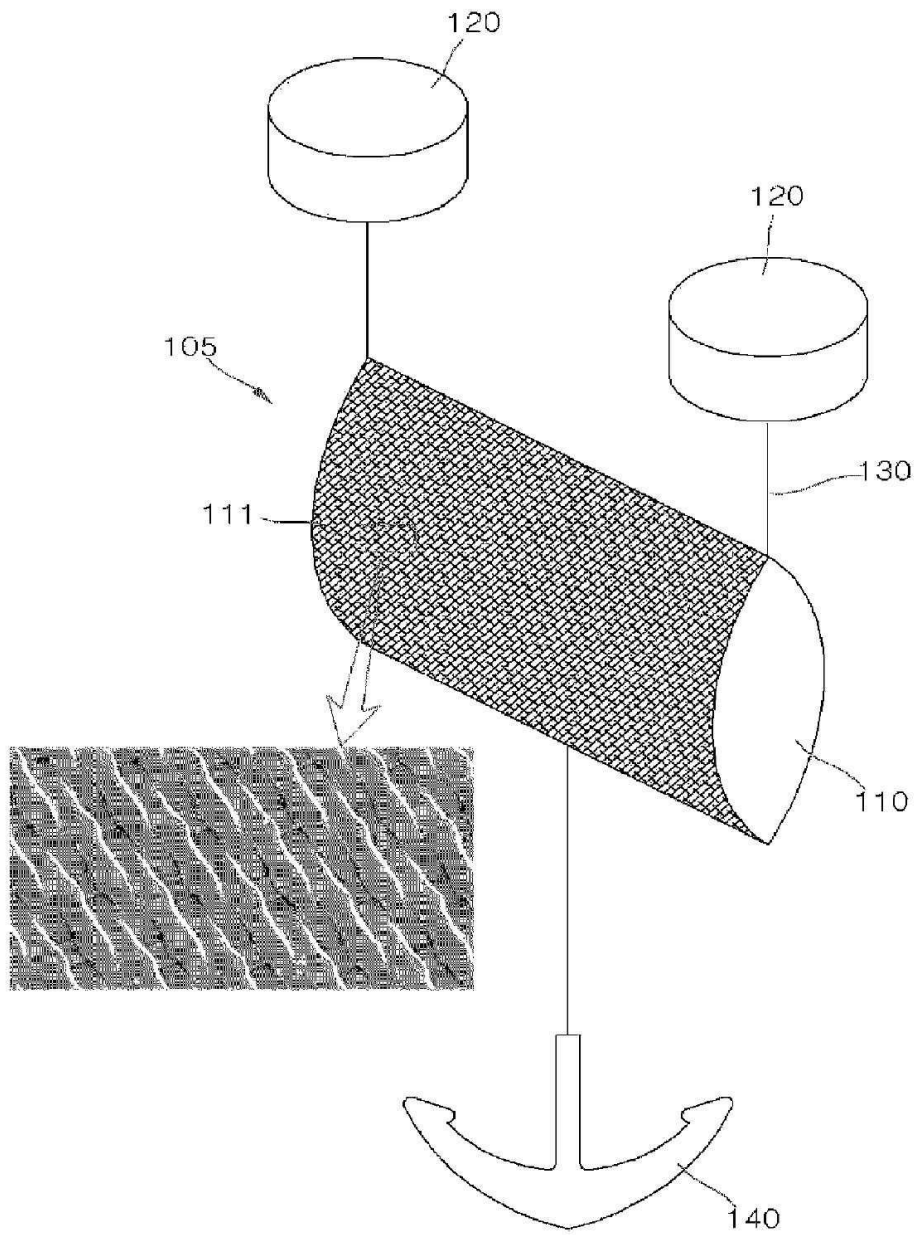
도면3e



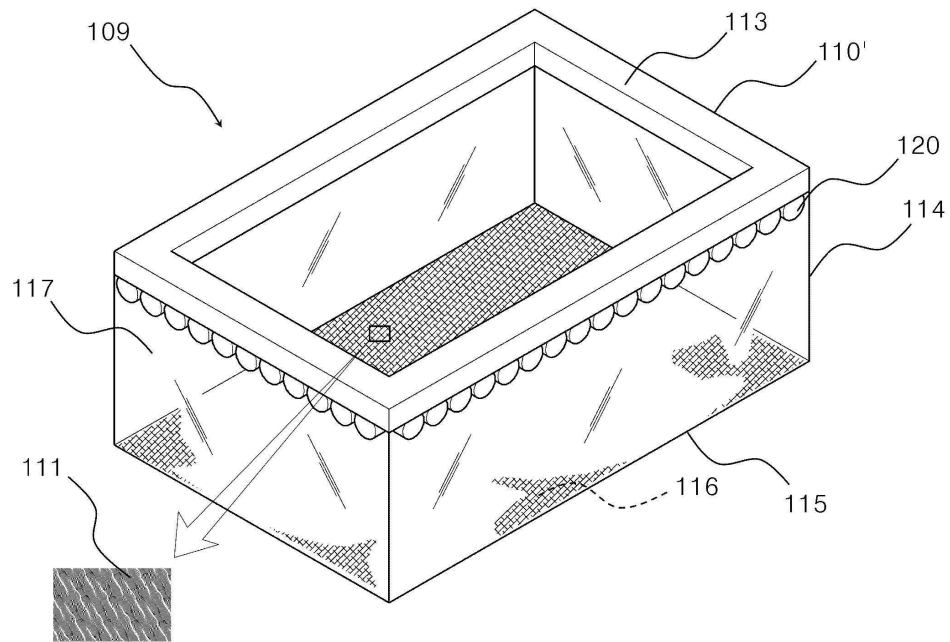
도면4



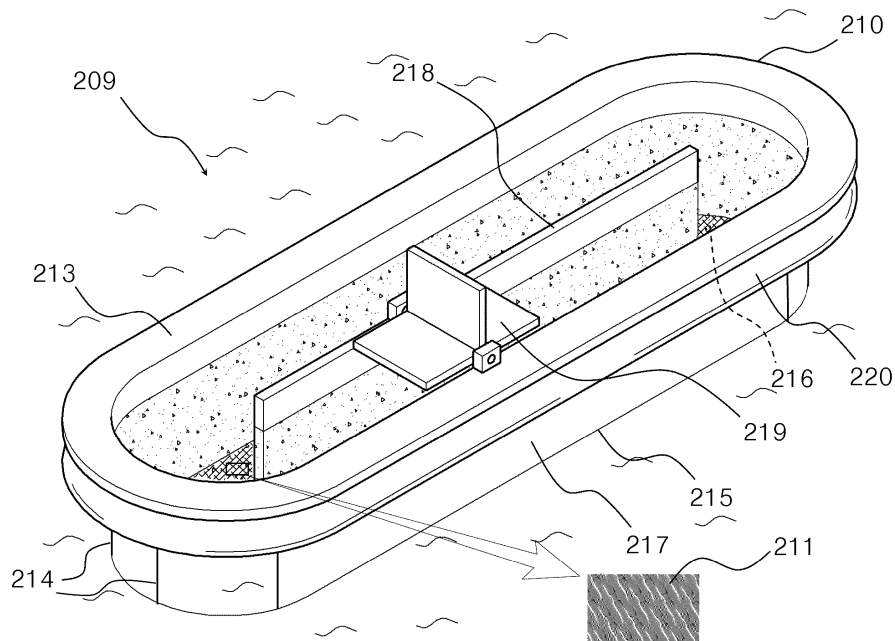
도면5



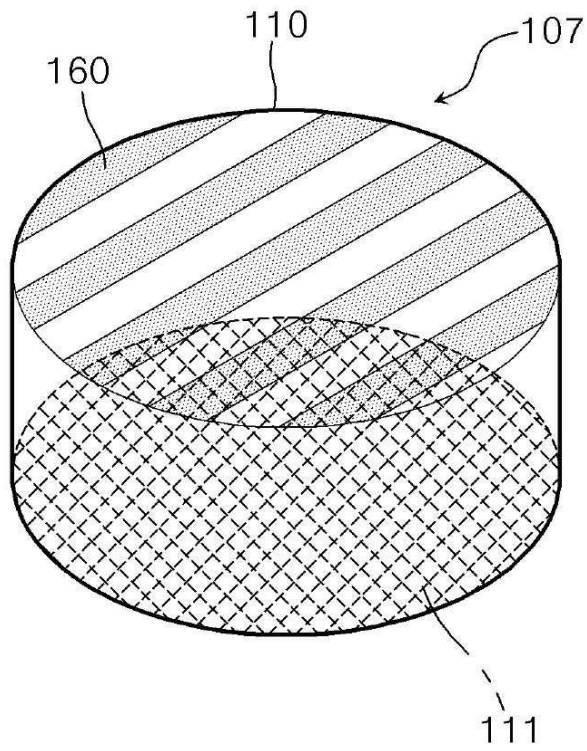
도면6a



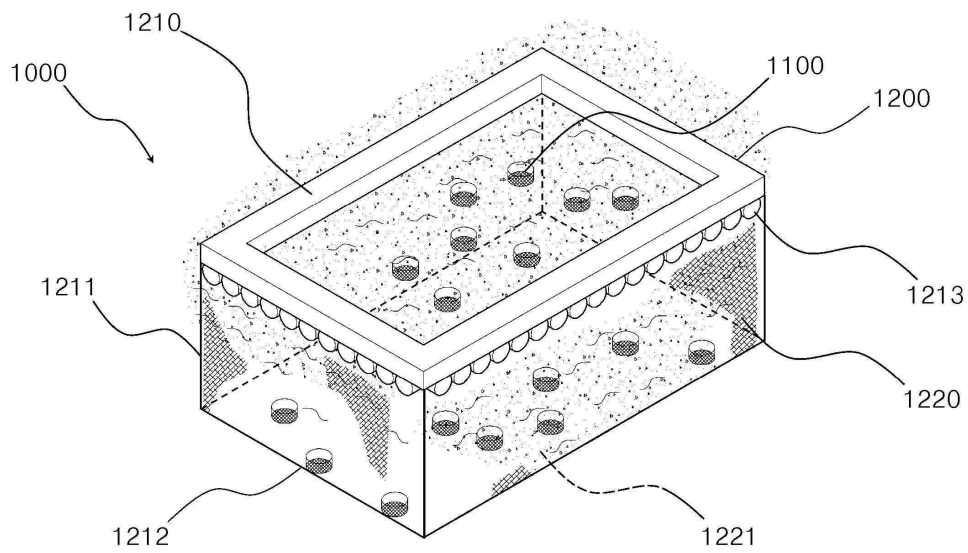
도면6b



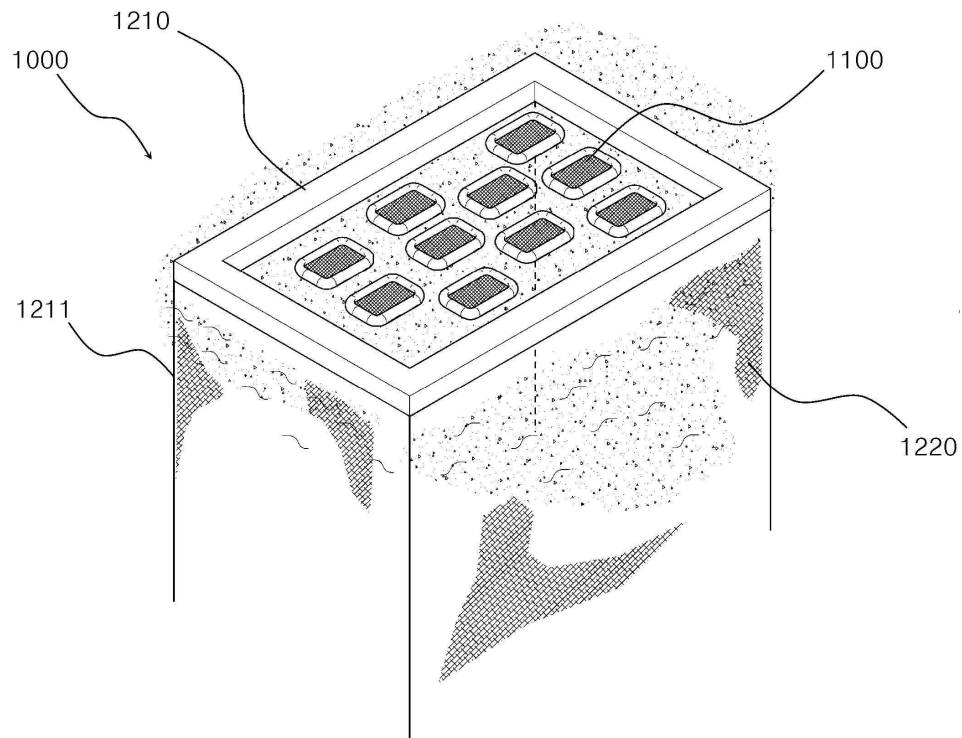
도면7



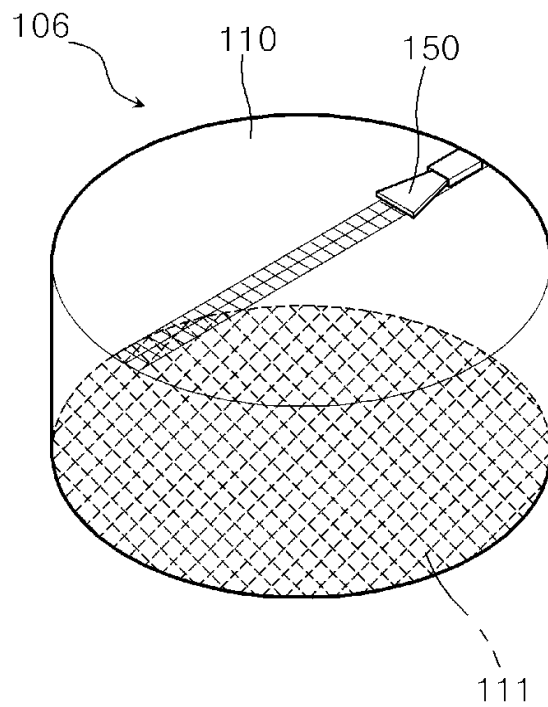
도면8a



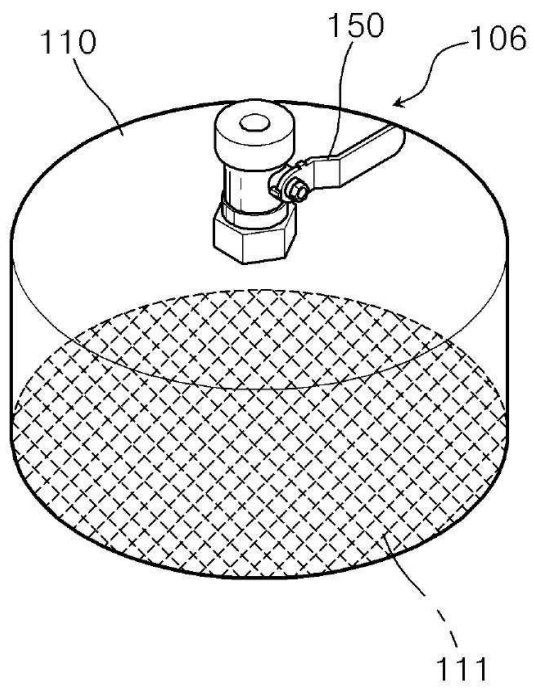
도면8b



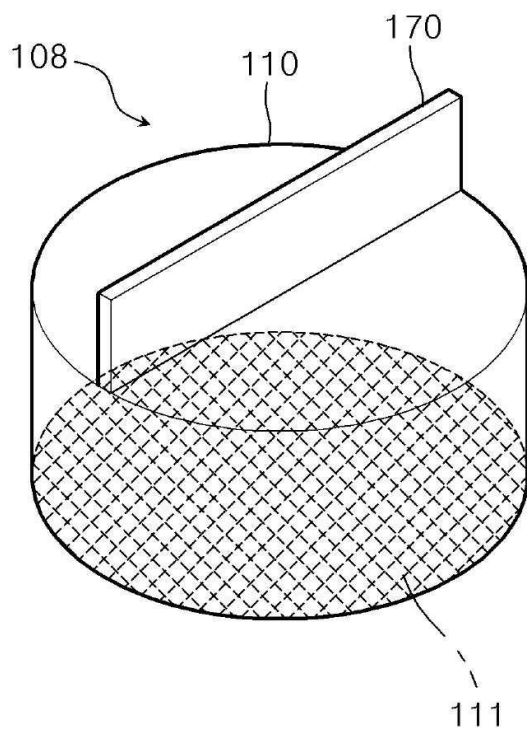
도면9a



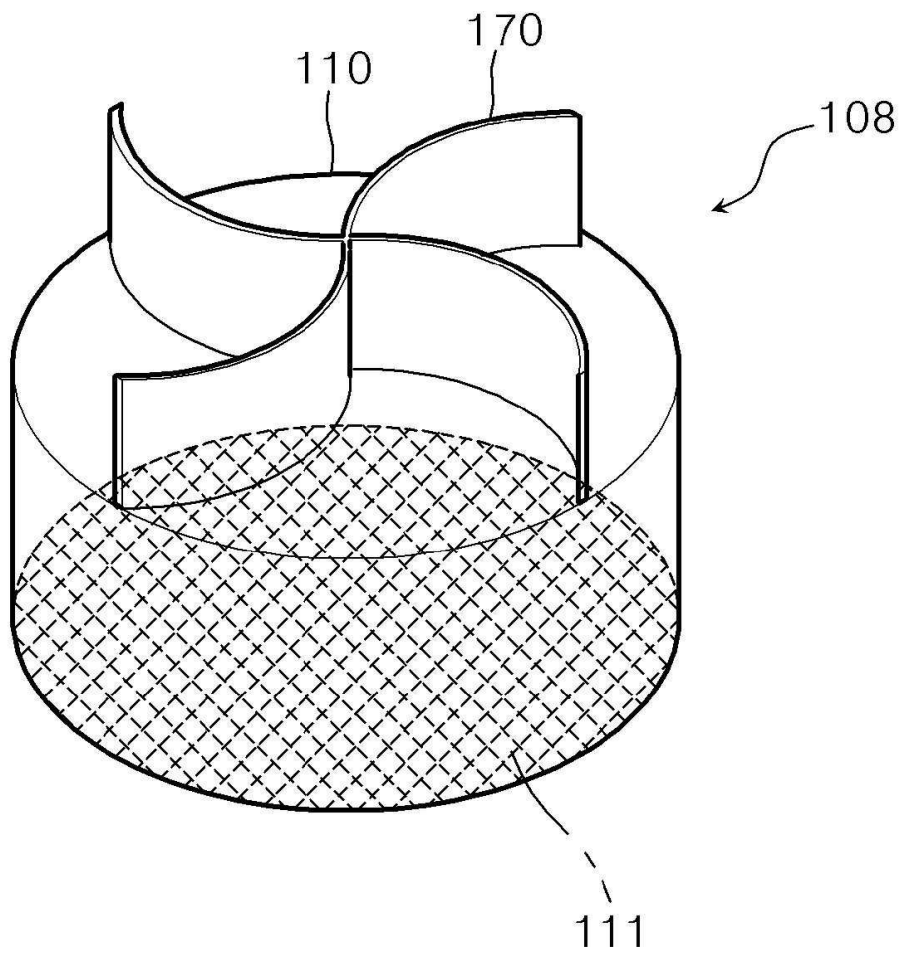
도면9b



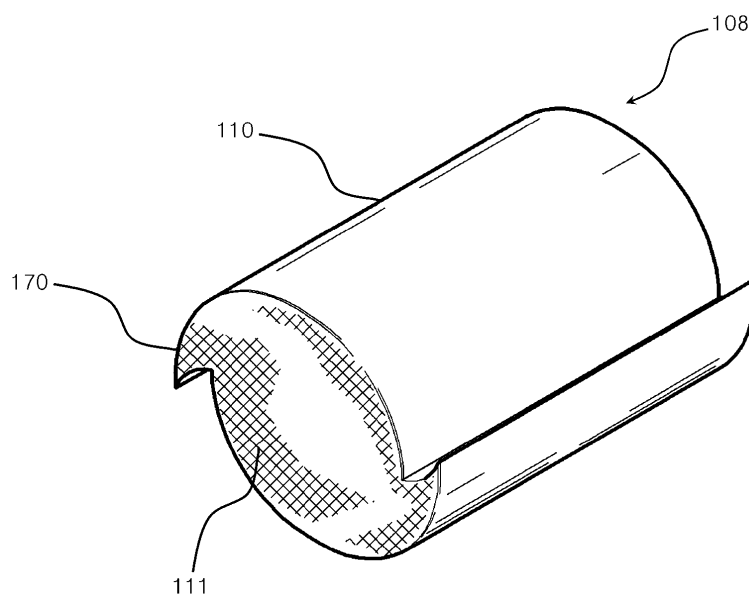
도면10a



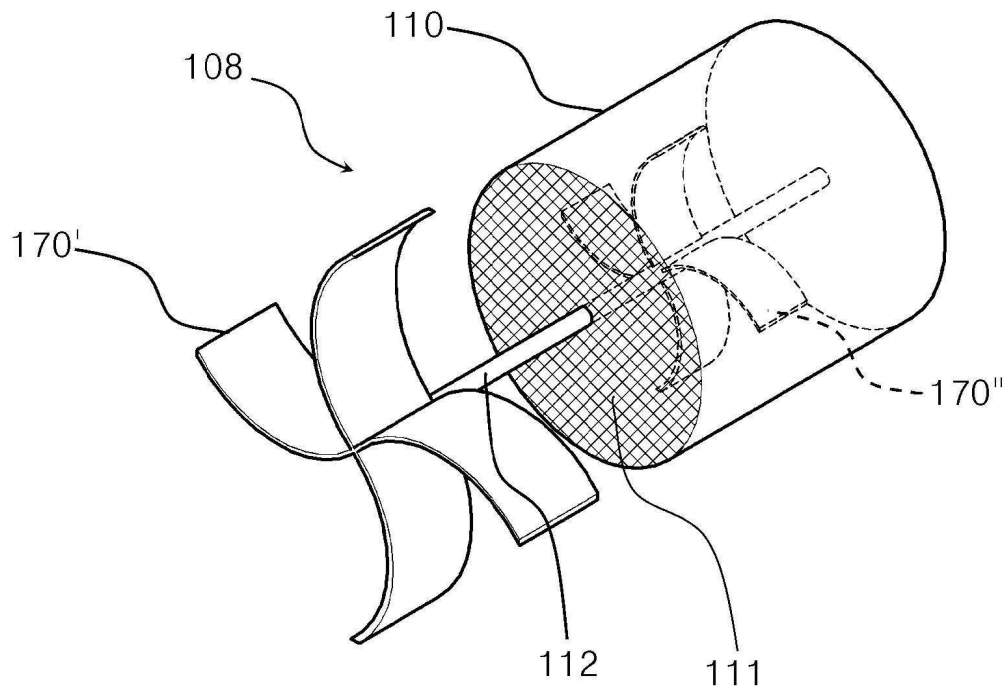
도면10b



도면10c

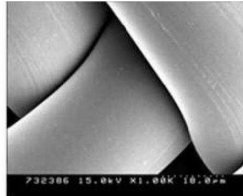
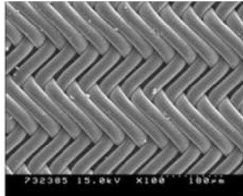


도면10d

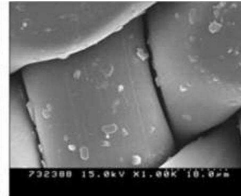
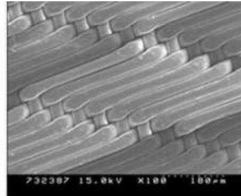


도면11

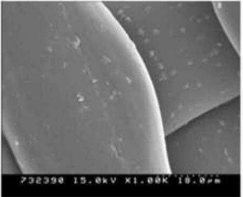
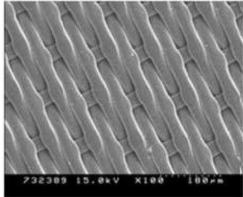
나일론



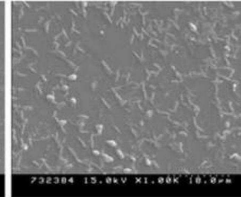
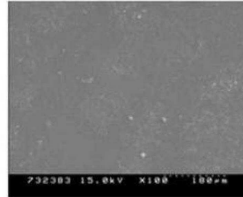
폴리에스터



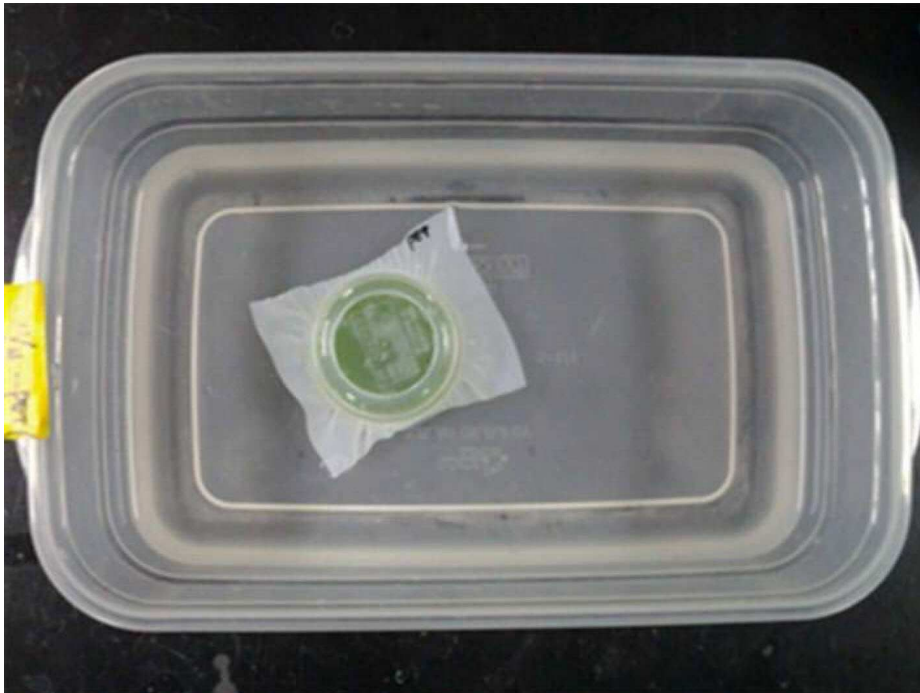
P.E.T



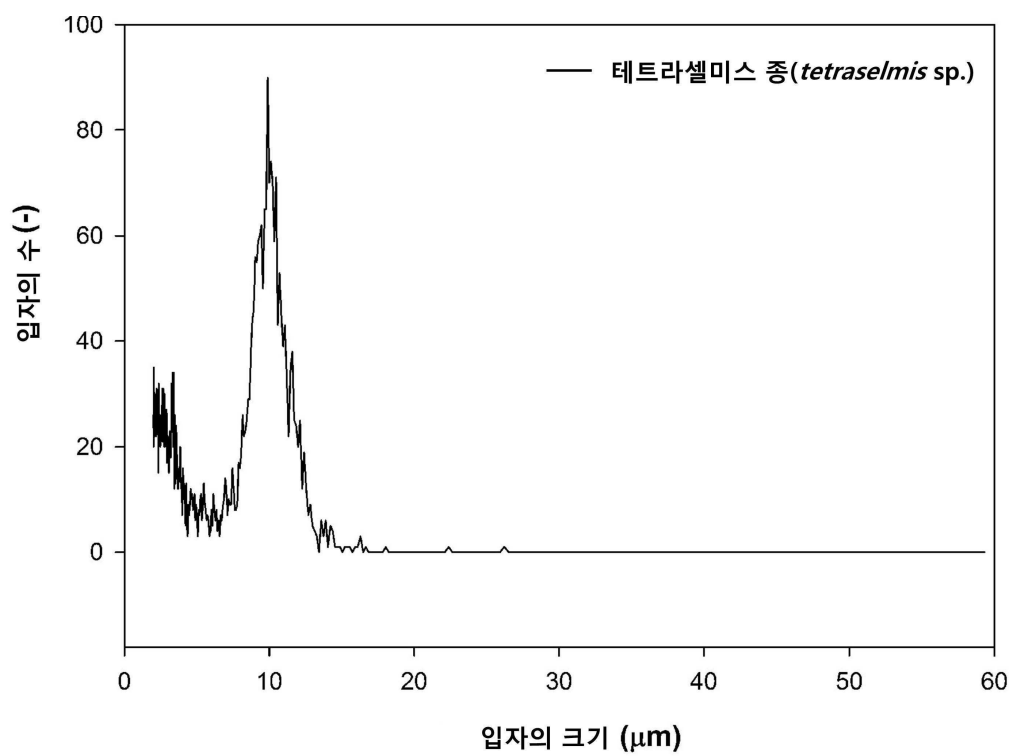
반투과막(6-8kDa)



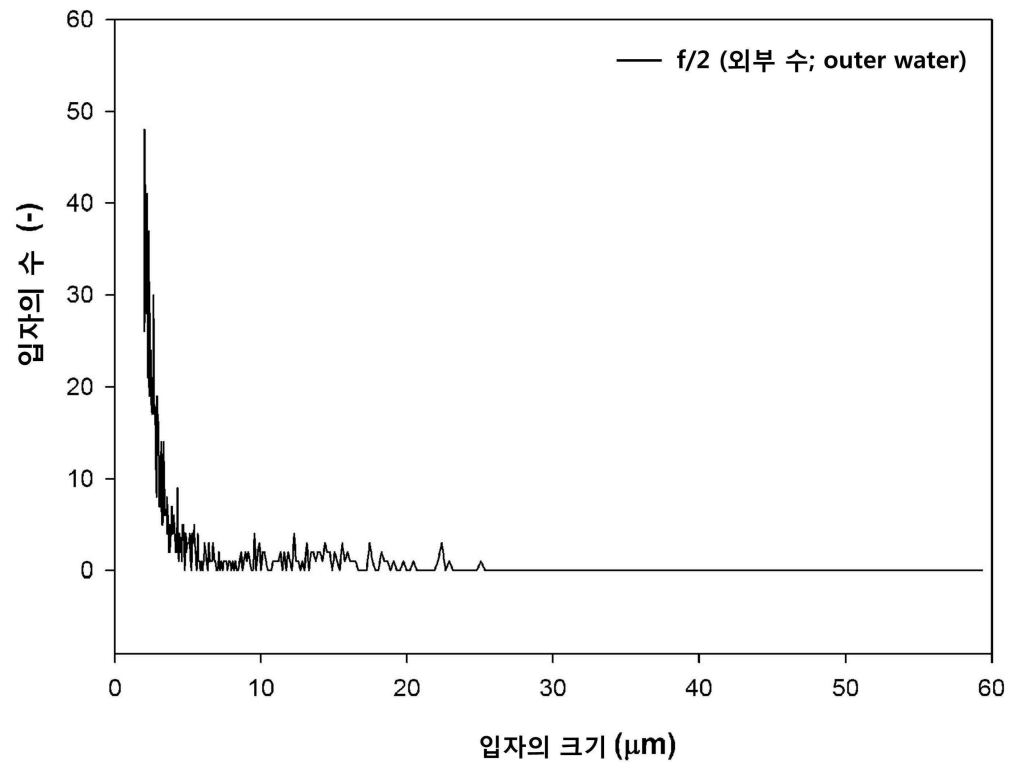
도면12



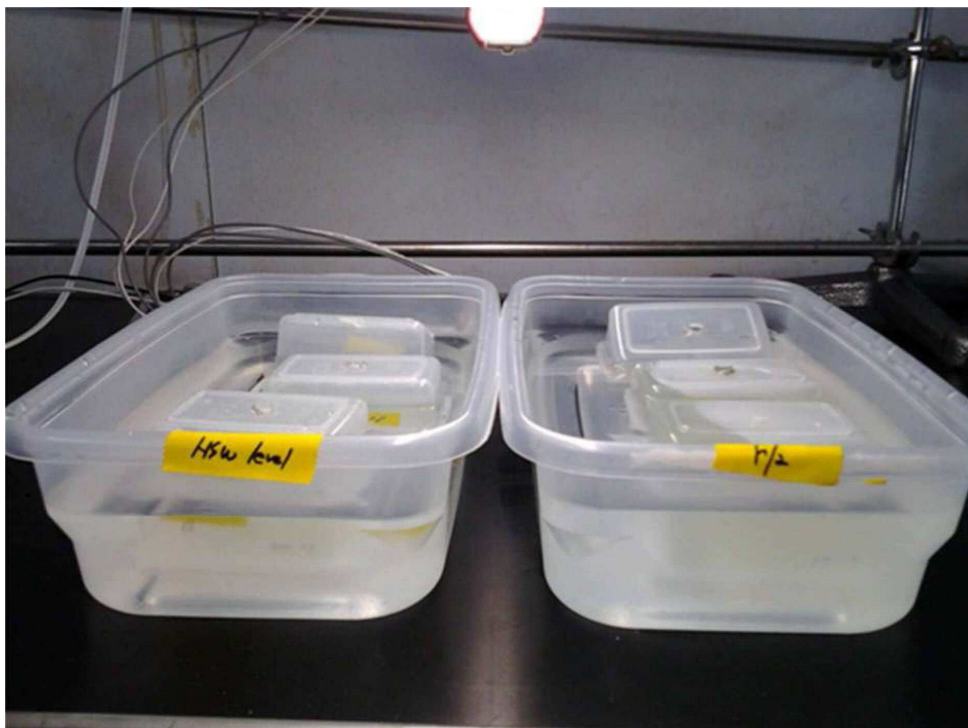
도면13



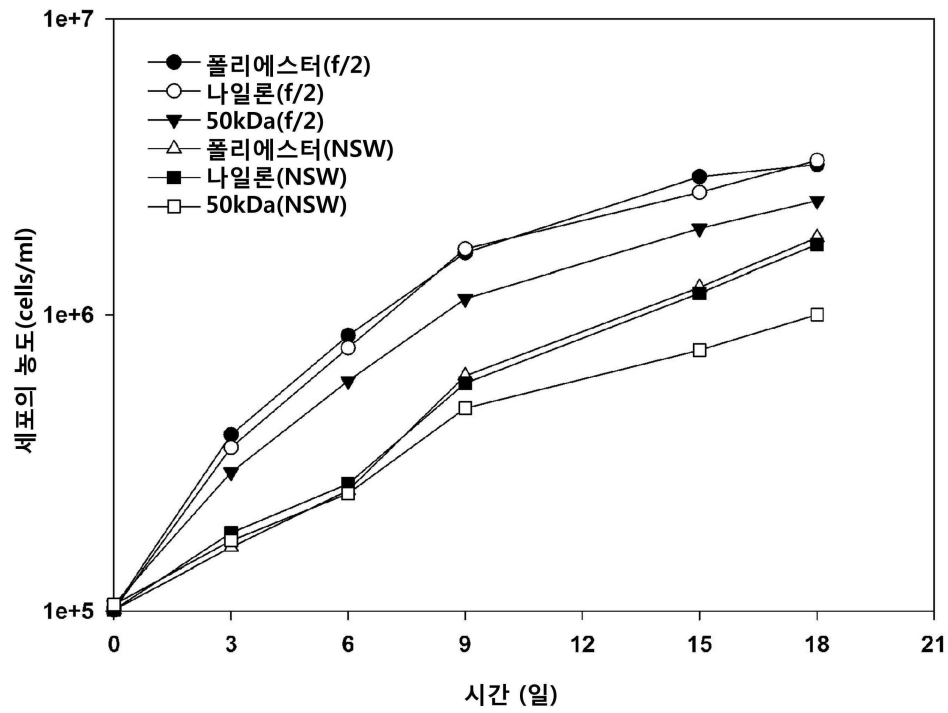
도면14



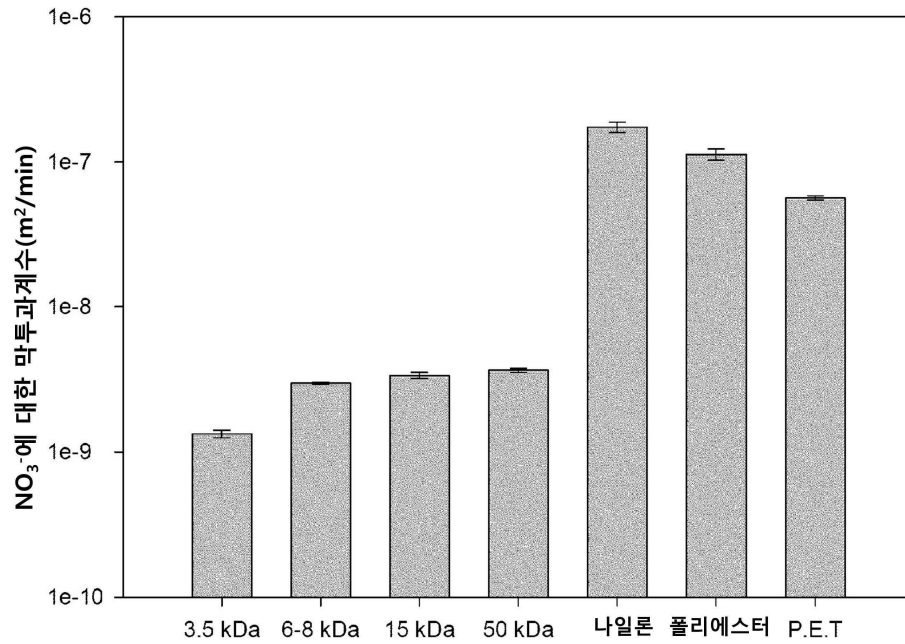
도면15



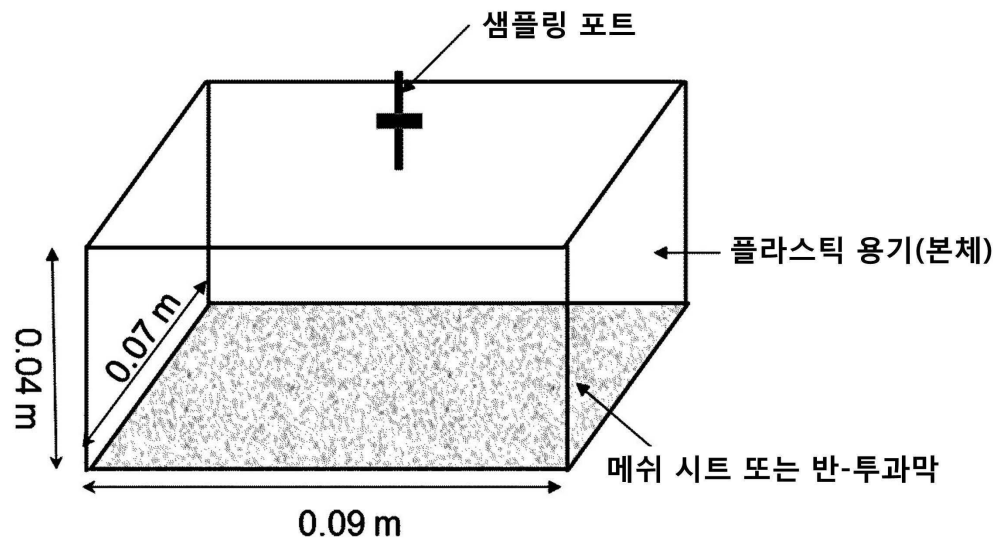
도면16



도면17



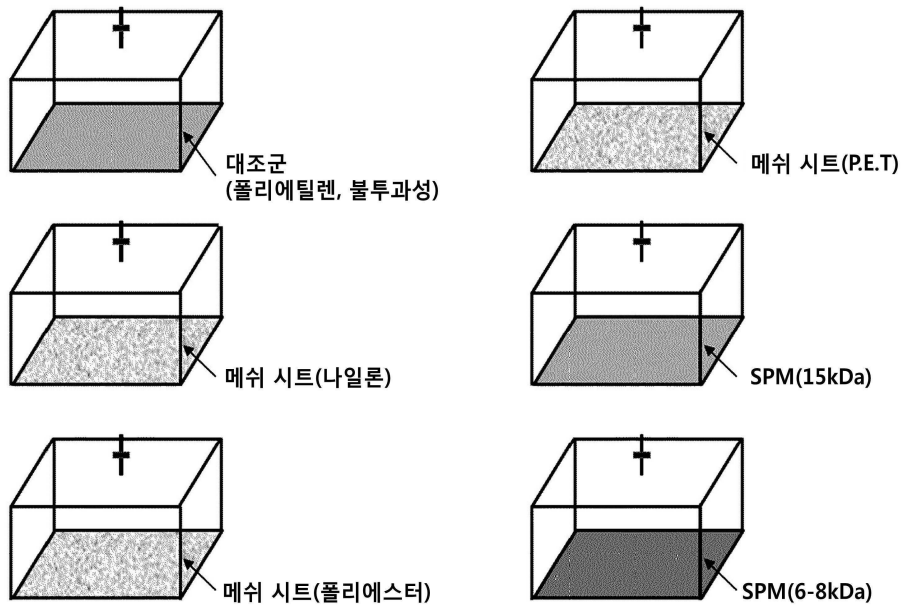
도면18



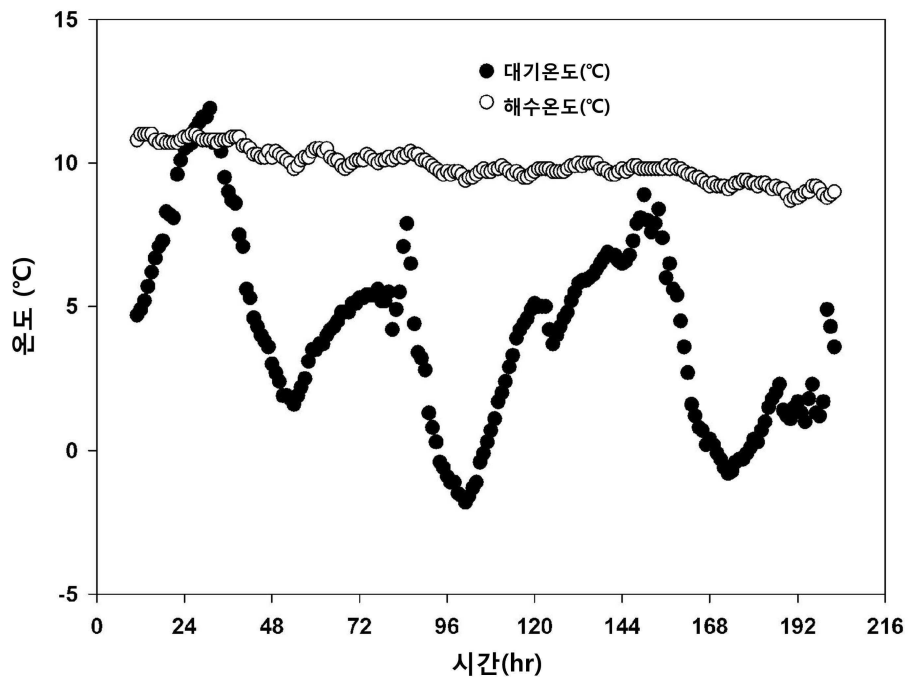
도면19



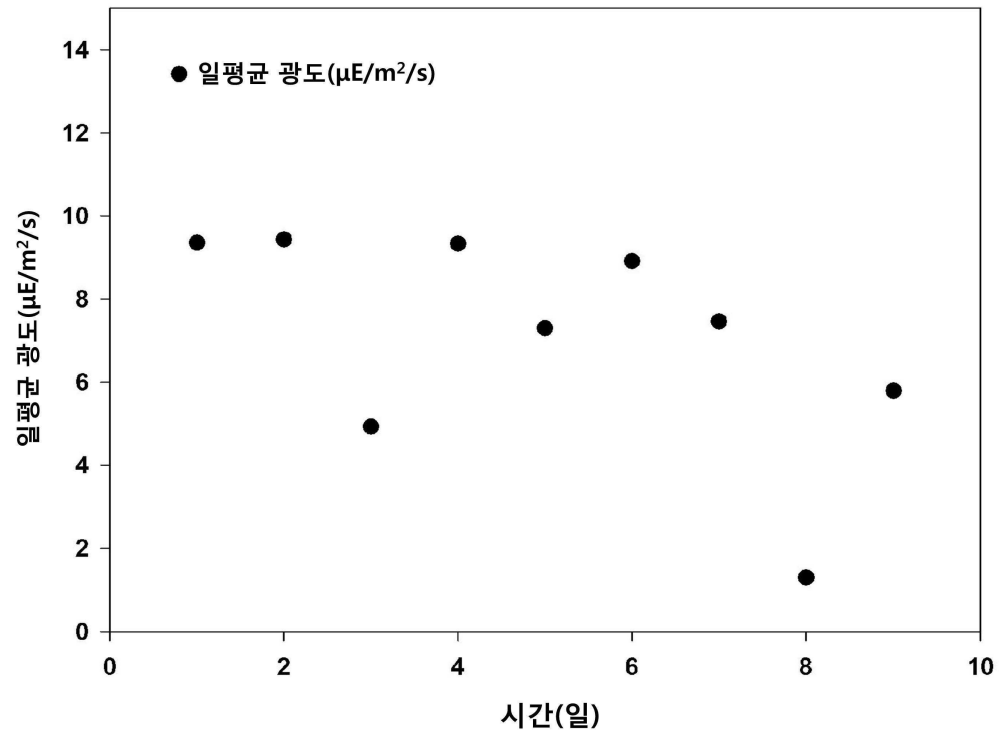
도면20



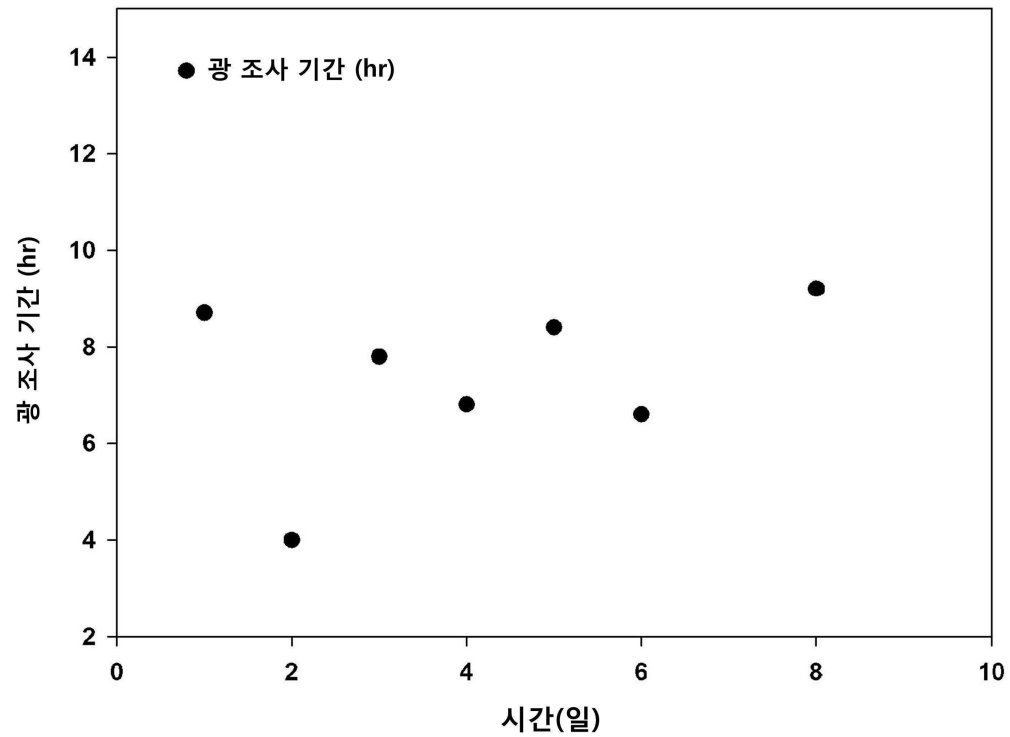
도면21



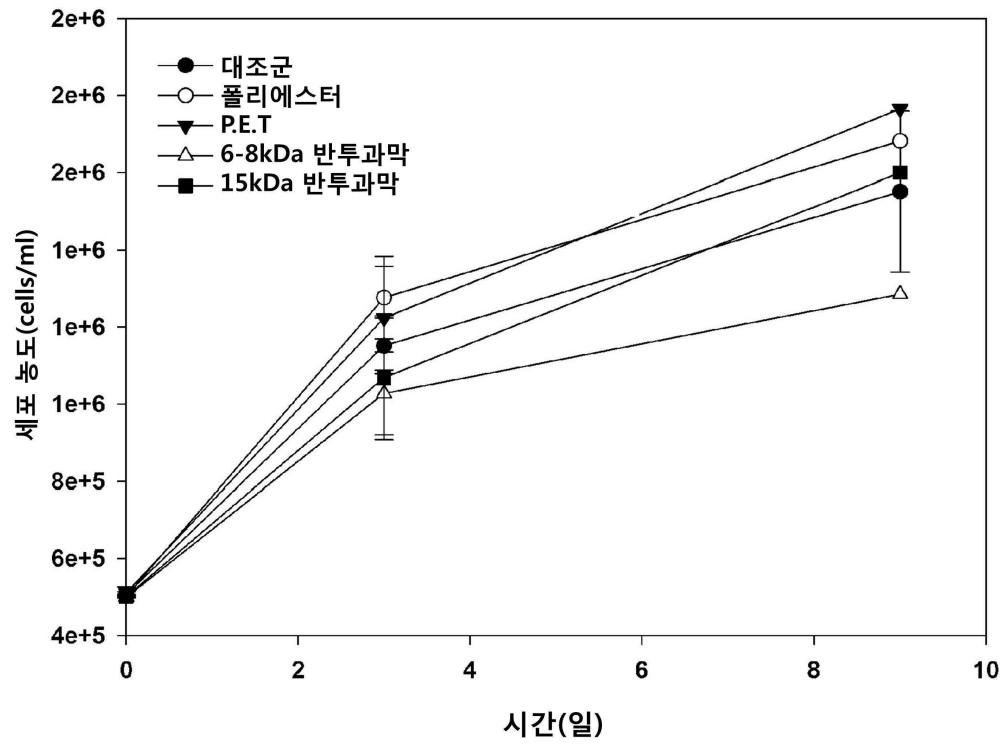
도면22a



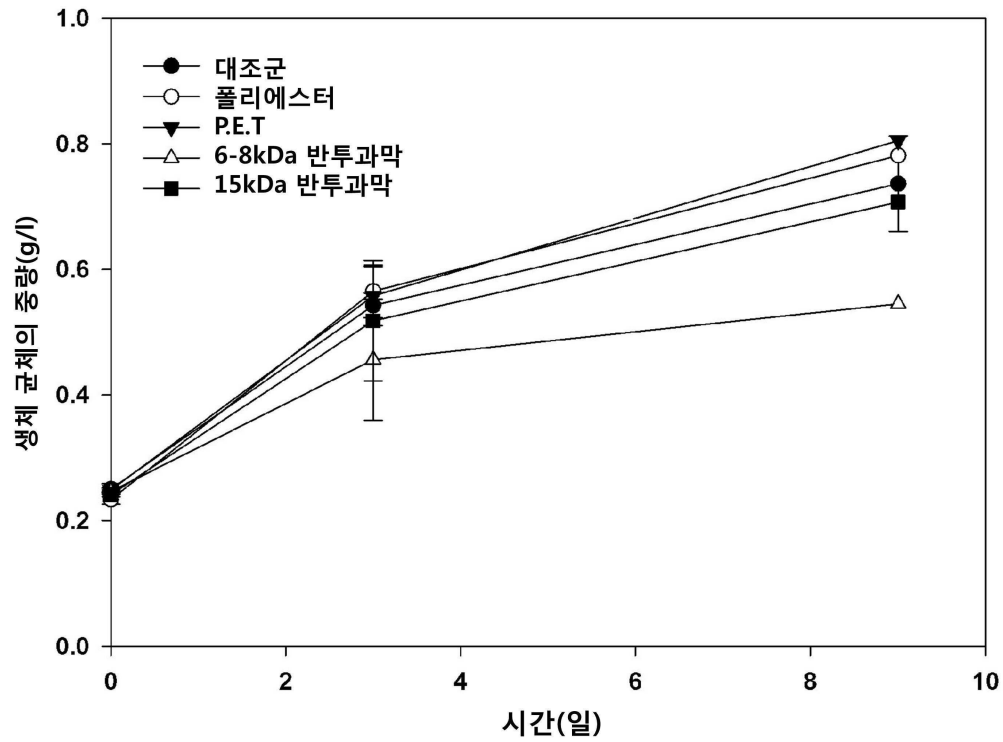
도면22b



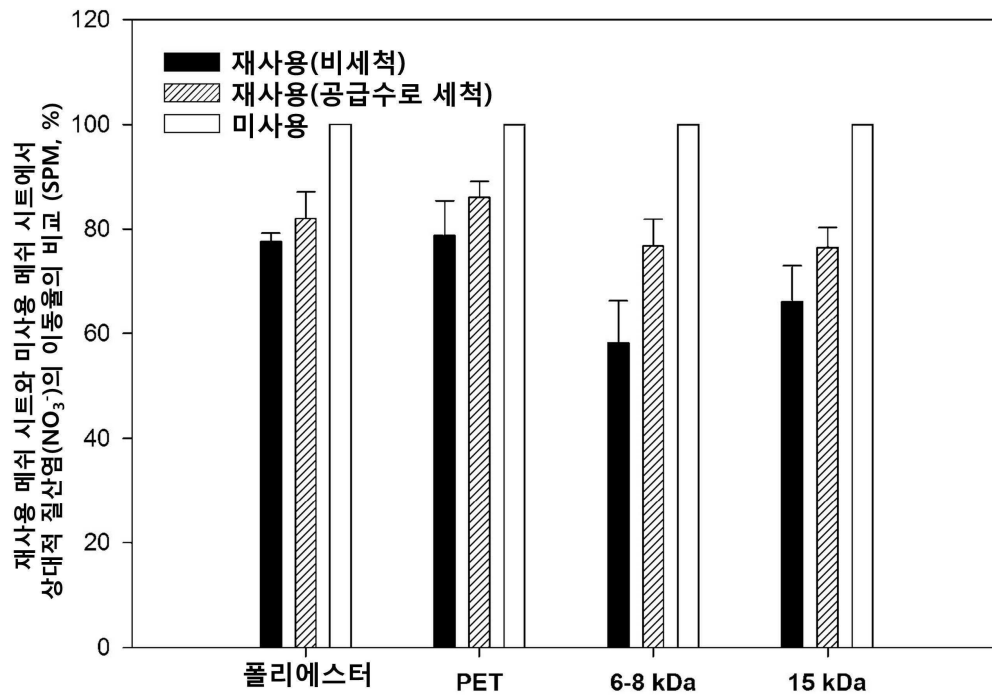
도면23a



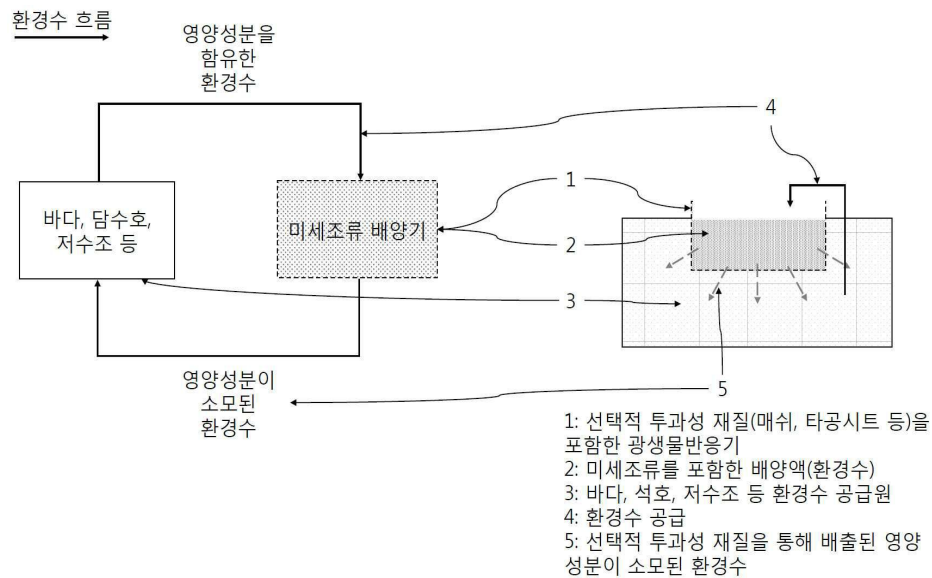
도면23b



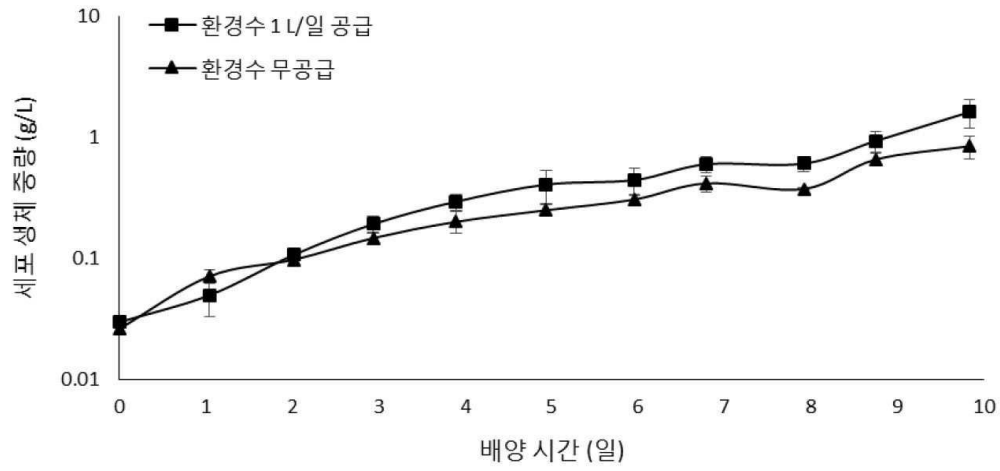
도면24



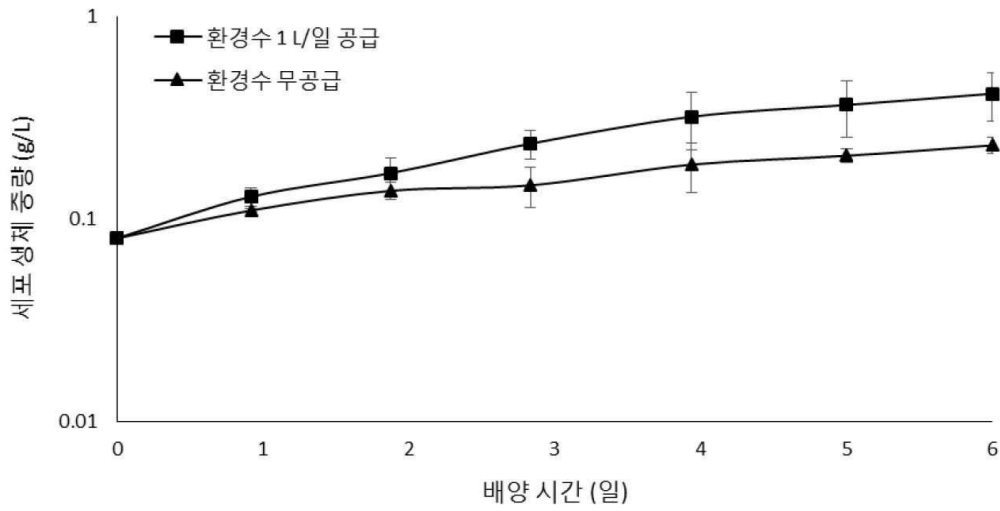
도면25



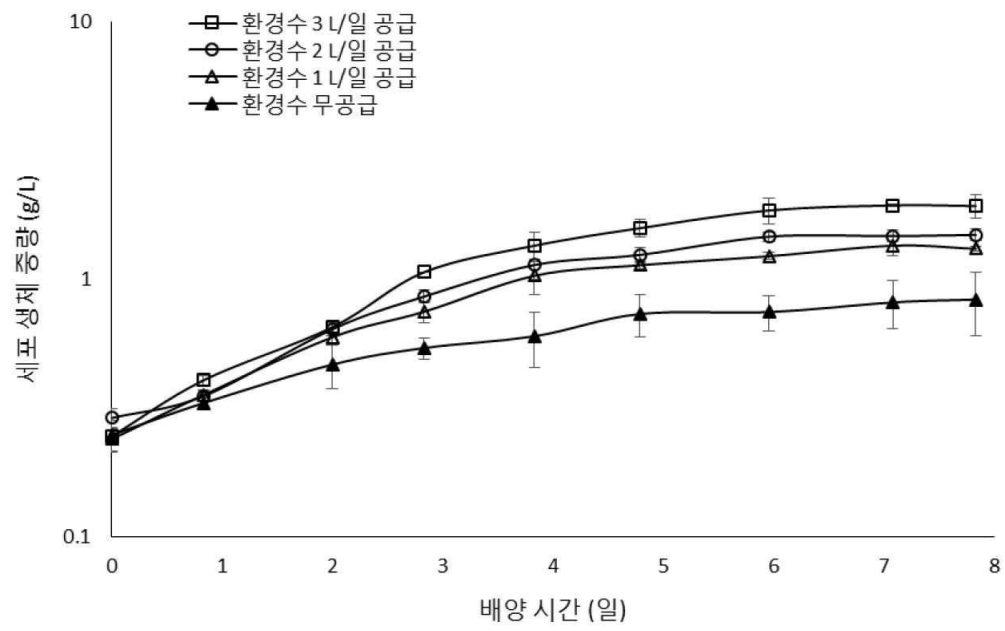
도면26



도면27



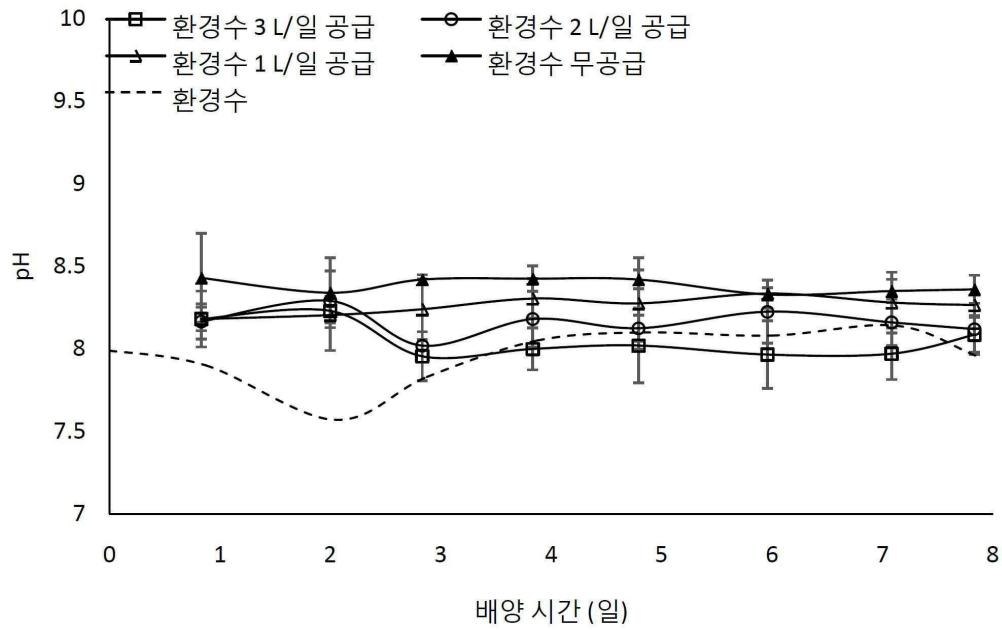
도면28



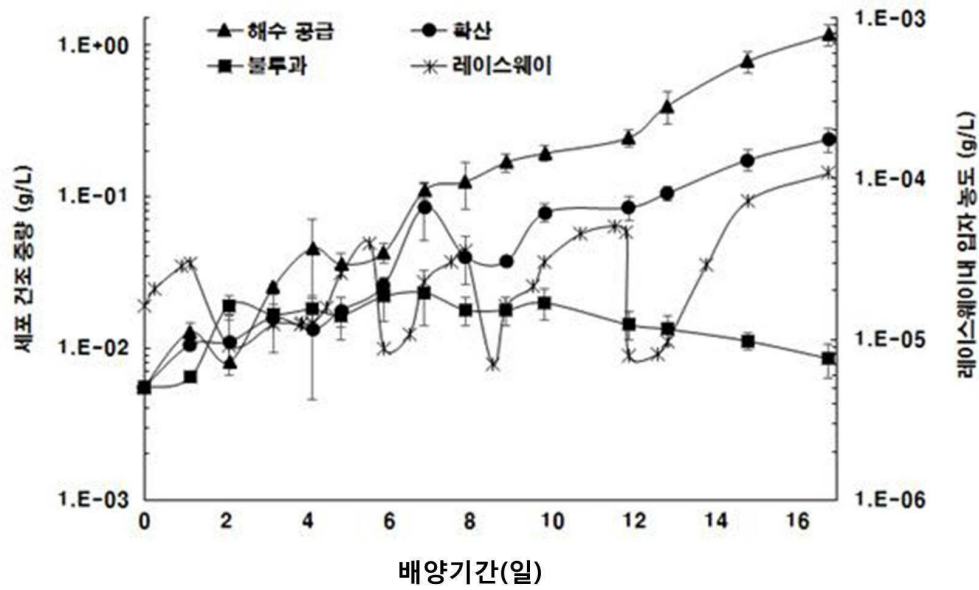
도면29



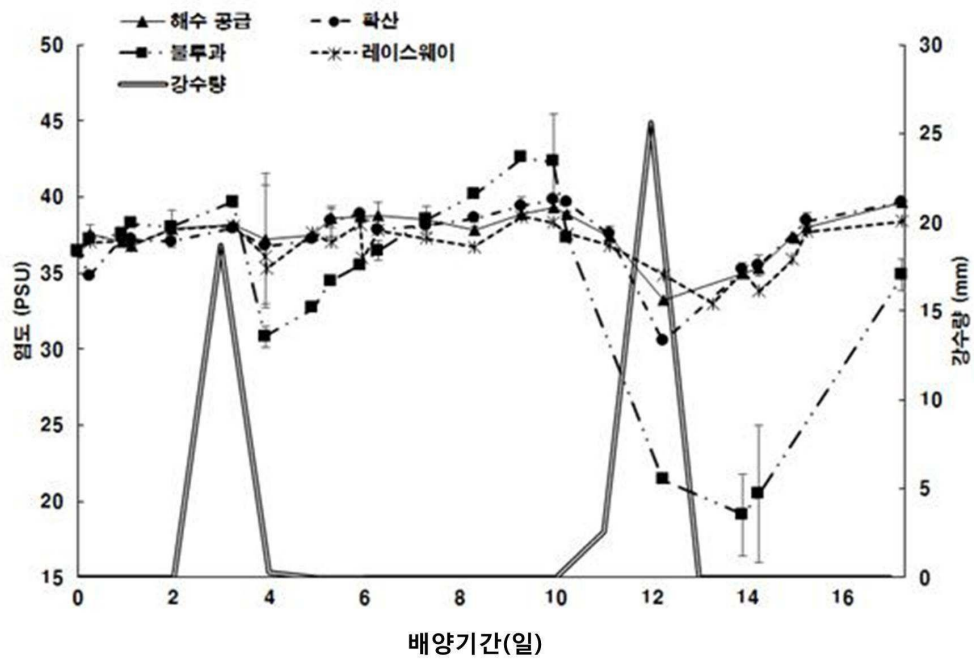
도면30



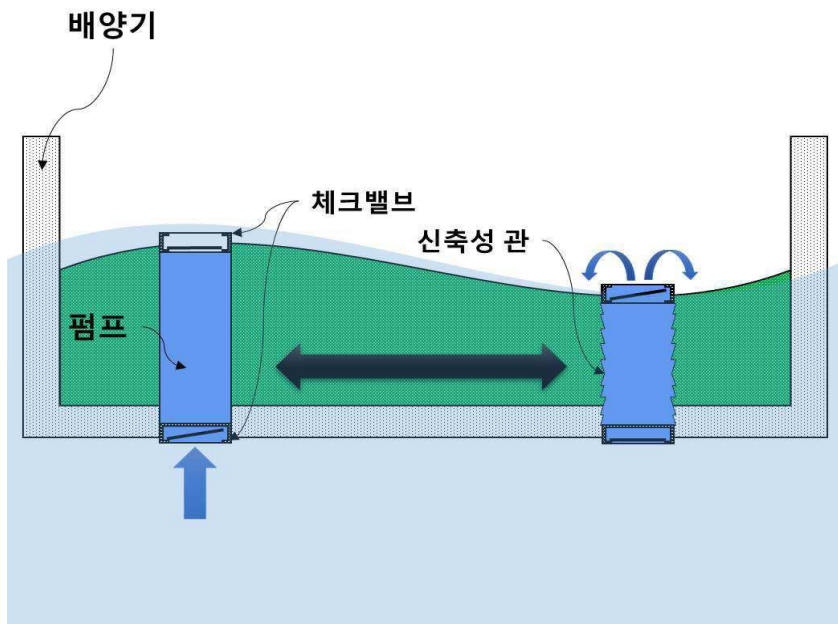
도면31



도면32



도면33



도면34

