



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0009778

(43) 공개일자 2020년01월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C12M 1/12 (2006.01) *B01D 71/06* (2006.01)

C08F 8/00 (2006.01) *C08G 85/00* (2006.01)

C08L 101/06 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C12M 37/02 (2013.01)

B01D 71/06 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0084638

(22) 출원일자 2018년07월20일

심사청구일자 2018년07월20일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

(72) 발명자

이철균

서울특별시 서초구 나루터로4길 49, 334동 601호

김광민

서울특별시 마포구 삼개로 33, 10동 503호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

한윤호

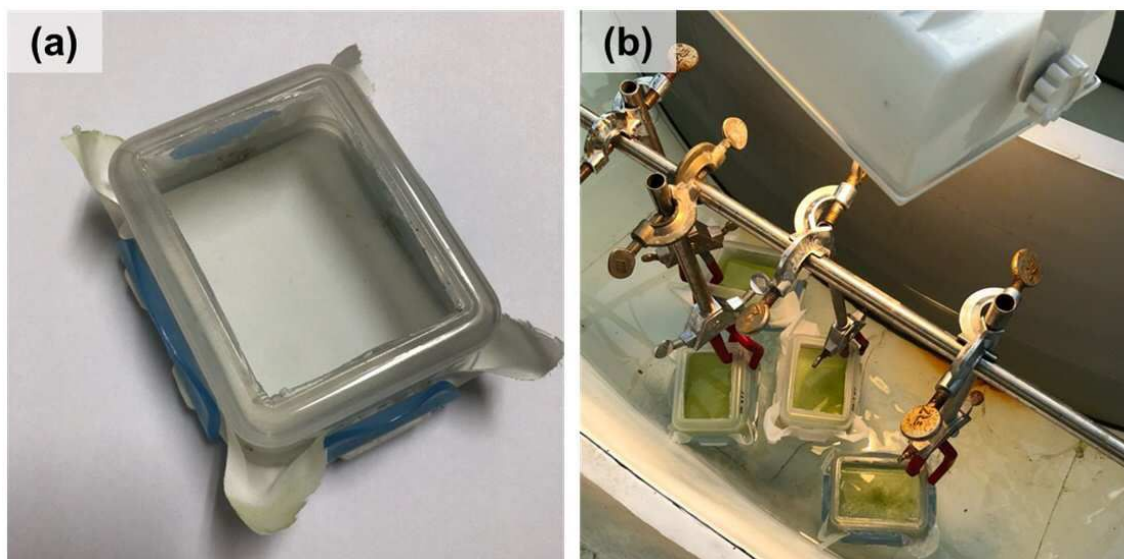
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 생물오손 방지를 위한 선택적 투과막을 포함하는 부유형 광생물반응기

(57) 요약

본 발명은 친수성이 향상된 선택적 투과성 막을 포함하는 부유형 광생물반응기에 관한 것으로 더 상세하게는 폴리머의 골격에 2-hydroxyethylphenyl기가 치환된 알킬화 폴리머로 구성된 개질 선택적 투과성 막(modified selectively permeable membrane)을 포함하는, 부유형 광생물반응기를 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C08F 8/00 (2013.01)
C08G 85/004 (2013.01)
C08L 101/06 (2013.01)
C12M 21/02 (2013.01)

김기현

서울특별시 마포구 동교로50길 30

강성모

서울특별시 마포구 마포대로 195, 304동 1603호

(72) 발명자

임상민

인천광역시 부평구 부흥로 246, 21동 1103호

박한울

인천광역시 남구 소성로 72, 19동 510호

이윤우

인천광역시 서구 염곡로220번길 15-3

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20090267
 부처명 해양수산부
 연구관리전문기관 해양수산과학기술진흥원
 연구사업명 해양바이오에너지생산기술개발사업
 연구과제명 해양미세조류 이용 바이오디젤 생산기술 개발
 기 여 율 97/100
 주관기관 인하대학교 산학협력단
 연구기간 2017.04.01 ~ 2018.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 201405502
 부처명 해양수산부
 연구관리전문기관 해양수산과학기술진흥원
 연구사업명 해양에너지특성화대학원 지원사업
 연구과제명 해양에너지 융복합 인력양성
 기 여 율 3/100
 주관기관 인하대학교 산학협력단
 연구기간 2017.03.01 ~ 2017.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

폴리머의 골격에 2-hydroxyethylphenyl기가 치환된 알킬화 폴리머로 구성된 개질 선택적 투과성 막(modified selectively permeable membrane)를 포함하는, 부유형 광생물반응기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 폴리머의 골격에 4-hydroxyphenethyl halide를 반응시킴으로써 상기 2-hydroxyethylphenyl기를 치환시키는, 부유형 광생물 반응기

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 선택적 투과성 막은 반투과막, 타공시트, 또는 메쉬시트인, 부유형 광생물반응기.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 폴리머는 PFPE(perfluoropolyether), 폴리디메치실록산(polydimethylsiloxane, PDMS), 테프론(teflon, polytetrafluoroethylene), 폴리올레핀(polyolefine), 폴리아마이드(polyamides), 폴리아크릴레이트(polyacrylate), 실리콘(silicon), 폴리메틸 메타아크릴레이트(poly methly methacrylate), 폴리스티렌(polystyrene), 폴리프로필렌(polypropylene), 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) 또는 폴리에틸렌 옥사이드(poly(ethylene oxide))인, 부유형 광생물반응기.

청구항 5

4-hydroxyphenylethyl halide를 폴리머와 반응시켜 2-hydroxyethylphenyl기가 골격에 치환된 2-hydroxyethylphenyl기 치환 폴리머 제조단계; 및

상기 2-hydroxyethylphenyl기 치환 폴리머를 성형하는 성형단계를 포함하는 생물오손이 감소된 폴리머 소재의 제조방법.

청구항 6

폴리머를 성형하여 소재를 제조하는 단계; 및

상기 소재를 4-hydroxyphenylethyl halide와 반응시켜 2-2-hydroxyethylphenyl기가 상기 폴리머 골격에 치환된 2-hydroxyethylphenyl기 치환 폴리머 소재를 제조하는 단계를 포함하는 생물오손이 감소된 폴리머 소재의 제조 방법.

청구항 7

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 4-hydroxyphenylethyl halide는 4-hydroxyphenylethyl fluoride, 4-hydroxyphenylethyl chloride, 4-

hydroxyphenylethyl bromide 또는 4-hydroxyphenylethyl iodide인, 제조방법.

청구항 8

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 폴리머는 PFPE(perfluoropolyether), 폴리디메치실록산(polydimethylsiloxane, PDMS), 테프론(teflon, polytetrafluoroethylene), 폴리올레핀(polyolefine), 폴리아마이드(polyamides), 폴리아크릴레이트(polyacrylate), 실리콘(silicon), 폴리메틸 메타아크릴레이트(poly methly methacrylate), 폴리스티렌(polystyrene), 폴리프로필렌(polypropylene), 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), 폴리아미드(polyimide), 폴리카보네이트(polycarbonate), 폴리우레탄(polyurethane) 또는 폴리에틸렌 옥사이드(poly(ethylene oxide))인, 제조방법.

청구항 9

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 소재는 광생물반응기용 배양용기, 한외여과(ultrafiltration) 필터, HEPA(high efficiency particulate air) 필터, 바이오칩(biochip)에 적용가능한, 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 선택적 투과성 막을 포함하는 부유형 광생물반응기에 관한 것으로 더 상세하게는 생물오손을 효과적으로 억제하는 선택적 투과성 막을 포함하는 부유형 광생물반응기에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

바이오 연료(Biofuels)는 바이오 디젤 생산 및 소비가 이산화탄소 배출을 감소시키고 산성비 및 지구 온난화와 같은 다양한 환경 문제를 완화하는 데 기여할 수 있기 때문에 석유 기반 연료의 매력적인 대안으로 간주되었다. 특히 미세조류는 바이오 디젤(biodiesel) 생산을 위한 혁신적인 공급 원료로 전통적인 에너지 작물이 자랄 수 없는 대양 또는 불모지에서 배양이 가능하고 고등 식물보다 성장률이 더 빠르다. 또한 미세조류는 담수를 이용한 농업과의 경쟁을 피하기 위해 해수나 폐수를 이용하여 배양할 수 있고 옥수수, 대두 등과 같은 주요 식량 원천도 아니다. 이러한 장점에도 불구하고 미세조류 기반의 바이오 디젤은 석유 기반 연료 및 지속 가능성 문제(sustainability concerns)와 비교하여 높은 생산 비용으로 인해 아직 상업화되지 않았다(Richardson *et al.*, *Algal Research*, 4, 96-104, 2014). 미세조류 배양을 위한 비용은 전체 바이오 디젤 생산 공정의 총 비용의 45-52 %를 차지하는데 배양 비용을 줄이기 위해서는 해양 자원을 이용하는 것이 효과적인 방법이 될 수 있다. 해양(ocean)은 지구 표면의 절반 이상을 차지하고 작물 재배 지역과의 경쟁 없이 해조류 농장에 광대한 면적을 제공할 수 있으며 토지 구입 및 건축 비용을 절감할 수 있다. 또한 해수에 용해된 영양성분의 이용은 이에 해당하는 비용을 줄이고 대규모 미세조류 배양의 지속 가능성을 향상시킬 수 있으며 해양의 높은 비열 용량(specific heat capacity)은 온도 조절 비용을 절감할 수 있으며, 해양 파도를 이용하여 혼합비용을 감소시킬 수 있다. 그러나 정제된 영양분 또는 비료를 전통적인 조류 배양에 공급하는 경우 농업과 경쟁 할 수 있고 엄청난 양의 온실 가스 배출량을 증가 시키거나 지속 가능성 문제를 야기할 수 있다. 미세조류 배양에 영양을 공급하는 또 다른 전략은 멤브레인을 가로 지르는 미세조류 세포보다 작은 분자의 확산을 허용하는 선택적 투과성 막(selectively permeable membranes)을 사용하는 것이다(Kim *et al.*, *Polymer Chemistry*, 54(1), 108-114, 2016). 따라서 선택적 투과막으로 제조된 광생물반응기(photobioreactor)를 이용하여 높은 바이오매스 생산성을 달성을 위해서 영양분의 높은 투과성과 성능 유지가 중요한데 이와 같이 성능을 효율적으로 유지하려면 생물오손(biofouling)을 억제하는 것이 필수적이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0003] 그러나 상기 선행기술의 경우, 광생물반응기 외부의 거대 조류에 의한 생물오손의 발생으로 바이오매스 생산성이 감소되고 심해지면 선택적 투과성 막의 수명을 단축됨에 따라 조류 배양 비용이 증가될 수 있다.
- [0004] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 미세조류 배양 시 영양염류의 혼합의 촉진하는데 반해 생물오손을 효율적으로 억제하는 친수성이 향상된 선택적 투과성 막을 포함하는 부유형 광생물반응기를 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

- [0005] 본 발명의 일 관점에 따르면, 폴리머의 골격에 2-hydroxyethylphenyl기가 치환된 알킬화 폴리머로 구성된 개질 선택적 투과성 막(modified selectively permeable membrane)을 포함하는, 부유형 광생물반응기가 제공된다.
- [0006] 본 발명의 다른 일 관점에 따르면, 4-hydroxyphenylethyl halide를 폴리머와 반응시켜 2-hydroxyethylphenyl기가 골격에 치환된 2-hydroxyethylphenyl기 치환 폴리머 제조단계; 및 상기 2-hydroxyethylphenyl기 치환 폴리머를 성형하는 성형단계를 포함하는 생물오손이 감소된 폴리머 소재의 제조방법이 제공된다.
- [0007] 본 발명의 다른 일 관점에 따르면, 폴리머를 성형하여 소재를 제조하는 단계; 및 상기 소재를 4-hydroxyphenylethyl halide와 반응시켜 2-hydroxyethylphenyl기가 상기 폴리머 골격에 치환된 2-hydroxyethylphenyl기 치환 폴리머 소재를 제조하는 단계를 포함하는 생물오손이 감소된 폴리머 소재의 제조방법이 제공된다.

발명의 효과

- [0008] 상기한 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따르면, 본 발명의 친수성이 향상된 선택적 투과성 막을 포함하는 부유형 광생물반응기는 종래 배양기와 비교하여 미세조류 배양 시 발생하는 생물오손을 효과적으로 억제하여 미세조류 바이오매스 생산성이 증가하는 효과를 구현할 수 있다. 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

- [0009] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조한 선택적 투과성 막을 적용한 부유형 광생물반응기(a) 및 이를 이용한 배양 과정을 나타내는 사진이다(b).
- 도 2는 알킬화 반응을 이용하여 4-HPB(hydroxyphenethyl bromide)가 접목된 선택적 투과성 막을 합성하는 방법을 개략적으로 나타내는 개요도이다.
- 도 3은 본 발명의 4-HPB의 반응시간 및 농도에 따른 알킬화 값의 변화 정도를 분석한 그래프이다.
- 도 4는 본 발명의 4-HPB 접목 선택적 투과막의 효과를 확인하기 위한 물의 접촉각에 대한 사진으로 (a)기본 선택적 투과막, (b)4-HPB 접목 선택적 투과막(DA 값: 2.61%), (c)4-HPB 접목 선택적 투과막(DA 값: 3.40%) 및 (d)4-HPB 접목 선택적 투과막(DA 값: 4.85%)을 나타낸다.
- 도 5는 배양 전후의 기본 선택적 투과막 및 4-HPB 접목 선택적 투과막의 이온 투과성을 분석한 그래프이다.
- 도 6은 배양 전후의 기본 선택적 투과막 및 4-HPB 접목 선택적 투과막의 투수성을 분석한 그래프이다.
- 도 7은 기본 선택적 투과막과 4-HPB 접목 선택적 투과막을 적용한 부유형 광생물반응기의 면적 바이오매스 밀도를 분석한 그래프이다.
- 도 8은 배양 전후의 기본 선택적 투과막과 4-HPB 접목 선택적 투과막의 주사 전자 현미경(SEM) 사진으로 기본 선택적 투과막 배양 전(a) 및 배양 후(b)를 나타내고 4-HPB 접목 선택적 투과막(DA: 4.85%)의 배양 전(a) 및 배양 후(c)를 나타낸다.
- 도 9는 기본 선택적 투과막 및 4-HPB 접목 선택적 투과막의 생물오손 억제 여부를 분석한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 용어의 정의:

[0011] 본 문서에서 사용되는 용어 "미세조류(microalgae)"는 바다에 서식하는 식물성 플랑크톤으로, 흔히 적조를 일으키는 코클로디니움 같은 플랑크톤 역시 미세조류에 속한다. 해양 바이오에너지 연구가 주목하는 미세조류는 특히 지질, 즉 기름 성분이 풍부한 미세조류 종(種)이다. 크기는 10 μm(미크론, 1m의 100만분의 1)정도, 머리카락 굵기의 10분의 1 안팎이다.

[0012] 본 문서에서 사용되는 용어 "선택적 투과성 소재(selective permeable mesh, SPM)"는 메쉬(mesh) 시트 또는 타공 시트로 구성되어 삼투현상에 의해 특정 분자만 선택적으로 투과되는 것이 아니라, 물, 기체 및 영양성분 등 고분자를 포함한 대부분을 물질의 자유로운 통과는 가능하나 광합성 미생물과 같은 세포의 자유로운 확산은 제한하는 소재를 의미하며, 세포의 일부는 상기 장벽을 통과할 수도 있으나, 장벽을 사이로 세포 농도가 평형상태를 이루지는 않는다.

[0013] 본 문서에서 사용되는 용어 "생물오손(biofouling)"은 해양 구조물 등에 미생물이 부착하여 생물막을 형성하면서 다양한 생물종이 부착하여 구조물에 영향을 주는 현상으로 광생물반응기의 멤브레인의 표면에 생물오손이 발생하면 빛을 차단함에 따라 바이오매스 생산성을 감소한다.

[0014] 본 문서에서 사용되는 용어 "티로솔(tyrosol)"은 칸디다(Candida) 균류에 의해 생성되는 항-생물오손 분자(anti-biofouling molecule)로 아크릴 막의 항 생물오손 작용제로 사용되어 생물오손을 54.05%까지 획기적으로 감소시킨 것으로 보고되었다(Monteiro *et al.*, *Medical mycology*, 53(7), 656-665. 2015).

[0015] 본 문서에서 사용되는 용어 "쿼럼 센싱(quorum sensing)"은 자기와 동종인 미생물의 밀도를 그 중에 속한 미생물이 모니터링하는 현상으로 각 미생물이 분비하는 신호 물질을 인지함으로써 일어난다. 신호 물질의 농도가 어떤 한도치에 이르면 미생물 집단의 밀도가 어떤 결정적인 수준 또는 일정 수준에 이른 것으로 이와 같은 일정수의 미생물에 의해 유도되는 특정 유전자가 발현된다.

[0016] 발명의 상세한 설명:

[0017] 본 발명의 일 관점에 따르면, 폴리머의 골격에 2-hydroxyethylphenyl기가 치환된 알킬화 폴리머로 구성된 개질 선택적 투과성 막(modified selectively permeable membrane)을 포함하는, 부유형 광생물반응기가 제공된다.

[0018] 상기 부유형 광생물반응기에 있어서, 상기 폴리머의 골격에 4-hydroxyphenethyl halide를 반응시킴으로써 상기 2-hydroxyethylphenyl기를 치환시킬 수 있고 상기 선택적 투과성 막은 반투과막, 타공시트, 또는 메쉬시트일 수 있으며 상기 폴리머는 테프론(teflon, polytetrafluoroethylene), 폴리올레핀(polyolefine), 폴리아마이드(polyamides), 폴리아크릴레이트(polyacrylate), 실리콘(silicon), 폴리메틸 메타아크릴레이트(poly methly methacrylate), 폴리스티렌(polystyrene), 폴리프로필렌(polypropylene), 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), 폴리에테르에터케톤(polyetheretherketone), 폴리이미드(polyimide), 폴리카보네이트(polycarbonate), 폴리우레탄(polyurethane) 또는 폴리에틸렌 옥사이드(poly(ethylene oxide))일 수 있다.

[0019] 본 발명의 다른 일 관점에 따르면, 4-hydroxyphenylethyl halide를 폴리머와 반응시켜 2-hydroxyethylphenyl기가 골격에 치환된 2-hydroxyethylphenyl기 치환 폴리머 제조단계; 및 상기 2-hydroxyethylphenyl기 치환 폴리머를 성형하는 성형단계를 포함하는 생물오손이 감소된 폴리머 소재의 제조방법이 제공된다.

[0020] 본 발명의 다른 일 관점에 따르면, 폴리머를 성형하여 소재를 제조하는 단계; 및 상기 소재를 4-hydroxyphenylethyl halide와 반응시켜 2-2-hydroxyethylphenyl기가 상기 폴리머 골격에 치환된 2-hydroxyethylphenyl기 치환 폴리머 소재를 제조하는 단계를 포함하는 생물오손이 감소된 폴리머 소재의 제조방법이 제공된다.

[0021] 상기 제조방법에 있어서, 상기 4-hydroxyphenylethyl halide는 4-hydroxyphenylethyl fluoride, 4-hydroxyphenylethyl chloride, 4-hydroxyphenylethyl bromide 또는 4-hydroxyphenylethyl iodide일 수 있고 상기 폴리머는 PFPE(perfluoropolyether), 폴리디메치실록산(polydimethylsiloxane, PDMS), 테프론(teflon, polytetrafluoroethylene), 폴리올레핀(polyolefine), 폴리아마이드(polyamides), 폴리아크릴레이트(polyacrylate), 실리콘(silicon), 폴리메틸 메타아크릴레이트(poly methly methacrylate), 폴리스티렌

(polystyrene), 폴리프로필렌(polypropylene), 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) 또는 폴리에틸렌 옥사이드(poly(ethylene oxide))일 수 있다.

[0022] 상기 제조방법에 있어서, 상기 소재는 광생물반응기용 배양용기, 한외여과(ultrafiltration) 필터, HEPA(high efficiency particulate air) 필터, 바이오칩(biochip)에 적용가능할 수 있다.

[0023] 해양 양식 시스템(ocean culture system)이 육상 기반의 양식 체계에 비해 상대적으로 새로운 개념이기 때문에 상당한 개발과 개선이 필요하지만 이러한 장점을 가진 해양에서의 미세조류 배양은 연료의 경제적 타당성과 지속 가능성을 향상시키는 또 다른 옵션을 제공할 수 있다. 따라서 열수 액화(hydrothermal liquefaction)를 통한 배양에 사용되는 미세조류 배양 및 영양분의 재사용과 함께 폐수 처리를 연결하는 것은 미세조류 배양에서 영양분의 지속 가능한 공급 가능성이 높기 때문에 광범위한 연구가 진행되고 있다. 미세조류 배양에 영양을 공급에 있어 선택적 투과막이 있는 조류 배양은 인공적인 조절없이 미세조류에 의해 소비될 때 배양 배지에서 영양분을 보충할 수 있는데 영양분의 투과성능 유지를 위해서는 멤브레인의 표면에 조류를 포함한 다양한 종류의 미생물이 부착되는 생물오손(Biofouling)을 억제해야 한다. 생물오손은 선택적 투과막의 포어(pores)를 차단하여 이온과 물의 침투성을 감소시키므로 항-생물오손 수단이 없으면 시간 경과에 따라 바이오매스 생산성이 점차 떨어지고 거대 조류에 의한 생물오손은 빛을 차단함에 따라 바이오매스 생산성을 더욱 감소시키고 심해지면 선택적 투과막이 물리적으로 손상되어 수명이 단축됨에 따라 조류 배양 비용을 증가시키는 문제점이 있다. 따라서 상기 생물오손을 억제하기 위해서는 미생물의 간섭 부착(interfering adhesion)이 가장 효과적이고(Choudhury, R.R et al., *Journal of Materials Chemistry A*, 6(2), 313-333. 2018) 하기와 같은 다양한 방법이 보고되었다: 1) 멤브레인의 표면에 친수성 또는 음전하를 부여하는 것 (Liu et al., *Journal of Membrane Science*, 346(1), 121-130. 2010), 2) 막의 표면 에너지를 낮추는 것(Krishnan et al., *Journal of Materials Chemistry*, 18(29), 3405-3413. 2008), 3) 퀴럼 센싱(quorum sensing)분자를 사용하는 것(Monteiro et al., *Medical mycology*, 53(7), 656-665. 2015). 멤브레인의 친수성을 높이기 위해 키토산을 PVDF와 혼합하면 친수성-소수성 반발(hydrophilic-hydrophobic repulsion)을 이용하여 생물오손을 감소시키는 것으로 나타났다(Venault et al., *Journal of Membrane Science*, 450, 340-350. 2014). 이는 선택적 투과막의 표면에 음으로 하전된 작용기를 부여하는 것으로 멤브레인과의 미세조류 사이의 전기 충격(electrorepulsive force)을 이용하여 생물오손을 억제하는 원리다. 또한, 중합체에 작용기를 접목하여 중합체의 표면 에너지를 낮춤으로써 생물오손을 억제하였고 퀴럼 센싱(quorum sensing)분자를 사용하면 멤브레인상의 미생물의 정착을 잠재적으로 저해할 수 있다.

[0024] 이에 본 발명자들은 선택적 투과막이 적용된 부유형 광생물반응기에서 발생하는 생물오손을 억제하기 위하여 미생물의 간섭 부착(interfering adhesion)을 위해 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET)로 구성된 선택적 투과막에 4-hydroxylphenethyl bromide(4-HPB)를 접목하였다. 상기 티로솔의 생물오손 억제 메커니즘은 아직 명확하게 밝혀지지 않았지만, 본 발명자들은 상기 접목한 4-HPB의 농도를 조절함으로써 이를 프로토타입 부유형 광생물반응기에 적용시키고 미세조류인 *Tetraselmis sp.*를 배양하여 선택적 투과막의 무게로 알킬화 정도(DA)를 계산하였고 접촉각(contact angle) 측정을 통해 선택적 투과막의 소수성을 비교하였고 이에 따른 투수성을 측정한 결과 티로솔의 접목에 의한 생물오손 억제 효과를 관찰하였고 동시에 4-HPB의 하이드록실 관능기(hydroxyl-functional group, -OH)는 선택적 투과막의 소수성을 낮추고 친수성-소수성 반발력으로 인한 생물오손 현상을 억제한다는 것을 확인하였다.

[0025] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 여러 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.

[0026] 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려 이들 실시예들은 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다. 또한, 도면에서 각 층의 굵기나 크기는 설명의 편의 및 명확성을 위하여 과장된 것이다.

[0027] 명세서 전체에 걸쳐서, 막, 영역 또는 기관과 같은 하나의 구성요소가 다른 구성요소 "상에", "연결되어", "적층되어" 또는 "커플링되어" 위치한다고 언급할 때는, 상기 하나의 구성요소가 직접적으로 다른 구성요소 "상

에", "연결되어", "적층되어" 또는 "커플링되어" 접촉하거나, 그 사이에 개재되는 또 다른 구성요소들이 존재할 수 있다고 해석될 수 있다. 반면에, 하나의 구성요소가 다른 구성요소 "직접적으로 상에", "직접 연결되어", 또는 "직접 커플링되어" 위치한다고 언급할 때는, 그 사이에 개재되는 다른 구성요소들이 존재하지 않는다고 해석된다. 균일한 부호는 균일한 요소를 지칭한다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 용어 "및/또는"은 해당 열거된 항목 중 어느 하나 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다.

[0028] 본 명세서에서 제 1, 제 2 등의 용어가 다양한 부재, 부품, 영역, 층들 및/또는 부분들을 설명하기 위하여 사용되지만, 이들 부재, 부품, 영역, 층들 및/또는 부분들은 이들 용어에 의해 한정되어서는 안됨은 자명하다. 이들 용어는 하나의 부재, 부품, 영역, 층 또는 부분을 다른 영역, 층 또는 부분과 구별하기 위하여만 사용된다. 따라서, 이하 상술할 제 1 부재, 부품, 영역, 층 또는 부분은 본 발명의 가르침으로부터 벗어나지 않고서도 제 2 부재, 부품, 영역, 층 또는 부분을 지칭할 수 있다.

[0029] 또한, "상의" 또는 "위의" 및 "하의" 또는 "아래의"와 같은 상대적인 용어들은 도면들에서 도해되는 것처럼 다른 요소들에 대한 어떤 요소들의 관계를 기술하기 위해 여기에서 사용될 수 있다. 상대적 용어들은 도면들에서 묘사되는 방향에 무게추가하여 소자의 다른 방향들을 포함하는 것을 의도한다고 이해될 수 있다. 예를 들어, 도면들에서 소자가 뒤집어 진다면(turned over), 다른 요소들의 상부의 면 상에 존재하는 것으로 묘사되는 요소들은 상기 다른 요소들의 하부의 면 상에 방향을 가지게 된다. 그러므로, 예로써 든 "상의"라는 용어는, 도면의 특정한 방향에 의존하여 "하의" 및 "상의" 방향 모두를 포함할 수 있다. 소자가 다른 방향으로 향한다면(다른 방향에 대하여 90도 회전), 본 명세서에 사용되는 상대적인 설명들은 이에 따라 해석될 수 있다.

[0030] 본 명세서에서 사용된 용어는 특정 실시예를 설명하기 위하여 사용되며, 본 발명을 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 단수 형태는 문맥상 다른 경우를 분명히 지적하는 것이 아니라면, 복수의 형태를 포함할 수 있다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 경우 "포함한다(comprise)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급한 형상들, 숫자, 단계, 동작, 부재, 요소 및/또는 이들 그룹의 존재를 특정하는 것이며, 하나 이상의 다른 형상, 숫자, 동작, 부재, 요소 및/또는 그룹들의 존재 또는 부가를 배제하는 것이 아니다.

[0031] 이하, 본 발명의 실시예들은 본 발명의 이상적인 실시예들을 개략적으로 도시하는 도면들을 참조하여 설명한다. 도면들에 있어서, 예를 들면, 제조 기술 및/또는 공차(tolerance)에 따라, 도시된 형상의 변형들이 예상될 수 있다. 따라서, 본 발명 사상의 실시예는 본 명세서에 도시된 영역의 특정 형상에 제한된 것으로 해석되어서는 아니 되며, 예를 들면 제조상 초래되는 형상의 변화를 포함하여야 한다.

[0032] 일반적 방법

[0033] 미세조류 및 배양 배지

[0034] 본 발명에서 사용한 녹색 미세조류 *Tetraselmis sp.* MBEy01L(KCTC12429BP)는 인천 영흥도에서 수득하였고 배지는 3배 f/2-Si 배지를 첨가한 인공 해수를 사용하였다. 상기 인공해수는 30 g/L NaCl, 0.66 g/L KCl, 8.48 g/L MgCl₂ · 6H₂O, 1.9 g/L CaCl₂ · H₂O, 6.318 g/L MgSO₄ · 7H₂O 및 0.18 g/L NaHCO₃를 포함하고 f/2-Si 배지는 75 mg/L NaNO₃, 5 mg/L NaH₂PO₄ · H₂O, 3.15 g/L FeCl₃ · 6H₂O, 4.36 g/L Na₂EDTA · 2H₂O, 180 mg/L MnCl₂ · 4H₂O, 22 mg/L ZnSO₄ · 7H₂O, 10 mg/L CoCl₂ · 6H₂O, 9.8 mg/L CuSO₄ · 5H₂O, 및 비타민이 없는 6.3 mg/L Na₂MoO₄ · 2H₂O를 포함한다. 또한, 배양은 100 μmol/m²/s의 조사량 및 0.1 vvm 농도의 CO₂ 버블링(bubbling)의 조건하에 2L 버블 컬럼 광생물반응기에서 20±3℃ 온도로 배양하였다.

[0035] 부유형 광생물반응기(PBR)의 제조

[0036] 본 발명의 부유형 광생물반응기는 2 mm 두께의 고밀도 폴리프로필렌(high-density polypropylene)을 이용하여 육면체(hexahedron) 형태로 길이와 너비의 각 폭은 0.09 m와 0.07 m이고 높이 0.05m. 총 가능 부피는 최대 0.3L로 제작하였다. 또한 상기 육면체의 상부와 하부를 제거하여 광합성(상부)에 충분한 빛을 제공하고 확산(하부)에 의해 영양분을 공급하게끔 제조하였다(도 1a).

[0037] 바이오매스 농도 측정

[0038] 본 발명의 부유형 광생물반응기는 5톤의 천연 해수로 가득 채운 개방 수로형 연못(pen raceway pond)의 표면에 위치시키고 30 rpm 패들로 교반하였다. 인공 영양분의 공급 없이 55 ± 5 μE/m²/s의 조사량으로 20±2℃에서 배양하였고 초기 집중 농도는 1.59 gDCW/m²(건조 세포 중량)이었으며 배양 기간은 5일 동안 유지되었다(도 1b).

면적 바이오매스 밀도(areal biomass density)는 160℃(W_{a0})에서 5분간 건조한 후, 5 μm의 포어를 갖는 필터의 *Tetraselmis* sp. 중량을 측정하여 계산하였다. 이어서, 배양 배지를 진공 펌프로 여과하였고 30 mL의 탈 이온수(deionized water)를 5회 흘려 잔류 염(residue salts)을 제거하였다. 상기 사용된 필터는 160 °C(W_a)에서 5분 동안 건조시킨 후 다시 무게를 측정하였다. 면적 바이오매스 밀도의 W_a와 W_{a0}는 하기 수학적 식 1을 이용하여 계산하였다:

$$gDCW/m^2 = \frac{W_a - W_{a0}}{A} \quad (\text{수학적 식 1})$$

4-HPB(hydroxyphenethyl bromide)가 접목된 선택적 투과막의 합성

본 발명에 사용된 선택적 투과막(선택적 투과막)은 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET)으로 제조하였고(PET-선택적 투과막) 4-HPB가 접목된 선택적 투과막을 합성하기 위해, Friedel-Craft 알킬화 방법을 사용하였다(Kim *et al.*, *Applied Catalysis A: General*, 470, 420-426. 2014). 이는 4-HPB 및 염화 알루미늄(aluminum chloride)을 에탄올에서 1시간 동안 혼합하여 균질한 용액을 제조하였다. 이때 4-HPB의 농도를 0.01 M, 0.03 M 및 0.05 M으로 조절하였고, 염화 알루미늄의 농도는 0.04 M로 유지하였으며 알킬화를 개시하기 위해 기본 선택적 투과막을 상기 혼합된 에탄올에 첨가하였다. 반응 시간은 1일에서 5일까지 조절하였고 반응 온도는 50℃로 유지하였다. 알킬화가 끝난 후, 상기 합성 선택적 투과막을 증류수로 5회 세척하여 잔류 화학 물질을 제거하였고 상기 합성을 데시케이터(desiccator)에서 밤새 건조시켰다(도 2).

알킬화 정도의 계산을 위해 선택적 투과막의 무게를 측정하였다 (Pu *et al.*, *Polymer international*, 54(1), 175-179. 2005). 알킬화(W_{b0}) 전의 선택적 투과막 및 알킬화 후의 선택적 투과막의 중량(W_b)을 측정함으로써 알킬화 정도(DA)를 하기 수학적 식 2를 이용하여 계산하였다.

$$DA(\%) = \frac{W_b - W_{b0}}{W_{b0}} \times 100 \quad (\text{수학적 식 2})$$

접촉각 분석

본 발명자들은 본 발명에서 제조한 기본 선택적 투과막과 4-HPB 접목 선택적 투과막의 표면 특성을 비교하기 위해 접촉각 측정기(DGD Fast/60, GBX 기술, 프랑스 Romans-sur-Isere)(Kim *et al.*, *Journal of colloid and interface science*, 500, 113-118. 2017)를 사용하여 접촉각(contact angl)을 측정하였고 드롭 캐스팅(drop casting) 방법은 기본 선택적 투과막 및 4-HPB 접목 선택적 투과막에 물 100 μL를 떨어뜨려 수행하였다.

주사형 전자 현미경(SEM) 및 생물오손 정도 측정

본 발명자들은 4-HPB 접목 선택적 투과막의 생물오손 억제 효과를 분석하기 위해 배양 전 선택적 투과막과 배양 후 선택적 투과막의 표면을 주사 전자 현미경(SEM, JSM-6010LA, JEOL Ltd., Tokyo, Japan)을 사용하여 분석하였다. 또한, 생물오손 정도(degree of biofouling)를 정량화하기 위하여 배양 전 선택적 투과막의 중량(W_{c0})과 생물오손 후의 선택적 투과막의 중량(W_c)을 하기 수학적 식 3을 이용하여 계산하였다.

$$g/m^2 = \frac{W_c - W_{c0}}{A} \quad (\text{수학적 식 3})$$

*상기 공식 3에서 W_c는 배양 후 선택적 투과막, 및 W_{c0}은 배양 전 선택적 투과막의 중량이고 A는 선택적 투과막의 영역을 의미한다.

평균 투수성 측정

본 발명의 일 실시예에 따라 선택적 투과막의 투수성(water permeability)을 분석하기 위해 0.2 gDCW/L 농도의 배양물 50 mL를 부어 투과 수의 양을 20초 마다 300초 동안 측정하였고 평균 투수성은 하기 수학적 식 4를 사용하여 측정된 투수성의 부피를 사용하여 계산했다.

$$P_{aw}(m/day) = \frac{V_w}{t \cdot A} \quad (\text{수학적 식 4})$$

상기 공식에서 P_{aw}는 평균 투수성, V_w는 선택적 투과막을 통한 투과 수의 부피, t는 시간, A는 선택적 투과막의

면적(0.0063 m^2)이다.

[0054] 이온 투과성 측정

[0055] 이온 투과성(ion permeability)은 종래의 방법에 따라 조류 배양에서 주요 영양분인 질산염 이온(nitrate ion)을 측정하였고(Lee *et al.*, *Polymer Chemistry*, 54(1), 108-114. 2016) 이온(질산염) 투과성은 질산염 투과 계수(K)로 나타내었다. K 값을 계산하기 위해 *Tetraselmis* sp. 배양을 위한 부유형 광생물반응기의 바닥에 선택적 투과막 및 4-HPB 접목 SMP를 설치하였고 상기 광생물반응기를 자연 해수(NSW)로 가득 찬 개방 수로형 연못에 위치시켰다. 내부 광생물반응기의 초기 질산염 농도는 높게(120 mg/L) 조절되었고 시간이 지남에 따라 광생물반응기 내부의 질산염 농도를 모니터링하였다. 시간 경과에 따라 내부 광생물반응기의 질산염 농도가 개방 수로형 연못의 NSW와 평형을 이룰 때까지 감소되었다. 상기 질산염 이온 감소율은 하기 수학적식 5를 사용하여 계산하였다.

$$\frac{dC}{dt} = \frac{A \cdot K \cdot (C_i - C_t)}{V} \quad (\text{수학적식 5})$$

[0057] * 상기 수학적식 5에서, 상기 C_t 는 t시간에 질산염의 농도이고, K는 질산염 투과성이며, A는 막의 면적(0.0063 m^2)이고, V는 광생물반응기 내부의 액체 부피(20 mL)이다.

[0058] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 더 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있는 것으로, 이하의 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다.

[0059] 실시예 1: 4-HPB 접목 선택적 투과막의 합성, 알킬화 정도 및 접촉각의 계산

[0060] 본 발명의 일 실시예에 따라 제조한 4-HPB 접목 선택적 투과막의 알킬화 정도(degree of alkylation, DA)를 측정한 결과 DA 값은 4-HPB의 반응 시간 및 농도가 증가함에 따라 향상되었는데 4-HPB의 농도가 0.01 M 로 조절되었을 때 1.29%(1일), 1.91%(3일), 2.61%(5일) 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 4-HPB의 농도가 변화함에 따라 4-HPB 접목 선택적 투과막의 DA 값은 최대 3.40%(4-HPB 농도: 0.03 M), 4.85%(4-HPB 농도: 0.05 M)로 증가하였다(도 3). 상기 결과는 증가된 4-HPB의 농도 및 반응 시간은 알킬화 반응을 강화시켰고 선택적 투과막 표면에 4-HPB가 더 많이 접목되었음을 시사한다.

[0061] 또한, 선택적 투과막에서 물방울의 접촉각을 측정한 결과, DA 값이 2.61%, 3.40% 및 4.75%로 증가함에 따라 접촉각 값은 102.45° (기본 선택적 투과막)에서 81.75° (DA: 2.61 %), 67.77° (DA: 3.40%) 및 61.87° (DA: 4.85%)로 감소하였다(도 4). 따라서 상기 4-HPB 접목 선택적 투과막이 기본 선택적 투과막 보다 낮은 소수성(높은 친수성)을 갖는다는 것을 의미하고 상기와 같은 경향은 선택적 투과막 접목 4-HPB의 수산기(-OH)가 선택적 투과막 표면의 접촉각과 소수성을 감소시킨다는 것을 의미한다. 상기 선택적 투과막 표면의 접촉각을 측정한 결과를 하기 표 1에 나타내었다.

표 1

4-HPB 접목 선택적 투과막의 접촉각

실시예	DA (%)	접촉각 ($^\circ$)
1	0	$102.45 \pm (0.65)$
2	2.61	$81.75 \pm (3.22)$
3	3.40	$67.77 \pm (0.33)$
4	4.85	$61.87 \pm (2.69)$

[0063] *기본 선택적 투과막 및 4-HPB 접목 선택적 투과막의 물의 접촉각 값을 다양한 알킬화 값으로 나타내었다. 괄호는 상기 4개의 측정값을 기반으로 한 표준편차 값을 나타낸다.

[0064] 실험예 1: 배양 전후의 이온(질산) 투과성 및 투수성 분석

[0065] 본 발명자들이 기본 선택적 투과막 및 4-HPB 접목 선택적 투과막을 이용하여 배양 전후의 이온(질산염) 투과성을 분석한 결과, 배양 전에 선택적 투과막의 질산염 투과 계수(K)는 $2.29 \times 10^{-4} \text{ m/min}$ (기본 선택적 투과막)에서 $2.67 \times 10^{-4} \text{ m/min}$ (DA: 2.61%), $2.86 \times 10^{-4} \text{ m/min}$ (DA: 3.40 %) 및 $3.43 \times 10^{-4} \text{ m/min}$ (DA: 4.85 %)으로 증가하였고 배

양 후 선택적 투과막의 질산염 투과 계수(K)는 1.14×10^{-4} m/min(기본 선택적 투과막)에서 1.90×10^{-4} m/min(DA: 2.61%), 2.29×10^{-4} m/min(DA: 3.40%) 및 2.86×10^{-4} m/min(DA: 4.85%)로 감소하였다. 배양 전후의 질산염 투과성을 비교하면 4-HPB 접목 선택적 투과막은 71.43%(DA: 2.61 %), 80%(DA: 3.40 %), 83.33%(DA: 4.85 %)로 다소 감소한 반면에 기본 선택적 투과막의 질산염 투과율은 50%로 크게 감소하였다(도 5). 상기 결과는 접목 4-HPB가 선택적 투과막 표면의 생물오손을 억제하였고 이에 따라 기본 선택적 투과막에 비해 질산염 투과성을 상대적으로 높게 유지함을 의미한다(Kim *et al.*, *Bioprocess and biosystems engineering*, 39(5), 713-723. 2016).

[0066] 또한, 부유형 광생물반응기를 사용하여 선택적 투과막을 평가하는 데 중요한 요소인 배양 전 또는 배양 후의 평균 투수성(average water permeability)을 측정한 결과, 배양 전 기본 선택적 투과막의 평균 투수성은 1.03 m/day 였으나 4-HPB 접목 선택적 투과막은 1.20 m/day (DA: 2.61%), 1.71 m/day (DA: 3.40%), 및 2.06 m/day (DA: 4.85%)로 4-HPB 접목 선택적 투과막의 DA 값이 증가함에 따라 기본 선택적 투과막 보다 높은 평균 투수성을 나타내었다(도 6). 따라서 4-HPB의 접목은 선택적 투과막 표면의 소수성(친수성 증가)을 감소시키고 친수성-친수성 상호 작용에 의해 물을 쉽게 투과시키므로 DA 값이 증가함에 따라 4-HPB 접목 선택적 투과막은 기본 선택적 투과막 보다 평균 투수성이 높은 것을 확인하였다. 또한, 상기와 동일한 방법으로 배양 후 평균 투수성을 측정한 결과, 기본 선택적 투과막의 평균 투수성은 배양 전 기본 선택적 투과막에 비해 거의 61.7%로 크게 감소한 반면 4-HPB 접목 선택적 투과막은 68.6%(DA: 2.61 %), 70.1%(DA: 3.40%), 73.3% (DA: 4.85 %)로 다소 감소하였다. 상기 결과는 4-HPB의 접목은 선택적 투과막 표면에서의 생물오손을 억제하였고, 배양 후 평균 수분 투수성은 유지되었음을 말해준다.

[0067] 실험예 2: 면적 바이오매스 밀도 및 바이오매스 생산성 분석

[0068] 본 발명자들은 4-HPB 접목 선택적 투과막의 사용이 기본 선택적 투과막에 비교하여 면적 바이오매스 밀도(areal biomass density) 및 바이오매스 생산성(biomass productivity)에 미치는 영향을 분석하였다.

[0069] 본 발명의 일 실시예에 따라 제조한 부유형 광생물반응기를 이용하여 면적 바이오매스 밀도를 분석한 결과, 초기에는 1.59 gDCW/m^2 (건조 세포 중량)였으나 5일간 배양이 진행됨에 따라 3.71 g/m^2 (기본 선택적 투과막), 4.06 gDCW/m^2 (4-HPB 접목 선택적 투과막, DA:2.61%), 4.46 gDCW/m^2 (4-HPB 접목 선택적 투과막, DA:3.40%), 및 5.30 gDCW/m^2 (4-HPB 접목 선택적 투과막, DA:4.85%)로 점진적으로 증가하였다(도 7). 따라서 4-HPB 접목 선택적 투과막을 이용한 광생물반응기는 기본 선택적 투과막 광생물반응기에 비해 43% 더 높은 면적의 바이오매스 밀도를 나타내었다.

[0070] 또한, 바이오매스 생산성을 계산하기 위해 상기 면적 바이오매스 밀도를 선택적 투과막(0.0063 m^2) 및 재배기간(5일)으로 나누어 분석한 결과, 4-HPB 접목 선택적 투과막-광생물반응기의 바이오매스 생산성은 $4.25 \times 10^{-1} \text{ g/m}^2/\text{day}$ (기본 선택적 투과막)에서 $4.95 \times 10^{-1} \text{ g/m}^2/\text{day}$ (4-HPB 접목 선택적 투과막, DA: 2.60%), $5.75 \times 10^{-1} \text{ g/m}^2/\text{day}$ (4-HPB 접목 선택적 투과막, DA: 3.40%), 및 $7.43 \times 10^{-1} \text{ g/m}^2/\text{day}$ (4-HPB 접목 선택적 투과막, DA: 4.85 %)로 향상되었다. 따라서 상기 4-HPB 접목 선택적 투과막-광생물반응기(DA: 4.85%)의 바이오매스 생산성은 기본 선택적 투과막-광생물반응기에 비해 최대 75% 향상되었고 배양 후 질산염 침투성은 73.3%로 조절되었으며, 상기 바이오매스 생산성 향상율은 합리적인 것으로 사료된다. 따라서 배양 3일 후에 기본 선택적 투과막-광생물반응기를 이용한 면적 바이오매스 밀도의 증가율은 약간 감소했지만 4-HPB 접목 선택적 투과막-광생물반응기에 대한 면적 바이오매스 생산성의 비율은 유지되었다.

[0071] 실험예 3: 생물오손 분석

[0072] 본 발명자들은 배양 전후 선택적 투과막의 주사 전자 현미경(SEM) 이미지를 통해 4-HPB 접목 선택적 투과막의 생물오손을 분석하였다. 그 결과, 기본 선택적 투과막에서 생물오손의 발생을 관찰하였지만(도 8a 및 8b), 4-HPB 접목 선택적 투과막은 상대적으로 생물오손이 억제된 것을 관찰하였다(도 8c 및 8d).

[0073] 또한, 생물오손을 정량화하기 위해, 배양 전후의 기본 선택적 투과막 및 4-HPB 접목 선택적 투과막의 제곱미터 당 부착된 미세조류 *Tetraselmis sp.*의 중량을 측정한 결과 1.62 g/m^2 (기본 선택적 투과막), 1.19 g/m^2 (4-HPB 접목 선택적 투과막, DA: 2.61%), 1.02 g/m^2 (4-HPB 접목 선택적 투과막, DA: 3.40%), 및 0.65 g/m^2 (4-HPB 접목 선택적 투과막, DA: 4.85%)로 4-HPB 접목(DA: 4.85%) 선택적 투과막의 생물오손 정도는 기본 선택적 투과막

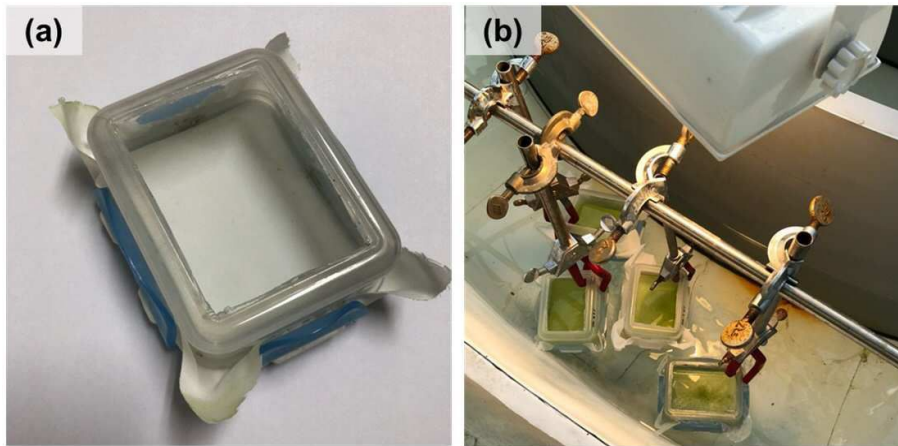
과 비교하여 최대 40 % 감소한 것으로 나타났다.

[0074] 결론적으로 본 발명의 티로솔 알킬화 메쉬를 포함하는 부유형 광생물반응기를 이용하여 배양한 결과 4-HPB는 생물오손을 억제하는 퀴럼 센싱 분자로 알려진 티로솔과 유사한 화학 구조를 가지고 있기 때문에 선택적 투과막의 표면에 4-HPB를 접목하여 미세조류를 배양한 결과 4-HPB의 히드록시기(-OH)는 선택적 투과막 표면의 소수성을 감소시켜 미생물의 부착을 저해함에 따라 생물오손을 현저히 억제하였고 이에 따라 이온 투과성 및 투수성도 증가하여 배양액의 혼합 효율을 더 증가시킴에 따라 바이오매스 생산성을 향상시킬 수 있는 미세조류 대량배양에 활용가능하다.

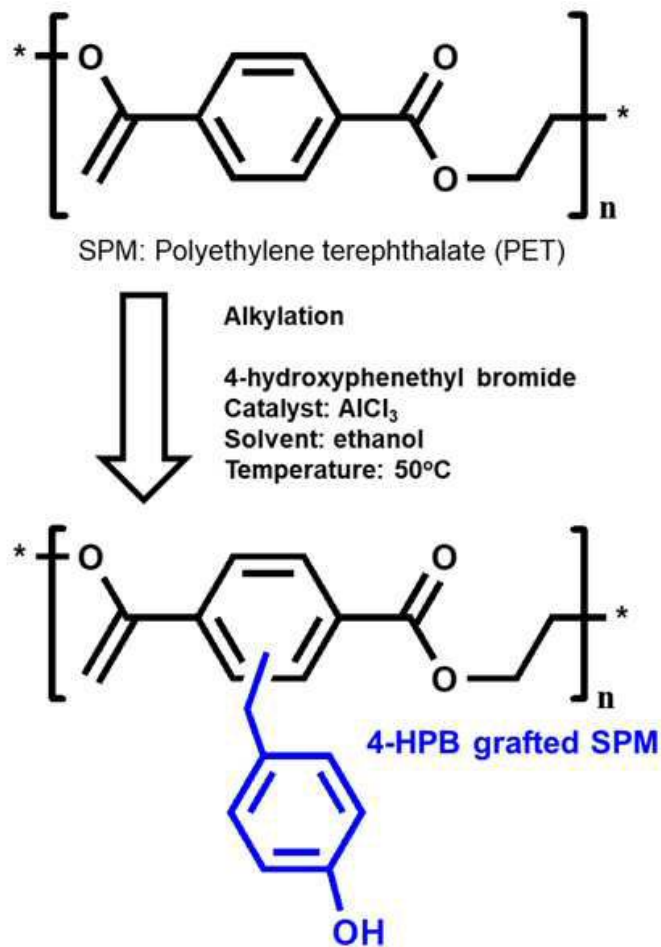
[0075] 본 발명은 상술한 실시예 및 실험예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예 및 실험예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면

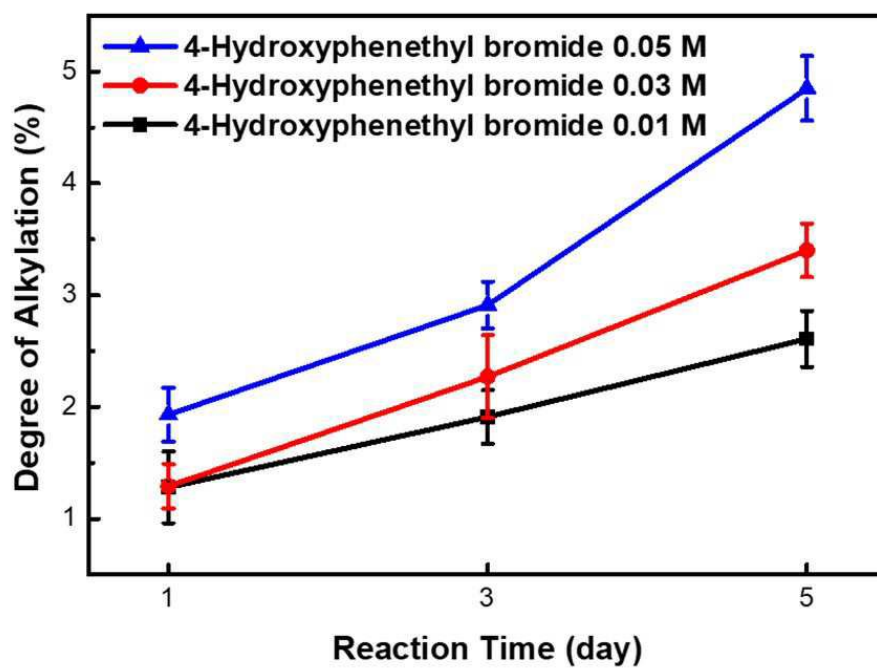
도면1



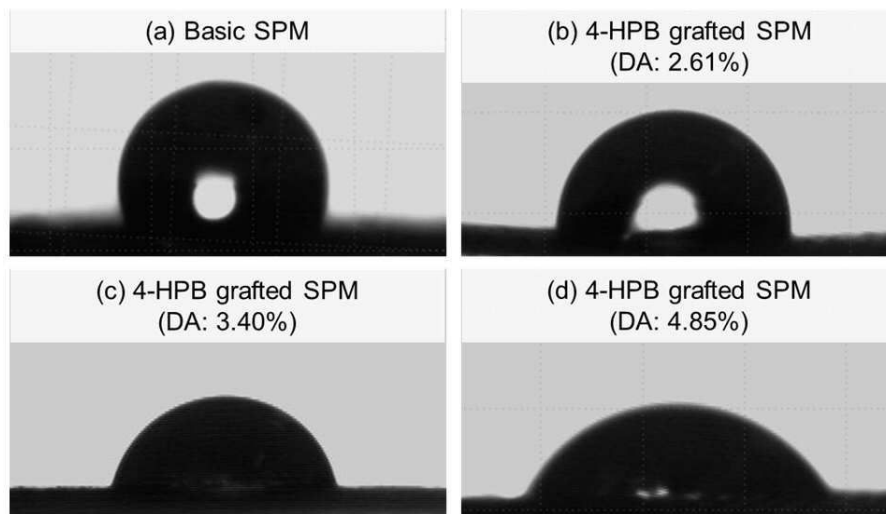
도면2



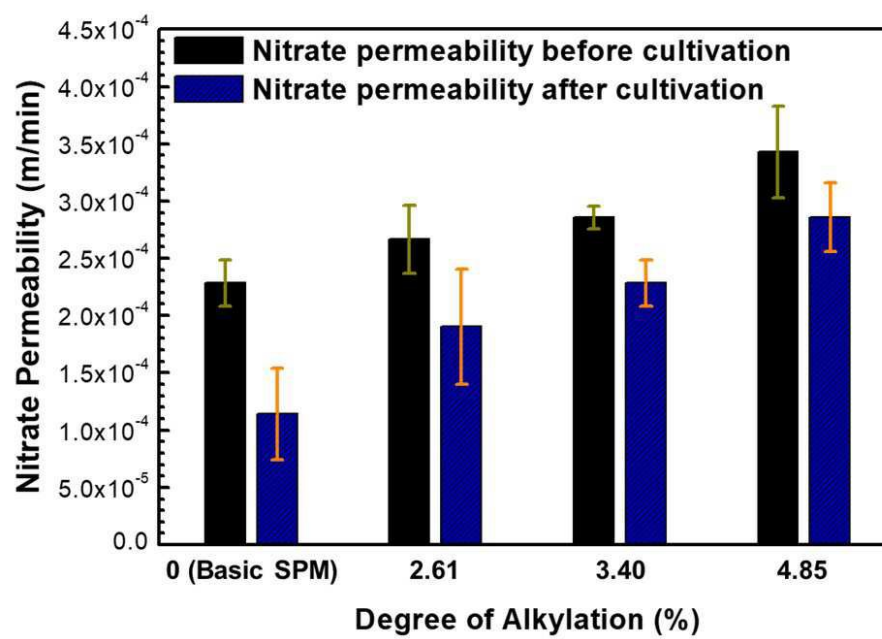
도면3



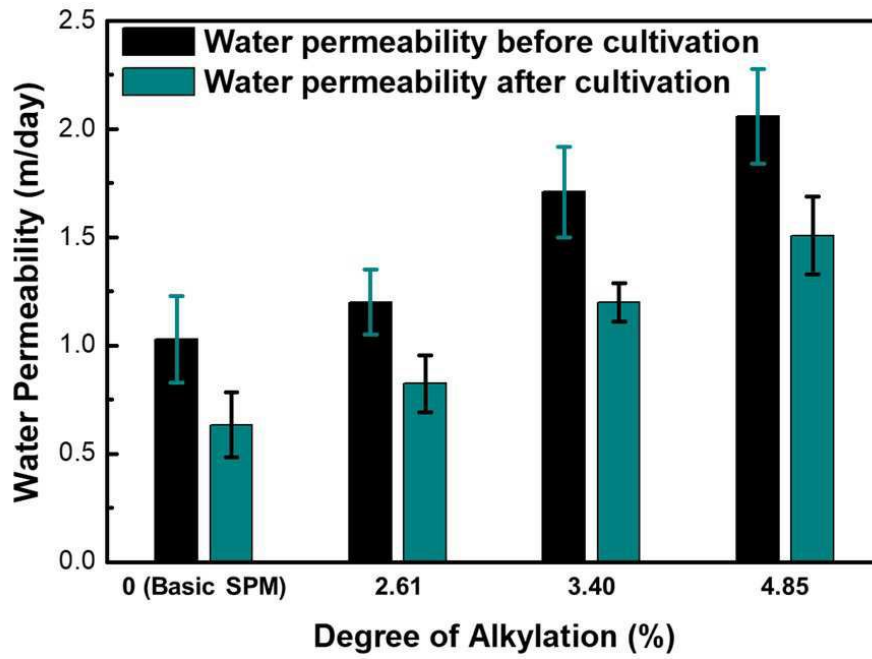
도면4



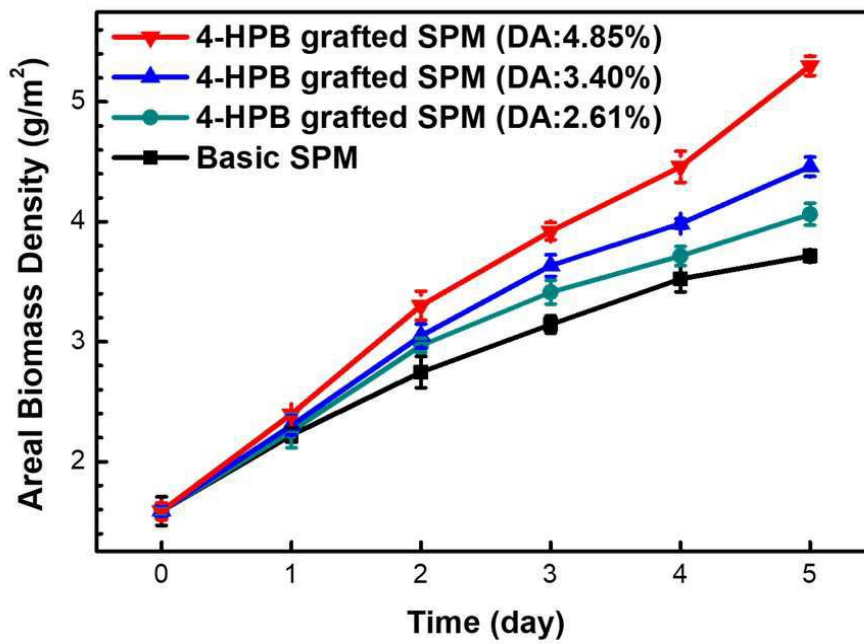
도면5



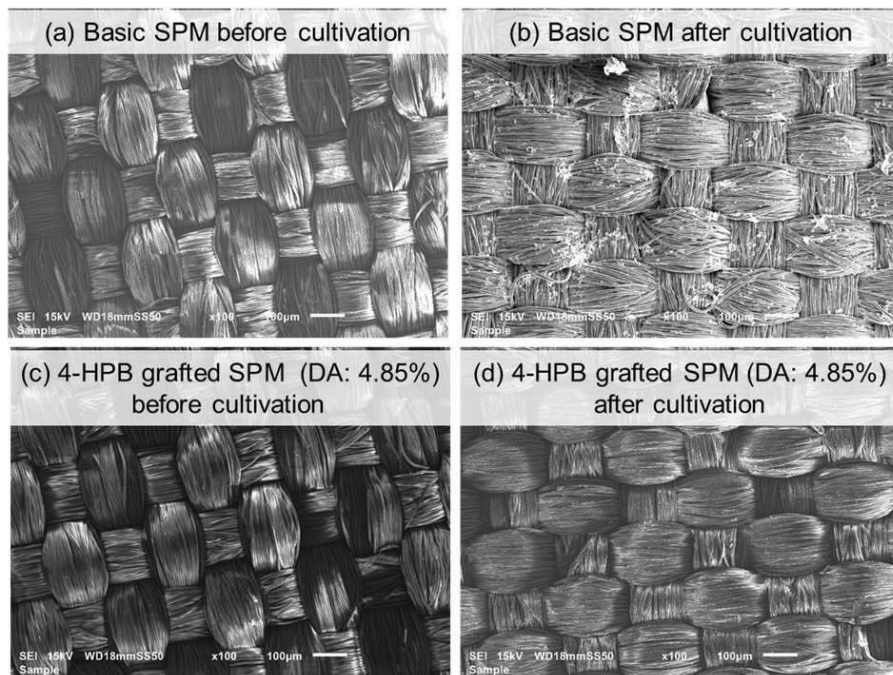
도면6



도면7



도면8



도면9

