



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년04월25일
(11) 등록번호 10-1256773
(24) 등록일자 2013년04월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C02F 3/32 (2006.01) C02F 3/12 (2006.01)
C12N 1/12 (2006.01) C12N 13/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0105460
(22) 출원일자 2012년09월21일
심사청구일자 2012년09월21일
(56) 선행기술조사문헌
한국지반환경공학회 논문집. 제12권 제12호.
pp31-35. 2011. 12.
한국물환경학회 · 대한상하수도학회. 2012 공동학
술발표회 논문집. 2012.3.
KR1020120073432 A
JP2002315569 A

(73) 특허권자
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스
내 (서천동, 경희대학교)
(72) 발명자
황선진
경기도 용인시 기흥구 서천동 705 예현마을 현대
홈타운 아파트 101동 303호
김태형
경상남도 마산시 마산합포구 대내동 1-12번지 1통
1반
(74) 대리인
손민

전체 청구항 수 : 총 3 항

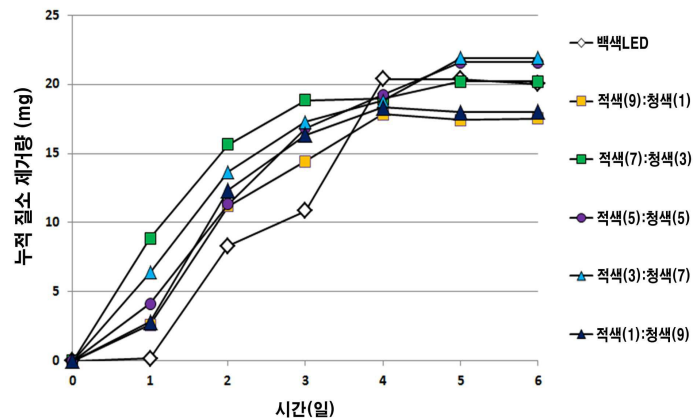
심사관 : 이병훈

(54) 발명의 명칭 파장 선택적 LED 광 조사를 이용한 미세조류에 의한 하폐수 고도처리 및 미세조류 바이오
매스 생산성 증대

(57) 요약

본 발명은 적색광과 청색광을 혼합한 혼합광을 광원으로 사용하여 미세조류를 배양하는 단계를 포함하는 하폐수 고도처리 또는 바이오매스 생산 방법에 관한 것이다. 본 발명의 적색광원 및 청색광원을 일정한 비율로 혼합한 혼합광을 광원으로 사용함으로써, 백색광을 사용하였을 때 보다 미세조류를 이용한 바이오매스 생산량을 증대시키고 질소 및 인 제거량을 증가시킬 수 있음을 확인하였다. 특히, 상기 적색광원 및 청색광원으로는 저전력 소비형 LED(light emitting diode)를 이용할 수 있으므로, 비용적인 측면에서 장점을 갖는다. 따라서, 본 발명의 혼합광원은 낮은 비용으로 미세조류를 이용한 하폐수 고도처리에 유용하게 사용될 수 있으며 여분의 미세조류는 회수하여 생물연료 생산을 위한 바이오매스로 이용 가능하다.

대표도 - 도6



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 00048242

부처명 중소기업청

연구사업명 산학연 공동기술개발사업

연구과제명 광배양기를 통한 미세조류의 고농도 광배양기술개발

주관기관 경희대학교

연구기간 2011.06.01 ~ 2013.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

적색광과 청색광을 3:7의 혼합비로 혼합한 혼합광을 광원으로 사용하여 뿔목말 속(*Scenedesmus* sp.) 미세조류를 배양하여 하폐수의 질소와 인을 제거하는 단계를 포함하는, 하폐수 고도처리 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 적색광은 600 내지 700 nm 파장 영역의 빛이며, 청색광은 400 내지 500 nm 파장 영역의 빛인 것인 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 적색광 및 청색광은 LED(light emitting diode)에 의해 제공되는 것인 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 적색광과 청색광을 혼합한 혼합광을 광원으로 사용하여 미세조류를 배양하는 단계를 포함하는 하폐수

고도처리 또는 바이오매스 생산 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 하폐수 처리는 하폐수 중에 포함된 오염물질의 제거를 목적으로 하며, 그 처리방식에 따라 1차 처리, 2차 처리, 3차 처리 및 고도처리 등으로 분류된다. 1차 처리는 하폐수 중에 부유하는 물질이나 침강성 물질을 물리적으로 제거하는 방법으로 스크리닝 시설과 침전시설 등이 이용되며 대개 하폐수 처리장에서 최초 침전지까지의 공정이 이에 해당한다. 2차 처리에서는 화학적 처리와 생물학적 처리 기술을 도입하여 생물학적 처리가 쉽게 진행될 수 있는 여건을 만들어 주거나 유기물을 처리한다. 3차 처리 또는 고도처리는 부영양화의 원인물질인 질소(nitrogen; N)와 인(phosphorus; P)을 처리하는 기술로서 화학적 및 생물학적 처리 기술이 도입되고 있다. 상기 고도처리의 궁극적인 목적은 호소 부영양화 해역의 적조현상 및 생태계의 악영향 방지에 있다. 처리 방법은 선택된 처리된 유출수의 용도, 하폐수의 특성, 처리방법의 적합성 및 경제성 등에 의해 좌우된다. 이외에 추가적인 처리과정이 수행되기도 하는데 이는 처리수의 수질을 개선하기 위하여 물리, 화학, 생물학적 처리기술을 이용하는 것으로 그 목적은 청정지역의 공공수역 수질을 확보하거나 처리수를 재이용하는데 있다. 상기 최초 침전지는 부유성 고형물을 중력에 의한 침전으로 제거하는 시설로 생물학적 처리공정의 부하감소, 후속 처리시설의 시설 용량 감소 및 운전비용의 안정적 절감 등을 목적으로 한다.
- [0003] 상기 영양염류를 제거하는 고도처리 과정은 통상적으로 물리적, 화학적 및 생물학적 반응을 이용하여 배출되는 영양염류의 양과 형태를 제한하거나 조절하는 처리방법으로 기존의 하폐수 처리에 있어서 고도처리 시스템은 하폐수 내 유기물의 제거를 위하여 호기성 미생물 성장에 필요한 산소를 공기 폭기를 통해 공급하였으므로 운전비용이 높다는 단점을 가지고 있다. 상기 폭기에 사용되는 비용은 전체 하폐수 처리장 운영비용에 60%에 달하였다. 또한 발생하는 하수슬러지 처리를 위해 많은 비용이 소모되는 단점이 있다.
- [0004] 이러한 노력의 일환으로 하폐수 고도처리에 미세조류를 이용하는 방법이 이용되고 있다. 구체적으로 미세조류의 광합성 과정으로부터 발생하는 산소를 이용함으로써 호기성 미생물 성장에 필요한 산소공급 비용을 낮출 수 있고, 무기탄소를 탄소원으로 소모하므로 CO₂를 감소시키는 효과가 있으며, 잉여 미세조류는 생물연료의 원료인 바이오매스로서 활용될 수 있다.
- [0005] 한편, 자연광을 광원으로 이용할 수 있겠으나, UV-B가 녹조류의 성장을 저해함이 보고된 바 있고, 조절이 불가능하며 날씨나 기후의 영향을 크게 받는 단점이 있다.
- [0006] 이에 본 발명자들은 보다 효율적인 미세조류를 이용한 하폐수 고도처리 및 바이오매스 생산을 위한 방법을 예의 연구노력한 결과, 적색광과 청색광을 혼합한 혼합광을 광원으로 사용함으로써 자연광과 유사한 백색광 적용시 보다 바이오매스 생산량, 질소 및 인의 제거량을 증가시킬 수 있음을 확인하고 본 발명을 완성하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명의 하나의 목적은 적색광과 청색광을 혼합한 혼합광을 광원으로 사용하여 미세조류를 배양하는 단계를 포함하는 하폐수 고도처리 또는 바이오매스 생산 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명은 적색광과 청색광을 혼합한 혼합광을 광원으로 사용하여 미세조류를 배양하는 단계를 포함하는 하폐수 고도처리 또는 바이오매스 생산 방법을 제공한다.
- [0009] 본 발명에서 용어, "고도처리"는 부영양화의 원인물질인 질소 및 인을 처리하는 기술로서, 넓게는 2차 처리 후 하폐수에 잔존하는 질소 또는 인 등의 영양염류, 무기성이온, 중금속(유해금속) 및 합성유기물 등을 추가적으로

제거하는 과정을 의미한다. 상기 2차 처리된 하폐수는 1차적으로 스크리닝 시설 및 침전시설 등을 이용하여 하폐수 중에 부유하는 물질이나 침강성 물질을 물리적으로 제거하는 과정 및 2차적으로 화학적 처리 및 생화학적 처리 기술을 도입하여 이후 생물학적 처리가 용이하도록 여건을 조성하거나 유기물을 처리하는 과정을 거친 하폐수를 칭한다. 상기 고도처리는 처리수의 수질 개선을 위한 과정으로 물리, 화학 및 생물학적 처리기술을 이용한다.

[0010] 본 발명의 용어, "바이오매스(biomass)"는 특정 생물군의 양을 중량이나 에너지량으로 나타내는 것으로 생물체량 또는 생물량이라고도 한다. 일반적으로 건조중량을 사용하지만, 습중량이나 때로는 생물체의 주요한 구성성분인 탄소나 질소량으로 나타내기도 한다. 현존량과 같은 뜻으로도 빈번히 사용되며 특히 식물의 경우 그러하다. 생물량은 생물생만에 따라 증가하는데 군집의 호흡량, 고사탈락량, 피식량 등을 공제한 것이 축적량이 된다. 생태계에 있어서는 영양단계가 낮은 생물군의 생물량이 많고 포식자인 고차 생물군의 생물량은 적다. 땃나무, 숲, 생물의 기체 등 직접 화학 에너지로 이용될 수 있는 생물을 포함하며, 이 외에도 추가적인 공정에 의해 에너지로 전환될 수 있는 동식물이나 미생물 등 생물체가 만들어내는 유기물을 모두 포함한다. 구체적으로, 동물, 식물, 미생물 등 생물체의 유기물을 총망라하는 개념으로 각종 동식물을 비롯하여 농업에서 나온 부산물 및 폐기물, 음식물 쓰레기, 생물체에 기초한 산업폐기물, 생물연료 생산을 목적으로 재배된 작물(에너지 작물) 등 그 종류가 다양하다. 상기 바이오매스는 물리, 화학, 생물학적 기술을 적용하여 고체, 액체, 기체 상태의 생물연료로 전환할 수 있다.

[0011] 본 발명에서 용어, "미세조류(microalgae 또는 microphytes)"는 현미경으로 관찰가능한 작은 크기의 조류를 의미하며, 일반적으로는 민물 또는 해양계에서 발견된다. 이는 개별적으로 또는 사슬 또는 무리의 형태로 존재하는 단일세포종이다. 종에 따라 수 마이크로미터 내지 수백 마이크로미터의 크기를 가지며 고등식물과는 달리 뿌리, 줄기 및 잎을 가지지 않는다. 상기 미세조류는 광합성을 할 수 있어 빛을 조사하면 이산화탄소를 소모하고 산소를 배출하면서 에너지를 축적할 수 있으며, 증식률 및 성장률이 높은 특성이 있다. 도 1에 나타난 바와 같이, 광합성을 통한 인산화에 의해 ADP로부터 ATP를 생산하는 빛 에너지를 화학에너지로 전환하는 능력을 갖는다.

[0012] 상기 미세조류는 광을 이용하여 하폐수 고도처리 및 바이오매스 생산이 가능한 미세조류는 모두 포함되며, 바람직하게 녹조류일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 본 발명의 용어, "녹조류"는 녹색의 조류로 단세포, 다세포, 비세포성 다핵체 등 여러가지 형태의 것이 존재한다. 대부분은 담수종이지만 약 1/10 정도는 해수종이다. 상기 담수종은 담수 즉, 민물(freshwater)에서 자라는 종을, 해수종은 바다에서 자라는 종을 의미한다. 담수종은 그 크기가 매우 작은 반면, 해수종은 큰 것도 많다. 상기 녹조류는 녹조식물에 속하는 것으로 이들의 공통된 특징은 핵, 엽록체, 미토콘드리아 등의 분화된 세포기관을 가지며 중요한 동화색소로 엽록소 a와 엽록소 b를 가진다. 동화산물을 다당류의 형태로 저장하므로 녹조류의 바이오매스는 생물연료 생산을 위한 원료로 사용될 수 있다.

[0013] 바람직하게 상기 미세조류는 비부착성일 수 있다. 바람직하게 상기 미세조류는 땃목말 속(*Scenedesmus* sp.), 클로렐라 속(*Chlorella* sp.), 데스모데스무스 속(*Desmodesmus* sp.), 클라마이도모나스 속(*Chlamydomonas* sp.), 페디아스트럼 속(*Pediastrum* sp.), 오에도고니움 속(*Oedogonium* sp.), 코에라스트럼 속(*Coelastrum* sp.), 안키스트로데스무스 속(*Ankistrodesmus* sp.), 옥세노클로렐라 속(*Auxenochlorella* sp.) 또는 클로스테리옵시스 속(*Closteriopsis* sp.)일 수 있으며, 보다 바람직하게는 땃목말 속(*Scenedesmus* sp.)일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0014] 상기 적색광은 600 내지 700 nm 파장 영역의 빛이며, 청색광은 400 내지 500 nm 파장 영역의 빛일 수 있다. 나아가 상기 적색광 및 청색광은 LED(light emitting diode)에 의해 제공될 수 있다.

[0015] 본 발명의 용어, "LED(light emitting diode)"는 반도체(semiconductor) 광원으로서 지시등 및 이외의 용도로 널리 사용되고 있다. 순방향으로 전압으로 가했을 때, 발광하는 반도체 소자로 장치 내에서 전자가 전자홀과 재결합하면서 광자의 형태로 에너지를 방출하여 발광한다. 다양한 파장영역을 제공할 수 있으며, 다른 광원에 비해 전력소비가 낮고 수명이 긴 장점이 있다. 따라서 상기 LED를 이용하면 낮은 비용 즉, 낮은 소비전력으로 종류와 숫자를 조절하여 원하는 파장의 빛을 원하는 비율로 혼합하여 제공할 수 있다.

[0016] 상기 바이오매스 생산을 증가시키기 위하여 적색광과 청색광을 1:9 내지 9:1로 혼합한 혼합광을 이용할 수 있으며, 바람직하게는 3:7 내지 9:1, 보다 바람직하게는 6:4 내지 8:2로 혼합한 혼합광을 이용할 수 있다.

[0017] 본 발명의 구체적인 실시예에 의하면, 광원으로써 동일한 광합성 광자 유동 밀도(photosynthetic photon flux

density)의 백색, 청색, 녹색 및 적색 LED를 각각 이용하여 미세조류를 배양하여 생산된 바이오매스의 양을 측정한 결과 백색 LED를 사용한 대조군에서 가장 높은 바이오매스 생산량을 달성한 것을 확인하였으나(도 3), 상기 대조군과 동일한 광합성 광자 유동 밀도를 유지하도록 조절된 적색광과 청색광을 혼합한 혼합광원을 적용한 배양에서 바이오매스 생산량이 증가된 것을 확인하였다(도 5).

- [0018] 본 발명에서 하폐수 고도처리는 질소 및 인 제거에 의해 달성될 수 있다. 상기한 바와 같이 하폐수 고도처리는 물리, 화학 및/또는 생물학적 방법에 의하여 영양염류를 제거하는 것으로 본 발명에서는 질소와 인의 제거량을 측정함으로써 하폐수 고도처리 효율을 확인하였다.
- [0019] 상기 질소 및 인 제거는 동시에 이루어지는 것일 수 있으며, 또는 순차적으로 별도의 과정을 통하여 이루어지는 것일 수 있다.
- [0020] 따라서, 주로 제거하고자 하는 원소에 따라, 최적의 제거효율을 나타내도록 광원의 혼합비율을 조절할 수 있다.
- [0021] 예를 들어, 질소를 주로 제거하고자 하는 경우 상기 질소 제거율을 증가시키기 위하여 적색광과 청색광을 1:9 내지 9:1로 혼합한 혼합광을 이용할 수 있으며, 바람직하게는 2:8 내지 8:2, 보다 바람직하게는 6:4 내지 8:2로 혼합한 혼합광을 이용할 수 있다.
- [0022] 한편, 인을 주로 제거하고자 하는 경우 상기 인 제거율을 증가시키기 위하여 적색광과 청색광을 1:9 내지 9:1로 혼합한 혼합광을 이용할 수 있으며, 바람직하게는 3:7 내지 7:3, 보다 바람직하게는 4:6 내지 6:4로 혼합한 혼합광을 이용할 수 있다.
- [0023] 나아가, 질소 및 인을 동시에 높은 효율로 제거하기 위하여 적색광과 청색광을 1:9 내지 9:1로 혼합한 혼합광을 이용할 수 있으며, 바람직하게는 1:9 내지 7:3, 보다 바람직하게는 2:8 내지 4:6로 혼합한 혼합광을 이용할 수 있다.
- [0024] 또는 복수의 차례로 연결된 반응기를 이용하여 각 반응기를 각각의 원소에 대해 최적의 제거효율을 나타내는 조건에서 차례로 처리하여 달성할 수 있다. 예를 들어, 제1반응기에는 적색광과 청색광을 2:8 내지 4:6, 바람직하게는 6:4 내지 8:2 혼합한 혼합광을 적용하여 최적의 효율로 질소를 더불어 일부 인을 제거한 후, 제2반응기에는 적색광과 청색광을 3:7 내지 7:3, 바람직하게는 4:6 내지 6:4로 혼합한 혼합광을 적용하여 인을 중점적으로 제거할 수 있다.
- [0025] 또는, 반대로 제1반응기에 적색광과 청색광을 3:7 내지 7:3, 바람직하게는 4:6 내지 6:4로 혼합한 혼합광을, 제2반응기에 적색광과 청색광을 2:8 내지 8:2, 바람직하게는 6:4 내지 8:2 혼합한 혼합광을 적용하여 먼저 인을 최대효율로 제거한 후 차례로 질소를 효율적으로 제거할 수 있다.
- [0026] 또한, 질소만을 중점적으로 제거하고자 하는 경우, 예컨대 인의 함량이 이미 적은 상태의 하폐수인 경우나, 반대로 인만을 중점적으로 제거하고자 하는 경우, 예컨대 질소 함량이 이미 적은 상태의 하폐수인 경우에는 각각의 최적 효율별로 반응기를 구성하여 처리할 수 있다. 상기 예시한 반응기의 구성 및 최적의 광원혼합비율을 도 8에 나타내었다.
- [0027] 본 발명의 구체적인 실시예에 의하면, 광원으로써 동일한 광합성 광자 유동 밀도(photosynthetic photon flux density)의 백색, 청색, 녹색 및 적색 LED를 각각 이용하여 미세조류를 배양하고 이에 의해 제거된 질소 및 인의 양을 측정한 결과 질소 제거량에 있어서는 백색 LED를 사용한 대조군과 유사한 수준을, 인 제거량에 있어서는 청색 LED를 사용한 경우 대조군에 비해 45% 정도 증가된 수치를 나타내었으며, 녹색 및 적색 LED를 사용한 경우에도 청색 LED를 사용한 경우에 비해서는 15% 정도 낮으나 대조군 보다는 높은 수치를 나타냄을 확인하였다(도 4). 반면, 상기 대조군과 동일한 광합성 광자 유동 밀도를 유지하도록 조절된 적색광과 청색광을 혼합한 혼합광원을 적용한 배양에서 질 제거율 및 인 제거율이 현저하게 증가된 것을 확인할 수 있었다(도 6 및 7).

발명의 효과

- [0028] 본 발명의 적색광원 및 청색광원을 일정한 비율로 혼합한 혼합광을 광원으로 사용함으로써, 백색광을 사용하였을 때 보다 미세조류를 이용한 바이오매스 생산량을 증대시키고 질소 및 인 제거량을 증가시킬 수 있음을 확인하였다. 특히, 상기 적색광원 및 청색광원으로는 저전력 소비형 LED(light emitting diode)를 이용할 수 있으므로, 비용적인 측면에서 장점을 갖는다. 따라서, 본 발명의 혼합광원은 낮은 비용으로 미세조류를 이용한 하폐수 고도처리에 유용하게 사용될 수 있으며 여분의 미세조류는 회수하여 생물연료 생산을 위한 바이오매스로 이용

가능하다.

도면의 간단한 설명

[0029]

도 1은 미세조류에서의 광 반응을 나타낸 개략도이다.

도 2는 광원의 파장 및 파장 혼합비가 미세조류를 이용한 하폐수 고도처리 또는 바이오매스 생산에 미치는 영향을 평가하기 위한 실험장치를 나타낸 도이다. (A) 백색 LED 및 (B) 적색 LED를 적용하였을 때의 반응기 내부를 나타낸다.

도 3은 LED 광원의 파장에 따른 바이오매스의 생산량을 나타낸 도이다.

도 4는 LED 광원의 파장에 따른 질소 및 인 제거량을 나타낸 도이다.

도 5는 혼합광원 사용시 파장 혼합비에 따른 바이오매스 생산량을 나타낸 도이다.

도 6은 혼합광원 사용시 파장 혼합비에 따른 누적 질소 제거량을 나타낸 도이다.

도 7은 혼합광원 사용시 파장 혼합비에 따른 인 제거율을 나타낸 도이다.

도 8은 운전 목적에 따른 하폐수 고도처리 시스템의 구성을 개략적으로 나타낸 도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030]

이하, 실시예를 통하여 본 발명의 구성 및 효과를 더욱 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 예시하기 위한 것일 뿐, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0031]

실시예 1: 배양조건

[0032]

미세조류 배양에 사용된 광원의 파장 및 복수의 파장대의 광원을 혼합하여 사용한 경우 그 혼합비가 미세조류 바이오매스 생산 및 질소 및 인 제거에 의한 하폐수 고도처리에 미치는 영향을 평가하기 위하여 실험군으로 450 nm에 피크를 갖는 400 내지 500 nm 영역의 청색 LED, 525 nm에 피크를 갖는 470 내지 580 nm 영역의 녹색 LED, 670 nm에 피크를 갖는 600 내지 700 nm 영역의 적색 LED 또는 이들을 일정 비율로 혼합한 혼합광을, 대조군으로는 형광등과 유사한 400 내지 700 nm 영역의 파장을 제공하는 백색 LED를 광원으로 사용하였다. 광원으로써 백색 LED (A) 및 적색 LED (B)를 적용한 반응기를 도 2에 예시하였다.

[0033]

기본적인 배양 조건은 하기와 같다: 미세조류로는 담수종인 *Scenedesmus* sp.(뿔목말 속)을 사용하였다. 1L 삼각 플라스크에 600 ml의 작업부피로 수행하였으며, 미세조류의 성장에 필요한 탄소원은 공기 펌프와 산기석을 이용하여 1 vvm으로 공급하였다. 항온 인큐베이터를 이용하여 온도를 25℃로 유지하였으며, 초기 pH는 8로 설정하였다. 배양배지로는 *Scenedesmus* sp. 성장에 적합한 배지로 알려진 볼드 기초배지(Bold's basal medium)를 이용하였고 6일 간 배지 테스트를 진행하였다. 미세조류의 성장률은 표준법(standard method)에 개시된 방법에 따라 부유고(suspended solid; SS)를 측정하여 평가하였으며, 총 질소(total nitrogen; TN) 및 총 인(total phosphorus; TP) 분석은 시료를 적정 농도로 희석시킨 후 수질분석 키트를 사용하여 수질분석 전용 반응기(HS R-200, Human, Korea)를 이용하여 전처리한 후 수질 분석기(Water Analyzer; HS 3100, Human, Korea)를 이용하여 측정하였다.

[0034]

실시예 2: 파장에 따른 바이오매스 생산량, 질소 및 인 제거량

[0035]

미세조류 바이오매스 생산량, 질소 및 인 제거량에 대한 미세조류 배양에 사용된 광원의 파장 영역에 따른 영향을 확인하기 위하여 광원으로서 각각 백색 LED, 청색 LED, 녹색 LED 및 적색 LED를 사용하여 실시예 1에 개시된 방법으로 배양하였다. 측정된 결과의 비교를 위하여 각각의 광원의 광합성 광자 유동 밀도(photosynthetic photon flux density; PPFD)를 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 로 설정하였으며, 상기 설정된 PPFD 값은 사용된 LED의 갯수 및

전력량을 조절하여 달성하였다.

[0036] 그 결과 도 3에 나타난 바와 같이, 바이오매스 생산량은 백색 LED를 사용한 경우가 약 540 mg/l로 가장 높았으며, 적색 LED, 청색 LED 또는 녹색 LED를 사용한 경우에는 상기 백색 LED를 사용한 경우보다 각각 10, 20 및 25% 낮은 수치를 기록하였다.

[0037] 한편, 도 4에 나타난 바와 같이, 질소 제거량은 모든 경우에서 약 21 mg으로 거의 차이를 나타내지 않았다. 그러나, 인의 경우에는 청색 LED를 사용한 경우 백색 LED를 사용한 경우보다도 약 45% 높은 9 mg/l로 가장 높은 제거율을 나타내었다. 이는 인 제거에 있어서는 청색광 즉, 400 내지 500 nm 영역의 빛을 제공하는 광원을 이용하면 높은 효율로 인을 제거할 수 있음을 나타낸다. 이 외에 녹색 또는 적색 LED를 사용한 경우는 인 제거율에 있어서 유사한 수치를 나타내었으며 청색광 보다 약 15% 낮은 제거량이라는 하지만 백색 LED를 이용한 경우보다는 높은 수치를 나타냄을 확인하였다.

[0038] 추가적으로, 상기 실시예에 사용된 $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 의 PPFD 값을 달성하기 위한 각 광원의 전력 소비량을 평가하고, 그 결과를 표 1에 나타내었다. 측정된 전력량에 따르면, 녹색 LED를 사용한 경우 상기 $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 의 PPFD 값을 달성하기 위하여 대조군인 백색 LED를 이용한 경우와 비교하여 약 2 내지 3배 높은 전력량을 필요로 하는 것을 확인하였다. 따라서 높은 소비전력 즉, 고비용을 요구하는 녹색 LED는 본 발명의 광원으로서 적절하지 못한 것으로 확인되었다. 또한 앞선 결과들로부터 녹색 LED를 이용한 경우 바이오매스 생산량이나 질소 및 인 제거량에 있어서 다른 광원들에 비해 다소 낮은 수준을 기록하였으므로, 이후 혼합 파장을 이용하는 실험으로부터 녹색 광원을 배제하였다.

표 1

LED	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$)	전력(Watt)
백색	100	34
적색		29
청색		34
녹색		95

[0039]

[0040] 실시예 3: 미세조류를 이용한 바이오매스 생산 및 하폐수 고도처리에 적합한 광원의 파장 혼합비

[0041] 미세조류를 이용한 바이오매스 생산 및 하폐수 고도처리에 효율적인 최적의 파장 혼합비를 도출하기 위하여 소비전력이 높고 바이오매스 생산량이 낮은 녹색 LED를 제외한 적색 LED와 청색 LED를 이용하였다. 상기 적색 및 청색 LED를 하기 표 2에 나타난 비율로 각각 혼합하여 $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 의 일정한 PPFD 값을 갖도록 하고, 상기 혼합광원을 적용하여 미세조류를 배양하고 바이오매스 생산량 및 하폐수 고도처리의 지표인 질소 및 인 제거량을 측정하여 비교하였다. 대조군으로는 백색 LED를 사용하였다.

표 2

PPFD	파장 혼합비	
	적색 LED (600~700 nm, 피크파장 670 nm)	청색 LED (400~500 nm, 피크파장 450 nm)
100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	9	1
	7	3
	5	5
	3	7
	1	9

[0042]

[0043]

3.1. 바이오매스 생산

[0044]

표 2에 나타난 5가지 비율을 달리하여 혼합한 적색 LED 및 청색 LED의 혼합광원과 대조군으로서 백색 LED를 광원으로 사용하여 배양한 미세조류로부터의 바이오매스 생산량을 측정하여 비교하였으며, 그 결과를 도 5에 나타내었다.

[0045]

적색 LED와 청색 LED를 혼합한 모든 조건에서 백색 LED를 사용한 대조군 보다 13 내지 25% 높은 바이오매스 생산량을 나타냄을 확인하였다. 바람직하게 적색 LED와 청색 LED를 9:1 내지 5:5로 혼합한 광원을 사용하였을 때, 대조군과 비교하여 20% 이상 높은 생산량을 나타내었으며, 소비전력이 비슷할 경우 적색 LED와 청색 LED를 7:3으로 혼합한 혼합광원을 적용하였을 때, 최대 바이오매스 생산량을 획득할 수 있었다. 이는 백색 LED를 적용한 경우보다 25% 높은 수치였다.

[0046]

3.2. 질소 제거

[0047]

표 2에 나타난 5가지 비율을 달리하여 혼합한 적색 LED 및 청색 LED의 혼합광원과 대조군으로서 백색 LED를 광원으로 사용하여 배양한 미세조류에 의한 질소 제거량을 측정하여 비교하였으며, 그 결과를 도 6에 나타내었다.

[0048]

6일간의 배양을 완료한 시점에서 누적 질소 제거량은 약 18 내지 21 mg으로 큰 차이는 없었지만, 배양을 개시하고 1 내지 2일 째에서 질소 제거율(도 6의 그래프의 기울기에 해당)은 대조군과 비교하여 혼합광원을 적용한 실험군에서 모두 높은 효율을 나타내었으며, 특히 적색 LED와 청색 LED를 7:3으로 혼합한 혼합광을 사용한 실험군에서 높은 질소 제거율을 나타냄을 확인하였다. 구체적으로, 상기 실험군에서의 질소 제거율은 13 내지 15 mg/1/day로 백색 LED를 적용시킨 대조군에서 보다 2배 정도 높은 수치를 기록하였다. 즉, 소비전력이 비슷할 경우 적색 LED와 청색 LED를 7:3으로 혼합한 혼합광을 적용함으로써 백색 LED를 적용한 조건에서 보다 질소 제거율을 약 2배 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

[0049]

3.3. 인 제거

[0050]

표 2에 나타난 5가지 비율을 달리하여 혼합한 적색 LED 및 청색 LED의 혼합광원과 대조군으로서 백색 LED를 광원으로 사용하여 배양한 미세조류에 의한 인 제거량을 측정하여 비교하였으며, 그 결과를 도 7에 나타내었다.

[0051]

상기 질소 제거율과 마찬가지로 백색 LED를 적용한 대조군에서 보다 적색 LED와 청색 LED의 혼합광을 적용한 실험군에서 모두 높은 인 제거율을 나타내었으며, 바람직하게는 적색 LED와 청색 LED를 7:3 내지 3:7의 비율로 혼합한 혼합광을 적용한 실험군에서 높은 인 제거율을 나타내었으며, 특히 5:5 혼합광을 사용하였을 때 대조군에 비해 2배 이상 높은 수치인 가장 높은 인 제거율을 나타내었다.

[0052]

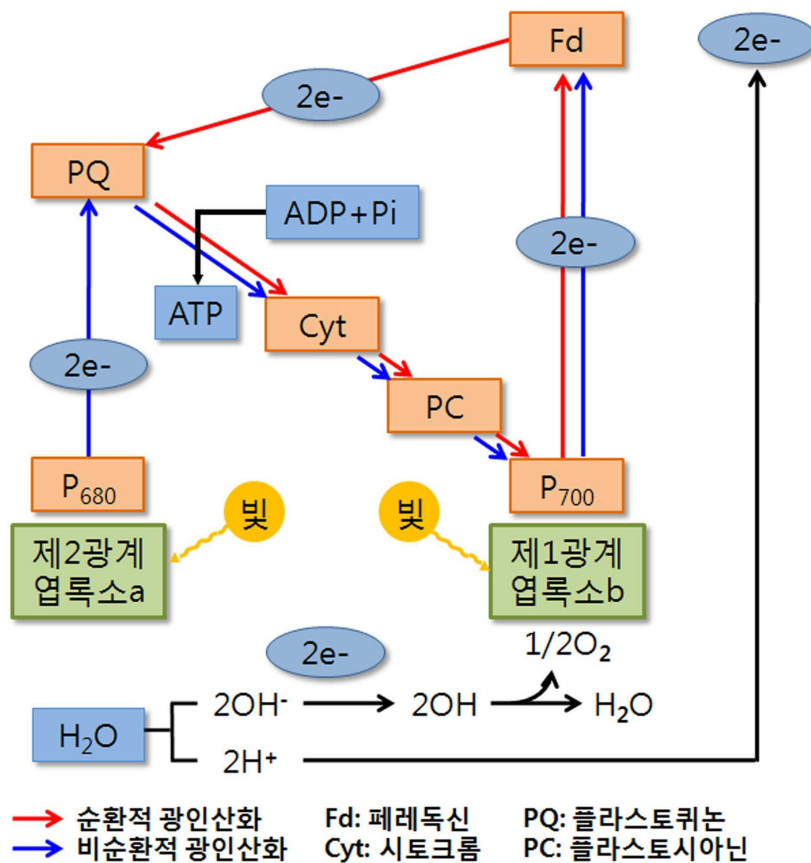
3.4. 질소 및 인의 동시제거

[0053]

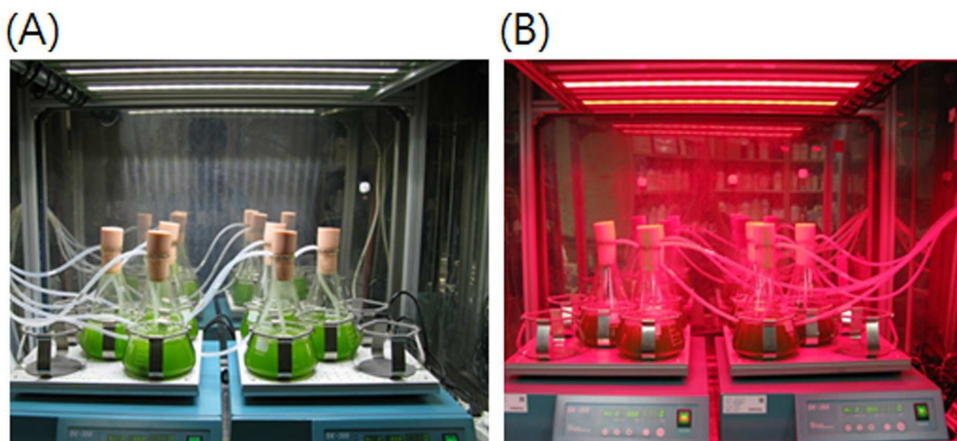
미세조류를 이용한 하폐수 고도처리 시설에 있어서, 질소와 인을 모두 높은 효율로 제거할 수 있는 최적의 조건을 확립하였다. 상기 질소 제거 및 인 제거 실험 결과를 조합하면, 적색 LED와 청색 LED를 3:7의 비율로 혼합한 혼합광을 적용하였을 경우 질소 및 인 제거에 있어서 모두 높은 효율을 나타내어, 둘 모두를 제거하고자 하는 경우 적색광과 청색광을 3:7의 비율로 혼합한 혼합광이 최적의 효율을 나타냄을 확인하였다. 상기 조건에서 질소 제거효율 및 인 제거효율은 대조군에 비해 각각 60 및 100% 즉, 1.6배 및 2배의 효율을 나타내는 것을 확인하였다.

도면

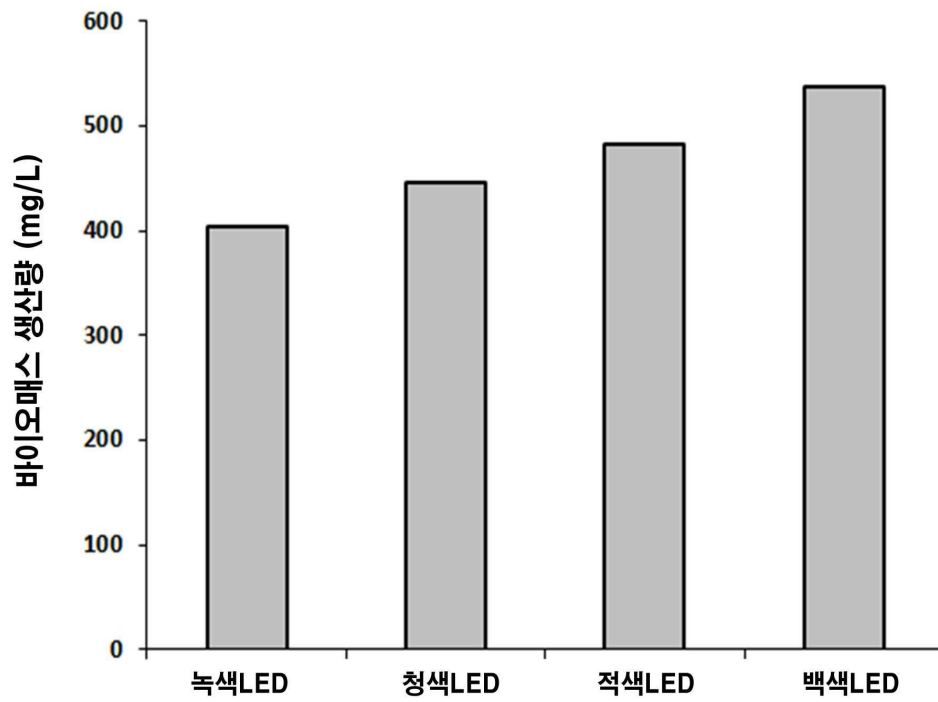
도면1



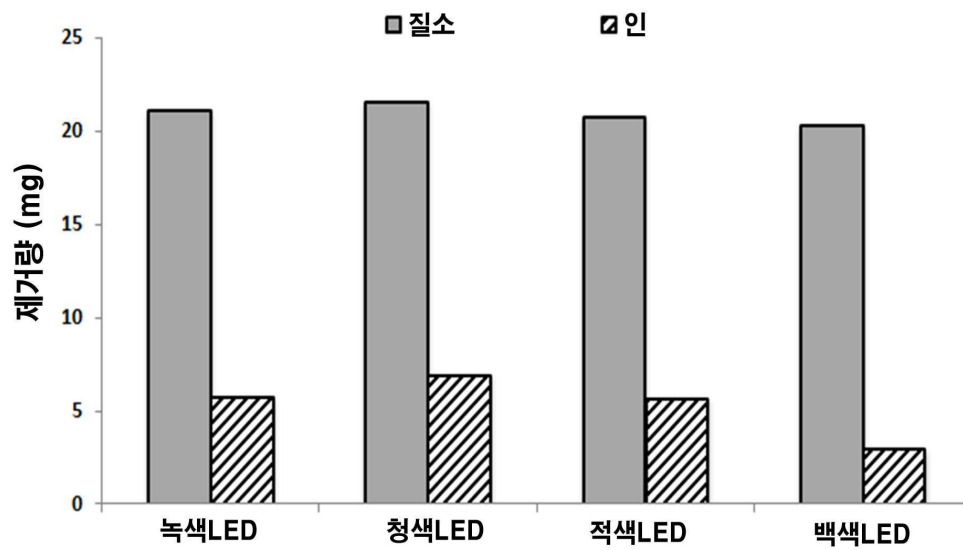
도면2



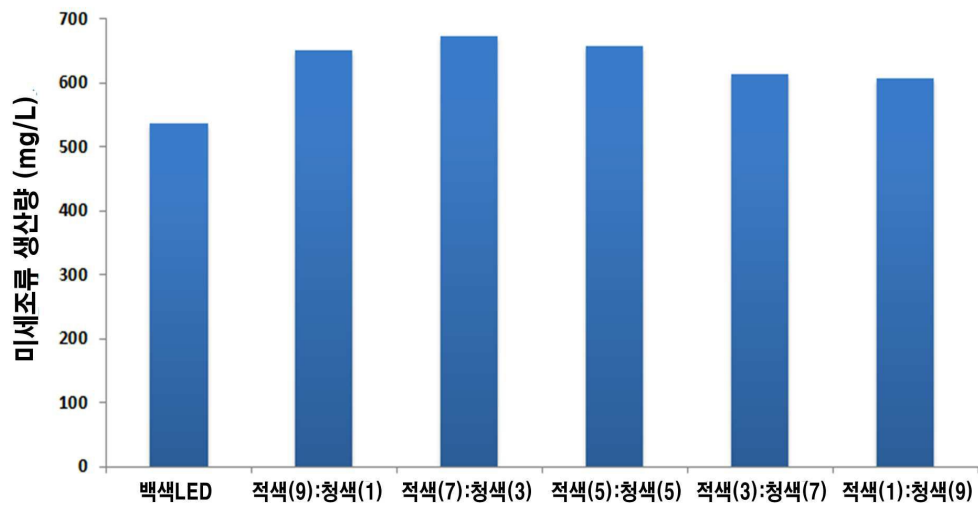
도면3



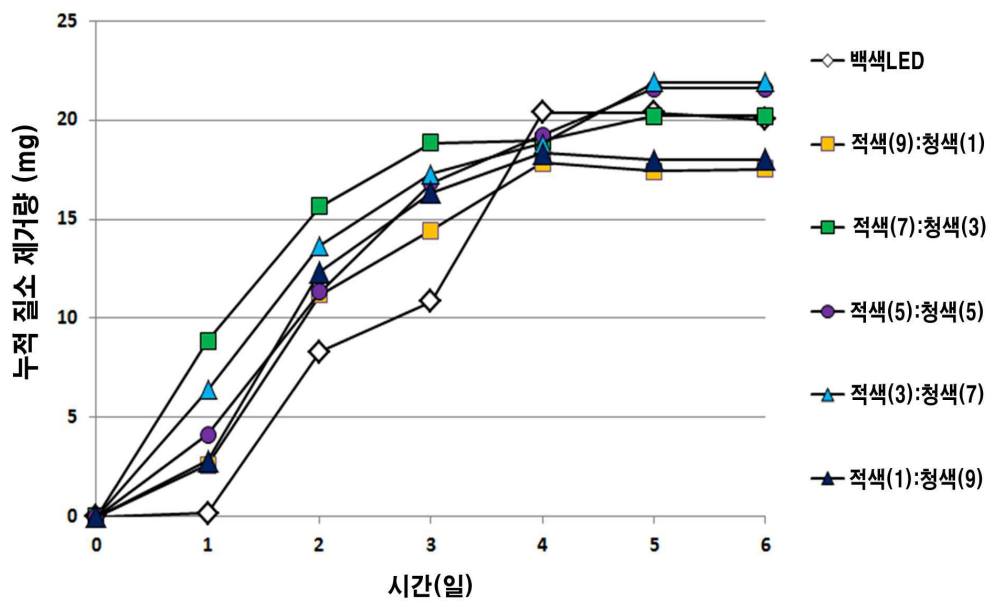
도면4



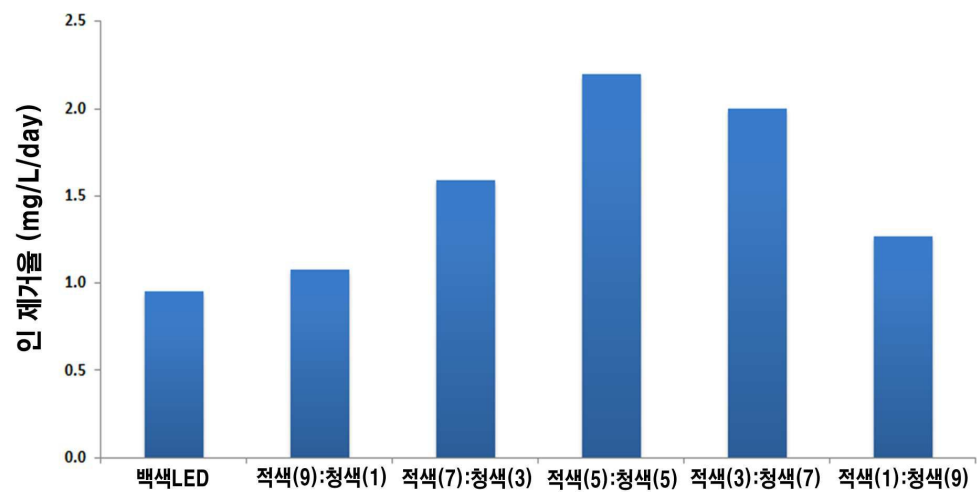
도면5



도면6



도면7



도면8

