



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0063711
(43) 공개일자 2020년06월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C02F 9/00 (2006.01) C02F 1/32 (2006.01)
C02F 1/44 (2006.01) C02F 1/72 (2006.01)
C02F 3/00 (2006.01) C02F 3/32 (2006.01)
C02F 3/34 (2017.01)

(52) CPC특허분류

C02F 9/00 (2013.01)
C02F 1/325 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0149781

(22) 출원일자 2018년11월28일

심사청구일자 2018년11월28일

(71) 출원인

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

김현철

서울특별시 도봉구 도봉로146길 36, 102동 703호
(방학동, 브라운스톤방학아파트)

양희성

경기도 수원시 장안구 만석로20번길 28, 632동
1005호(정자동, 청솔마을 한라 아파트)

(74) 대리인

특허법인리채

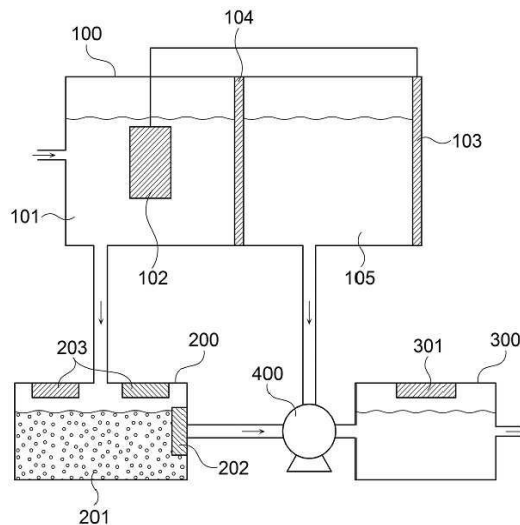
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 하수 처리 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 생물전기화학반응부, 광합성생물반응부 및 자외선접촉반응부를 포함하는 하수 처리 시스템 및 그를 이용한 하수 처리 방법에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따르면 추가적인 에너지나 약품 등의 처리 없이 하수 내 유기물, 영양염류, 난분해성 유기물을 저감화할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C02F 1/44 (2013.01)
C02F 1/722 (2013.01)
C02F 3/005 (2013.01)
C02F 3/322 (2013.01)
C02F 3/34 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615009772
부처명	국토교통부
연구관리전문기관	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	국토교통기술촉진연구사업
연구과제명	수자원 다원화를 위한 수요 맞춤형 저에너지 물재이용기술 개발
기 여 율	1/1
주관기관	세종대학교산학협력단
연구기간	2018.01.01 ~ 2018.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

생물전기화학반응부, 광합성생물반응부 및 자외선접촉반응부를 포함하고,

상기 생물전기화학반응부는 격벽으로 구분된 2개의 챔버를 포함하고, 하수가 유입되는 제1 챔버에 혐기성 미생물이 부착된 제1 전극을 구비하며, 제2 챔버는 적어도 일부에 채워진 청수를 포함하고, 상기 청수와 접촉하는 제2 전극을 구비하며, 상기 격벽의 적어도 일부는 상기 하수와 청수를 구분하는 양이온 교환막이며,

상기 광합성생물반응부는 일측이 상기 제1 챔버와 연결되어 제1 챔버 내 하수가 유입되고, 내부에 광합성 바이오매스가 위치하며, 타측이 자외선접촉반응부와 연결되며, 상기 자외선접촉반응부와 연결부위에 분리막을 구비하고,

상기 자외선접촉반응부는 상기 광합성생물반응부 및 제2 챔버와 연결되고, 자외선 처리 수단을 구비하는, 하수 처리 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 혐기성 미생물은 쉬와넬라 오나이텐시스(*Shewanella oneidensis*), 쉬와넬라 푸트레파시엔스(*Shewanella putrefaciens*), 클로스트리듐 부티리쿰(*Clostridium butyricum*), 디설파로모나스 아세톡시단스(*Desulfuromonas acetoxidans*), 지오박터(*Geobacter metallireducens*), 지오박터 설퍼리듀센스(*Geobacter sulfurreducens*), 로도페락스 페리리듀센스(*Rhodospirillum rubrum*), 에어로모나스 하이드로필리아(*Aeromonas hydrophila*), 슈도모나스 아루기노사(*Pseudomonas aeruginosa*), 디설파볼부스 프로피오니쿠스(*Desulfobulbus propionicus*), 지오사이크로박터 지오사이크로박터(*Geopsychrobacter electrodiphilus*), 지오텍스 퍼멘탄스(*Geothrix fermentans*), 에세리키아 콜라이(*Escherichia coli*), 로도슈도모나스 팔루스트리스(*Rhodospseudomonas palustris*), 오크로박트럼 안트로피(*Ochrobactrum anthropi*), 디설파비브리오 디설파리칸스(*Desulfovibrio desulfuricans*), 클렙시엘라 뉴모니아(*Klebsiella pneumoniae*), 피키아 아노마라(*Pichia anomala*)로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상의 미생물인, 하수 처리 시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 청수 중 적어도 일부는 외부 공기와 접하는, 하수 처리 시스템.

청구항 4

청구항 3에 있어서, 상기 제2 전극은 일측이 청수와 접촉하고, 타측이 외부에 노출되며, 공기 투과성인, 하수 처리 시스템.

청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 생물전기화학반응부 내 혐기성 미생물이 하수 내 유기물을 분해하며 전자 및 수소 이온을 생성하여, 상기 전자는 제2 전극으로, 상기 수소 이온은 제2 챔버로 이동하여, 제2 챔버에서 과산화수소가 생성되는, 하수 처리 시스템.

청구항 6

청구항 1에 있어서, 상기 광합성 바이오매스는 세네데스무스(*Scenedesmus*) 및 클로렐라(*Chlorella*)로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 조류를 포함하는, 하수 처리 시스템.

청구항 7

청구항 6에 있어서, 상기 광합성생물반응부는 420 내지 460nm 및 660 내지 700nm의 파장의 광 처리 수단을 구비한, 하수 처리 시스템.

청구항 8

청구항 7에 있어서, 상기 광합성생물반응부는 외부 광이 차단되는 것인, 하수 처리 시스템.

청구항 9

청구항 1에 있어서, 상기 광합성생물반응부 내 광합성 바이오매스 배출수단을 더 구비한, 하수 처리 시스템.

청구항 10

청구항 1에 있어서, 상기 광합성생물반응부 내 광합성 바이오매스가 광합성하여 하수 내 영양염류가 제거되는, 하수 처리 시스템.

청구항 11

청구항 1에 있어서, 상기 광합성생물반응부는 배관을 통해 자외선접촉반응부와 연결되고, 상기 제2 챔버는 상기 배관에 연결되며, 상기 배관에서 제2 챔버와의 연결 부위에 이송 펌프가 구비되는, 하수 처리 시스템.

청구항 12

청구항 1에 있어서, 상기 자외선접촉반응부에서 과산화수소의 자외선과의 반응에 의해 생성된 수산화 라디칼이 난분해성 유기물을 제거하는 하수 처리 시스템.

청구항 13

혐기성 미생물이 부착된 제1 전극을 구비한 제1 챔버에 하수를 유입시키고, 혐기성 미생물의 유기물 분해에 의해 생성된 수소 이온 및 전자를 청수가 채워진 제2 챔버로 이송시켜, 제2 챔버에서 과산화수소를 생성하는 생물 전기화학반응 단계;

상기 유기물이 분해된 하수 내 영양염류를 광합성 바이오매스의 광합성으로 제거하는 광합성생물반응 단계; 및

상기 영양염류가 제거된 하수를 상기 과산화수소와 혼합하고 자외선을 처리하는 자외선 처리 단계;를 포함하는 하수 처리 방법.

청구항 14

청구항 13에 있어서, 상기 혐기성 미생물은 쉬와넬라 오나이덴시스(*Shewanella oneidensis*), 쉬와넬라 푸트레파시엔스(*Shewanella putrefaciens*), 클로스트리듐 부티리쿰(*Clostridium butyricum*), 디설퍼로모나스 아세톡시단스(*Desulfuromonas acetoxidans*), 지오박터(*Geobacter metallireducens*), 지오박터 셀퍼리듀센스(*Geobacter*

sulfurreducens), 로도페락스 페리리듀센스(*Rhodoferrax ferrireducens*), 에어로모나스 하이드로필리아(*Aeromonas hydrophilia*), 슈도모나스 아루기노사(*Pseudomonas aeruginosa*), 디설폴불부스 프로피오니쿠스(*Desulfobulbus propionicus*), 지오사이크로박터 지오사이크로박터(*Geopsychrobacter electrodiphilus*), 지오텍스 퍼멘탄스(*Geothrix fermentans*), 에세리키아 콜라이(*Escherichia coli*), 로도슈도모나스 팔루스트리스(*Rhodospseudomonas palustris*), 오크로박트럼 안트로피(*Ochrobactrum anthropic*), 디설폴비브리오 디설폴페리칸스(*Desulfobivrio desulfuricans*), 클렙시엘라 뉴모니아(*Klebsiella pneumonia*), 피키아 아노마라(*Pichia anomala*)로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상의 미생물인, 하수 처리 방법.

청구항 15

청구항 13에 있어서, 상기 수소 이온은 양이온 교환막을 통해 이송되며, 상기 전자는 제1 전극에서 제2 챔버 내 제2 전극으로 이송되는 것인, 하수 처리 방법.

청구항 16

청구항 13에 있어서, 상기 청수 중 적어도 일부는 외부 공기와 접하는, 하수 처리 방법.

청구항 17

청구항 13에 있어서, 제2 전극은 일측이 청수와 접촉하고, 타측이 외부에 노출되며, 공기 투과성인, 하수 처리 방법.

청구항 18

청구항 13에 있어서, 상기 광합성 바이오매스는 세네데스무스(*Scenedesmus*) 및 클로렐라(*Chlorella*)로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 조류를 포함하는, 하수 처리 방법.

청구항 19

청구항 18에 있어서, 상기 광합성생물반응 단계에서 420 내지 460nm 및 660 내지 700nm의 파장의 빛을 상기 광합성 바이오매스에 조사하는, 하수 처리 방법.

청구항 20

청구항 13에 있어서, 상기 영양염류가 제거된 하수를 과산화수소와 혼합되기 전에 분리막을 통과시키는 단계;를 더 포함하는 하수 처리 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 하수 처리 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 지금까지 채래식 하수처리의 경우 기계식 공기 공급에 따른 에너지과밀화 현상으로 운영비용이 크게

상승하였다. 또한, 수질오염방지와 더불어 재이용 목적을 달성하기 위한 하수처리 과정에서 재이용수 용도수질에 관계없이 항상 높은 수준의 하수처리 공정 운용으로 불필요한 에너지 소비와 부산물 발생을 초래하고 있었다. 총인 저감을 위해서 응집제를 사용함에 따라 약품비와 슬러지처리비 등 추가의 운전비용이 발생하고 재이용설비의 성능저하 등을 유발하기도 하였다.

[0004] 또한 종래의 화학적 및 전기화학적 응용기술을 통한 난분해성 유기물의 제거 방식은 안정적 처리와 높은 제거효율을 기대할 수 있으나 별도의 화학약품주입 및 높은 에너지를 소비를 요구하고 있어, 통상 약품비와 슬러지/폐액처리비 등 추가의 운전비용과 무기성폐기물 발생을 야기하였다. 현존하는 대부분의 하수처리 시스템이 대형 도시하수처리를 모델로 하고 있어 투입비용 대비 생산성 저하를 유발하고 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제2018-0117340호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 추가적인 에너지나 약품 처리 없이 하수 내 유기물, 영양염류, 난분해성 유기물을 저감화하는 하수처리 시스템 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0009] 1. 생물전기화학반응부, 광합성생물반응부 및 자외선접촉반응부를 포함하고,
- [0010] 상기 생물전기화학반응부는 격벽으로 구분된 2개의 챔버를 포함하고, 하수가 유입되는 제1 챔버에 혐기성 미생물이 부착된 제1 전극을 구비하며, 제2 챔버는 적어도 일부에 채워진 청수를 포함하고, 상기 청수와 접촉하는 제2 전극을 구비하며, 상기 격벽의 적어도 일부는 상기 하수와 청수를 구분하는 양이온 교환막이며,
- [0011] 상기 광합성생물반응부는 일측이 상기 제1 챔버와 연결되어 제1 챔버 내 하수가 유입되고, 내부에 광합성 바이오매스가 위치하며, 타측이 자외선접촉반응부와 연결되며, 상기 자외선접촉반응부와 연결부위에 분리막을 구비하고,
- [0012] 상기 자외선접촉반응부는 상기 광합성생물반응부 및 제2 챔버와 연결되고, 자외선 처리 수단을 구비하는, 하수처리 시스템.
- [0013] 2. 위 1에 있어서, 상기 혐기성 미생물은 쉬와넬라 오나이덴시스(*Shewanella oneidensis*), 쉬와넬라 푸트레파시엔스(*Shewanella putrefaciens*), 클로스트리듐 부티리쿰(*Clostridium butyricum*), 디설퍼로모나스 아세톡시단스(*Desulfuromonas acetoxidans*), 지오박터(*Geobacter metallireducens*), 지오박터 설퍼리듀센스(*Geobacter sulfurreducens*), 로도페락스 페리리듀센스(*Rhodoferrum ferrireducens*), 에어로모나스 하이드로필리아(*Aeromonas hydrophilia*), 수도모나스 아루기노사(*Pseudomonas aeruginosa*), 디설퍼볼부스 프로피오니쿠스(*Desulfobulbus propionicus*), 지오사이크로박터 지오사이크로박터(*Geopsychrobacter electrodiphilus*), 지오텍트릭스 퍼멘탄스(*Geothrix fermentans*), 에세리키아 콜라이(*Escherichia coli*), 로도슈도모나스 팔루스트리스(*Rhodospseudomonas palustris*), 오크로박트럼 안트로피(*Ochrobactrum anthropic*), 디설퍼비브리오 디설퍼리칸스(*Desulfovibrio desulfuricans*), 클렙시엘라 뉴모니아(*Klebsiella pneumonia*), 피키아 아노마라(*Pichia anomala*)로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상의 미생물인, 하수처리 시스템.
- [0014] 3. 위 1에 있어서, 상기 청수 중 적어도 일부는 외부 공기와 접하는, 하수처리 시스템.
- [0015] 4. 위 3에 있어서, 상기 제2 전극은 일측이 청수와 접촉하고, 타측이 외부에 노출되며, 공기 투과성인, 하수처리 시스템.

- [0016] 5. 위 1에 있어서, 상기 생물전기화학반응부 내 혐기성 미생물이 하수 내 유기물을 분해하며 전자 및 수소 이온을 생성하여, 상기 전자는 제2 전극으로, 상기 수소 이온은 제2 챔버로 이동하여, 제2 챔버에서 과산화수소가 생성되는, 하수 처리 시스템.
- [0017] 6. 위 1에 있어서, 상기 광합성 바이오매스는 세네데스무스(*Scenedesmus*) 및 클로렐라(*Chlorella*)로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 조류를 포함하는, 하수 처리 시스템.
- [0018] 7. 위 6에 있어서, 상기 광합성생물반응부는 420 내지 460nm 및 660 내지 700nm의 파장의 광 처리 수단을 구비한, 하수 처리 시스템.
- [0019] 8. 위 7에 있어서, 상기 광합성생물반응부는 외부 광이 차단되는 것인, 하수 처리 시스템.
- [0020] 9. 위 1에 있어서, 상기 광합성생물반응부 내 광합성 바이오매스 배출수단을 더 구비한, 하수 처리 시스템.
- [0021] 10. 위 1에 있어서, 상기 광합성생물반응부 내 광합성 바이오매스가 광합성하여 하수 내 영양염류가 제거되는, 하수 처리 시스템.
- [0022] 11. 위 1에 있어서, 상기 광합성생물반응부는 배관을 통해 자외선접촉반응부와 연결되고, 상기 제2 챔버는 상기 배관에 연결되며, 상기 배관에서 제2 챔버와의 연결 부위에 이송 펌프가 구비되는, 하수 처리 시스템.
- [0023] 12. 위 1에 있어서, 상기 자외선접촉반응부에서 과산화수소의 자외선과의 반응에 의해 생성된 수산화 라디칼이 난분해성 유기물을 제거하는 하수 처리 시스템.
- [0024] 13. 혐기성 미생물이 부착된 제1 전극을 구비한 제1 챔버에 하수를 유입시키고, 혐기성 미생물의 유기물 분해에 의해 생성된 수소 이온 및 전자를 청수가 채워진 제2 챔버로 이송시켜, 제2 챔버에서 과산화수소를 생성하는 생물전기화학반응 단계;
- [0025] 상기 유기물이 분해된 하수 내 영양염류를 광합성 바이오매스의 광합성으로 제거하는 광합성생물반응 단계; 및
- [0026] 상기 영양염류가 제거된 하수를 상기 과산화수소와 혼합하고 자외선을 처리하는 자외선 처리 단계;를 포함하는 하수 처리 방법.
- [0027] 14. 위 13에 있어서, 상기 혐기성 미생물은 쉬와넬라 오나이덴시스(*Shewanella oneidensis*), 쉬와넬라 푸트레파시엔스(*Shewanella putrefaciens*), 클로스트리듐 부티리쿰(*Clostridium butyricum*), 디설파로모나스 아세톡시단스(*Desulfuromonas acetoxidans*), 지오박터(*Geobacter metallireducens*), 지오박터 설퍼리듀센스(*Geobacter sulfurreducens*), 로도페락스 페리리듀센스(*Rhodoferrax ferrireducens*), 에어로모나스 하이드로필리아(*Aeromonas hydrophilia*), 수도모나스 아루기노사(*Pseudomonas aeruginosa*), 디설파볼부스 프로피오니쿠스(*Desulfobulbus propionicus*), 지오사이크로박터 지오사이크로박터(*Geopsychrobacter electrodiphilus*), 지오텍스 퍼멘탄스(*Geothrix fermentans*), 에세리키아 콜라이(*Escherichia coli*), 로도슈도모나스 팔루스트리스(*Rhodospseudomonas palustris*), 오크로박트럼 안트로피(*Ochrobactrum anthropic*), 디설파로브리오 디설파리칸스(*Desulfovibrio desulfuricans*), 클렙시엘라 뉴모니아(*Klebsiella pneumonia*), 피키아 아노마라(*Pichia anomala*)로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상의 미생물인, 하수 처리 방법.
- [0028] 15. 위 13에 있어서, 상기 수소 이온은 양이온 교환막을 통해 이송되며, 상기 전자는 제1 전극에서 제2 챔버 내 제2 전극으로 이송되는 것인, 하수 처리 방법.
- [0029] 16. 위 13에 있어서, 상기 청수 중 적어도 일부는 외부 공기와 접하는, 하수 처리 방법.
- [0030] 17. 위 13에 있어서, 제2 전극은 일측이 청수와 접촉하고, 타측이 외부에 노출되며, 공기 투과성인, 하수 처리 방법.
- [0031] 18. 위 13에 있어서, 상기 광합성 바이오매스는 세네데스무스(*Scenedesmus*) 및 클로렐라(*Chlorella*)로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 조류를 포함하는, 하수 처리 방법.
- [0032] 19. 위 18에 있어서, 상기 광합성생물반응 단계에서 420 내지 460nm 및 660 내지 700nm의 파장의 빛을 상기 광합성 바이오매스에게 조사하는, 하수 처리 방법.
- [0033] 20. 위 13에 있어서, 상기 영양염류가 제거된 하수를 과산화수소와 혼합되기 전에 분리막을 통과시키는 단계;를 더 포함하는 하수 처리 방법.

발명의 효과

[0035] 본 발명의 시스템 또는 방법에 따르면, 기계적 산소 공급 없이 탄소성유기물질(COD로써 정량)과 영양염류(질소 및 인)를 제거하고, 추가적인 에너지 투입 없이 하수처리 약품인 과산화수소(H_2O_2)를 생산할 수 있으며, 생산된 H_2O_2 를 후속 고도산화공정에 사용함으로써 위해성 부산물 발생 없이 난분해성 유기물을 제거할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0037] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 하수 처리 시스템을 나타낸 도이다.
- 도 2는 생물전기화학반응부에서 유기물질이 제거되는 것을 COD를 통해 정량화하여 나타낸 그래프로서, 구체적인 유기물질(아세트산)의 농도를 다르게 만든 인공 하수들(1638 mg/L (H), 173 mg/L (M), 78 mg/L (L))에 대한 생물전기화학부에서의 COD 제거율을 나타낸 것이다.
- 도 3은 생물전기화학반응부 내 부착미생물에 의한 유기물질의 분해결과, 전극 간의 전자의 유동(전류)을 통하여 얻어지는 이용가능한 전기에너지를 나타낸 도이다.
- 도 4는 유기물질이 분해됨에 따라 생물전기화학반응부 내 두 전극 간 전자의 유동으로 생산 가능한 과산화수소(H_2O_2)의 농도변화를 나타낸 도이다.
- 도 5는 광합성생물반응부 내 광합성 바이오매스의 특성에 맞춰 조명을 선택하여 불필요하게 소비되는 광 에너지를 줄여 에너지 효율성을 향상시키기 위해 광합성 바이오매스 중 *C.vulgaris* 및 *S.quadricauda*의 광 이용 과장을 나타낸 도이다.
- 도 6의 (a)는 가시광 680 nm에서의 흡광도 (OD680) 변화를 통하여 광합성 바이오매스의 증식을 모니터링하는 도이고, (b)는 광합성생물반응부에서 COD 의 감소를 나타낸 도이며, (c), (d)는 각각 광합성생물반응부에서의 총 질소 및 총 인의 함량 변화를 나타낸 도이다.
- 도 7은 자외선접촉반응부로 유입되는 하수에 H_2O_2 (10 mg/L)를 혼입하여 처리하는 경우 자외선 조사량에 따른 H_2O_2 소비효율을 나타낸 도이다.
- 도 8은 생물전기화학반응부, 광합성생물반응부, 자외선접촉반응부에서의 하수에 존재하는 유기물질의 난분해성 지표 (SUVA; specific ultraviolet absorbance at 254 nm)를 나타낸 도이다.
- 도 9는 각 공정 별 난분해성 유기물의 분해과정을 레이저를 조사한 후 흡광도를 통해 나타낸 3차원 형태의 그래프로서, (a)는 생물전기화학반응 공정을 거친 하수, (b)는 광합성생물반응부 공정을 거친 하수, (c)는 자외선접촉반응부 공정을 거친 하수의 잔존 난분해성 유기물의 양을 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0038] 이하 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0040] 본 발명은 생물전기화학반응부(100), 광합성생물반응부(200) 및 자외선접촉반응부(300)를 포함하는 하수 처리 시스템에 관한 것이다(도 1 참조).
- [0041] 생물전기화학반응부(100)는 유입된 하수 내 유기물 제거와 동시에 과산화수소를 생성하기 위한 것으로, 상기 생물전기화학반응부(100)는 격벽으로 구분된 2개의 챔버를 포함하고, 하수가 유입되는 제1 챔버(101)에 혐기성 미생물이 부착된 제1 전극(102)을 구비하며, 제2 챔버(105)는 적어도 일부에 채워진 청수를 포함하고, 상기 청수와 접촉하는 제2 전극(103)을 구비하며, 상기 격벽의 적어도 일부는 상기 하수와 청수를 구분하는 양이온 교환막(104)이다.
- [0042] 상기 하수는 처리 대상이 되는 물로서, 유기물, 영양염류, 난분해성 유기물 등을 포함하는 하수일 수 있다.
- [0043] 상기 혐기성 미생물은 혐기성 조건에서 대사 과정을 원활히 수행할 수 있는 미생물인 경우라면 특별히 한정되지 아니하며, 바람직하게는 상기 혐기성 미생물은 예를 들어, 쉬와넬라 오나이덴시스(*Shewanella oneidensis*), 쉬

와넬라 푸트레파시엔스(*Shewanella putrefaciens*), 클로스트리듐 부티리쿰(*Clostridium butyricum*), 디설퍼로 모나스 아세톡시단스(*Desulfuromonas acetoxidans*), 지오박터(*Geobacter metallireducens*), 지오박터 설퍼리듀 센스(*Geobacter sulfurreducens*), 로도페락스 페리리듀센스(*Rhodospirillum rubrum*), 에어로모나스 하이드로필리아(*Aeromonas hydrophilia*), 슈도모나스 아루기노사(*Pseudomonas aeruginosa*), 디설퍼볼부스 프로피오니 쿠스(*Desulfobulbus propionicus*), 지오사이크로박터 지오사이크로박터(*Geopsychrobacter electrodiphilus*), 지오텍스 퍼멘탄스(*Geothrix fermentans*), 에세리키아 콜라이(*Escherichia coli*), 로도슈도모나스 팔루스트리스(*Rhodospseudomonas palustris*), 오크로박트럼 안트로피(*Ochrobactrum anthropi*), 디설퍼비브리오 디설퍼 리칸스(*Desulfovibrio desulfuricans*), 클렙시엘라 뉴모니아(*Klebsiella pneumonia*), 피키아 아노마라(*Pichia anomala*)로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상의 미생물일 수 있다.

- [0044] 상기 제1 전극(102)은 상기 혐기성 미생물이 부착 및 증식할 수 있는 전극이라면 제한없이 사용가능하나, 바람직하게는 탄소 섬유 전극일 수 있다.
- [0045] 상기 청수는 예를 들어, 수도물일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0046] 상기 청수 중 적어도 일부는 외부 공기와 접하는 것일 수 있고, 이 경우 외부 공기 내 산소가 청수에 용존되어 사용될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0047] 상기 제2 전극(103)은 전극의 역할을 수행할 수 있는 것이라면 제한없이 사용가능하나, 바람직하게는 공기투과성 전극일 수 있고, 보다 바람직하게는 공기투과성 탄소 전극일 수 있다.
- [0048] 상기 제2 전극(103)은 일측이 청수와 접촉하고, 타측이 외부에 노출되며, 공기 투과성일 수 있다. 이 경우, 과산화수소 생성에 사용되는 산소는 제2 전극(103)을 투과해서 이용될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0049] 상기 제2 전극(103)은 제2 챔버(105)의 벽면을 구성할 수 있고, 이 경우, 제2 챔버(105)는 닫힌 구조, 즉, 외부 공기가 제2 전극(103)을 투과하지 않고는 청수에 접할 수 없는 구조일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0050] 상기 제1 전극(102)은 음(-)극이며, 상기 제2 전극(103)은 양(+)극일 수 있고, 양 극은 전기적으로 연결되어 있으며, 예를 들면, 도선으로 연결되어 있을 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0051] 상기 양이온 교환막(104)은 양이온이 교환될 수 있는 분리막(202)이라면 제한없이 사용가능하다.
- [0052] 본 발명의 생물전기화학반응부(100)에서는 상기 생물전기화학반응부(100) 내 혐기성 미생물이 하수 내 유기물을 분해하며 전자 및 수소 이온을 생성하여, 상기 전자는 제2 전극(103)으로, 상기 수소 이온은 제2 챔버(105)로 이동하여, 제2 챔버(105)에서 과산화수소가 생성될 수 있다.
- [0053] 상기 혐기성 미생물이 분해하는 유기물은 아세트산 이온(CH_3COO^-), 포도당, 에탄올 등 모노머 또는 복잡한 구조의 탄소 화합물일 수 있고, 바람직하게는 모노머일 수 있고, 보다 바람직하게는 아세트산 이온(CH_3COO^-)일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0054] 상기 아세트산 이온 등의 모노머를 분해하는 경우, 복잡한 구조의 탄소 화합물을 분해하는 경우보다 수소이온 및 전자를 보다 빠르게 생성할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0055] 상기 아세트산 이온을 분해하는 경우 하기의 반응식 1에 의할 수 있다.
- [0056] [반응식 1]
- [0057] $\text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + 8\text{e}^- + 9\text{H}^+$
- [0059] 상기 반응식 1에 의해 제1 전극(102)에서 생산된 전자는 제2 전극(103)으로 이동하고, 상기 수소 이온은 양이온 교환막(104)을 통해 제2 챔버(105) 내 청수로 이동할 수 있고, 상기 수소 이온과 전자 및 용존 산소가 하기 반응식 2에 의해 과산화수소를 생성할 수 있다.
- [0060] [반응식 2]

- [0061] $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$
- [0063] 상기 과산화수소는 상기 청수에 용해될 수 있고, 용해된 상태로 존재할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0064] 상기 생물전기화학반응부(100)에서 제1 챔버(101)에서는 하수 내 유기물이 저장되며, 제2 챔버(105)에서는 과산화수소가 생성되며, 제1 챔버(101) 내 유기물이 저장된 하수는 광합성생물반응부(200)으로 이송되며, 제2 챔버(105) 내 생성된 과산화수소는 자외선접촉반응부(300)로 이송될 수 있다.
- [0065] 상기 광합성생물반응부(200)는 생물전기화학반응부(100)에서 유기물이 제거된 하수의 영양염류를 제거하기 위한 것으로, 일측이 상기 제1 챔버(101)와 연결되어 제1 챔버(101) 내 하수가 유입되고, 내부에 광합성 바이오매스(201)가 위치하며, 타측이 자외선접촉반응부(300)와 연결되며, 상기 자외선접촉반응부(300)와의 연결부위에 분리막(202)을 구비한다.
- [0066] 상기 광합성 바이오매스(201)는 광합성을 수행할 수 있는 바이오매스라면 제한없이 이용가능하나, 바람직하게는 세네데스무스(*Scenedesmus*) 및 클로렐라(*Chlorella*)로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 조류를 포함하는 것일 수 있고, 보다 바람직하게는 세네데스무스 속의 조류는 세네데스무스 쿼드리카우다(*Scenedesmus quadricauda*)일 수 있고, 클로렐라 속의 조류는 클로렐라 불가리스(*Chlorella vulgaris*)일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0067] 상기 광합성 바이오매스(201)는 외부 광을 이용하여 광합성을 수행할 수 있고, 광합성생물반응부(200) 내 광 처리 수단(203)이 구비될 수 있고, 이 경우 이를 이용하여 광합성을 수행할 수도 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0068] 상기 광합성생물반응부(200) 내 광 처리 수단(203)이 구비되는 경우, 상기 광 처리 수단(203)은 420 내지 460nm 및 660 내지 700nm의 파장의 광 처리 수단(203)일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0069] 상기 420 내지 460nm 및 660 내지 700nm의 파장의 광은 세네데스무스 쿼드리카우다(*Scenedesmus quadricauda*) 및 클로렐라 불가리스(*Chlorella vulgaris*)가 가장 많이 흡수하는 파장의 광으로서, 상기 광 처리 시 상기 세네데스무스 쿼드리카우다(*Scenedesmus quadricauda*) 및 클로렐라 불가리스(*Chlorella vulgaris*)가 광합성 효율이 증진될 수 있다.
- [0070] 상기 광합성생물반응부(200) 내 광 처리 수단(203)이 구비되는 경우, 상기 광합성생물반응부(200)는 외부 광이 차단되는 것일 수 있다.
- [0071] 외부 광이 차단되며, 420 내지 460nm 및 660 내지 700nm의 파장의 광 처리 수단(203)이 구비되는 경우, 광합성 생물반응부(200)에서 세네데스무스 쿼드리카우다(*Scenedesmus quadricauda*) 및 클로렐라 불가리스(*Chlorella vulgaris*) 외의 다른 바이오매스들은 증식 또는 광합성을 수행하지 못 해 영양염류 제거 효율을 증진시킬 수 있다.
- [0072] 상기 분리막(202)에 의해 하수의 여과가 수행될 수 있으며, 상기 분리막(202)은 예를 들면, 정밀여과막(Micro-filtration membrane), 한외여과막(Ultra-filtration membrane), 나노여과막(Nano-filtration membrane), 역삼투막(Reverse osmosis membrane) 등일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0073] 상기 분리막(202)의 재질은 예를 들어, 친수성 플루오르화 폴리비닐리덴(polyvinylidene fluoride, PVDF) 멤브레인일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0074] 상기 분리막(202)의 공극의 크기는 0.05 내지 0.4 μm , 바람직하게는 0.1 내지 0.3 μm , 보다 바람직하게는 0.15 내지 0.25 μm 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0075] 상기 분리막(202)을 통해 이온, 바이러스 및 세균, 조류 등 불순물들이 제거될 수 있을 뿐만 아니라, 광합성 바이오매스(201)의 누출 또한 막을 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0076] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 광합성생물반응부(200)는 광합성 수행과 동시에 하수의 물리적인 교반이 수행될 수 있으며, 이를 통해 하수 내 영양염류 제거 및 광합성 효율이 증진될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0077] 본 발명의 상기 광합성생물반응부(200)는 광합성 바이오매스 배출수단을 더 구비할 수 있다.

- [0078] 상기 광합성 바이오매스 배출수단의 위치는 예를 들어, 광합성생물반응부(200)의 하부에 연결되어 있을 수 있고, 광합성 바이오매스 배출수단의 작동은 예를 들어, 광합성생물반응부(200) 내 광합성 바이오매스(201)의 양이 일정량 초과하는 경우, 광합성생물반응부(200) 내 하수 유동을 중지시켜 침전되는 광합성 바이오매스(201)를 배출시키는 방식으로 작동될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0079] 본 발명의 시스템은 상기 광합성 바이오매스 배출수단을 통해 광합성생물반응부(200) 내 광합성 바이오매스(201)의 양을 조절할 수 있고, 이를 통해 광합성량을 조절될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0080] 본 발명의 시스템은 상기 광합성생물반응부(200) 내 광합성 바이오매스(201)가 광합성하여 하수 내 영양염류가 제거되는 것일 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 광합성 바이오매스(201)는 광합성과정 동안 영양염류를 이용하여 바이오매스가 증식함으로써 광합성생물반응부(200) 내 유입된 하수로부터 영양염류를 제거하는 것일 수 있다.
- [0081] 상기 영양염류는 일반적으로 질소(N)와 인(P)을 의미하며, 인간의 생활 및 산업 활동으로 인해 필연적으로 발생 하는 하수에 포함되며, 적절히 제거되지 않고 일반 자연하천에 방출되는 경우 조류와 플랑크톤의 번식을 야기하는 주된 영양성분으로 작용할 수 있는 것으로, 일반적으로 질소(N)는 암모늄염, 아질산염, 질산염 등의 형태, 인(P)은 ortho-phosphate 등의 형태인 무기영양염류 형태로 존재한다.
- [0082] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 광합성생물반응부(200)는 배관을 통해 자외선접촉반응부(300)와 연결되고, 상기 제2 챔버(105)는 상기 배관에 연결되며, 상기 배관에서 제2 챔버(105)와의 연결 부위에 이송 펌프(400)가 구비될 수 있다.
- [0083] 상기 이송 펌프(400)는 자외선접촉반응부(300)에 유입되는 과산화수소 또는 하수의 양을 판단하고 조절할 수 있도록 구성될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0085] 본 발명의 자외선접촉반응부(300)는 자외선이 외부로부터 조사될 수 있고, 내부에 자외선 처리 수단(301)을 이용하여 자외선을 조사할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0086] 상기 자외선 조사를 통해 하수 내 난분해성 유기물을 제거할 수 있고, 구체적으로는 상기 자외선접촉반응부(300)에서 과산화수소의 자외선과의 반응에 의해 생성된 수산화 라디칼이 난분해성 유기물을 제거하는 것일 수 있다.
- [0087] 상기 난분해성 유기물은 일반적으로 PCB, 유기 염소계 농약, 트리클로로에틸렌 등과 같이 재래식 생물학적 처리 공정이나 자연환경에서 미생물에 의한 분해가 잘되지 않는 물질로서 대부분의 산업폐수에서 발견될 수 있고, 자연계에서도 분해속도가 매우 느리거나 전혀 분해가 되지 않는 상태로 잔류하여 생태계에 크게 영향을 끼치거나 지하수 오염의 원인물질로 작용하는 물질이다. 상기 난분해성 유기물에서 난분해성은 BOD / CODCr 비가 얼마나 낮은 지로 판단될 수 있으며, 상기 난분해성 유기물은 예를 들어, 방향족 벤젠고리 화합물(클로로 벤젠, 니트로 벤젠, 데카하이드로나프탈렌, 벤젠, 크레졸, 크실렌, 테트라하이드로 나프탈렌, 테트라 하이드로 퓨란, 톨루엔, 페놀, 에틸페놀, 에틸벤젠, 피리딘 등)과 할로젠화 유기화합물 (TCE : 트리클로로 에틸렌, PCE : 퍼클로로에틸렌, PCP : 펜타클로로페놀, 테트라클로로에틸렌 등)일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0089] 상기 수산화 라디칼은 하기의 반응식 3을 통해 생성될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0090] [반응식 3]
- [0091]
$$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{uv} \rightarrow 2\text{OH} \cdot$$
- [0093] 상기 수산화 라디칼은 표준산화환원전위 2.8V의 강력한 산화제로서, 대부분의 난분해성 유기물과 비선택적 반응을 통하여 매우 빠른 속도로 유기물을 분해할 수 있고, 일반적인 유기물의 산화는 하기 반응식 4를 통해 분해하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0094] [반응식 4]
- [0095]
$$\cdot\text{OH} + \text{RH} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{R} \cdot$$

- [0096] $R \cdot + O_2 \rightarrow 2RO \cdot$
- [0098] 또한, 본 발명은 생물전기화학반응 단계; 광합성생물반응 단계; 및 자외선 처리 단계;를 포함하는 하수 처리 방법에 관한 것이다.
- [0099] 상기 생물전기화학반응 단계;에서는 혐기성 미생물이 부착된 제1 전극(102)을 구비한 제1 챔버(101)에 하수를 유입시키고, 혐기성 미생물의 유기물 분해에 의해 생성된 수소 이온 및 전자를 청수가 채워진 제2 챔버(105)로 이송시켜, 제2 챔버(105)에서 과산화수소를 생성할 수 있다.
- [0100] 상기 혐기성 미생물은 혐기성 조건에서 대사 과정을 원활히 수행할 수 있는 미생물인 경우라면 특별히 한정되지 아니하며, 바람직하게는 상기 혐기성 미생물은 예를 들어, 쉬와넬라 오나이텐시스(*Shewanella oneidensis*), 쉬와넬라 푸트레파시엔스(*Shewanella putrefaciens*), 클로스트리듐 부티리쿰(*Clostridium butyricum*), 디설퍼로모나스 아세톡시단스(*Desulfuromonas acetoxidans*), 지오박터 메탈리레듀센스(*Geobacter metallireducens*), 지오박터 설퍼리듀센스(*Geobacter sulfurreducens*), 로도페락스 페리리듀센스(*Rhodoferrax ferrireducens*), 에어로모나스 하이드로필리아(*Aeromonas hydrophilia*), 슈도모나스 아루기노사(*Pseudomonas aeruginosa*), 디설퍼볼부스 프로피오니쿠스(*Desulfobulbus propionicus*), 지오사이크로박터 지오사이크로박터(*Geopsychrobacter electrodiphilus*), 지오텍트릭스 퍼멘탄스(*Geothrix fermentans*), 에세리키아 콜라이(*Escherichia coli*), 로도슈도모나스 팔루스트리스(*Rhodospseudomonas palustris*), 오크로박트럼 안트로피(*Ochrobactrum anthropic*), 디설퍼비브리오 디설퍼리칸스(*Desulfovibrio desulfuricans*), 클렙시엘라 뉴모니아(*Klebsiella pneumonia*), 피키아 아노마라(*Pichia anomala*)로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상의 미생물일 수 있다.
- [0101] 상기 제2 전극(103)은 제2 챔버(105)에 위치하며, 상기 청수, 제1 전극(102) 및 제2 전극(103)은 전술한 범위 내의 것일 수 있으며, 상기 수소 이온은 양이온 교환막(104)을 통해 이송되며, 상기 전자는 제1 전극(102)에서 제2 챔버(105) 내 제2 전극(103)으로 이송되는 것일 수 있다.
- [0102] 또한, 상기 청수 중 적어도 일부는 외부 공기와 접하는 것일 수 있고, 이 경우, 외부 공기의 산소가 청수 내 용해되어 과산화수소의 생성에 이용될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0103] 이와는 반대로 상기 청수는 외부 공기와 접하지 않으며, 상기 제2 전극(103)은 제2 챔버(105)의 외부 공기와 접하는 벽면 중 적어도 일부를 구성하며, 공기투과성 전극일 수 있고, 이 경우, 전술한 범위 내의 제2 챔버(105)에서 수행될 수 있다.
- [0104] 상기 생물전기화학반응 단계에서 상기 반응식 1 및 2를 통해 유기물을 저감화함과 동시에 과산화수소를 생성할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0105] 상기 과산화수소는 상기 청수에 용해될 수 있고, 용해된 상태로 존재할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0106] 상기 광합성생물반응 단계;에서는 상기 유기물이 분해된 하수 내 영양염류를 광합성 바이오매스(201)의 광합성으로 제거할 수 있다.
- [0107] 상기 광합성 바이오매스(201)는 광합성을 수행할 수 있는 바이오매스라면 제한없이 이용가능하나, 바람직하게는 세네데스무스(*Scenedesmus*) 및 클로렐라(*Chlorella*)로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 조류를 포함하는 것일 수 있고, 보다 바람직하게는 세네데스무스 속의 조류는 세네데스무스 쿼드리카우다(*Scenedesmus quadricauda*)일 수 있고, 클로렐라 속의 조류는 클로렐라 불가리스(*Chlorella vulgaris*)일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0108] 상기 광합성 바이오매스(201)는 외부 광을 이용하여 광합성을 수행할 수 있고, 따로 인공광을 처리하여 광합성을 수행할 수도 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0109] 따로 인공광을 처리하는 경우 상기 광은 420 내지 460nm 및 660 내지 700nm의 파장의 광 처리 수단(203)일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0110] 상기 420 내지 460nm 및 660 내지 700nm의 파장의 광은 세네데스무스 쿼드리카우다(*Scenedesmus quadricauda*) 및 클로렐라 불가리스(*Chlorella vulgaris*)가 가장 많이 흡수하는 파장의 광으로서, 상기 광 처리 시 상기 세네데스무스 쿼드리카우다(*Scenedesmus quadricauda*) 및 클로렐라 불가리스(*Chlorella vulgaris*)가 광합성 효율이 증진될 수 있다.

- [0111] 상기 광합성생물반응부(200) 내 인공 광을 처리하는 경우 외부 광이 차단된 상태에서 수행되는 것일 수 있다.
- [0112] 외부 광이 차단되며, 420 내지 460nm 및 660 내지 700nm의 파장의 인공 광을 처리하는 경우, 광합성생물반응부(200)에서 세네데스무스 쿼드리카우다(*Scenedesmus quadricauda*) 및 클로렐라 불가리스(*Chlorella vulgaris*) 외의 다른 바이오매스들은 증식 또는 광합성을 수행하지 못 해 영양염류 제거 효율을 증진시킬 수 있다.
- [0113] 상기 영양염류는 질소 또는 인이 포함된 물질일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0114] 상기 광합성생물반응 단계는 하수에 물리적인 교반을 함께 수행할 수 있다. 이 경우, 광합성 및 영양염류 제거 효율을 증진시킬 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0115] 또한, 본 발명은 상기 영양염류가 제거된 하수를 과산화수소와 혼합되기 전에 분리막(202)을 통과시키는 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [0116] 상기 분리막(202)은 상기 분리막(202)에 하수의 여과가 수행될 수 있으며, 상기 분리막(202)은 예를 들면, 정밀 여과막(Micro-filtration membrane), 한외여과막(Ultra-filtration membrane), 나노여과막(Nano-filtration membrane), 역삼투막(Reverse osmosis membrane) 등일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0117] 상기 분리막(202)의 재질은 예를 들어, 친수성 플루오르화 폴리비닐리덴(polyvinylidene fluoride, PVDF) 멤브레인일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0118] 상기 분리막(202)의 공극의 크기는 0.05 내지 0.4 μm , 바람직하게는 0.1 내지 0.3 μm , 보다 바람직하게는 0.15 내지 0.25 μm 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0119] 상기 분리막(202)을 통해 이온, 바이러스 및 세균, 조류 등 불순물들이 제거될 수 있을 뿐만 아니라, 광합성 바이오매스(201)의 누출 또한 막을 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0120] 또한 자외선 처리 단계;에서는 상기 영양염류가 제거된 하수를 상기 과산화수소와 혼합하고 자외선을 처리할 수 있다.
- [0121] 상기 자외선 처리 단계에서 자외선은 자연광일 수 있고, 바람직하게는 자외선 처리 수단(301)을 통해 처리하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지는 않으며, 상기 자외선 처리 단계를 통해 난분해성 유기물이 제거될 수 있다.
- [0122] 또한, 본 발명은 상기 자외선 처리 단계 이전에 상기 생물전기화학반응 단계에서 생성된 과산화수소 및 상기 광합성생물반응 단계를 거친 하수의 양을 조절하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0124] 이하, 본 발명을 구체적으로 설명하기 위해 실시예를 들어 상세하게 설명하기로 한다.

[0126] 실시예

[0127] 1. 생물전기화학반응 공정

[0128] 생물전기화학반응부는 양이온 교환막을 경계로 양측으로 각각 1개씩 총 2개의 챔버로 구성되며, 그 중 처리대상 원수(하수)가 유입되는 한 측에 혐기성 미생물이 부착 및 증식하는 탄소 섬유 전극을 구비하는 한편 청수(수돗물)로 채워진 다른 한 측에는 공기투과 탄소전극을 구비하였다(도 1).

[0129] 상기 생물전기화학반응부에 하수를 유입시켜, 유기물을 포함한 하수가 미생물이 부착된 탄소 섬유 전극과 접촉하면서 하기 반응식 1에 따라 전자 및 수소 이온이 생성되었다.

[0130] [반응식 1]



[0133] 상기 미생물이 부착된 탄소 전극으로부터 공기투과 탄소전극으로 전자가 이동함에 따라 전류가 발생되었다.

[0134] 또한, 상기 수소 이온은 양이온 교환막을 통해 청수가 채워진 챔버로 이동하여, 공기투과 탄소전극에서 하기 반응식 2의 반응이 수행되어 과산화수소가 생성되었다.

- [0135] [반응식 2]
- [0136] $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$
- [0138] 상기 생물전기화학반응부에서 처리된 하수는 후속 광합성생물반응부로 이송되었으며, 생산된 H_2O_2 는 자외선접촉 반응부로 이송되었다.
- [0140] (1) 유기물질의 저감화 확인
- [0141] 생물전기화학반응부 내 미생물이 유입 하수에 포함된 유기물질을 분해하는 것을 화학적 산소 요구량(COD)을 통해 확인하였다(도 2). 구체적으로 유기물(아세트산)의 농도를 조절하여 COD 농도 범위 1638 mg/L (H), 173 mg/L (M), 78 mg/L (L)의 인공 하수를 제조하였다. 이후, 생물전기화학반응 공정을 수행하였고, 각각 88%, 90%, 84%의 COD 제거율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.
- [0143] (2) 생성되는 전기에너지의 확인
- [0144] 생물전기화학반응부 내 부착 미생물에 의한 유기물질의 분해를 4회 반복하여 실시한 결과, 생물전기화학반응부 내 위치하는 두 전극 간 전자의 유동(전류)을 통하여 얻어지는 이용 가능한 전기에너지는 약 400 내지 600 mV임을 확인하였다(도 3).
- [0146] (3) 제2 챔버 내 과산화수소 생성의 확인
- [0147] 유기물질이 분해됨에 따라 생물전기화학반응부 내 두 전극 간 전자의 유동으로 생산되는 과산화수소(H_2O_2)의 농도 변화를 확인하였다(도 4).
- [0149] 2. 광합성생물반응 공정
- [0150] 광합성생물반응부 내 광합성 바이오매스(*C. vulgaris* 및 *S. quadricauda*)가 광합성 시 사용하는 광 파장을 파악하였고(도 5), 청색 가시광 (420~460 nm) 및 적색 가시광 (660~700 nm) 영역의 LED 인공광을 혼용하여 제공하였다. 또한, 이와 동시에 물리적으로 교반함으로써 본 발명의 시스템 구현을 위해 요구되는 광합성 바이오매스 이외의 광화학 생물 증식을 제한하며, 동시에 에너지 효율성을 향상시켰다.
- [0151] 광합성생물반응부 내 광합성 바이오매스는 인공광과 함께 유입원수에 포함된 무기탄소 및 유기탄소 일부를 이용하여 증식하되, 그 결과로 별도의 화학약품 또는 고출력의 전기에너지 사용없이 유입원수의 잔존 영양염류(질소 및 인)가 제거되었다(도 6(c) 및 (d)).
- [0152] 가시광선 680 nm에서의 흡광도(OD680)의 변화 및 COD의 변화를 통하여 광합성 바이오매스의 증식을 모니터링하였다(도 6(a) 및 (b)).
- [0153] 영양염류가 제거된 하수는 별도로 구비된 분리막(공극 크기 0.2 μm 의 친수성 플루오르화 폴리비닐리덴(polyvinylidene fluoride, PVDF) 멤브레인)을 이용하여 여과한 다음 후속하는 자외선램프를 포함하는 자외선접촉반응부로 유입되는 한편, 광합성생물반응부에 교반장치와 전동 개폐밸브 그리고 침전고형물 이송 펌프 등을 연계하여 동작을 제어함으로써 광합성생물반응부 내 바이오매스를 외부로 배출시켜 바이오매스의 적정 농도를 유지할 수 있었다. 이 경우, 광합성 바이오매스의 농도는 부유 상태의 광합성 바이오매스의 흡광도로 판단하였으며, 흡광도가 경험상 얻어진 설정치(set-point) 이하 또는 특정 설정치 범위가 되도록 논리연산제어를 통하여 광합성 바이오매스의 배출량을 조절할 수 있었다.
- [0155] 3. 자외선접촉반응 공정
- [0156] 상기 광합성생물반응부 내 분리막과 연결된 이송 펌프의 동작을 개시하도록 하여 광합성생물반응부 내 처리수의

여과를 수행하여 여과된 처리수를 후속 자외선접촉반응부로 이송되도록 하였다.

[0157] 광합성생물반응부로부터 처리된 하수는 분리막을 거쳐 후속 자외선접촉반응부로 이송되며, 이 때 생물전기화학 반응부로부터 생산된 H_2O_2 가 용해되어 있는 청수를 자외선접촉반응부로 도입되는 하수에 혼입시켜 자외선접촉반응 공정이 수행되었다.

[0158] 자외선을 과산화수소에 조사하여 하기의 반응식 3을 통해 높은 산화력을 갖는 수산화 라디칼이 발생되어 하수 중에 잔존하는 난분해성 유기물이 분해되었다.

[0159] [반응식 3]

[0160] $H_2O_2 + uv \rightarrow 2OH \cdot$

[0162] 최종방류수의 H_2O_2 농도 값은 별도로 구비된 계측 장치를 이용하여 준실시간 모니터링하고, 측정된 농도 값은 일 반의 데이터연산 제어시스템으로 전송하여 유입하수에 혼입되는 H_2O_2 의 유량을 제어할 수 있었다.

[0163] 이 때, 자외선접촉반응부로부터 자외선 조사량(UV dose)을 조절함으로써 H_2O_2 의 최종 유출농도를 추가로 제어함 과 동시에 난분해성 유기물의 분해효율을 향상시킬 수 있었다.

[0165] 자외선접촉반응부로 유입되는 하수에 H_2O_2 (10 mg/L)를 혼입하여 처리하는 경우 자외선 조사량에 따른 H_2O_2 의 소 비효율은 도 7에 나타내었다.

[0167] 4. 각 공정에 따른 난분해성 유기물의 저감화 확인

[0169] 각 공정에 따른 하수에 존재하는 유기물질의 난분해성지표 (SUVA; specific ultraviolet absorbance at 254 nm)를 도 8에 나타내었고, 특히 자외선접촉반응 공정에서 크게 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

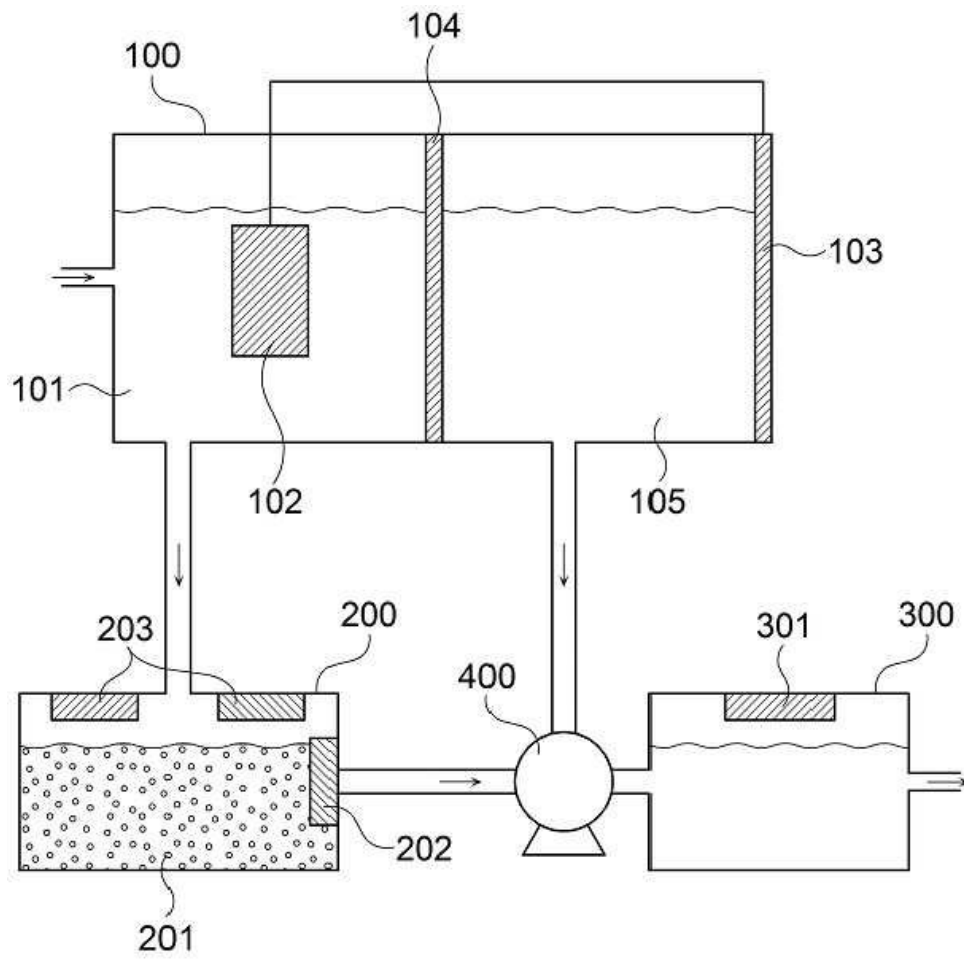
[0170] 또한, 공정별 난분해성 유기물의 분해과정을 레이저를 조사한 후 흡광도를 통해 나타낸 등고선 형태의 3차원 그 래프(x축: 기저 상태(Emission, Em), y축: 들뜬 상태(Excitation, Ex))로서, (a)는 생물전기화학반응 공정을 거친 하수, (b)는 광합성생물반응부 공정을 거친 하수, (c)는 자외선접촉반응부 공정을 거친 하수의 잔존 난분 해성 유기물의 양을 도 9에 나타내었다. 이를 통해 등고선으로 표현되는 유기물의 반응성이 각 공정을 거칠수록 현저히 줄어드는 것을 확인할 수 있으며, 특히 자외선접촉반응 공정을 거친 후 거의 제거되었음을 확인할 수 있 었다.

부호의 설명

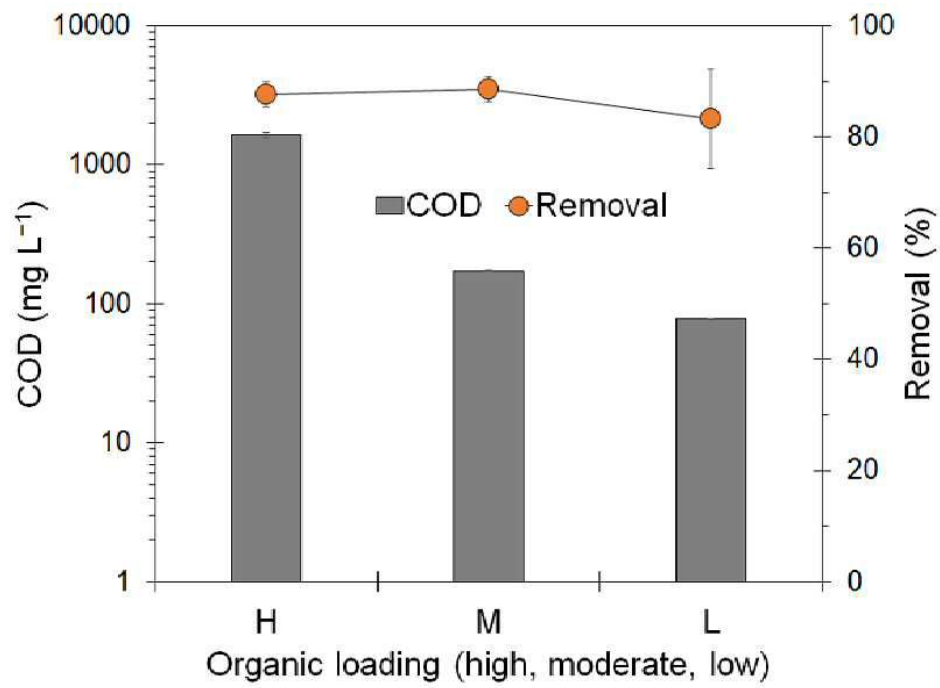
[0172] 100: 생물전기화학반응부 101: 제1 챔버
102: 제1 전극 103: 제2 전극
104: 양이온 교환막 105: 제2 챔버
200: 광합성생물반응부 201: 광합성 바이오매스
202: 분리막 203: 광 처리 수단
300: 자외선접촉반응부 301: 자외선 처리 수단
400: 이송 펌프

도면

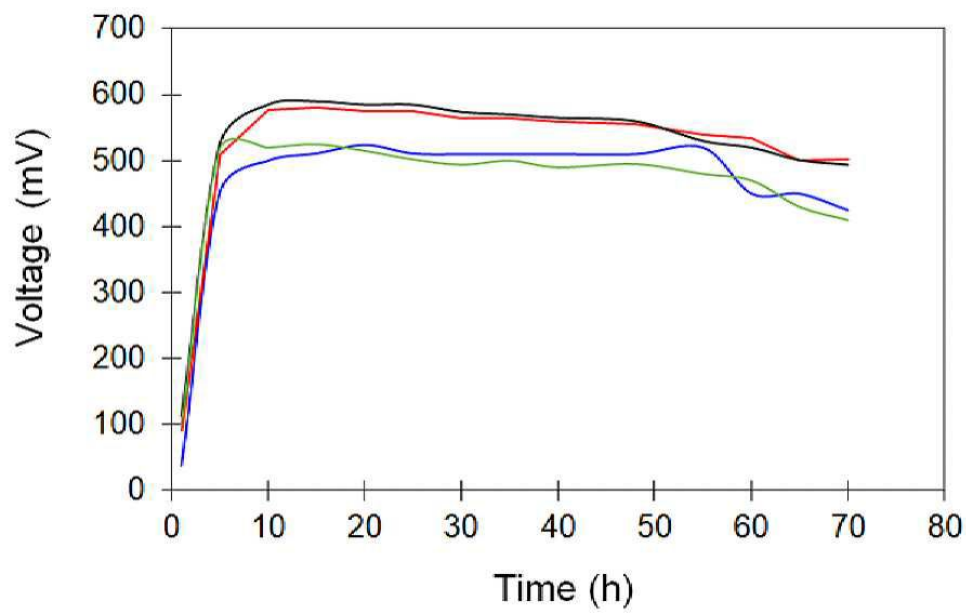
도면1



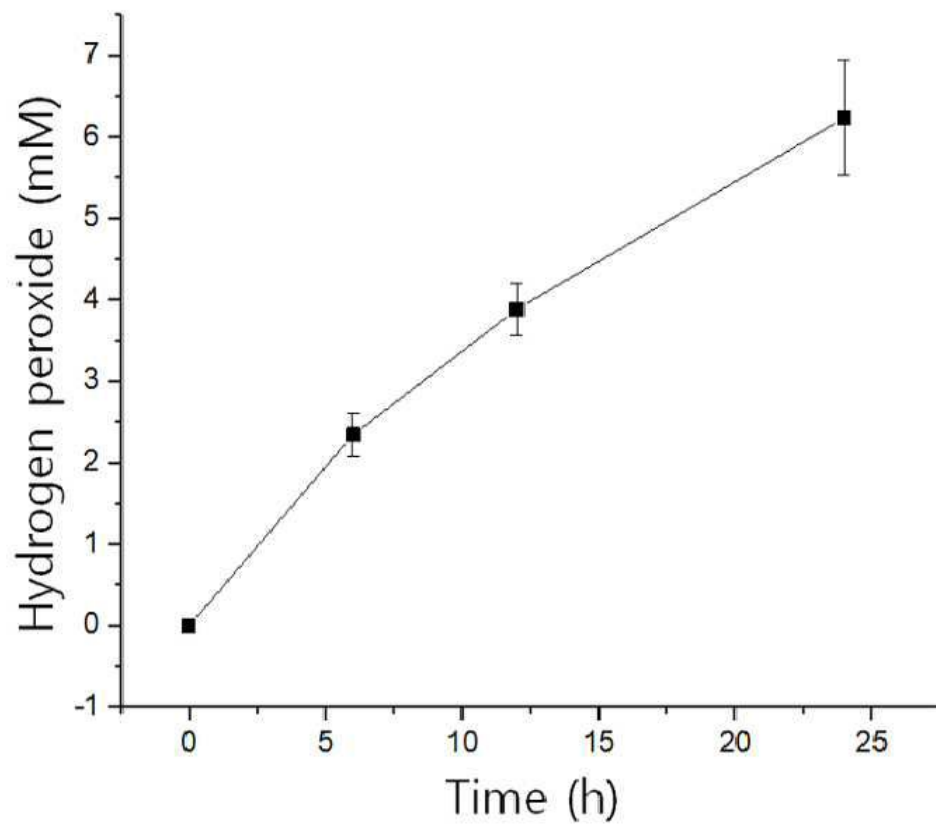
도면2



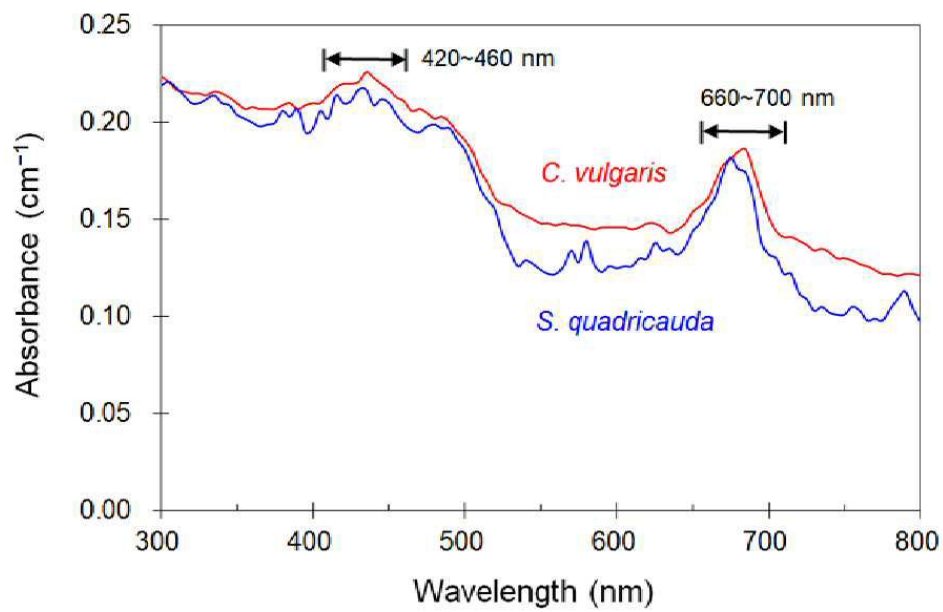
도면3



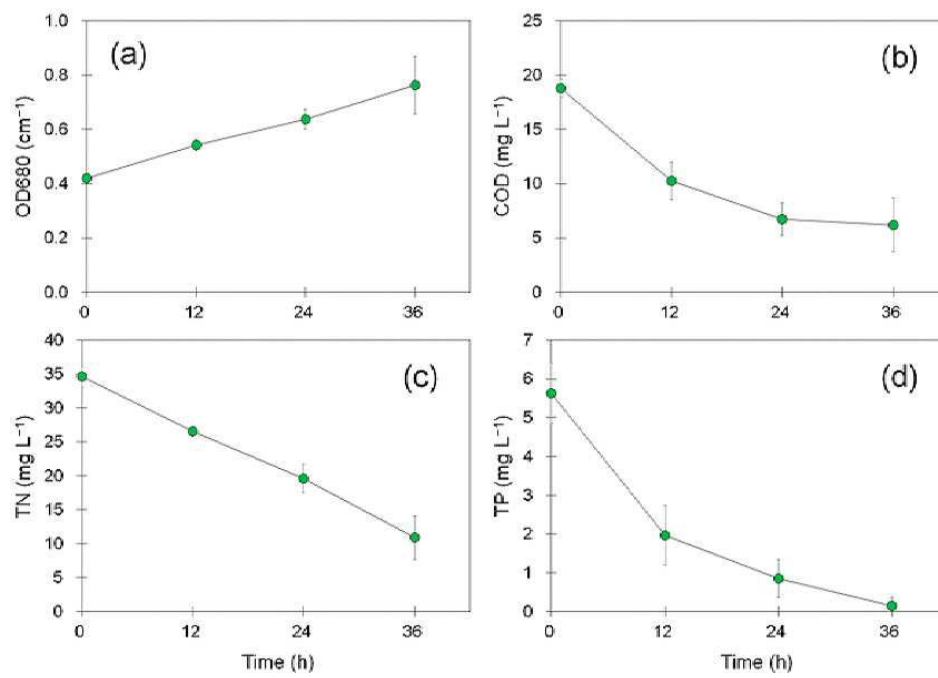
도면4



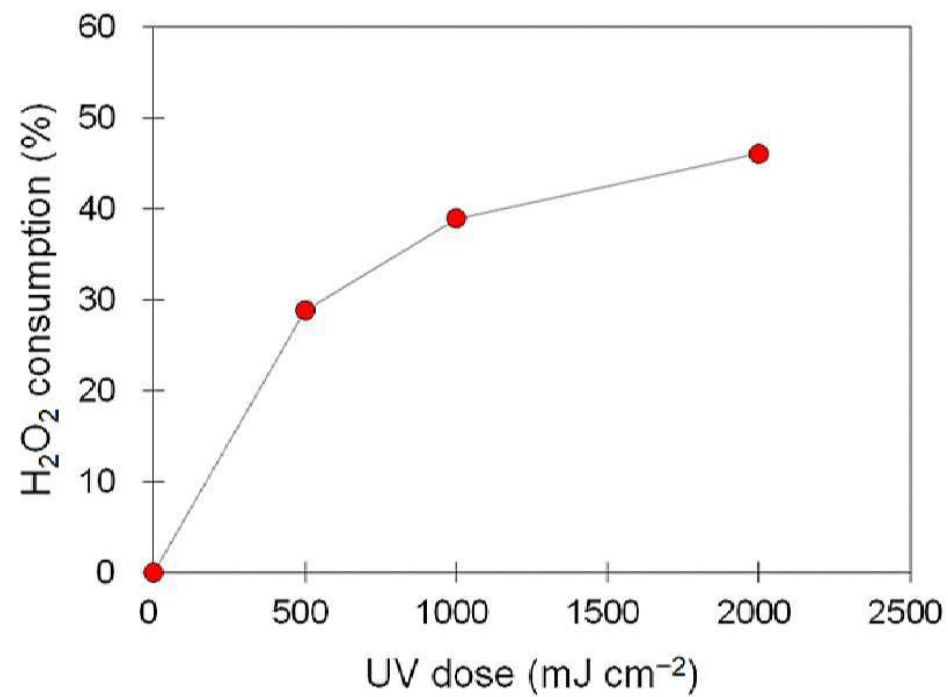
도면5



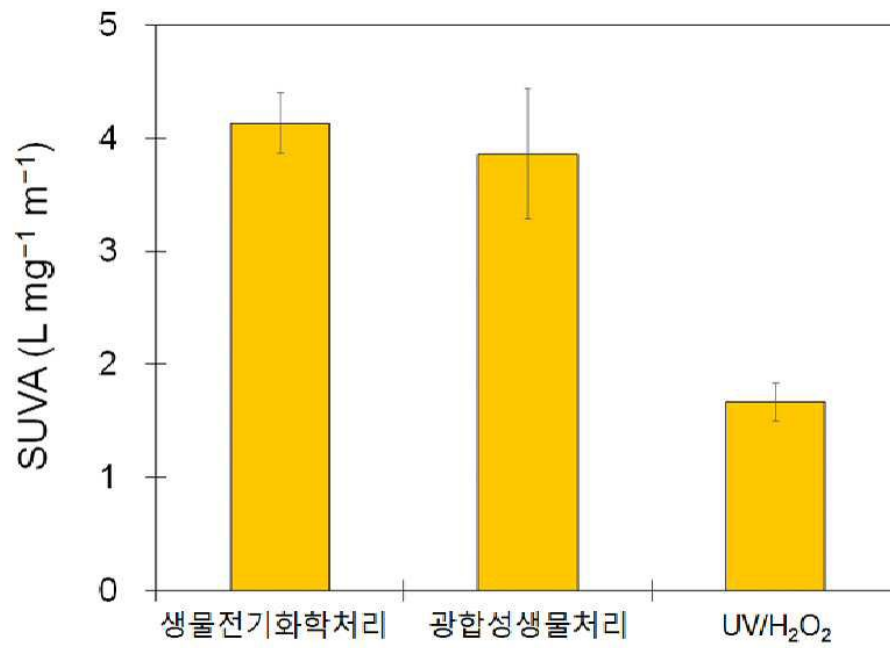
도면6



도면7



도면8



도면9

