



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0109183
(43) 공개일자 2021년09월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 65/02 (2006.01) B01D 65/08 (2006.01)
C02F 3/00 (2006.01) C02F 3/12 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B01D 65/02 (2013.01)
B01D 65/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0024116
(22) 출원일자 2020년02월27일
심사청구일자 2020년02월27일

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
조진우
서울특별시 강남구 학동로 432, 102동 1409호(삼성동, 삼성동롯데아파트)
변용훈
서울특별시 강서구 강서로 532, 103동 301호(가양동, 동신아파트, 대아아파트)
민경진
서울특별시 성북구 길음로 119, 207동 1202호(길음동, 길음뉴타운)
(74) 대리인
특허법인리체

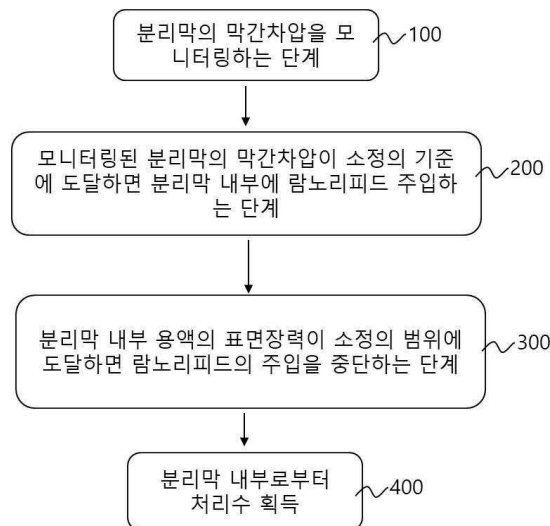
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 생물 반응조 내 분리막 오염 제어를 위한 생물 반응조의 운전 방법 및 수처리 시스템

(57) 요약

본 발명은 생물 반응조 내 분리막 오염 제어를 위한 생물 반응조의 운전 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 상기 분리막의 막간차압을 모니터링하는 단계; 및 상기 막간차압이 소정의 기준에 도달하면 상기 분리막 내부에 람노리피드를 주입하여 상기 람노리피드가 상기 분리막의 내부에서 외부로 통과되도록 함으로써 상기 분리막을 세척하는 단계를 포함함으로써 분리막 표면에 오염 물질이 축적되는 것을 효과적으로 억제할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C02F 3/006 (2013.01)

C02F 3/1273 (2013.01)

C02F 2209/03 (2013.01)

C02F 2209/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1485014625
부처명	환경부
과제관리(전문)기관명	한국환경산업기술원
연구사업명	환경산업선진화기술개발사업
연구과제명	도금산업 발생 유해중금속 처리를 위한 나노여과 및 전기산화장치 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2017.04.20 ~ 2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

폐수가 생물 반응조 내에 침지된 분리막의 외부에서 내부로 유입되면서 정수되는 공정이 연속적으로 수행되는 상기 생물 반응조의 운전 방법으로서,

상기 분리막의 막간차압을 모니터링하는 단계; 및

상기 막간차압이 소정의 기준에 도달하면 상기 분리막 내부에 램노리피드를 주입하여 상기 램노리피드가 상기 분리막의 내부에서 외부로 통과되도록 함으로써 상기 분리막을 세척하는 단계를 포함하는, 상기 생물 반응조의 운전 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 분리막 내부 용액의 표면장력이 소정의 범위에 도달하면 상기 램노리피드의 주입을 중단하고 처리수를 생물 반응조 외부로 유출시키는 단계를 더 포함하는, 생물 반응조의 운전 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 분리막은 평균 직경이 $0.1\mu\text{m}$ 내지 $0.5\mu\text{m}$ 인 공극을 갖는 것인, 생물 반응조의 운전 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 소정의 기준은 상기 모니터링된 최초 시점을 기준으로 막간차압이 1kPa 내지 10kPa 상승하는 것인, 생물 반응조의 운전 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 램노리피드는 상기 생물 반응조 내의 혼합액 부유물질 1mg 당 0.001mg 내지 0.1mg 의 양으로 상기 분리막 내부에 주입되는 것인, 생물 반응조의 운전 방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서, 상기 램노리피드가 상기 분리막의 내부로부터 외부로 통과될 때 분리막 내에 존재하는 처리수를 상기 생물 반응조 외부로 유출시키지 않는 것인, 생물 반응조의 운전 방법.

청구항 7

청구항 2에 있어서, 상기 소정의 범위는 20°C 내지 30°C 온도 조건에서 60 dyne/cm 내지 90 dyne/cm 인, 생물 반응조의 운전 방법.

청구항 8

청구항 1에 있어서, 상기 람노리피드의 주입은 중력을 이용한 주입인 것인, 생물 반응조의 운전 방법.

청구항 9

폐수를 주입하기 위한 유입 펌프;

상기 유입 펌프에 의해 주입된 폐수가 활성슬러지에 침지된 후 분리막을 통과하도록 구성된 생물 반응조;

상기 분리막의 내부와 연통되며 상기 분리막을 통과한 처리수를 상기 생물 반응조 외부로 유출시키기 위한 유출 펌프;

상기 분리막의 막간차압을 측정하는 센서; 및

상기 센서로부터 측정된 막간차압 값에 기초하여 람노리피드를 상기 분리막 내부로 공급하는 람노리피드 저장소를 포함하는 수처리 시스템.

청구항 10

청구항 9에 있어서, 상기 측정된 막간차압 값이 소정의 기준에 도달하면 람노리피드가 상기 분리막 내부로 공급 되도록 제어하고, 상기 분리막 내부의 표면장력이 소정의 범위에 도달하면 람노리피드가 상기 분리막 내부로 공급되는 것을 멈추고 상기 유출 펌프를 작동시켜 상기 분리막 내부의 처리수를 유출시키도록 제어하는 제어부를 더 포함하는, 수처리 시스템.

청구항 11

청구항 10에 있어서, 상기 생물 반응조 내 혼합액 부유물질의 농도를 측정하는 MLSS 측정기;

상기 MLSS 측정기로 측정된 상기 혼합액 부유물질의 농도에 따라 상기 분리막 내부로 공급되는 람노리피드 농도를 조절하기 위해 람노리피드 저장소로 증류수를 공급하는 증류수 탱크; 및

람노리피드 저장소로 람노리피드를 공급하는 람노리피드 탱크를 더 포함하는, 수처리 시스템

청구항 12

청구항 11에 있어서, 상기 측정된 혼합액 부유물질의 농도에 따라 람노리피드 저장소로 공급되는 증류수의 공급량 및 람노리피드 저장소로 공급되는 람노리피드의 공급량을 조절하는 농도제어부를 더 포함하는, 수처리 시스템.

청구항 13

청구항 9에 있어서, 상기 분리막은 평균 직경이 $0.1\mu\text{m}$ 내지 $0.5\mu\text{m}$ 인 공극을 갖는 것인, 수처리 시스템.

청구항 14

청구항 9에 있어서, 상기 람노리피드 저장소는 상기 생물 반응조의 상부에 위치하는 것인, 수처리 시스템.

청구항 15

청구항 9에 있어서, 상기 생물 반응조 내부의 분리막은 한 개 이상인, 수처리 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 생물 반응조 내 분리막 오염 제어를 위한 생물 반응조의 운전 방법 및 수처리 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 분리막 생물 반응조(Membrane Bioreactor; MBR)는 기존의 활성슬러지 공법과 유사하지만 생물반응조와 분리막 공정을 결합하여 침전조를 대체하는 공정이다. MBR 공정은 활성슬러지를 반응조 내부에서 고농도로 유지시킬 수 있으며, 반응조 내 활성슬러지의 안정성을 높일 수 있는바, 처리수의 수질이 우수하며 추가적인 소독과정을 필요로 하지 않는다. 또한, MBR 공정은 두 가지 이상의 공정을 하나의 공정으로 대체하는 것인 바 비용절감이 가능하고, 기존 하수처리장에서 사용하는 활성슬러지 공법에 적용할 수 있기에 생활 하수처리장과 산업용 폐수 처리장에서 적용이 확대되고 있는 실정이다.

[0004] 한편, MBR 공정에서 막오염 문제가 발생할 수 있다. 막오염은 막을 이용하여 오염물질을 분리하는 과정에서 막의 표면이나 공극이 오염물질로 폐색되거나 오염되는 현상으로, 막 플럭스의 감소, 처리수의 수질의 저하 등 여러 가지 문제를 발생시킨다. 특히, MBR 공정에서 가장 대두되고 있는 막오염은 바이오 파울링(biofouling)이다. 바이오 파울링은 분리막 표면에 세포, 세포의 집합 또는 세포의 물질대사로 생긴 플록들이 분리막 표면에 쌓여 형성될 수 있으며, 그 후 세포가 증식하여 케이크를 형성한다.

[0005] 이러한 막오염 문제를 해결하기 위해 다양한 분리막 세정(Membrane cleaning) 방법이 제시되고 있다. 분리막 세정 방법은 크게 물리적 세정 및 화학적 세정 방법으로 분류될 수 있다. 물리적 세정 방법에는 공기 폭기를 이용한 세정방법과 분리막에 역으로 주입하여 표면에 있는 물질들을 제거하는 역세척 방법 등이 있다. 물리적 세정 방법은 분리막 표면에 화학적 결합으로 축적된 오염물질에 대한 세정 효율이 낮으며, 공기 폭기로 인한 전기사용료의 증가, 세정 방법에 많은 비용이 들어가는 등의 문제점이 있다.

[0006] 화학적 세정 방법은 분리막 표면에 축적된 오염물질을 화학 물질과의 결합이나 반응으로 인해 세정하는 방법으로서, 산, 염기 또는 계면활성제 등의 화학물질을 이용할 수 있다. 화학적 세정 방법은 분리막 세정 후 폐 화학물질이 발생할 수 있으며, 산이나 염기 물질을 사용하는 경우 분리막이 손상될 수 있는 문제점이 있다. 또한, 통상적으로 사용되는 계면활성제인 로틸황산나트륨(Sodium dodecyl Sulfate, SDS)의 경우 생태독성을 가지고 있어, 생물 반응조 내에 투입되어 사용 시 미생물의 세포질에 단백질의 변성을 일으켜 반응조 내부 미생물의 물질대사에 악영향을 줄 수 있다.

[0007] 따라서, 기존의 물리적 또는 화학적 세정 방법보다 적은 비용으로 우수한 세척 효과를 나타낼 수 있는 분리막 오염 제어를 위한 방법에 대한 개발이 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국공개특허 10-2014-0026116

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 생물 반응조 내 분리막 오염 제어를 위한 생물 반응조의 운전 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0011] 본 발명은 생물 반응조 내 분리막 오염 제어를 위한 수처리 시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0013] 1. 폐수가 생물 반응조 내에 침지된 분리막의 외부에서 내부로 유입되면서 정수되는 공정이 연속적으로 수행되는 상기 생물 반응조의 운전 방법으로서,
- [0014] 상기 분리막의 막간차압을 모니터링하는 단계; 및
- [0015] 상기 막간차압이 소정의 기준에 도달하면 상기 분리막 내부에 램노리피드를 주입하여 상기 램노리피드가 상기 분리막의 내부에서 외부로 통과되도록 함으로써 상기 분리막을 세척하는 단계를 포함하는, 상기 생물 반응조의 운전 방법.
- [0016] 2. 위 1에 있어서, 상기 분리막 내부 용액의 표면장력이 소정의 범위에 도달하면 상기 램노리피드의 주입을 중단하고 처리수를 생물 반응조 외부로 유출시키는 단계를 더 포함하는, 생물 반응조의 운전 방법.
- [0017] 3. 위 1에 있어서, 상기 분리막은 평균 직경이 $0.1\mu\text{m}$ 내지 $0.5\mu\text{m}$ 인 공극을 갖는 것인, 생물 반응조의 운전 방법.
- [0018] 4. 위 1에 있어서, 상기 소정의 기준은 상기 모니터링된 최초 시점을 기준으로 막간차압이 1kPa 내지 10kPa 상승하는 것인, 생물 반응조의 운전 방법.
- [0019] 5. 위 1에 있어서, 상기 램노리피드는 상기 생물 반응조 내의 혼합액 부유물질(Mixed Liquor Suspended Solid) 1mg 당 0.001 내지 0.1mg 의 양으로 상기 분리막 내부에 주입되는 것인, 생물 반응조의 운전 방법.
- [0020] 6. 위 1에 있어서, 상기 램노리피드가 상기 분리막의 내부로부터 외부로 통과될 때 분리막 내에 존재하는 처리수를 상기 생물 반응조 외부로 유출시키지 않는 것인, 생물 반응조의 운전 방법.
- [0021] 7. 위 2에 있어서, 상기 소정의 범위는 20°C 내지 30°C 온도 조건에서 60 내지 90 dyne/cm 인, 생물 반응조의 운전 방법.
- [0022] 8. 위 1에 있어서, 상기 램노리피드의 주입은 중력을 이용한 주입인 것인, 생물 반응조의 운전 방법.
- [0023] 9. 폐수를 주입하기 위한 유입 펌프;
- [0024] 상기 유입 펌프에 의해 주입된 폐수가 활성슬러지에 침지된 후 분리막을 통과하도록 구성된 생물 반응조;
- [0025] 상기 분리막의 내부와 연통되며 상기 분리막을 통과한 처리수를 상기 생물 반응조 외부로 유출시키기 위한 유출 펌프;
- [0026] 상기 분리막의 막간차압을 측정하는 센서; 및
- [0027] 상기 센서로부터 측정된 막간차압 값에 기초하여 램노리피드를 상기 분리막 내부로 공급하는 램노리피드 저장소를 포함하는 수처리 시스템.
- [0028] 10. 위 9에 있어서, 상기 측정된 막간차압 값이 소정의 기준에 도달하면 램노리피드가 상기 분리막 내부로 공급되도록 제어하고, 상기 분리막 내부의 표면장력이 소정의 범위에 도달하면 램노리피드가 상기 분리막 내부로 공급되는 것을 멈추고 상기 유출 펌프를 작동시켜 상기 분리막 내부의 처리수를 유출시키도록 제어하는 제어부를 더 포함하는, 수처리 시스템.
- [0029] 11. 위 9에 있어서, 상기 생물 반응조 내 혼합액 부유물질의 농도를 측정하는 MLSS 측정기;
- [0030] 상기 MLSS 측정기로 측정된 상기 혼합액 부유물질의 농도에 따라 상기 분리막 내부로 공급되는 램노리피드 농도를 조절하기 위해 램노리피드 저장소로 증류수를 공급하는 증류수 탱크; 및
- [0031] 램노리피드 저장소로 램노리피드를 공급하는 램노리피드 탱크를 더 포함하는, 수처리 시스템.
- [0032] 12. 위 11에 있어서, 상기 측정된 혼합액 부유물질의 농도에 따라 램노리피드 저장소로 공급되는 증류수의 공급량 및 램노리피드 저장소로 공급되는 램노리피드의 공급량을 조절하는 농도제어부를 더 포함하는, 수처리 시스템.
- [0033] 13. 위 9에 있어서, 상기 분리막은 평균 직경이 $0.1\mu\text{m}$ 내지 $0.5\mu\text{m}$ 인 공극을 갖는 것인, 수처리 시스템.
- [0034] 14. 위 9에 있어서, 상기 램노리피드 저장소는 상기 생물 반응조의 상부에 위치하는 것인, 수처리 시스템.

[0035] 15. 위 9에 있어서, 상기 생물 반응조 내부의 분리막은 한 개 이상인, 수처리 시스템.

발명의 효과

[0037] 본 발명 생물 반응조의 운전 방법은 소정의 기준에 도달할 때 람노리피드를 처리함으로써 분리막 표면에 오염 물질이 축적되는 것을 효과적으로 억제할 수 있다.

[0038] 본 발명 생물 반응조의 운전 방법은 분리막 내부에 람노리피드를 처리함으로써 막 표면에 바이오 파울링 또는 바이오 필름의 형성을 억제함과 동시에 물리적 세정 효과로 막 표면에 쌓인 바이오 파울링 또는 바이오 필름을 제거할 수 있다.

[0039] 본 발명 생물 반응조의 운전 방법은 생물 반응조 내에 존재하는 혼합액 부유물질의 농도에 따른 최적양의 람노리피드를 주입함으로써, 저비용으로 막의 손상을 최소화하면서 막 표면에 바이오 파울링 또는 바이오 필름이 축적되는 것을 억제할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0041] 도 1은 일 실시예에 따른 생물 반응조 운전 방법의 순서도를 나타낸다.

도 2는 일 실시예에 따른 수처리 시스템의 모식도를 나타낸다.

도 3은 일 실시예에 사용된 침지형 분리막 생물 반응조 공정의 장치를 나타낸다.

도 4는 일 실시예에 따른 침지형 분리막 생물 반응조 공정의 모식도를 나타낸다.

도 5는 람노리피드 주입에 따른 생물 반응조 내 COD, 암모니아성 질소 농도 변화를 나타낸다.

도 6은 람노리피드 주입 농도에 따른 막간차압 변화 그래프를 나타낸다.

도 7은 람노리피드 주입 농도에 따른 Loosely Bound EPS 그래프와 Tightly Bound EPS 그래프를 나타낸다.

도 8은 람노리피드 주입 농도에 따른 반응조 내 활성슬러지를 분리막에 통과 시켰을 때 측정된 플럭스 값을 정규화한 그래프를 나타낸다.

도 9는 람노리피드 주입 양에 따른 막간차압 변화 그래프를 나타낸다.

도 10은 람노리피드 주입 양에 따른 분리막 표면 케이크 형성 정도를 나타낸다.

도 11은 CIP 방식을 이용해 람노리피드 주입 시 막간차압 변화 그래프를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0042] 이하, 본 발명을 상세하게 설명한다.

[0044] 본 발명은 폐수가 생물 반응조 내에 침지된 분리막의 외부에서 내부로 유입되면서 정수되는 공정이 연속적으로 수행되는 상기 생물 반응조의 운전 방법을 제공한다(도 1 참조).

[0045] 본 발명 생물 반응조의 운전 방법은 생물 반응조 내 분리막의 막간차압을 모니터링하는 단계(100)를 포함한다.

[0046] 분리막(membrane)은 정밀여과(Microfiltration; MF) 막, 나노여과(Nanofiltration; NF)막, 한외여과(Ultrafiltration)막 또는 삼투막, 역삼투(Reverse osmosis; RO)막일 수 있으며, 처리 대상 폐수의 성질에 따라 임의로 선택될 수 있다.

[0047] 분리막의 형태는 평막 또는 중공사막일 수 있다.

[0048] 분리막은 평균 직경이 0.1 μ m 내지 10 μ m, 0.1 μ m 내지 9 μ m, 0.1 μ m 내지 8 μ m, 0.1 μ m 내지 7 μ m, 0.1 μ m 내지 6 μ m, 0.1 μ m 내지 5 μ m, 0.1 μ m 내지 4 μ m, 0.1 μ m 내지 3 μ m, 0.1 μ m 내지 2 μ m, 0.1 μ m 내지 1 μ m, 0.1 μ m 내지 0.9 μ m, 0.1 μ m 내지 0.8 μ m, 0.1 μ m 내지 0.7 μ m, 0.1 μ m 내지 0.6 μ m, 0.1 μ m 내지 0.5 μ m, 0.1 μ m 내지 0.4 μ m, 0.1 μ m 내지 0.3 μ m, 0.1 μ m 내지 0.2 μ m 또는 0.1 μ m 내지 0.1 μ m 인 공극을 포함하는 것일 수

있다.

- [0049] 분리막은 막 유효면적이 0.01m^2 내지 1m^2 , 0.01m^2 내지 0.9m^2 , 0.01m^2 내지 0.8m^2 , 0.01m^2 내지 0.7m^2 , 0.01m^2 내지 0.6m^2 , 0.01m^2 내지 0.5m^2 , 0.01m^2 내지 0.4m^2 , 0.01m^2 내지 0.3m^2 , 0.01m^2 내지 0.2m^2 , 0.01m^2 내지 0.1m^2 또는 0.01m^2 내지 0.05m^2 인 막일 수 있다.
- [0050] 용어 '막간차압(Transmembrane pressure; TMP)'은 원수와 처리수의 압력차를 의미한다.
- [0051] 막간차압은 막간차압 측정 센서를 이용하여 모니터링된 것일 수 있다.
- [0052] 본 발명 생물 반응조의 운전 방법은 모니터링된 분리막의 막간차압이 소정의 기준에 도달하면 분리막 내부에 램노리피드를 주입하여 램노리피드가 상기 분리막의 내부에서 외부로 통과되도록 함으로써 상기 분리막을 세척하는 단계(200)를 포함한다.
- [0053] 소정의 기준은 막간차압이 모니터링된 시점을 기준으로 막간차압이 1kPa 내지 10kPa, 2kPa 내지 9kPa, 3kPa 내지 8kPa, 4kPa 내지 7kPa 또는 5kPa 내지 6kPa 상승한 경우일 수 있다.
- [0054] 분리막의 막간차압이 소정의 기준에 도달하면 램노리피드를 상기 생물 반응조 내의 혼합액 부유물질(Mixed liquor suspended solids; MLSS) 1mg 당 0.001mg 내지 0.1mg, 0.002mg 내지 0.09mg, 0.003mg 내지 0.08mg, 0.004mg 내지 0.07mg, 0.005mg 내지 0.06mg, 0.006mg 내지 0.05mg, 0.007mg 내지 0.04mg, 0.008mg 내지 0.03mg, 0.009mg 내지 0.02mg, 0.01mg 내지 0.018mg의 양으로 상기 분리막 내부에 주입할 수 있다.
- [0055] 분리막의 막간차압이 소정의 기준에 도달하면 램노리피드를 상기 생물 반응조 내의 휘발성혼합액부유물(Mixed liquor volatile suspended solids; MLVSS) 1mg 당 0.001mg 내지 0.1mg, 0.002mg 내지 0.09mg, 0.003mg 내지 0.08mg, 0.004mg 내지 0.07mg, 0.005mg 내지 0.06mg, 0.006mg 내지 0.05mg, 0.007mg 내지 0.04mg, 0.008mg 내지 0.03mg, 0.009mg 내지 0.02mg, 0.01mg 내지 0.015mg 또는 0.01mg 내지 0.013mg의 양으로 상기 분리막 내부에 주입할 수 있다.
- [0056] 분리막 내부에 주입되는 램노리피드의 양이 너무 적으면 분리막의 오염물질(예를 들어, 바이오 파울링 또는 바이오 필름)의 저장 효과가 우수하지 않고, 분리막 내부에 주입되는 램노리피드의 양이 너무 많으면 분리막 내부에서 램노리피드로 인한 막오염이 발생할 가능성이 높은 문제점이 있다. 따라서, 활성슬러지로 인한 막오염을 저장하기 위해 분리막 내부에 주입되는 램노리피드의 최적의 주입량이 산정될 필요성이 있다.
- [0057] 본 발명 분리막 내부에 램노리피드를 주입하여 분리막을 세척하는 단계(200)는 분리막 내에 존재하는 처리수를 상기 생물 반응조 외부로 유출시키지 않는 것일 수 있다. 즉, 램노리피드의 주입이 계속될 때는 분리막 내부로부터 처리수를 수득하지 않는 것일 수 있다.
- [0058] 진술한 본 발명 분리막 내부에 램노리피드를 주입하여 분리막을 세척하는 단계(200)는 여러 번 반복될 수 있다.
- [0059] 본 발명 분리막 내부에 램노리피드를 주입하여 분리막을 세척하는 단계(200)에서 분리막 내부에 램노리피드를 주입하기 위해 중력주입방식을 이용할 수 있다. 즉, 별도의 펌핑이나 압력을 가하지 않고 오로지 중력에 의해 램노리피드를 주입할 수 있으며, 이 경우 분리막의 막오염 현상을 효과적으로 저감시킬 수 있다. 한편, 실제 공정에서 사용하는 CIP(Cleaning in Place)방식을 이용해 램노리피드를 주입하게되면 생물 반응조 내 활성슬러지로 인한 파울링은 저감될 수 있으나, 분리막 내부에 램노리피드가 쌓여 막오염 현상이 나타날 가능성이 있다.
- [0060] 본 발명 생물 반응조의 운전 방법은 분리막 내부 용액의 표면장력이 소정의 범위에 도달하면 상기 램노리피드의 주입을 중단하고 처리수를 생물 반응조 외부로 유출시키는 단계(300)를 더 포함할 수 있다.
- [0061] 소정의 범위는 분리막 내부 용액의 표면장력이 물의 표면장력과 동일하거나 동일하다고 볼 수 있는 정도에 도달하는 경우일 수 있다.
- [0062] 예를 들어, 상기 소정의 범위는 분리막 내부 용액의 표면장력이 20°C 내지 30°C 온도 조건에서 60 dyne/cm 내지 90 dyne/cm, 63 dyne/cm 내지 80 dyne/cm 또는 65 dyne/cm 내지 75 dyne/cm인 경우일 수 있다.
- [0063] 분리막 내부의 표면장력이 물의 표면장력과 동일하거나 동일하다고 볼 수 있는 정도에 도달하는 경우, 분리막 내부로 주입된 램노리피드 대부분이 분리막 외부로 확산된 것으로 볼 수 있어, 램노리피드의 확산을 위한 시간이 추가로 필요하지 않을 수 있다. 따라서, 분리막 내부의 표면장력이 물의 표면장력과 동일하거나 동일하다고 볼 수 있는 정도에 도달하는 경우 램노리피드의 주입을 중단하고, 분리막 내부에 존재하는 처리수를 생물 반응

조의 외부로 유출시킬 수 있다.

- [0064] 본 발명 생물 반응조 운전 방법은 분리막 내부 용액의 표면장력이 소정의 범위에 도달하면 상기 람노리피드의 주입을 중단하고 처리수를 생물 반응조 외부로 유출시키는 단계(300)를 포함함으로써, 분리막의 오염을 저감하는 효과를 나타냄과 동시에 저비용으로 공정을 운전하며 처리수를 얻을 수 있는 효과를 나타낼 수 있다.
- [0065] 또한, 본 발명은 생물 반응조 내에 침지된 분리막의 오염을 저감시킬 수 있는 수처리 시스템(1000)을 제공한다(도 2 참조).
- [0066] 본 발명 수처리 시스템(1000)은 폐수를 주입하기 위한 유입 펌프(610); 유입 펌프(610)에 의해 주입된 폐수가 활성슬러지에 침지된 후 분리막(710)을 통과하도록 구성된 생물 반응조(700); 분리막(710)의 내부와 연통되며 분리막(710)을 통과한 처리수를 생물 반응조(700) 외부로 유출시키기 위한 유출 펌프(630); 분리막(700)의 막간 차압을 측정하는 센서(800); 및 센서(800)로부터 람노리피드를 분리막 내부로 공급하는 람노리피드 저장소(900)를 포함할 수 있다.
- [0067] 분리막(710)은 정밀여과(Microfiltration; MF) 막, 나노여과(Nanofiltration; NF)막, 한외여과(Ultrafiltration)막 또는 삼투막, 역삼투(Reverse osmosis; RO)막일 수 있으며, 처리 대상 폐수의 성질에 따라 달라질 수 있다.
- [0068] 분리막(710)의 형태는 평막 또는 중공사막일 수 있다.
- [0069] 분리막(710)은 평균 직경이 0.1 μ m 내지 10 μ m, 0.1 μ m 내지 9 μ m, 0.1 μ m 내지 8 μ m, 0.1 μ m 내지 7 μ m, 0.1 μ m 내지 6 μ m, 0.1 μ m 내지 5 μ m, 0.1 μ m 내지 4 μ m, 0.1 μ m 내지 3 μ m, 0.1 μ m 내지 2 μ m, 0.1 μ m 내지 1 μ m, 0.1 μ m 내지 0.9 μ m, 0.1 μ m 내지 0.8 μ m, 0.1 μ m 내지 0.7 μ m, 0.1 μ m 내지 0.6 μ m, 0.1 μ m 내지 0.5 μ m, 0.1 μ m 내지 0.4 μ m, 0.1 μ m 내지 0.3 μ m, 0.1 μ m 내지 0.2 μ m 또는 0.1 μ m 내지 0.1 μ m 인 공극을 포함할 수 있다.
- [0070] 분리막(710)은 막 유효면적이 0.01m² 내지 1m², 0.01m² 내지 0.9m², 0.01m² 내지 0.8m², 0.01m² 내지 0.7m², 0.01m² 내지 0.6m², 0.01m² 내지 0.5m², 0.01m² 내지 0.4m², 0.01m² 내지 0.3m², 0.01m² 내지 0.2m², 0.01m² 내지 0.1m² 또는 0.01m² 내지 0.05m²일 수 있다.
- [0071] 분리막(710)은 생물 반응조(700) 내부에 한 개 또는 두 개 이상 포함될 수 있다.
- [0072] 람노리피드 저장소(900)는 생물 반응조(700)의 상부에 위치할 수 있다.
- [0073] 람노리피드 저장소(900)가 생물 반응조(700)의 상부에 위치함으로써, 람노리피드 주입 밸브(970)가 열리면 람노리피드 저장소(900)에 저장된 람노리피드는 중력에 의해 분리막(710) 내부로 공급될 수 있다.
- [0074] 본 발명 수처리 시스템(1000)은 센서(800)로부터 측정된 막간차압이 소정의 기준에 도달하면 람노리피드가 상기 분리막(710) 내부로 공급되도록 제어하고, 분리막(710) 내부의 표면장력이 소정의 범위에 도달하면 람노리피드가 분리막(710) 내부로 공급되는 것을 멈추고 유출 펌프(630)를 작동시켜 분리막(710) 내부의 처리수를 유출시키도록 제어하는 제어부(990)를 더 포함할 수 있다.
- [0075] 본 발명 수처리 시스템(1000)은 측정된 막간 차압이나 표면장력 값에 기초하여 분리막 내부로 람노리피드의 공급을 제어함으로써, 분리막의 오염을 저감하는 효과를 나타냄과 동시에 저비용으로 공정을 운전하면서 처리수를 생산할 수 있다.
- [0076] 제어부(990)는 분리막(710)의 막간차압과 분리막(710) 내부의 표면장력에 따라 람노리피드 주입 밸브(970)의 개폐를 조절할 수 있다.
- [0077] 본 발명 수처리 시스템(1000)은 생물 반응조(700) 내 혼합액 부유물질의 농도를 측정하는 MLSS 측정기(730)를 더 포함할 수 있다.
- [0078] 본 발명 수처리 시스템(1000)은 MLSS 측정기(730)로 측정된 생물 반응조(700) 내 혼합액 부유물질의 농도에 따라, 분리막(710) 내부로 공급되는 람노리피드의 농도를 조절하기 위해 람노리피드 저장소(900)로 증류수를 공급하는 증류수 탱크(910); 및 람노리피드 저장소(900)로 람노리피드를 공급하는 람노리피드 탱크(930)를 더 포함할 수 있다.
- [0079] 즉, 람노리피드 저장소(900)에는 람노리피드 원액 또는 증류수와 람노리피드가 혼합된 람노리피드 희석 용액이

담겨있을 수 있으며, 람노리피드 저장소(900)에 담겨진 람노리피드 원액 또는 람노리피드 희석 용액을 분리막 내부로 공급하면서, 결과적으로 람노리피드를 공급하게 되는 것이다.

- [0080] 본 발명 수처리 시스템(1000)은 생물 반응조(700) 내의 혼합액 부유물질 1mg 당 분리막 내부로 주입되어야 하는 람노리피드의 양이 미리 저장된 저장부를 더 포함할 수 있다.
- [0081] 예를 들어, 저장부에 생물 반응조(700) 내의 혼합액 부유물질 1mg 당 1mg 당 0.001mg 내지 0.1mg, 0.002mg 내지 0.09mg, 0.003mg 내지 0.08mg, 0.004mg 내지 0.07mg, 0.005mg 내지 0.06mg, 0.006mg 내지 0.05mg, 0.007mg 내지 0.04mg, 0.008mg 내지 0.03mg, 0.009mg 내지 0.02mg, 0.01mg 내지 0.018mg의 람노리피드가 주입되도록 미리 저장되어 있을 수 있다.
- [0082] 예를 들어, 저장부에 생물 반응조(700) 내의 휘발성혼합액부유물 1mg 당 1mg 당 0.001mg 내지 0.1mg, 0.002mg 내지 0.09mg, 0.003mg 내지 0.08mg, 0.004mg 내지 0.07mg, 0.005mg 내지 0.06mg, 0.006mg 내지 0.05mg, 0.007mg 내지 0.04mg, 0.008mg 내지 0.03mg, 0.009mg 내지 0.02mg, 0.01mg 내지 0.015mg 또는 0.01mg 내지 0.013mg의 람노리피드가 주입되도록 미리 저장되어 있을 수 있다.
- [0083] 본 발명 수처리 시스템(1000)은 MLSS 측정기(730)로 측정된 혼합액 부유물질의 농도에 따라 람노리피드 저장소(900) 내 람노리피드의 농도를 조절하는 농도제어부(950)를 더 포함할 수 있다.
- [0084] 농도제어부(950)는 상기 저장부에 미리 저장된 람노리피드의 양이 분리막 내부로 공급될 수 있도록, MLSS 측정기(730)로 측정된 혼합액 부유물질의 농도에 따라 람노리피드 저장소(900) 내부 람노리피드의 농도를 조절할 수 있다.
- [0085] 농도제어부(950)는 MLSS 측정기(730)로 측정된 혼합액 부유물질의 농도에 따라 람노리피드 저장소(900)로 공급되는 증류수의 공급량 및 람노리피드 저장소(900)로 공급되는 람노리피드의 공급량을 조절할 수 있다.
- [0086] 본 발명 수처리 시스템(1000)은 생물 반응조(700) 내에 산소를 발생시키는 산소발생기(750)를 더 포함할 수 있다.
- [0087] 산소발생기(750)는 당업계에서 분리막 생물 반응조에 사용하는 산소발생기를 제한 없이 사용할 수 있다.
- [0089] 이하, 본 발명을 구체적으로 설명하기 위해 실시예를 들어 상세하게 설명하기로 한다.

[0091] 실험 재료

- [0092] 생물 반응조는 유효용적 6L의 아크릴로 제작된 반응조를 사용하였다. 그 구조는 유입수를 주입시키는 유입 펌프와 처리수를 배출시켜주는 유출 펌프, 반응조 내부의 공기주입을 해주는 산소발생기, 분리막의 막간차압을 모니터링 하는 TMP 센서, 생물반응조 내부에 침지되어 있는 평판형 막 모듈을 포함한다. 또한, 연속적인 유입수 주입으로 인한 반응조 내부의 슬러지가 넘치는 것을 막기 위해 유입수 펌프에 수위 조절 센서를 연결하였다. 수위 조절센서는 수위가 일정 이상 상승하게 되면 유입수 펌프의 가동을 멈춰 수위를 조절할 수 있다(도 3 및 4 참조).
- [0093] 구체적으로, 분리막은 YUASA Co.(Japan) 제조된 MF(Microfiltration) 평막을 사용하였다. 막의 유효 면적은 $0.1\text{m}^2/\text{module}$ 이고 막 표면은 친수성으로 코팅되어 있으며, 막의 공칭공경은 $0.4\ \mu\text{m}$ 이다. 사용된 막의 세부사항은 하기 표 1에 나타내었다.

표 1

구분	세부사항
막의 재질	PE (Polyethylene)
막의 유효면적	0.1m^2
크기	(넓이 240mm) x (높이 340mm) x (두께 7.5mm)
공칭공경	$0.4\ \mu\text{m}$
운전 Flux 범위	$0.3 \sim 0.5\ \text{m/day}$
운전 온도 범위	$2 \sim 38^\circ\text{C}$
운전 압력 범위	$-4.9 \sim 0\text{kPa}$

운전 pH 범위	3 ~ 10
----------	--------

[0095] 활성슬러지는 서울시 J 물재생 센터에 있는 A20공정의 호기조에서 채취한 활성슬러지를 사용하였다. 채취한 활성슬러지에 섞인 잡물을 거르고 활성슬러지만을 추출하기 위해 실험실에서 2mm 눈금 채로 3회 거른 후 침전시켰다. 그 후 상등수를 제거하는 작업을 3회 반복하여 기름성분과 기타 불순물들을 제거하였다. 앞서 전처리를 거친 활성슬러지는 12시간 이상 폭기 시켜 활성슬러지의 활성도를 유지하고 안정화시켜 MLSS 농도를 각 실험에 맞게 맞추어 반응조 안에서 식중하였다. 분리막 생물 반응조에 주입한 유입하수는 탄소원으로 글루코스($C_6H_{12}O_6$)를 질소원으로는 탄산 암모늄(NH_4HCO_3), 인산원으로 $Na_2H_2PO_4$ 를 포함하는 합성폐수를 제조하였다. 그 외에, 알칼리도를 유지하기 위해 $NaHCO_3$ 등을 사용하였다. 구체적인 합성 폐수의 구성성분 및 함량을 하기 표 2에 나타냈다.

표 2

구성성분	농도	투여량
Carbon Source($C_6H_{12}O_6$)	300~300 mg COD/L	22.5g/75L
$NaHCO_3$	107 mg $CaCO_3$ /L	22.5g/75L
NH_4HCO_3	211.6 mg/L	15.87g/75L
NaH_2PO_4	72 mg/L	80mL/75L
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	35 mg/L	
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	5 mg/L	
NaCl	180 mg/L	
KCl	30 mg/L	
Yeast extraction	1 mg/L	

[0097] 람노리피드는 *Pseudomonas Aeruginosa*에서 생산되고 추출된 생물 계면활성제로, Technologies사에서 제조된 람노리피드(90% pure Rhamnolipids, solid/granular)를 사용하였다. 본 발명 MBR 공정은 유입수 펌프를 이용하여 연속적으로 유입수를 생물 반응조 내부로 주입시켜 주입된 폐수가 분리막을 통과하도록 하고, 분리막 내부에 연결된 유출수 펌프를 이용하여 처리수를 생산할 수 있다.

[0099] 중력주입방식을 이용한 람노리피드의 주입 실험

[0100] 별다른 펌프나 압력을 이용하지 않고 중력주입방식을 통해 분리막 내부로 람노리피드를 주입하면서 분리막 오염 제어 효과를 확인하였다. 공정 초기에 측정된 막간차압을 기준으로 막간차압이 5kpa 상승한 경우 람노리피드를 주입하기 시작하였다.

[0101] 람노리피드의 주입 방식은 아래와 같다. MLSS 측정장치로 측정된 반응조의 MLSS 값에 기초하여 Computer로 필요한 람노리피드의 양을 산출한다. 이후 람노리피드 저장소로 증류수 탱크와 람노리피드 Bulk 탱크에서 필요한 양을 공급한다. 람노리피드를 주입하기 전 유입수 펌프와 유출수 펌프, 산소발생기(Aerator)의 가동을 정지하고, 처리수 라인의 밸브를 잠가 MBR공정을 정지시켰다. 람노리피드 저장소에 있던 람노리피드 용액은 람노리피드 주입밸브가 열림과 동시에 중력에 의해 분리막 내부로 주입된다. 즉, 생물 반응조 내 MLSS 농도에 따라 농도가 다른 람노리피드 용액을 만들고 이를 주입할 수 있다.

[0103] 1. 분리막 오염 저감 효과를 나타내는 최적 주입농도 선별

[0104] 1-1. 주입농도 설정

[0105] 각 반응조 마다 람노리피드의 주입농도를 다르게 하여 막간차압을 모니터링 하였다. 반응조 내부의 활성슬러지는 서울J 물재생센터의 A20공법에 호기조 활성슬러지를 채취하여 사용하였으며, MLSS 농도는 4500mg/L로 설정하였다. 유입수는 인공하수를 제조하여 사용하였으며, 고농도의 하수인(SCOD 300mg/L, T-N 40mg/L NH_3 30mg/L)로 설정하였다.

[0106] 주입되는 람노리피드는 임계 미셀농도의 10배인 0.03%(300mg/L), 100배인 0.3%(3000mg/L)로 설정하여 각각의 반응조에 500mL씩 6일 간격으로 30일 동안 주입하였다. 30일동안 반응조에 주입된 람노리피드의 양은 비교예 1에서 750mg, 실시예 1에서 7500mg이고, 1회 주입 시 1mg MLVSS당 람노리피드의 주입량은 0.0074mg, 0.074mg이었다. 반응조 내 온도 20~24 °C, pH 6.8~7.4, 포기 유량 3L/분 조건에서 실험을 수행하였다.

[0107] 하기 표 3은 중력주입방식을 이용한 람노리피드의 주입농도를 설정하기 위해 수행한 실험 조건을 나타낸다.

표 3

	대조군 1	비교예 1	실시예 1
람노리피드의 농도	-	0.03%(300mg/L)	0.3%(3000mg/L)
주입량	-	람노리피드 0.0074mg/MLVSS 1mg	람노리피드 0.074mg/MLVSS 1mg

[0110] 1-2. 람노리피드 주입에 따른 수질 성분 분석

[0111] 람노리피드의 주입이 반응조 내 미생물의 활동에 영향을 미치는지 여부를 확인하기 위해 주 3회 수질분석을 실시하여 반응조 내부 미생물들의 활성도와 MBR공정의 처리효율을 모니터링하였다. 구체적으로 대조군 1, 비교예 1, 실시예 1에서 COD, 암모니아성 질소 제거율을 비교하였고, 모든 반응조에서 97% 이상의 제거율을 보였다(도 5참조). 이를 통해, 미생물이 유입수를 처리하는 과정에서 람노리피드가 주입되더라도 물질대사와 미생물의 활동에 영향을 거의 주지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

[0113] 1-3. 람노리피드 주입 농도에 따른 막간차압 측정

[0114] 람노리피드 주입시점부터 1분마다 한번씩 막간차압을 측정하였고, 30일 동안 반응조를 운영하면서 계속적으로 관찰하였다.

[0115] 각 반응조에서 사용된 분리막의 고유 저항값에 따라 정규화하여 막간차압의 시작 기준값을 통일 시키고 막간차압의 변화를 확인하였다. 도 6에 나타난 바와 같이 람노리피드를 주입하지 않은 대조군 1에서 가장 빠르게 막간차압이 상승하였다. 그 다음으로 비교예 1에서 막간차압이 상승하였고, 실시예 1에서는 막간차압이 초기 값과 비슷한 값으로 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

[0117] 1-4. 람노리피드 주입 농도에 따른 활성슬러지 EPS 농도 변화 측정

[0118] 활성슬러지의 막오염 형성에 영향을 주는 가장 큰 요인 중에 하나인 EPS(Extracellular polymeric substances)를 분석함으로써 람노리피드의 주입 농도에 따른 EPS 생성 및 저감에 대한 영향을 알아보았다.

[0119] EPS는 활성슬러지 샘플에서 EPS를 Loosely Bound EPS와 Tightly Bound EPS로 나누어 추출하였고 추출한 샘플을 단백질과 탄수화물 분석을 통해 각각 분석 하였다. EPS값은 매번 분석 할 때 마다 측정값이 일정하게 나타나지 않기 때문에 누적 합(cummulative sum)을 이용하여 대조군 1에서 측정한 EPS의 값을 0으로하여 기준을 잡고 비교예 1 및 실시예 1에서의 EPS 변화값을 확인하였다.

[0120] 도 7은 단백질과 탄수화물의 변화를 합한 Loosely Bound EPS 그래프와 Tightly Bound EPS 그래프를 나타낸다. 람노리피드를 주입하지 않은 대조군 1에 비해 비교예 1 및 실시예 1에서 Loosely Bound EPS와 Tightly Bound EPS의 값이 감소하였으며, 특히 실시예 1의 농도로 주입하는 경우 비교예 1에 비해 Loosely Bound EPS와 Tightly Bound EPS의 값이 현저히 감소한 것을 확인할 수 있었다.

[0122] 1-5. 람노리피드 주입 농도에 따른 Specific cake resistance 측정

[0123] 람노리피드의 주입이 종료된 후(30일 경과 후), 활성슬러지에 의한 막오염 특성을 분석하기 위해 반응조 내 활성슬러지를 채취하여 Dead end filtration Test를 진행하였다.

[0124] 구체적으로 대조군 1, 비교예 1 및 실시예 1의 반응조에서 활성 슬러지 샘플을 채취한 후, 4°C에서 하루 냉장보

관 하였다. 고유 저항값(R_m)을 알고 있는 분리막을 이용하고 Amicon cell에 넣은 후 각 활성슬러지 샘플을 200mL를 투과시켜 실험을 진행하였다. Dead end filtration test에서 사용된 막간차압은 15kpa이었다.

[0125] 활성슬러지를 분리막에 통과 시켰을 때 측정된 플럭스 값을 정규화한 그래프를 도 8에 나타내었다. 그 결과 실시예 1의 플럭스 감소가 가장 적게 저감되는 것을 확인하였다. 플럭스 값을 토대로 각 슬러지의 총 저항값(R_T)을 산출하였다. 반응조의 활성슬러지 케이크 저항값(R_c)은 하기 수학적 식 1로 계산될 수 있다.

[0126] [수학적 식 1]

[0127]
$$R_c = R_T - R_m$$

[0128] 단위면적당 케이크 질량(m) 값은 실제 활성슬러지를 통과시킨 후 막 표면에 쌓여있는 Cake layer 질량을 구하여 Dead end filtration에 사용한 막 유효 면적을 나누어 산출하였다. 하기 표 4에 대조군 1, 비교예 1 및 실시예 1에서의 총 저항값(R_T), 막 고유 저항값(R_m), 활성슬러지 케이크 저항값(R_c) 및 단위 면적당 케이크 질량(m) 값을 나타내었다.

표 4

[0129]

	$R_T \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$R_m \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$R_c \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$m \text{ (kg/m}^2\text{)}$
대조군 1	1.34×10^{12}	9.57×10^{10}	1.24×10^{12}	0.606
비교예 1	1.20×10^{12}	9.23×10^{10}	1.11×10^{12}	0.634
실시예 1	2.03×10^{12}	1.68×10^{11}	1.86×10^{12}	1.348

[0130] R_c 값과 m 값을 이용하여 활성슬러지 Cake layer 비저항(α) 값을 산출하였으며, 이를 하기 표 5에 나타내었다.

표 5

[0131]

	$\alpha \text{ (m/kg)}$
대조군 1	2.045×10^{12}
비교예 1	1.743×10^{12}
실시예 1	1.379×10^{12}

[0132] 산출된 활성슬러지 케이크 비저항값을 비교했을 때 실시예 1은 대조군 1에 비해 1.48배 낮은 케이크 비저항값을 나타내었고, 비교예 1에 비해 1.17배 낮은 값을 나타내었다. 결과적으로, 램노리피드를 0.3% 농도(0.074mg/MLVSS 1mg씩 6일에 한번 주입)하는 경우 막오염 저감 효과가 보다 우수해지는 것을 확인할 수 있었다.

[0134] 2. 최적 주입 양 및 주입 주기 설정 실험

[0135] 0.3% 농도 램노리피드의 주입 양과 주입 주기를 조절하여 막오염 저감 효과를 나타내는 최적의 조건을 찾기 위해 주입 주기, 1회 주입 양을 다르게 설정하여 실험을 진행하였다.

[0136] 램노리피드의 최종 주입양은 전술한 바와 동일하게 하고, 주입 주기를 매일 주입하는 방식과 일주일 마다 한번씩 주입하는 방식을 비교하여 효과적인 주입 주기를 찾기 위한 실험을 진행하였다. 주입방식은 중력주입주입방식을 이용하였다.

[0138] 2-1. 램노리피드의 1회 주입 양 조절

[0139] 전술한 “1. 분리막 오염 저감 효과를 나타내는 최적 주입농도 선별” 실험에서 램노리피드의 주입양 및 주입 주기만 다르게 그 외의 조건 및 방법을 동일하게 하여 생물 반응조를 운전한 실시예 2의 효과를 확인하였다. 전술

한 바와 같이 공정 초기에 측정된 막간차압을 기준으로 막간차압이 5kPa 상승한 경우 람노리피드의 주입을 시작하였다.

[0140] 하기 표 6은 람노리피드의 최적 주입 양을 설정하기 위해 수행한 실험 조건을 나타낸다. 실시예 1은 6일에 한번씩 람노리피드를 0.074mg/MLVSS 1mg 주입하는 것이고, 실시예 2는 1일에 한번씩 람노리피드를 0.012mg/MLVSS 1mg 주입하는 것이다.

표 6

	대조군 1	실시예 1	실시예 2
람노리피드의 농도	-	0.3%(3000mg/L)	0.3%(3000mg/L)
주입량	-	람노리피드 0.074mg/MLVSS 1mg	람노리피드 0.012mg/MLVSS 1mg

[0142] 2-2. 람노리피드 주입 양에 따른 수질 성분 분석

[0143] 전술한 바와 같이 람노리피드의 주입이 반응조 내 미생물 활동에 영향을 미치는지 여부를 확인하기 위해 주 3회 수질분석을 실시하였고, 그 결과 값을 표 7에 나타내었다. 실시예 1처럼 실시예 2도 람노리피드 투입에 따른 미생물의 활성도 저하 현상 및 처리수질의 문제점이 나타나지 않았다.

표 7

Removal rate (%)	COD	NH ₄ ⁺ -N
대조군 1	95.66	99.26
실시예 1	96.95	99.53
실시예 2	95.22	99.13

[0146] 2-3. 람노리피드 주입 양에 따른 막간차압 측정

[0147] 람노리피드 주입시점부터 1분마다 한번씩 막간차압을 측정하였고, 30일 동안 반응조를 운영하면서 계속적으로 관찰하였다. 각 반응조에서 사용된 분리막의 고유 저항값에 따라 정규화하여 막간차압의 시작 기준값을 통일 시키고 막간차압의 변화를 확인하였다. 막간차압을 정규화한 그래프를 도 9에 나타내었다. 람노리피드를 주입하지 않은 대조군 1과 0.074mg 람노리피드/1mg MLVSS를 6일에 한 번씩 주입한 실시예 1에서 막간차압이 급격하게 상승한 반면, 람노리피드 0.012mg/MLVSS 1mg를 매일 주입한 실시예 2에서는 막간차압이 천천히 상승하며 유지되는 것을 확인하였다.

[0148] 특히, 실시예 1에서 람노리피드의 주입 2일째 되는 날부터 막간차압이 상승하고 상승된 상태로 유지되는 것을 확인하였는데, 이는 한번에 주입된 람노리피드가 시간에 따라 반응조 내부로 점차 확산됨으로써 활성슬러지 특성변화와 막오염 형성 저감에 영향을 준 것으로 해석될 수 있다. 실시예 2에서는 막간차압이 천천히 상승하여 주입 5일째 되는 날 막간차압이 실시예 1과 동일한 값을 나타내었다. 분리막의 막간차압이 35kpa에 도달하기 까지 걸린 시간을 비교 했을 때 실시예 2가 실시예 1에 비해 9 배 느리게 도달하였다.

[0150] 2-4. 람노리피드 주입 양에 따른 Specific cake resistance 측정

[0151] 위 1-4와 동일한 방법으로, R_c와 m값을 측정하였고, 그에 따른 케이크 비저항 값을 계산하였다. 하기 표 8에 대조군 1, 비교예 1 및 실시예 1에서의 활성슬러지 케이크 비저항(α) 값을 나타내었다.

표 8

	α (m/kg)
대조군 1	5.30 x 10 ¹²
실시예 1	2.28 x 10 ¹²

실시예 2	0.801×10^{12}
-------	------------------------

[0153] 표 8에 기재된 것 처럼, 실시예 2의 케이크 비저항 값이 실시예 1 보다 2 내지 3 배 낮게 측정되었다. 실험이 끝난 후 대조군 1, 실시예 1 및 실시예 2 반응조 안에 침지된 분리막을 꺼내 케이크 형성 정도를 관측하였다. 그 결과, 람노리피드를 0.012mg/MLVSS 1mg 주입한 실시예 2에서 케이크가 가장 적게 형성된 것을 육안으로 확인하였다(도 10 참조).

[0154] 위 결과들로부터 람노리피드가 한번에 과량 주입되는 경우 오히려 막오염 저감 효과가 떨어지는 것을 확인하였으며, 이는 과량의 람노리피드가 주입되면 분리막 내부에 람노리피드가 축적됨으로써 막오염을 발생시킨 것으로 해석할 수 있다.

[0155] 결과적으로, 분리막의 오염을 효과적으로 저감시키기 위해 적절한 양의 람노리피드를 주입해야 할 것이며, 실시예 2와 같이 MLVSS 1mg 당 람노리피드를 0.012mg 주입하는 경우 보다 우수한 막오염 저감 효과가 나타날 수 있다.

[0156] 반응조 내부 MLVSS 농도와 MLSS 농도를 측정하여 비례식을 이용해 MLSS 1mg 기준의 람노리피드 주입량(X, mg-RH/mg-MLSS)을 계산하였다.

[0157] 반응조 내부의 MLVSS 농도는 3375mg/L, MLSS 농도는 4500mg/L 이며, 하기 수학적 식 2로 계산한 결과 MLSS 양 기준의 람노리피드 주입량은 $X = 0.016 \text{ mg-람노리피드/mg-MLSS}$ 이었다.

[0158] [수학적 식 2]

[0159] $(3375\text{mg/L}) : (0.012\text{mg-람노리피드/mg-MLVSS}) = (4500\text{mg/L}) : (X)$

[0161] CIP (Cleaning in Place)방식을 이용한 람노리피드의 주입 실험

[0162] 중력주입방식이 막오염 저감 효과를 나타내기 위해 적합한 방식이라는 것을 확인하기 위해, 유동펌프를 이용해 분리막 내부로 람노리피드를 주입하여 비교실험을 수행하였다. 람노리피드 주입 방식과 주입 양을 제외하고는 중력주입방식과 동일한 조건으로 실험을 진행하였다.

[0164] 1. 주입농도 및 최적 주입 양 설정

[0165] 람노리피드 주입을 위해 실제 공정에서 사용하는 CIP 방식을 이용하였고, 주입주기는 반응조를 운영하는 동안 일일 단위로 매일 주입하였다.

[0166] CIP 방식을 적용하여 람노리피드를 분리막 내부로 주입하였을 때 물리적 세정에 의한 효과를 고려하기 위해, 대조군 2에는 증류수를 다른 반응조에 들어가는 람노리피드와 동일한 부피로 주입시켜주었다. 람노리피드를 주입하는 1시간 동안 반응조의 휴식기를 주어 람노리피드를 분리막 내부에서 반응조 내부로 확산되도록 하였다. 1시간 후 측정된 분리막 내부의 표면장력은 증류수의 표면장력과 유사하였다. 이는 분리막 내부에 주입된 람노리피드가 대부분 반응조로 확산되었다는 것을 의미한다.

[0167] 표 9는 중력주입방식을 이용한 람노리피드의 주입농도를 설정하기 위해 수행한 실험 조건을 나타낸다.

표 9

	대조군 2	비교예 2	비교예 3
람노리피드의 농도	-	0.03%(300mg/L)	0.3%(3000mg/L)
주입량	-	람노리피드 0.0012mg/MLVSS 1mg	람노리피드 0.012mg/MLVSS 1mg

[0169] 2. 막간차압 및 케이크 비저항 값 측정

[0170] 반응조 마다 막간차압의 변화를 30일동안 관찰하였고, 각 반응조에 사용한 분리막의 고유 저항값이 다르기에 막간차압의 변화를 비교하기 위해 정규화시킨 막간차압의 값을 이용하여 그래프로 나타내었다.

[0171] 도 11에 나타난 바와 같이, 대조군 2의 막간차압은 반응조를 운영한 25일 동안 가장 빠르게 상승하였다. 비교예

3의 막간차압은 천천히 상승하였으나, 25일째 되는 날 비교예 2보다 높은 값을 나타내었다. 비교예 2의 막간차압은 가장 늦게 상승하였고, 30일째 되는 날 비교예 3의 값과 동일해졌다. 이처럼 CIP 방식을 이용하는 경우 람노리피드의 주입 농도가 가장 높을 때 막오염이 빠르게 발생하는 현상을 관측하였다. 구체적으로 30일 기준 0.3%의 람노리피드를 주입한 비교예 3에서 대조군2 보다 5.33배 높은 막간차압이 관측되었다. 특히, 비교예 3은 주입 방식외에 다른 조건은 실시예 2와 동일함에도 불구하고 람노리피드를 주입하지 않은 대조군 보다 막간차압이 크게 상승한 것으로 보아, 중력주입방식으로 람노리피드를 주입하는 경우 CIP 방식을 이용해 주입하는 경우보다 막오염 저감 효과가 우수하다는 것으로 예측할 수 있다.

[0172] 또한, 활성슬러지로 인한 막오염 저감 효과를 확인하기 위해, 활성슬러지 케이크 비저항 값 방정식을 이용하여 V 와 t/V 사이의 선형회귀식을 구하고 그 기울기 값을 이용하여 케이크 비저항 값을 산출하였다. 산출된 케이크 비저항 값은 표 10에 기재된 바와 같다.

표 10

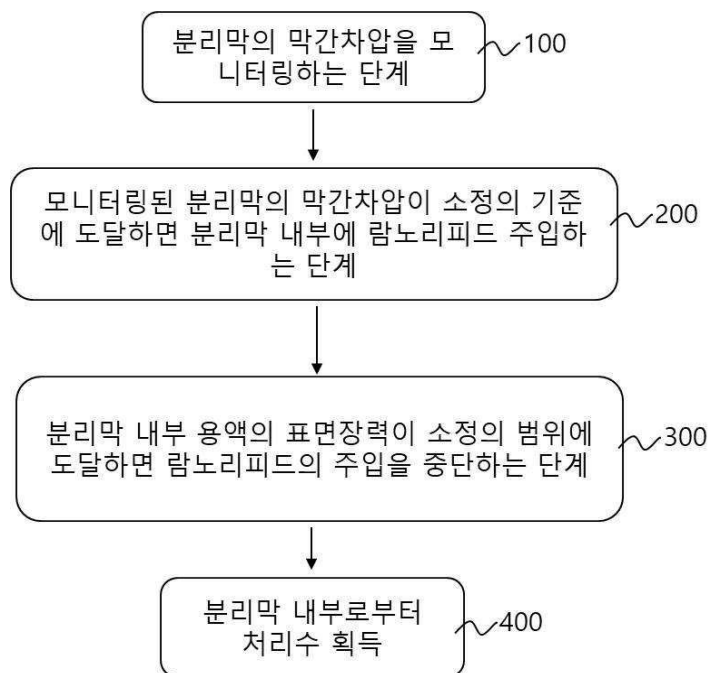
	α (m/kg)
대조군 2	3.24×10^{12}
비교예 2	2.71×10^{12}
비교예 3	2.35×10^{12}

[0174] 그 결과, 비교예 3의 케이크 비저항 값이 대조군 2의 케이크 비저항 값 보다 1.38배 낮게 산출되었다. 이러한 결과는 CIP 방식으로 람노리피드를 주입하는 경우 활성슬러지로 인한 막오염은 저감시킬 수 있다는 것을 의미한다.

[0175] 진술한 막간차압 측정 결과와 케이크 비저항 값 측정 결과를 모두 고려하면, CIP 방식을 이용하는 경우 활성슬러지로 인한 막오염은 저감될 수 있으나 분리막 내부에 주입된 람노리피드로 인해 막오염 현상이 나타날 수 있는 것으로 판단되었다. 이러한 결과를 통해, 통상적으로 사용되는 방식으로 주입하는 경우에 비해, 중력주입방식으로 람노리피드를 주입하는 경우 막오염 저감 효과가 우수하다는 것을 알 수 있었다.

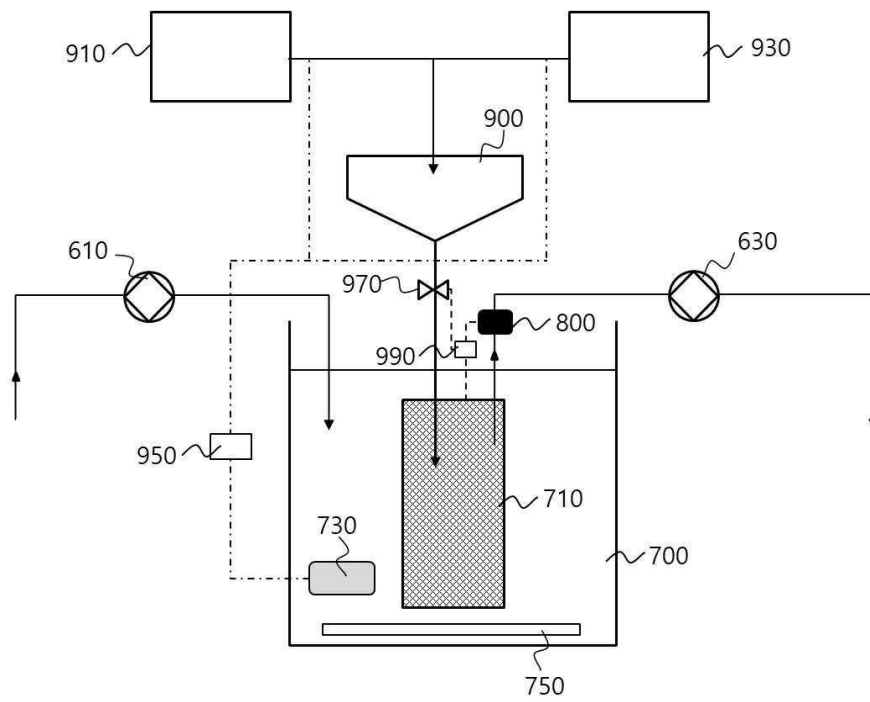
도면

도면1

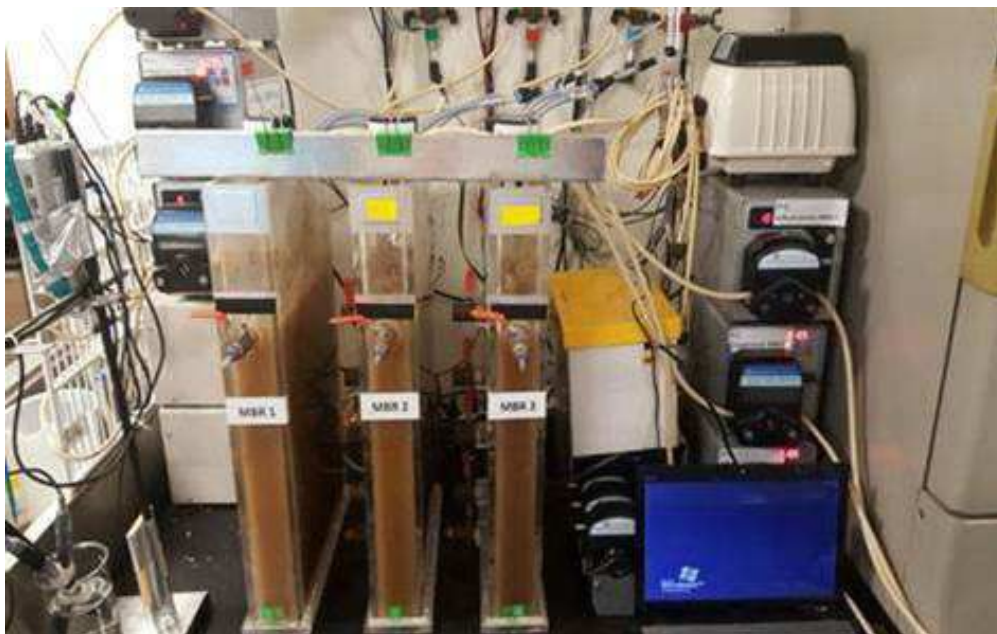


도면2

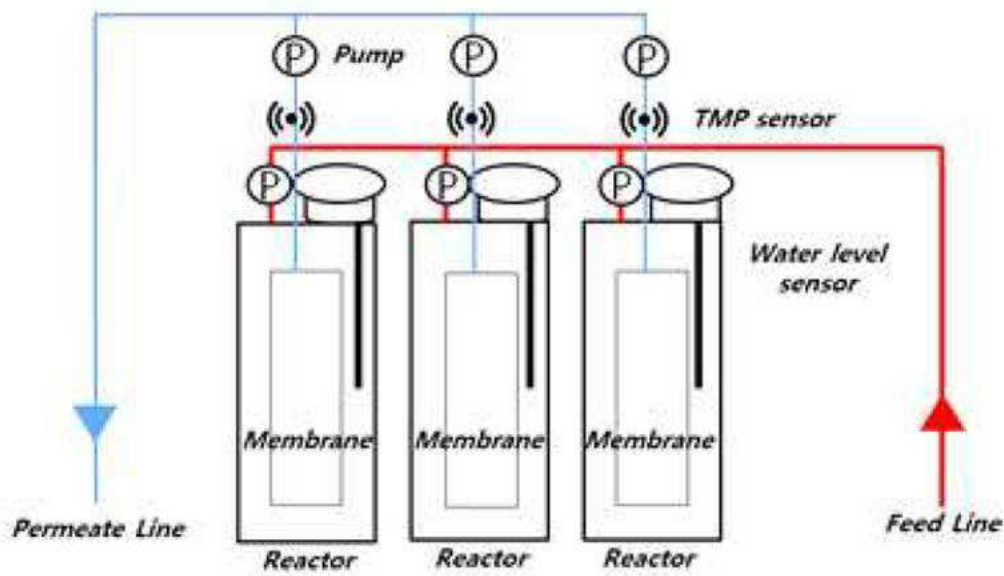
1000



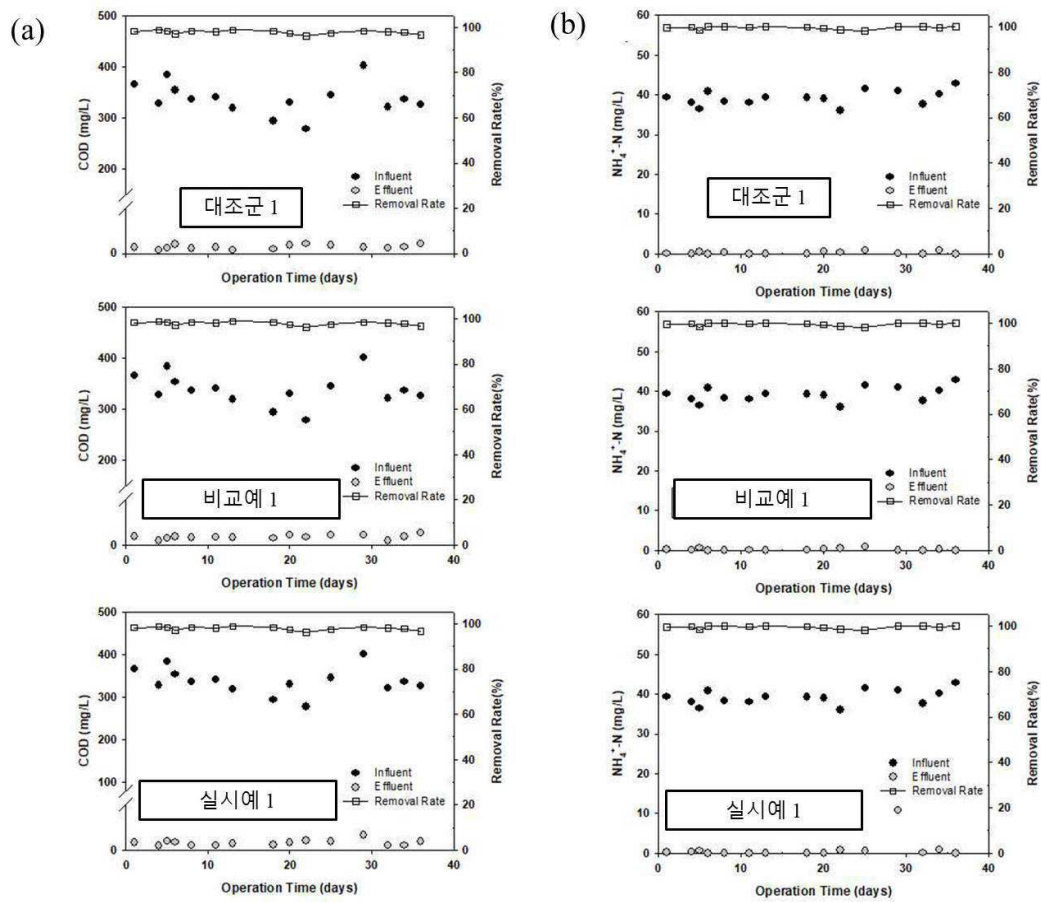
도면3



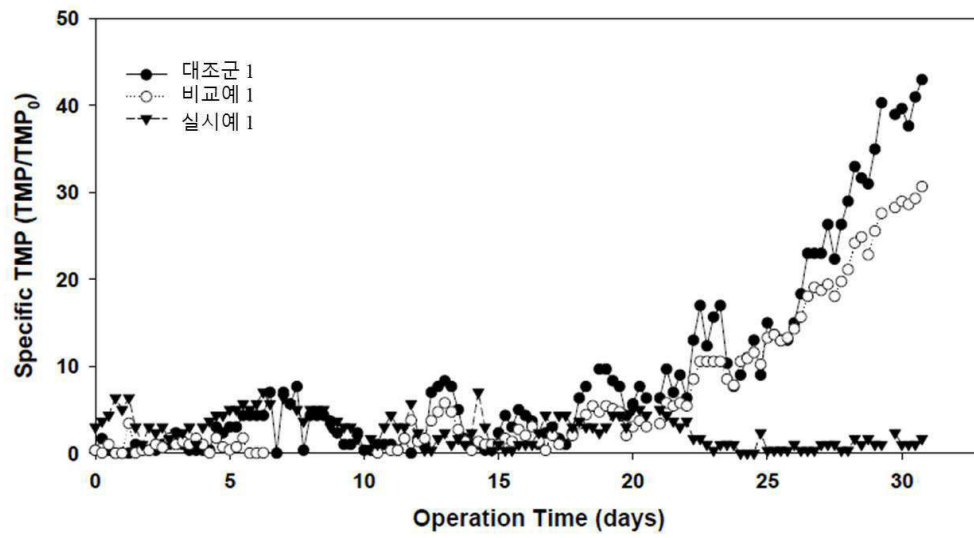
도면4



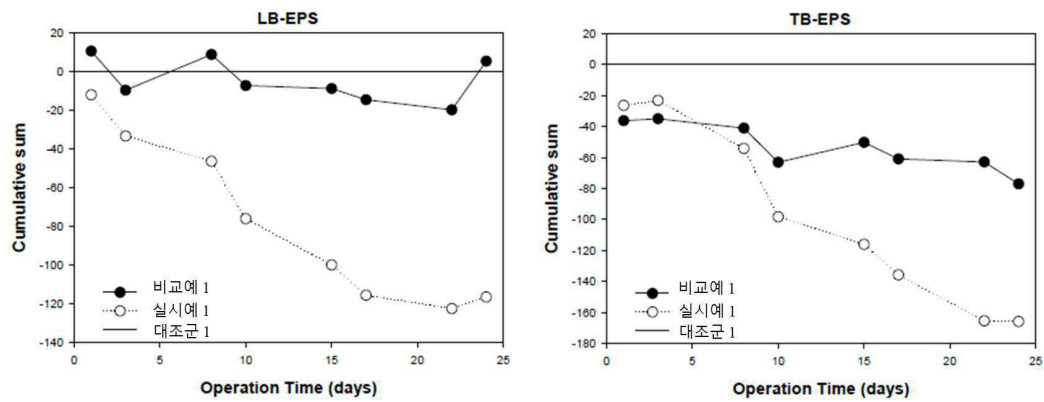
도면5



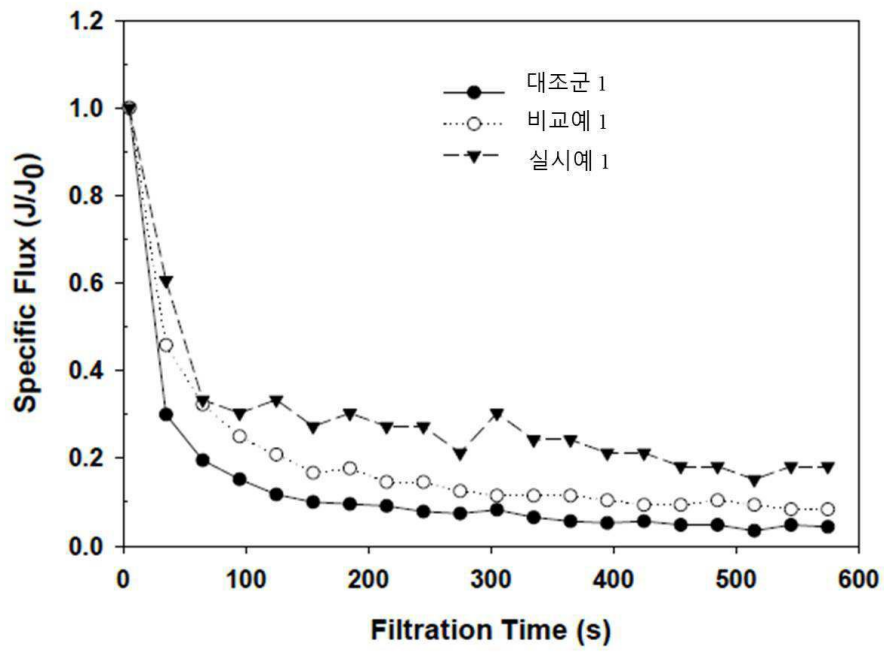
도면6



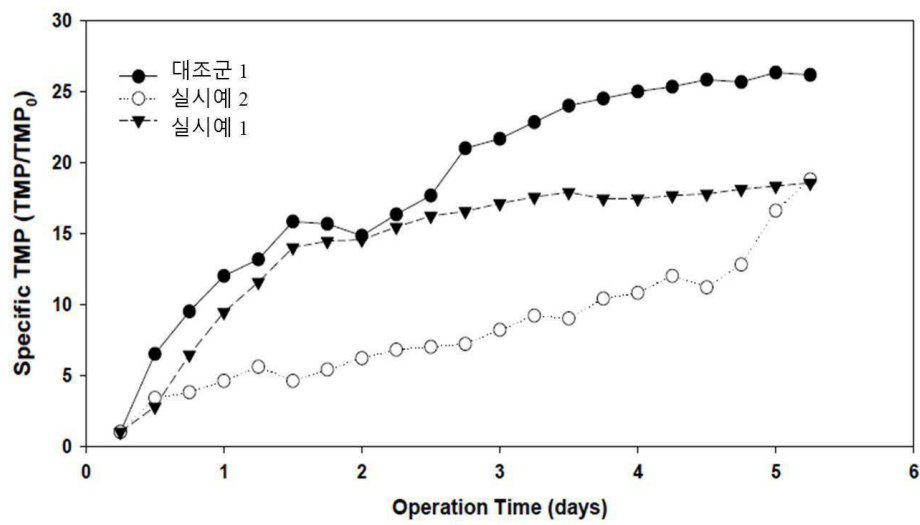
도면7



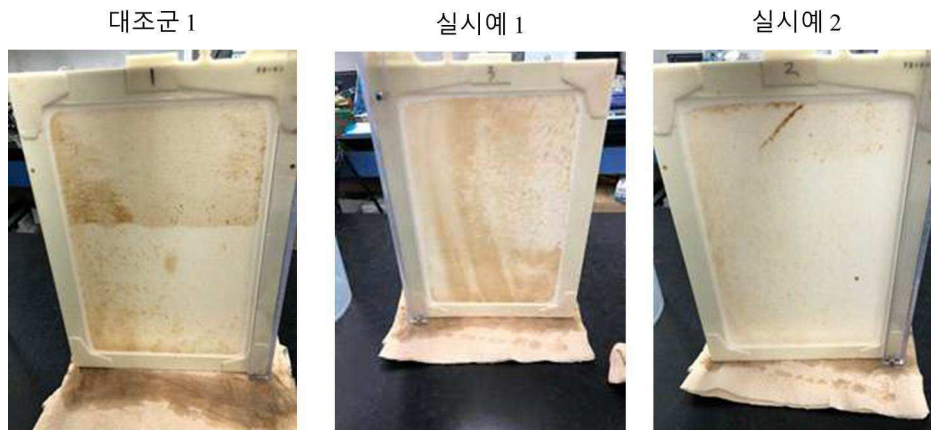
도면8



도면9



도면10



도면11

