



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년05월11일  
(11) 등록번호 10-2251254  
(24) 등록일자 2021년05월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B01D 65/02 (2006.01) B01D 61/00 (2006.01)  
C02F 1/44 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
B01D 65/02 (2013.01)  
B01D 61/005 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0151563  
(22) 출원일자 2019년11월22일  
심사청구일자 2019년11월22일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020170109332 A\*  
KR101972116 B1\*  
KR1020150140999 A  
KR1020140140362 A  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
세종대학교산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)  
(72) 발명자  
허진  
서울특별시 노원구 중계로 184, 107동 405호(중계동, 라이프청구신동아아파트)  
아프탑 빌랄  
서울시 성동구 송정12다길 19  
(74) 대리인  
특허법인리체

전체 청구항 수 : 총 18 항

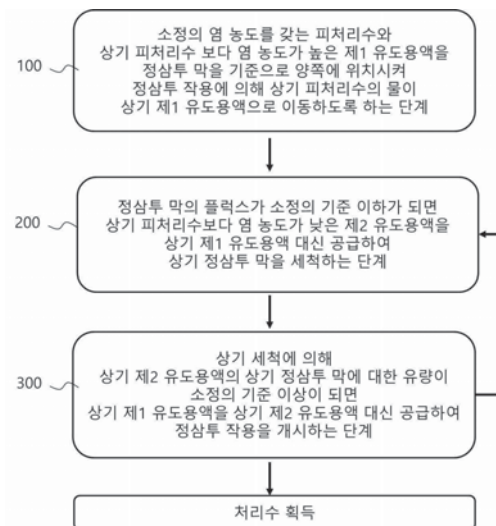
심사관 : 김경미

(54) 발명의 명칭 **오폐수 처리를 위한 간헐적 정삼투 방법 및 삼투 장치**

(57) 요약

본 발명은 오폐수 처리를 위한 간헐적 정삼투 방법에 대한 것으로, 보다 구체적으로는 소정의 염 농도를 갖는 피처리수와 상기 피처리수보다 염 농도가 높은 제1 유도용액을 정삼투 막을 기준으로 양쪽에 위치시켜 정삼투 작용에 의해 상기 피처리수의 물이 상기 제1 유도용액으로 이동하도록 하는 단계; 및 상기 정삼투 막의 플럭스가 소정의 기준 이하가 되면 상기 피처리수보다 염 농도가 낮은 제2 유도용액을 상기 제1 유도용액 대신 공급하여 상기 정삼투 막을 세척하는 단계를 포함함으로써 삼투막의 파울링을 줄이고 우수한 삼투 효과를 나타낼 수 있으며, 궁극적으로 저비용으로 효율적인 오폐수 처리가 가능하게 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류  
*C02F 1/445* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711087806
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원(R&D)
연구과제명	유기탄소 환경감식 연구실
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2019.03.01 ~ 2020.02.29

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

소정의 염 농도를 갖는 피처리수와 상기 피처리수보다 염 농도가 높은 제1 유도용액을 정삼투 막을 기준으로 양쪽에 위치시켜 정삼투 작용에 의해 상기 피처리수의 물이 상기 제1 유도용액으로 이동하도록 하는 단계; 및  
상기 정삼투 막의 플럭스가 소정의 기준 이하가 되면 상기 피처리수는 그대로 위치시키되, 상기 정삼투 막을 기준으로 상기 피처리수가 위치되는 영역과 다른 영역에 상기 피처리수보다 염 농도가 낮은 제2 유도용액을 상기 제1 유도용액 대신 공급하여 정삼투 작용에 의해 상기 정삼투 막을 세척하는 단계를 포함하는 오프수 처리를 위한 간헐적 정삼투 방법.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 세척에 의해 상기 제2 유도용액의 상기 정삼투 막에 대한 유량이 소정의 기준 이상이 되면 상기 제1 유도용액을 상기 제2 유도용액 대신 공급하여 정삼투 작용을 개시하는 단계를 더 포함하는 오프수 처리를 위한 간헐적 정삼투 방법.

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 소정의 기준은 상기 정삼투 막의 플럭스가 상기 제1 유도용액 투입 시점을 기준으로 10 내지 15% 이하 감소하는 시점인, 간헐적 정삼투 방법.

#### 청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 피처리수는 매립지 침출수인, 간헐적 정삼투 방법.

#### 청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 제1 유도용액은 NaCl 용액인, 간헐적 정삼투 방법.

#### 청구항 6

청구항 1에 있어서, 상기 제2 유도용액은 탈이온 증류수인, 간헐적 정삼투 방법.

#### 청구항 7

청구항 2에 있어서, 상기 소정의 기준 이상의 유량은 0.05 내지 0.2 mL/cm<sup>2</sup>인, 간헐적 정삼투 방법.

#### 청구항 8

청구항 2에 있어서, 상기 피처리수의 상기 염 농도가 5 내지 15 배가 될 때까지 상기 정삼투 막을 세척하는 단계와 상기 정삼투 작용을 개시하는 단계를 반복하는 것인, 간헐적 정삼투 방법.

**청구항 9**

삼투막에 의해 제1 영역 및 제2 영역으로 구분된 멤브레인 모듈;

상기 제1 영역에 피처리수를 공급하는 공급탱크;

상기 제2 영역에 상기 피처리수보다 염 농도가 높은 제1 유도용액을 공급하는 제1 유도용액 탱크;

상기 제2 영역에 상기 피처리수보다 염 농도가 낮은 제2 유도용액을 공급하는 제2 유도용액 탱크; 및

상기 삼투막의 상태 정보, 상기 피처리수의 염 농도 또는 상기 피처리수의 부피에 따라 상기 제1 유도용액 및 제2 유도용액의 공급을 조절하는 컨트롤러를 포함하는 오페수 처리용 삼투 장치.

**청구항 10**

청구항 9에 있어서, 상기 공급탱크와 상기 제1 영역 사이에 연결되고, 상기 피처리수를 상기 제1 영역으로 공급하는 제1 펌프;

상기 제1 유도용액 탱크와 상기 제2영역 사이에 연결되고, 상기 제1 유도 용액을 상기 제2 영역으로 공급하는 제2 펌프; 및

상기 제2 유도용액 탱크와 상기 제2영역 사이에 연결되고, 상기 제2 유도 용액을 상기 제2 영역으로 공급하는 제3 펌프;를 더 포함하는 오페수 처리용 삼투 장치.

**청구항 11**

청구항 9에 있어서, 상기 상태 정보는 상기 삼투막의 플럭스 변화 또는 상기 삼투막을 통과하는 제2 유도용액의 유량인 오페수 처리용 삼투 장치.

**청구항 12**

청구항 11에 있어서, 상기 삼투막의 플럭스 변화는 상기 제1 유도용액의 공급 시점을 기준으로 측정되는 것인, 오페수 처리용 삼투 장치.

**청구항 13**

청구항 9에 있어서, 상기 컨트롤러는 삼투막의 플럭스가 상기 제1 유도용액 공급 시점을 기준으로 10 내지 15% 이하로 감소되면 상기 제2 영역으로 상기 제2 유도용액을 공급하도록 하는 것인, 오페수 처리용 삼투 장치.

**청구항 14**

청구항 9에 있어서, 상기 컨트롤러는 삼투막에 대한 제2 유도용액의 유량이 0.05 내지 0.2 mL/cm<sup>2</sup> 이상이면 상기 제2 영역으로 상기 제1 유도용액을 공급하도록 하는 것인, 오페수 처리용 삼투 장치.

**청구항 15**

청구항 9에 있어서, 상기 컨트롤러는 상기 피처리수의 염 농도가 상기 피처리수 공급 시점을 기준으로 5 내지 15 배일 때 상기 피처리수를 상기 제1 영역으로 공급하지 않고, 상기 제1 유도용액 및 상기 제2 유도용액을 상기 제2 영역으로 공급하지 않도록 하는 것인, 오페수 처리용 삼투 장치.

**청구항 16**

청구항 9에 있어서, 상기 피처리수는 매립지 침출수인, 오폐수 처리용 삼투 장치.

**청구항 17**

청구항 9에 있어서, 상기 제1 유도용액은 NaCl 용액인, 오폐수 처리용 삼투 장치.

**청구항 18**

청구항 9에 있어서, 상기 제2 유도용액은 탈이온 증류수인, 오폐수 처리용 삼투 장치.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 오폐수 처리를 위한 간헐적 정삼투 방법 및 삼투 장치에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0003] 정삼투 (Forward Osmosis, FO)는 용질 농도 차이에 의해서 자연적으로 구동되는 삼투압의 이점으로, 지난 수십 년 동안 담수화 및 폐수 처리를 위한 전도 유망한 친환경 기술로 자리매김하였다. 한편, 효율적인 FO 시스템을 방해하는 몇 가지 장애물이 있는데, 그 중 막 오염은 유입 용액으로부터 회복된 피처리수의 운영 비용, 품질 및 수량에 영향을 미치는 중요한 과제 중 하나로 간주된다.

[0004] 초음파 사용, 변형된 전도성 FO 막의 전류 적용, 높은 교차 흐름 속도 생성등 FO 시스템의 막오염을 완화하기 위한 여러 가지 In-line 물리적 세정 전략이 제안되었다. 그러나 이러한 기존 방식은 추가 운영을 위한 에너지와 비용이 수반되며 이는 저비용 운영이라는 FO의 이점과 모순이 된다. 따라서, FO 시스템에서 막오염 완화를 위한 저비용의 물리적 세정 기술이 요구된다.

[0005] 삼투 역세척은 막을 가로지르는 삼투의 방향을 반대로하여 오염된 층의 삼투 정련을 말하는데 이전 연구에서 삼투 역세척은 전체 삼투 여과 사이클이 완료된 후에 사용되었다. 또한, 일반적인 염세척에서 사용하는 추가 염 용액 물질로 인해 운영 비용이 증가하는 문제점이 나타날 수 있다. 이에 저비용으로 막의 오염 물질을 효과적으로 완화시킬 수 있고, 지속적이고 안정적인 작동으로 오폐수를 처리하기 위한 방법에 대한 개발이 필요한 실정이다.

**선행기술문헌**

**비특허문헌**

[0007] (비특허문헌 0001) 정삼투 공정에서의 바이오파울링 특성 연구, 서울대학교 공학석사 학위논문, 윤희식 (2013.02)

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0008] 본 발명은 우수한 삼투 효과를 나타내는 간헐적 정삼투 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0009] 본 발명은 우수한 삼투 효과를 나타내는 오폐수 처리를 위한 삼투 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

[0011] 1. 소정의 염 농도를 갖는 피처리수와 상기 피처리수보다 염 농도가 높은 제1 유도용액을 정삼투 막을 기준으로

양쪽에 위치시켜 정삼투 작용에 의해 상기 피처리수의 물이 상기 제1 유도용액으로 이동하도록 하는 단계; 및

- [0012] 상기 정삼투 막의 플럭스(flux)가 소정의 기준 이하가 되면 상기 피처리수보다 염 농도가 낮은 제2 유도용액을 상기 제1 유도용액 대신 공급하여 상기 정삼투 막을 세척하는 단계를 포함하는 오페수 처리를 위한 간헐적 정삼투 방법.
- [0013] 2. 위 1에 있어서, 상기 세척에 의해 상기 제2 유도용액의 상기 정삼투 막에 대한 유량이 소정의 기준 이상이 되면 상기 제1 유도용액을 상기 제2 유도용액 대신 공급하여 정삼투 작용을 개시하는 단계를 더 포함하는 오페수 처리를 위한 간헐적 정삼투 방법.
- [0014] 3. 위 1에 있어서, 상기 소정의 기준은 상기 정삼투 막의 플럭스가 상기 제1 유도용액 투입 시점을 기준으로 10 내지 15% 이하 감소하는 시점인, 간헐적 정삼투 방법.
- [0015] 4. 위 1에 있어서, 상기 피처리수는 매립지 침출수인, 간헐적 정삼투 방법.
- [0016] 5. 위 1에 있어서, 상기 제1 유도용액은 NaCl 용액인, 간헐적 정삼투 방법.
- [0017] 6. 위 1에 있어서, 상기 제2 유도용액은 탈이온 증류수(deionized distilled water)인, 간헐적 정삼투 방법.
- [0018] 7. 위 2에 있어서, 상기 소정의 기준 이상의 유량은 0.05 내지 0.2 mL/cm<sup>2</sup>인, 간헐적 정삼투 방법.
- [0019] 8. 위 2에 있어서, 상기 피처리수의 상기 염 농도가 5 내지 15 배가 될 때 까지 상기 정삼투 막을 세척하는 단계와 상기 정삼투 작용을 개시하는 단계를 반복하는 것인, 간헐적 정삼투 방법.
- [0020] 9. 삼투막에 의해 제1 영역 및 제2 영역으로 구분된 멤브레인 모듈;
- [0021] 상기 제1 영역에 피처리수를 공급하는 공급탱크;
- [0022] 상기 제2 영역에 상기 피처리수보다 염 농도가 높은 제1 유도용액을 공급하는 제1 유도용액 탱크;
- [0023] 상기 제2 영역에 상기 피처리수보다 염 농도가 낮은 제2 유도용액을 공급하는 제2 유도용액 탱크; 및
- [0024] 상기 삼투막의 상태 정보, 상기 피처리수의 염 농도 또는 상기 피처리수의 부피에 따라 상기 제1 유도용액 및 제2 유도용액의 공급을 조절하는 컨트롤러를 포함하는 오페수 처리용 삼투 장치.
- [0025] 10. 위 9에 있어서, 상기 공급탱크와 상기 제1 영역 사이에 연결되고, 상기 피처리수를 상기 제1 영역으로 공급하는 제1 펌프;
- [0026] 상기 제1 유도용액 탱크와 상기 제2영역 사이에 연결되고, 상기 제1 유도 용액을 상기 제2 영역으로 공급하는 제2 펌프; 및
- [0027] 상기 제2 유도용액 탱크와 상기 제2영역 사이에 연결되고, 상기 제2 유도 용액을 상기 제2 영역으로 공급하는 제3 펌프;를 더 포함하는 페수 처리용 삼투 장치.
- [0028] 11. 위 9에 있어서, 상기 상태 정보는 상기 삼투막의 플럭스 변화 또는 상기 삼투막을 통과하는 제2 유도용액의 유량인 오페수 처리용 삼투 장치.
- [0029] 12. 위 11에 있어서, 상기 삼투막의 플럭스 변화는 상기 제1 유도용액의 공급 시점을 기준으로 측정되는 것인, 오페수 처리용 삼투 장치.
- [0030] 13. 위 9에 있어서, 상기 컨트롤러는 삼투막의 플럭스가 상기 제1 유도용액 공급 시점을 기준으로 10 내지 15% 이하 감소되면 상기 제2 영역으로 상기 제2 유도용액을 공급하도록 하는 것인, 오페수 처리용 삼투 장치.
- [0031] 14. 위 9에 있어서, 상기 컨트롤러는 삼투막에 대한 제2 유도용액의 유량이 0.05 내지 0.2 mL/cm<sup>2</sup>이면 상기 제2 영역으로 상기 제1 유도용액을 공급하도록 하는 것인, 오페수 처리용 삼투 장치.
- [0032] 15. 위 9에 있어서, 상기 컨트롤러는 상기 피처리수의 염 농도가 상기 피처리수 공급 시점을 기준으로 5 내지 15 배일 때 상기 피처리수를 상기 제1 영역으로 공급하지 않고, 상기 제1 유도용액 및 상기 제2 유도용액을 상기 제2 영역으로 공급하지 않도록 하는 것인, 오페수 처리용 삼투 장치.
- [0033] 16. 위 9에 있어서, 상기 피처리수는 매립지 침출수인, 오페수 처리용 삼투 장치.
- [0034] 17. 위 9에 있어서, 상기 제1 유도용액은 NaCl 용액인, 오페수 처리용 삼투 장치.

[0035] 18. 위 9에 있어서, 상기 제2 유도용액은 탈이온 증류수인, 오페수 처리용 삼투 장치.

**발명의 효과**

[0037] 본 발명 간헐적 정삼투 방법은 특정 조건에서 정삼투 단계와 정삼투 막을 세척하는 단계를 간헐적으로 반복함으로써 삼투막의 파울링을 줄이고 우수한 삼투 효과를 나타낼 수 있으며, 궁극적으로 저비용으로 효율적인 오페수 처리가 가능하도록 한다.

[0038] 본 발명 오페수 처리용 삼투 장치는 삼투막의 상태 정보나 상기 피처리수의 부피 또는 농도에 따라 상기 제1 유도용액 및 제2 유도용액의 공급을 조절함으로써 오페수 처리에 사용되는 삼투막의 파울링을 줄이고 우수한 삼투 효과를 나타낼 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0040] 도 1은 일 실시예에 따른 간헐적 정삼투 방법의 순서도이다.
- 도 2는 일 실시예에 따른 오페수 처리용 삼투 장치를 나타낸다.
- 도 3은 일 실시예에 따른 정삼투(FO) 단계 및 역세척(간헐적 삼투(Intermittent Osmotic relaxation; IOR)) 단계의 개략도를 나타낸다.
- 도 4는 NaCl 및 매립지 침출수의 유도 포텐셜(draw potential)을 이용한 정삼투 막을 역세척하는 개략도를 나타낸다.
- 도 5는 일 실시예에서 사용된 매립지 침출수 샘플의 세 가지 형광 성분을 나타낸다.
- 도 6은 일 실시예의 FO 단계 수행에 따른 정삼투 막의 플럭스 변화, 매립지 침출수의 여과된 부피, 막 오염도 측정 결과와 막 저항성을 나타낸다.
- 도 7은 유도용액: NaCl (EC: 10mS/cm), 공급 용액: DDW, 및 유량: 150mL/min의 조건에서 역세척 기간에 따른 DOC 농도 변화 및 분리된 막 오염 물질의 세 가지 형광 성분의 강도 변화 그래프를 나타낸다.
- 도 8은 유도용질: NaCl 및 공급용질: DDW 조건(비교예), 유도용질: 매립지 침출수 및 공급용질: DDW 조건(실시예) 조건에서 삼투 역세척시 FO 막의 막 플럭스 및 총 막 저항성을 나타낸다.
- 도 9는 상이한 FO 단계 수행 시간(2시간, 4시간, 6시간)을 갖는 세 가지 FO 여과 시스템의 막 플럭스, 막 저항성 및 여과 된, 및 막 플럭스 회복 정도의 비교 데이터를 나타낸다 (조건: 유도용질 농도: 0.5 M NaCl, 유도 및 공급 용질의 교차 흐름 속도: 150 mL/분).
- 도 10은 상이한 삼투 역세척 수행 시간(10분, 20분, 40분)을 갖는 세 가지 FO 여과 시스템 각각에서 막으로부터 추출된 가역적 및 비가역적 막 오염물질의 3 가지 형광 성분의 DOC 농도 및 강도를 나타낸다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0041] 본 발명은 오페수 처리를 위한 간헐적 정삼투 방법을 제공한다 (도 1 참조).
- [0042] 본 발명 간헐적 정삼투 방법은 정삼투 단계를 수행하는 것을 포함한다.
- [0043] 구체적으로, 본 발명 간헐적 정삼투 방법은 소정의 염 농도를 갖는 피처리수와 상기 피처리수보다 염 농도가 높은 제1 유도용액을 정삼투 막을 기준으로 양쪽에 위치시켜 정삼투 작용에 의해 상기 피처리수의 물이 상기 제1 유도용액으로 이동하도록 하는 단계(100)를 포함한다.
- [0044] 본 발명 용어 ‘피처리수’는 수처리 대상인 물질을 의미하며, 수처리 과정을 거치지 않은 원수(raw water)일 수도 있고, 전 단계에서 각종 수처리 과정을 거쳐서 얻어진 물질일 수도 있다.
- [0045] 본 발명 피처리수는 소정의 염 농도를 갖는 수처리 대상 물질이면 제한 없이 적용될 수 있다. 예를 들어, 피처리수는 전기전도도가 1 내지 19mS/cm, 2 내지 18mS/cm, 3 내지 17mS/cm, 4 내지 16mS/cm, 5 내지 15mS/cm, 6 내지 14mS/cm, 7 내지 13mS/cm, 8 내지 12mS/cm, 9 내지 11mS/cm인 물질일 수 있다.
- [0046] 피처리수는 오페수 일 수 있다. 용어 ‘오페수’는 오수 또는 폐수 중 적어도 하나를 의미하는 것이며, 예를 들어, 생활 하수, 생활 폐수, 농축산 폐수, 유가공 폐수, 음식물 쓰레기, 음폐수, 공장 폐수, 산업 폐수 등을 포



함할 수 있다. 피처리수는 매립지 침출수일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [0047] 제1 유도용액은 피처리수보다 농도가 높은 용액으로, 염 농도가 높은 용액일 수 있다. 예를 들어, 제1 유도용액은 NaCl용액, NaNO<sub>3</sub>용액, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>용액, KCl용액, KNO<sub>3</sub>용액 및 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>용액으로 이루어진 군에서 선택된 적어도 하나일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0048] 제1 유도용액과 피처리수를 위치시킨다는 것은 양쪽에 공급하는 것을 의미할 수 있다.
- [0049] 정삼투 작용은 서로 다른 농도를 가지는 액체 사이에 반투과성 분리막이 존재할 때, 분리막을 통하여 낮은 농도의 액체에서 높은 농도의 액체로 용매가 이동하는 현상을 의미한다. 분리막 사이에 발생하는 압력을 삼투압(osmotic pressure)이라고 한다. 상기 반투과성 분리막은 정삼투 막일 수 있다.
- [0050] 본 발명 방법은 정삼투 막을 기준으로 양쪽에 피처리수와 상기 피처리수보다 염 농도가 높은 제1 유도용액을 위치시킴으로써 정삼투 작용이 일어날 수 있다. 정삼투 작용에 의해 상기 피처리수의 용매인 물이 상기 제1 유도용액으로 이동할 수 있으며, 그 결과 피처리수의 부피가 줄어들게 된다.
- [0051] 피처리수의 부피가 줄어들면 수처리에 공정이나 시간이 단축될 수 있으며, 전체 수처리 비용이 절감될 수 있는 장점이 있다.
- [0052] 또한, 본 발명 간헐적 정삼투 방법은 역세척 단계를 수행하는 것을 포함한다.
- [0053] 구체적으로, 본 발명 간헐적 정삼투 방법은 정삼투 막의 플럭스가 소정의 기준 이하가 되면 상기 피처리수보다 염 농도가 낮은 제2 유도용액을 상기 제1 유도용액 대신 공급하여 상기 정삼투 막을 세척하는 단계(200)를 포함한다.
- [0054] 즉, 제1 유도용액과 피처리수를 막을 기준으로 양쪽에 위치시켜 피처리수로부터 제1 유도용액 방향으로 용매가 이동(정삼투 작용)함으로써 피처리수 쪽의 정삼투 막에 오염물이 붙게되며 이로 인해 막의 플럭스가 점점 감소될 것이며, 계속적인 정삼투 작용으로 막의 플럭스가 소정의 기준 이하가 될때 제1 유도용액 대신 제2 유도용액을 공급하여 정삼투 막을 세척하도록 하는 것이다.
- [0055] 종래 막 역세척 과정은 삼투 단계가 모두 끝난 후 염 용액 물질을 추가하여 수행되었으며, 이로 인해 운용 비용이 증가하는 문제점이 있었다. 본 발명 방법은 막을 기준으로 일 영역에 있는 제1 유도용액만 제2 유도용액으로 바꾸고 막을 기준으로 다른 영역에 있는 피처리수는 그대로 두고 역세척을 수행할 수 있는 바 종래의 문제점을 개선시킬 수 있다.
- [0056] 용어 ‘막의 플럭스’는 막을 통과하는 유체의 양으로, 플럭스의 단위인 LMH는 1m<sup>2</sup>의 막 면적에 대하여 1시간 동안 몇 L의 유체가 통과했는지를 나타내는 단위이다.
- [0057] 막의 플럭스가 소정의 기준 이하가 되면 이미 공급되어있는 제1 유도용액 대신 피처리수보다 염 농도가 낮은 제2 유도용액을 공급하여 막을 세척한다.
- [0058] 상기 소정의 기준은 막의 플럭스가 상기 제1 유도용액 공급 시점을 기준으로 5 내지 20%, 6 내지 19%, 7 내지 18%, 8 내지 17%, 9 내지 16%, 10 내지 15%, 11 내지 13% 감소하는 시점일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0059] 상기 소정의 기준은 막의 플럭스가 상기 제1 유도용액 공급 시점을 기준으로 5 내지 20% 이하, 6 내지 19% 이하, 7 내지 18% 이하, 8 내지 17% 이하, 9 내지 16% 이하, 10 내지 15% 이하, 11 내지 13% 이하로 감소하는 시점일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0060] 제2 유도용액은 피처리수보다 농도가 낮은 용액으로, 염 농도가 낮은 용액일 수 있다. 예를 들어, 탈이온 증류수 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0061] 제1 유도용액 대신 제2 유도용액을 공급하면 제2 유도용액의 용매가 피처리수 쪽으로 이동하면서, 막에 붙어있는 오염물 또는 막에 붙어있는 오염물로 이루어진 파울링 층 중 적어도 일부가 막으로부터 제거될 수 있다. 즉, 제1 유도용액 공급시 막에 대한 유체의 이동 방향이 제2 유도용액의 공급에 의해 반대로 바뀜으로써 파울링이 완화될 수 있다.
- [0062] 용어 ‘파울링’은 막여과에서 막 자체의 변질이 아닌 외적요인에 의한 막성능의 저하를 일컫는 말이다. 막에 유입되는 용질에 의해 막의 막힘, 유로폐색 혹은 부착층의 형성을 초래하는 현상이다.



- [0063] 또한, 본 발명 간헐적 정삼투 방법은 역세척 단계에서 다시 정삼투 단계(300)를 수행하는 것을 더 포함한다.
- [0064] 구체적으로, 본 발명 간헐적 정삼투 방법은 상기 세척에 의해 상기 제2 유도용액의 상기 정삼투 막에 대한 유량이 소정의 기준 이상이 되면 상기 제1 유도용액을 상기 제2 유도용액 대신 공급하여 정삼투 작용을 개시하는 단계를 더 포함한다.
- [0065] 즉, 제1 유도용액 공급시 막에 대한 유체의 이동 방향이 제2 유도용액의 공급에 의해 반대로 바뀔으로써 막이 세척되고 이로 인해 막에 붙어있는 오염물의 양이 줄어들어 제2 유도용액의 상기 정삼투 막에 대한 유량이 점점 증가하게될 것이다. 막에 대한 유량이 소정의 기준 이상이 되면 다시 제2 유도용액 대신 제1 유도용액을 공급하여 정삼투 단계를 수행하도록 하는 것이다.
- [0066] 유량은 막을 기준으로 통과한 유체의 양을 의미한다. 상기 소정의 기준 이상의 유량은  $0.01$  내지  $0.25\text{mL}/\text{cm}^2$ ,  $0.05$  내지  $0.2\text{mL}/\text{cm}^2$ ,  $0.1$  내지  $0.15\text{mL}/\text{cm}^2$  일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0067] 본 발명 간헐적 정삼투 방법은 특정 조건일 때 정삼투 단계와 역세척 단계를 바꿔가면서 반복적으로 수행할 수 있다.
- [0068] 특정 조건은 미리 정해진 막의 플럭스 감소 정도, 막에 대한 유량 증가 정도 동일 수 있으며, 이는 전술한 바와 같이 구체적인 설명은 생략한다.
- [0069] 본 발명 피처리수가 미리 정해진 염 농도 범위 또는 그 이상이 되면 정삼투 단계와 역세척 단계를 모두 수행하지 않을 수 있다.
- [0070] 미리 정해진 염 농도는 삼투막을 기준으로 일 영역에 최초로 위치되는 시점에서의 피처리수의 염 농도를 기준으로 2 내지 18 배, 3 내지 17 배, 4 내지 16 배, 5 내지 15 배, 6 내지 14 배, 7 내지 13 배, 8 내지 12 배, 9 내지 11배 증가된 농도일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0072] 또한, 본 발명은 오페수 처리용 삼투 장치를 제공한다(도 2 참조).
- [0073] 본 발명 오페수 처리용 삼투 장치는 삼투막(410)에 의해 제1 영역(430) 및 제2 영역(450)으로 구분된 멤브레인 모듈(400); 상기 제1 영역(430)에 피처리수를 공급하는 공급탱크(500); 상기 제2 영역(450)에 상기 피처리수보다 염 농도가 높은 제1 유도용액을 공급하는 제1 유도용액 탱크(610); 상기 제2 영역(450)에 상기 피처리수보다 염 농도가 낮은 제2 유도용액을 공급하는 제2 유도용액 탱크(630); 및 상기 삼투막의 상태 정보나 상기 피처리수의 염 농도 또는 부피에 따라 상기 제1 유도용액 및 제2 유도용액의 공급을 조절하는 컨트롤러를 포함할 수 있다.
- [0074] 용어 ‘멤브레인 모듈’은 삼투막으로 분리된 영역을 포함하며, 삼투 장용이 일어날 수 있는 오페수 처리용 삼투 장치의 일 구성이다.
- [0075] 공급탱크(500)는 피처리수, 제1 유도용액 탱크(610)는 제1 유도용액, 제2 유도용액 탱크(630)는 제2 유도용액으로 채워져있다.
- [0076] 피처리수, 제1 유도용액, 제2 유도용액은 전술한 바와 같이 구체적인 설명은 생략한다.
- [0077] 삼투막의 상태정보는 미리 정해진 삼투막의 플럭스 변화, 삼투막을 통과하는 제2 유도용액의 유량일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0078] 삼투막의 플럭스 변화는 상기 제1 유도용액을 제1 영역(430)에 공급하는 시점을 기준으로 측정된 것일 수 있다.
- [0079] 상기 제2 유도용액의 유량은  $0.01$  내지  $0.25\text{mL}/\text{cm}^2$ ,  $0.05$  내지  $0.2\text{mL}/\text{cm}^2$ ,  $0.1$  내지  $0.15\text{mL}/\text{cm}^2$  일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0080] 컨트롤러는 삼투막(410)의 플럭스가 제1 유도용액의 제2 영역(450)에 대한 공급 시점을 기준으로 5 내지 20% 이하, 6 내지 19% 이하, 7 내지 18% 이하, 8 내지 17% 이하, 9 내지 16% 이하, 10 내지 15% 이하, 11 내지 13% 이하로 감소하면 상기 제2 영역(450)으로 상기 제2 유도용액이 공급되도록 조절할 수 있으며, 구체적으로는 10 내지 15% 이하 감소하면 상기 제2 영역으로 상기 제2 유도용액이 공급되도록 조절할 수 있다.
- [0081] 컨트롤러는 삼투막(410)에 대한 제2 유도용액의 유량이  $0.01$  내지  $0.25\text{mL}/\text{cm}^2$ ,  $0.05$  내지  $0.2\text{mL}/\text{cm}^2$ ,  $0.1$  내지  $0.15\text{mL}/\text{cm}^2$  이상이면 제2 영역(450)으로 상기 제1 유도용액이 공급되도록 조절할 수 있으며, 구체적으로  $0.05$

내지 0.2 mL/cm<sup>2</sup>이면 제2 영역(450)으로 제1 유도용액이 공급되도록 조절할 수 있다.

[0082] 즉, 전술한 바와 같이 컨트롤러는 특정 조건에서 멤브레인 모듈의 제2 영역에 대한 제1 유도용액 및 제2 유도용액의 공급을 조절하여 유체가 흐르는 방향을 변경할 수 있다. 유체가 흐르는 방향을 변경함으로써 삼투막(410)에 붙어있는 오염물이 제거될 수 있고 효과적으로 정삼투 작용이 일어날 수 있다. 따라서, 본 발명 장치는 삼투 작용에 의해 삼투막에 생기는 오염물을 효과적으로 제거할 수 있도록 하여, 저비용, 고효율로 삼투 작용이 일어날 수 있도록 하는 장치이다.

[0083] 컨트롤러는 상기 피처리수의 염 농도가 상기 피처리수 공급 시점을 기준으로 미리 정해진 염 농도 범위 또는 그 이상일 때 상기 피처리수를 상기 제1 영역으로 공급하지 않고, 상기 제1 유도용액 및 상기 제2 유도용액을 상기 제2 영역으로 공급하지 않도록 할 수 있다.

[0084] 미리 정해진 염 농도는 삼투막을 기준으로 피처리수가 최초로 공급된 시점의 피처리수 염 농도를 기준으로 2 내지 18 배, 3 내지 17 배, 4 내지 16 배, 5 내지 15 배, 6 내지 14 배, 7 내지 13 배, 8 내지 12 배, 9 내지 11배 증가된 농도일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0085] 본 발명 오페수 처리용 삼투 장치는 상기 공급탱크(500)와 상기 제1 영역(430) 사이에 연결되고, 상기 처리수를 상기 제1 영역으로 공급하는 제1 펌프; 상기 제1 유도용액 탱크(610)와 상기 제2영역(450) 사이에 연결되고, 상기 제1 유도 용액을 상기 제2 영역으로 공급하는 제2 펌프; 및 상기 제2 유도용액 탱크(630)와 상기 제2영역(450) 사이에 연결되고, 상기 제2 유도 용액을 상기 제2 영역으로 공급하는 제3 펌프;를 더 포함할 수 있다.

[0086] 용어 ‘펌프’는 유체를 수송하기 위한 구성요소로, 압력작용을 이용하여 유체를 수송할 수 있다.

[0088] 이하, 본 발명을 구체적으로 설명하기 위해 실시예를 들어 상세하게 설명하기로 한다.

[0090] **실험 방법**

[0091] **1. 공급수 샘플링**

[0092] 대한민국 인천시 근처에 위치한 오래된 매립지(Sudokwon management Corp.)에서 안정화 된 매립지 침출수 (40L) 샘플을 수집하였다. 고형 폐기물은 2000년에 부지가 폐쇄되기 전에 8년 동안 매립지에 버려졌다.

[0093] 산으로 세척 된 20L-폴리프로필렌 플라스틱 용기를 사용하여 2018년 6월에 샘플링을 수행 하였다.

[0094] 샘플을 0.7 μm의 기공 크기로 미리 해싱 된 Whatman GF / F 필터를 통해 여과 하였다. 여과 된 매립지 침출수 샘플을 4℃의 냉장고에 저장 하였다. 샘플의 기본 수질은 하기 표 1에 나열하였다.

**표 1**

[0095]	과라미터	값
	COD(mg/L)	435
	DOC(mg C/L)	180
	UVA254 (cm <sup>-1</sup> )	3.6
	총 질소(mg/L)	870.6
	총 인산(mg/L)	52.97
	pH	8.6
	전기 전도도(mS/cm)	10.2

[0097] **2. 정삼투 시스템 구성 및 운영 (정삼투 단계)**

[0098] 가공된 매립지 침출수를 처리하기 위해 작업량이 400ml 인 직교류 FO 여과 시스템(crossflow FO filtration system)이 설정되었다. 도 3에 FO 여과 시스템을 정삼투 단계 및 역세척 단계(간헐적 삼투 완화 단계) 개략도로 나누어 도시하였다.

[0099] Fluid Technology Solution, Inc.(FTSH<sub>2</sub>O)(Albany, USA)에서 구매한 평판 시트 셀룰로오스 트리아세이트 (cellulose triacetate; CTA) FO 막을 유효 여과 면적이 22 cm<sup>2</sup>인 아크릴 외부 FO 막 모듈(acrylic external FO membrane module)에 설치하였다.

[0100] 이하에서는 삼투막을 기준으로하여 정삼투를 수행하는 정삼투 단계를 설명한다. 공급용액(feed solution; FS)

및 유도용액(draw solution; DS)을 연동 펌프와 동시에 방향으로 막 모듈을 가로 질러 순환시켰다. 염화나트륨(NaCl)을 유도 용질로 사용하였고, 유도용액 탱크(DS 탱크)에 농축된 유도 용액(5M NaCl)을 간헐적으로 첨가하여 용질 농도를 유지하였다. DS 탱크용 펌프를 온라인 전도도 컨트롤러에 연결하여 전체 여과 수행에 대한 일정한 삼투 전위를 모니터링하고 유지하였다.

[0101] 공급탱크의 부피 변화는 데이터 로깅 스케일(data logging scale)로 정기적으로 점검되었고, 그 정보를 컴퓨터로 전송하여 시간당 분당 리터(liters per minute per hour; LMH)로 막 플럭스( $J_w$ )를 계산하였다.

[0102] 막 플럭스 평가는 하기 방정식을 기반으로 하였다:

[0103] 막 플럭스( $J_w$ )= $(1/A_m) \times (\Delta V_t / \Delta t)$ ,

[0104]  $A_m$ 은 막의 넓이,  $\Delta V_t$ 는  $\Delta t$  시간 간격동안 데이터 로거(data logger)에 의해 기록된 부피 변화이다.

[0105] 참조 수행(reference run)을 24시간 동안 수행하여 오염된 막을 수득 하였다. 1.5M NaCl을 유도용액으로 사용하였고, 유도용액 및 공급용액의 유량을 150mL/분으로 유지하였다.

[0107] **3. FO 막의 탈-파울링(De-fouling) 실험 (역세척 단계)**

[0108] 상기 FO 단계로부터 얻은 오염된 FO 막을 사용하여 2가지 유형(비교예 및 실시예)의 삼투 역세척 실험을 수행하였다. 도 4는 NaCl 및 매립지 침출수의 유도 포텐셜(draw potential)을 이용한 정삼투 막을 역세척하는 개략도를 나타낸다.

[0109] 비교예로 멤브레인 모듈의 공급부(feed side)(공급탱크로부터 용액을 공급받는 영역)를 미처리 매립지 침출수(약 10mS/cm)와 동일한 EC 값을 갖는 NaCl 용액으로 교체하였고, 유도용액 탱크를 탈이온 증류수(DDW)로 교체하여 막을 가로지르는 투과 플럭스의 방향을 역전시켰다. 40분에 걸쳐 5분마다 공급부로부터 샘플을 수집하였고 추출된 파울링 층을 완전히 용해시키기 위해 20분 동안 초음파 처리하였다. 이어서, 용해된 유기물(dissolved organic matter; DOM) 분석을 위해 샘플을 0.45  $\mu$ m 사전-세척된 CTA 필터(47 mm, Advantac)에 통과시켰다(도 4(a) 참조).

[0110] 실시예로 매립지 침출수의 삼투 전위(osmotic potential)에 의해 역류(backflow)가 유도된 매립지 침출수의 고유한 탈-파울링 잠재력을 활성화하기 위해, 모듈의 유도부(draw side)에서 유도용액을 탈이온 증류수로 교체하였고, 매립지 침출수를 포함하는 공급부는 교체하지 않았다(도 4(b) 참조).

[0112] **4. 간헐적 삼투 완화(Intermittent osmotic relaxation; IOR)를 이용한 정삼투 여과 시스템**

[0113] 전술한 정삼투 단계와 실시예의 역세척 단계를 간헐적으로 반복하여 최적의 정삼투 여과 시스템을 구축하였다. 정삼투 여과 시스템은 오페수 처리용 삼투 장치의 일 실시예이다.

[0114] 간헐적 삼투 완화의 역세척 단계는 도 3(b)에 도시된 바와 같다.

[0115] 간헐적 삼투 완화는 유도 탱크의 유도용액을 간헐적으로 DDW로 교체하는 것 외에 FO 단계와 나머지 조건을 동일하게 유지하며 수행되었다. 이러한 설정은 매립지 침출수의 선천적 삼투압에 의해 FO 막의 삼투 역세척을 유도하는 것이다.

[0116] 역세척 간격의 영향을 평가하기 위해, 총 24시간 작동 시간에 대하여, 정삼투(FO) 단계가 2시간, 4시간 또는 6시간 동안 수행된 후, 10분, 20 또는 40분의 시간 동안 간헐적 삼투 완화(역세척 단계)가 수행되었다.

[0117] 각각의 간헐적 삼투 완화 조건에서, 막 저항(membrane resistance), 막 플럭스 회복(membrane flux recovery) 및 최종 여과된 부피(final filtered volume)를 측정하였고, 이를 역세척 없는 참조 수행의 경우와 비교하였다. 역세척 시간동안 공급부로 역류하는 소량의 물(12 내지 22 ml)은 전체 여과 수행 후 최종 여과된 부피를 계산할 때 고려하지 않았다.

[0119] **5. 막 플럭스 회복(membrane flux recovery) 및 저항 분석(resistance analysis)**

[0120] 막 플럭스 회복 및 저항 분석을 위해, 유도 용질로서 0.5 M NaCl을 사용하고 공급 수로서 DDW를 사용하는 FO 여과 시스템 설정하에서, 순수한 세포막(virgin membrane)에 대한 평균 플럭스(average flux for virgin membrane;  $J_v$ )가 60분 동안 계산되었다.

[0121] FO 단계 또는 IOR의 경우, 각 여과 수행 후 오염된 막에 대한 막 플럭스를 60분 동안 계산하였고, 이를 여과 후

막 플럭스(membrane flux after filtration;  $J_0$ )로 표시하였다. 이어서, 공급부의 NaCl 용액 및 유도부의 DDW를 20분 동안 순환시킴으로써 막을 삼투 역세척 단계로 설정하였고, 느슨하게 결합된 유기 분획을 FO 막으로부터 추출하였다. 추출된 부분을 가역적 파울런트(reversible foulants)로 표현하였다. 이어서 평균 막 플럭스를 60분 동안 계산하였고, 물리적 세정 후의 막 플럭스(membrane flux after the physical cleaning;  $J_p$ )로 표시 하였다.

[0122] 다음으로, 막을 어셈블리로부터 분리하고, 막으로부터 비가역적 파울 런트(irreversible foulants; IR)를 화학 적으로 추출하기 위해 30분 동안 0.1M NaOH 용액 (50ml)에 담갔다. 막을 DDW로 행구고, 평균 막 플럭스를 60분 동안 다시 계산하였고, 이는 화학 세정 후 막 플럭스(membrane flux after the chemical cleaning;  $J_c$ ) 로 표시 되었다.

[0123] FO 막 저항은 Poiseuille 's Law에 기초한 다음 방정식을 사용하여 계산되었다:

[0124]  $Flux(j) = (1/A) \times (dV/dt) = \Delta(C_d - C_f) / \mu (R_t),$

[0125]  $R_t = J(\mu) / \Delta(C_d - C_f),$

[0126]  $R_t = R_m + R_{re} + R_{ir}.$

[0127] 여기서,  $C_d$  및  $C_f$ 는 전도도 (mS/cm)에서 유도용액 및 공급용액의 농도이다.  $C_d$  및  $C_f$ 의 차이는 FO 작동의 구동 삼투압이다.  $\mu$ 는 동적 점도입니다.  $R_m$ ,  $R_{re}$  및  $R_{ir}$ 은 각각 고유 한 막 저항, 가역적 막 저항 및 여과에 대한 비 가역적 막 저항을 지칭한다. 버진 막에 대해 수득 된 플럭스  $J_v$ 에 의해  $R_m$ 을 측정하였다. 삼투 역세척을 사용하여 막을 물리적으로 세정 한 후 플럭스  $J_p$ 를 사용하여  $R_{re}$ 를 수득 하였다. 막이 0.1M NaOH를 화학적으로 사용한 후 플럭스  $J_c$ 를 사용하여  $R_{ir}$ 을 계산하였다.

[0129] **6. 유기탄소 및 분광 분석**

[0130] 사전 여과 된 비가공 침출수(raw leachate) 및 막 오염 물질 샘플의 용해된 유기 탄소(DOC) 농도를 TOC 분석기 (Shimadzu V- 시리즈, TOC-195 CPH)를 사용하여 측정하였다. UV-Vis 분광 광도계 (UV-1800, Shimadzu, Japan) 를 1cm 큐벳을 사용하여 254nm의 파장에서 초강력 흡수를 측정하였다(UVA<sub>254</sub>). DOM 샘플의 형광 특징은 12,000nm/분의 스캔 속도(scan speed)에서 형광 분광 광도계 (Hitachi, F7000, Japan)에 의해 측정 된 여기 방 출 매트릭스(excitation emissions matrices; EEM)를 통해 조사되었다.

[0131] 슬릿 폭은 각각 1nm 및 5nm의 파장 간격을 갖는 여기 및 방출 스캔 모두에 대해 10nm로 설정되었고, 이는 200-450nm 및 300-500nm의 범위에 있었다. 내부 필터 보정은 샘플을 DDW을 이용해 0.05cm<sup>-1</sup> 미만의 UVA<sub>254</sub> 값으로 희 석시킴으로써 생략하였다. 롤리 산란(Raleigh scattering)은 290nm 차단 유리 필터를 사용하여 회피하였고, DDW 의 EEM은 DDW의 백그라운드 신호를 고려했다.

[0133] **7. 형광 데이터에 대한 PARAFAC 모델링**

[0134] MATLAB 13.0 (Mathworks, Natick, MA) 및 무료로 다운로드할 수 있는 DOMFluor toolbox(<http://www.models.life.du.dk/>)를 사용하여 모든 샘플에 대해 형광 EEM 데이터 세트에 대해 병렬 인 자 분석 (PARAFAC) 모델링을 수행하였다. 확립된 단계적 절차에 따라, 이상치 테스트(outlier test) 및 민감도 분석(sensitivity analysis)을 위해 EEM을 처리했다. 분할 반 검증(Split half validation) 및 잔류 분석(residual analysis)을 사용하여 모델링으로부터 계산된 형광 성분을 확인하였다. 형광 강도는 라만 단위 (Raman units; R.U.)로 보고되었고, 개별 형광 성분의 상대 농도를 나타내기 위해 두드러진 피크의 최대 형광 강도(maximum fluorescence intensity;  $F_{max}$ )를 채택하였다.

[0136] **실험 결과**

[0137] **1. 매립지 침출수에서 형광 분획(fluorescent fractions) 식별**

[0138] PARAFAC을 통한 전체 EEM 모델링 결과, 세 가지 구별되는 형광 성분의 조합이 모든 DOM 샘플을 설명할 수 있음 을 보여 주었다(도 5 참조). 도 5는 매립지 침출수 샘플에서 식별된 세 가지 형광 성분(트립토판 유사 성분 (tryptophan-like component)-C1, 풀빅 유사 성분(fulvic-like component)-C2, 휴믹 유사 성분(humic-like



component)-C3) 및 C1 내지 C3에 상응하는 로딩 플롯을 나타낸다.

[0139] C1은 여기과장(Ex)/방출과장(Em) 범위 225/340nm에서 1차 피크를, 275/340 nm에서 2 차 피크를 나타냈다. C2의 1차 피크 및 2차 피크는 각각 240/410nm 및 325/410nm의 Ex/Em 범위에 위치했다. 한편, C3은 250/456 nm의 Ex/Em에서 하나의 1차 피크, 305/456nm 및 365/456nm의 Ex/Em에서 두 개의 2차 피크를 나타냈다. 안정화 된 매립지 침출수를 사용하는 이전 연구에서도 세 가지의 형광 성분이 보고되었다. 피크 위치 및 문헌에 기재된 내용에 기초하여, C1은 트립토판 유사 형광과 유사한 특성을 나타내고, C2 및 C3은 매립지 침출수의 풀빅 유사 및 휴믹 유사 형광 성분에 각각 할당될 수 있다.

[0140] 매립지 침출수의 분자량(MW) 분포는 형광 성분의 MW가 C1 <C2 <C3의 순서로 증가하는 경향이 있음을 보여주었다. 더 높은 Em에서의 형광 피크는 더 소수성인 유기물의 특징과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되었다. 따라서, 휴믹-유사 성분(C3)은 비교적 높은 정도의 소수성을 갖는 고분자량(high MW; HMW) 분획인 것으로 추정될 수 있는 반면, 트립토판 유사 성분(C1)은 비교적 친수성인 저분자량(low MW; LMW) 분획인 것으로 간주될 수 있다.

[0142] **2. 막 여과 거동(membrane filtration behavior) 및 여과 후 막 파울 링(subsequent membrane fouling)**

[0143] 교차 흐름 속도 150mL/분에서 NaCl을 유도용질로서 사용하여 작동 시킨 FO 시스템에 대해, 미처리 매립지 침출수로부터의 물 회수(Water recovery) 정도를 관찰하였다. 물 회수를 통해 여과 후 최종 부피가 250ml(v.s. 최초 부피 400ml)가 되었으며, 매립지 침출수의 농도는 1.6 배가 되었다. 여과를 수행하는 동안, DOC는 180mg C/L에서 310mg C/L로 증가하였다. 또한, 여과 시간에 따라 막 플럭스가 8.3에서 2.2 LMH로 점차 감소하였다(도 6(a) 참조). FO 막 플럭스가 약 71% 감소하였으며, 막 오염 저항성이  $1680 \times 10^6$  1/m로 확인되었다.

[0144] 한편, 삼투 역세척을 이용한 간단한 물리적 세정은 90.1%의 막 플럭스 회복과 함께 막 오염 저항을  $340 \times 10^5$  1/m로 감소시켰으며, 이는 물리적 세척이 FO 막의 성능을 복구할만큼 충분히 효과적임을 의미한다. 그 후, 화학적 세정을 통해 막 오염 저항성을  $310 \times 10^5$  1/m로 감소시켜 막 플럭스를 완전히 회복시켰으며, 이는 막의 고유 저항성과 거의 동일하였다. FO 막으로부터 추출된 유기 오염 물질의 경우 물리적 세척이 화학적 세척보다 더 크게 기여 한다는 것을 나타낸다. RE의 벌크 DOC는 15mg C/L이었으며, IR의 것보다 더 높았다 (8mg C/L).

[0145] 도 6은 0.5M NaCl 유도용질 및 150 mL/분의 교차 흐름 속도를 사용하는 24시간 FO 시스템의 작동시 (a) FO 막 플럭스 및 매립지 침출수의 여과 된 부피, (b) 막 플럭스 회복율, (c) DOC 농도 및 추출된 막 오염 물질로부터의 세 가지 형광 성분의 강도, 및 (d) 막 저항성을 나타낸다.  $R_{ir}$ ,  $R_{re}$  및  $R_{in}$ 은 각각 FO 막에 대한 비가역적, 가역적 및 고유 막 저항을 나타낸다.

[0147] **3. 삼투 역세척을 통한 막 오염 제거**

[0148] 공급부에 NaCl을 사용하여 플럭스 방향을 반전시킨 역세척 실험(비교군)의 경우, 공급부에서 추출된 오염 물질의 DOC 농도가 역세척 기간에 따라 증가하는 경향을 보였다(도 7(a) 참조). 예를 들어, 삼투 역세척 기간 5분에서 40분 동안 DOC는 4.7mg C/L에서 45.8mg C/L로 증가했다.

[0149] 도 7은 유도용액: NaCl (EC: 10mS/cm), 공급 용액: DDW, 및 유량: 150mL/min의 조건에서 (a) 역세척 기간의 증가에 따른 DOC 농도 변화 및 분리된 막 오염 물질의 세 가지 형광 성분의 강도 변화 그래프와 (b) 역세척 기간에 따른 오염 된 FO 막의 사진이다.

[0150] 도 7(a)에 나타난 바와 같이, 역세척 초반 20분 동안 공급부에서 추출된 물질의 DOC가 급격히 증가한 후 나머지 기간동안 천천히 증가하거나 꾸준한 추세를 보이는 것으로부터 막의 탈-파울링은 대부분 역세척 초기에서 발생하는 것으로 볼 수 있다. 상기 결과를 바탕으로 FO 여과 시스템에 대한 최적의 역세척 시간을 20분으로 정하였고, 20분 동안 역세척한 후 다시 FO 단계를 수행하는 것을 반복하였다. 역세척 후 FO 단계를 수행하도록 유도부의 용액을 변경하는 시점에서 막에 대한 유수량은 막  $1\text{cm}^2$  당 0.13mL였다. 즉, 역세척 단계에서 FO 단계로 변경할 때의 막에 대한 유수량은 약  $0.13\text{mL}/\text{cm}^2$ 이었다.

[0151] 또한, 도 7(b)에 나타난 바와 같이, EEM-PARAFAC를 통한 분리 된 오염 물질에 대한 추가 조사는 역세 시간이 증가함에 따라 세 가지 다른 형광 분획의 상대적 기여도에 큰 변화가 없음을 보여주었다.

[0152] 본 발명자들은 공급부에 매립지 침출수를 사용하여 플럭스 방향을 반전시킨 역세척(실시예)의 경우, NaCl 용액을 유도 용질로 사용하는 종래 역세척 모드(비교예)와 유수량(water flux)이 유사(~4 LMH)하고 또한, 막 오염

저항성이 45%로 감소한다는 것을 관찰하였다.

[0153] 도 8은 NaCl을 유도용질 DDW를 공급 용질로 사용하거나(비교예), 매립지 침출수를 유도용질로 사용하고 DDW를 공급 용질로 사용하는 경우(실시예), 삼투 역세척시 FO 막의 막 플럭스 및 총 막 저항성을 나타낸다.

[0154] 매립지 침출수를 사용하면 오염된 FO 막의 삼투 역세척을 위해 매립지 침출수의 고유 삼투 잠재력을 이용할 수 있으며, 역세척을 위해 추가적인 유도용질이 제공될 필요가 없다는 장점이 있다.

[0155] 한편, 종래와 같이 삼투 여과가 모두 종료된 후 역세척을 하는 경우 막을 세척하고 재활용할 수는 있으나, 여과 과정에서 막이 계속적으로 오염되어 피처리수의 여과 효율이 떨어지는 문제점은 해결할 수 없다. 따라서, 보다 더 효과적인 삼투 여과 시스템을 수행하기 위하여 간헐적 삼투 완화 방식을 적용하였다. 효과적인 여과 시스템 수행을 위해 다양한 조건으로 실험을 진행하였고, 최적화된 간헐적 삼투 완화 조건은 하기와 같다.

[0157] **4. 간헐적 삼투 완화를 이용한 FO 여과 시스템을 위한 최적화 된 조건**

[0158] **4-1. 최적의 FO 단계 수행시간**

[0159] 역세척 시간을 20분으로 고정하고, 정삼투 기간을 2, 4 및 6시간으로 달리하여 총 24시간 동안 여과 시스템을 수행하였고, 3가지의 상이한 정삼투 기간(2, 4 및 6시간)에 따른 플럭스 회복 및 막 오염 저항성을 비교하였다.

[0160] FO 시스템의 플럭스 거동은 FO 간격에 따라 달라졌다(도 9 참조). 도 9는 여과 간격이 다른 FO 시스템들의 (a) 막 플럭스, (b) 막 저항성 및 여과 된 부피, 및 (c) 플럭스 회복의 비교 데이터를 나타낸다(유도용질 농도: 0.5 M NaCl, 유도 및 공급 용질의 교차 흐름 속도: 150 mL/분).

[0161] 2, 4 또는 6시간의 FO 단계 수행 시간을 갖는 IOR 하에서 24시간 여과 후 최종 막 플럭스는 각각 6.4, 6.0 및 5.2 LMH였으며, 최종 여과 부피는 각각 372.4, 361.6 및 337.7 ml 로 확인되다(도 9(b) 참조). 이러한 결과는 역세척 단계를 거치지 않은 참조 수행(도 9의 reference)과 비교하여 막 파울링 완화 측면에서 성능을 상당히 개선시켰다는 것을 보여주었다. 그러나, FO 단계를 짧게하여 삼투 역세척을 보다 빈번하게 하는 경우 더 높은 플럭스 또는 연장된 여과 부피를 달성하는 데 더욱 유리한 것으로 밝혀졌다.

[0162] 막 플럭스 회복은 여과 간격이 2, 4 및 6 시간인 경우 각각 94%, 90% 및 86%에 도달했다. 더욱이, 모든 IOR 조건 하에서 막의 플럭스는 추가적인 화학적 세정없이 간단한 물리적 세정만으로도 24 시간 실행 후 완전히 회복되었다 (도 9(c) 참조). 또한, 참조 수행에 의한 막 파울링 저항성  $1679 \times 10^5$  1/m에 비해, 2, 4 및 6시간의 여과 주기에 따른 막 저항성( $1180 \times 10^5$  1/m,  $1272 \times 10^5$  1/m 및  $1293 \times 10^5$  1/m)이 상당히 감소된 것을 보여주는 결과에 의해 이러한 멤브레인 파울링 완화에 대한 IOR의 우수한 효과가 입증되었다. 이러한 결과는 2, 4 및 6시간을 포함하는 다양한 여과 간격으로 여과된 막에서 추출된 오염물질의 DOC 농도(각각  $24.6 \pm 3.8$ ,  $28.3 \pm 4.1$  및  $37.6 \pm 9.4$  mg C/L)에 의해 지지되었다. 이는 참조 수행에서의 가역성 파울러트 DOC 농도(52mg C/L)보다 훨씬 낮았다.

[0163] 즉, IOR의 여과 간격(FO 간격)이 짧을수록 멤브레인 플럭스(membrane flux) 및 물 회복율이 높아졌으며, FO 막의 물리적 세척 후 보다 적은 막 저항과 보다 완전한 플럭스 회복에 의해 막 오염이 완화되는 정도가 더 커질 수 있다는 것을 확인하였다.

[0164] 전술한 결과들에 기초하여 FO 단계에서 역세척 단계로 변경하기에 적절한 시점이 FO 단계를 2시간 내지 4시간 수행한 후라는 것을 확인하였으며, 이 시점은 FO 단계 수행 직후에 비해 막 플럭스가 12% 이하로 떨어지는 시점이라는 것을 확인하였다. 본 발명자들은 전술한 결과를 바탕으로, 여과 단계를 수행한 후 막 플럭스가 12% 이하로 떨어질 때 하기와 같이 역세척 단계를 수행하여 막 오염물 제거 효과를 등을 확인하였다.

[0166] **4-2. 최적의 역세척 단계 수행 시간**

[0167] FO 단계를 수행하는 시간을 4시간으로 고정하고, 역세척 시간을 10, 20, 40분으로 달리하여 총 24시간 동안 여과 시스템을 수행하였고, 3개의 상이한 역세척 시간(10, 20 및 40분)에 따른 개선된 성능을 비교하였다(도 10 참조).

[0168] 역세척 시간을 10분으로 한 경우, 막 오염이 거의 개선되지 않았다. 구체적으로, 총 막 저항의 감소는 6.6%에 도달했으며 (도 10(b) 참조), DOC 제거와 IOR과 기준 실행 사이의 플럭스 회복에는 통계적인 차이가 없었다 (Student t-test,  $p > 0.05$ ) (도 10 참조). 이러한 결과는 10분의 역세척 단계를 갖는 IOR이 FO 막 파울링 완화를 위해 충분하지 않다는 것을 나타낸다. 한편, 20분 또는 40분의 역세척 단계를 포함하는 IOR의 경우 성능이

크게 향상되었다. 구체적으로, 총 막 오염 저항성이 적어도 30% 감소하였고, 물리적 세정 후 완전한 막의 플럭스가 회복되었으며, 필터링 된 부피가 최대 26% 증가하였고, 20분 역세척 조건에서 RE 막 오염물의 DOC 가 약 48% 감소하였으며, IR 막 오염물의 DOC가 약 65% 감소하였다.

[0169] 역세척 시간을 20분에서 40분으로 증가시키더라도, 여과된 양(Student t-test, p = 0.82) 및 추출된 오염물의 DOC 농도에 의해 측정된 막 오염물의 완화(Student t-test, p = 0.74)가 크게 개선되지 않았다. 이러한 결과는 20분 동안 역세척을 수행하는 것이 매립지 침출수를 처리하기 위해 FO 시스템의 IOR 실행에 최적화된 조건임을 시사한다.

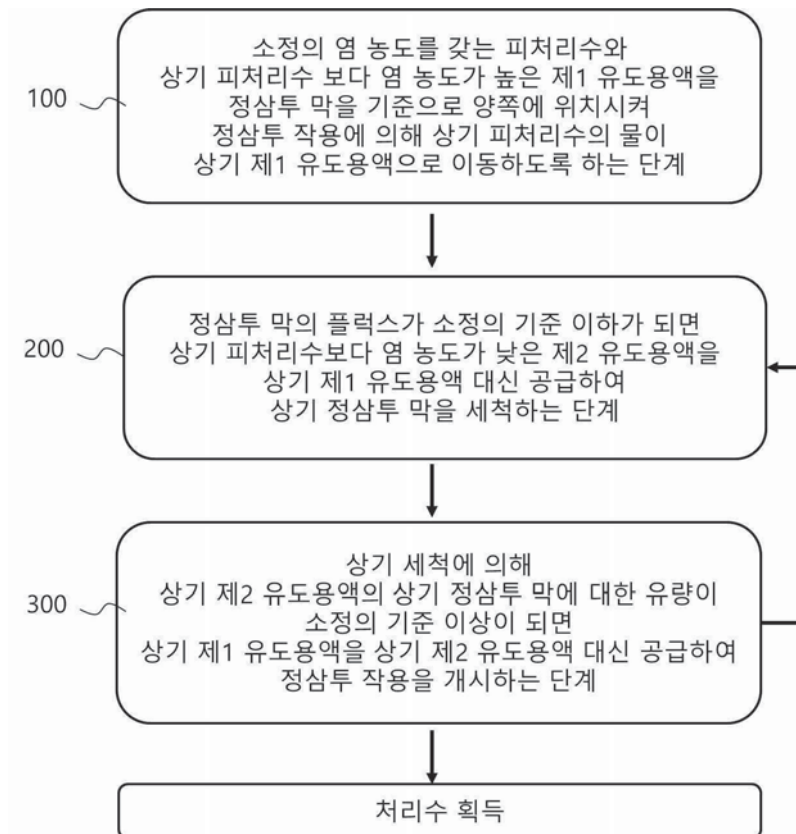
[0170] 또한, 제안된 조건에서 24시간 운전 시 최초 공급된 피처리수 농도를 기준으로 약 10배의 농축효과가 있다는 것을 확인하였으며, 실제 운영 시 피처리수에 대한 농축 목표치에 따라 그 운전시간을 늘리거나 줄일 수 있다.

[0171] 위 결과를 통해 FO 시스템에서 최적의 역세척 시간은 20분이라는 것을 다시 한번 더 확인하였다. 역세척 후 FO 단계를 수행하도록 유도부의 용액을 변경하는 시점에서의 막에 대한 유수량은 막 1cm<sup>2</sup> 당 0.13mL였다.

[0172] 제안된 간헐적 삼투완화 전략은 추가적인 에너지나 화학 물질 투여가 필요하지 않기 때문에, 전술한 실험 결과는 매립지 침출수의 부피 감소를 목표로 하는 FO 공정과 관련하여 환경적 중요성을 지지한다. 또한 제안된 IOR 전략은 막 오염을 완화함으로써 시스템의 안정적인 장기 작동을 보장할 수 있다. 나아가, 전술한 바와 같이 FO 여과 시스템은 매립지 침출수뿐만 아니라 이온 강도가 높은 다른 폐수 유형에 적용할 수 있으며, 풀-스케일(full-scale) FO 설비로도 확장할 수 있다.

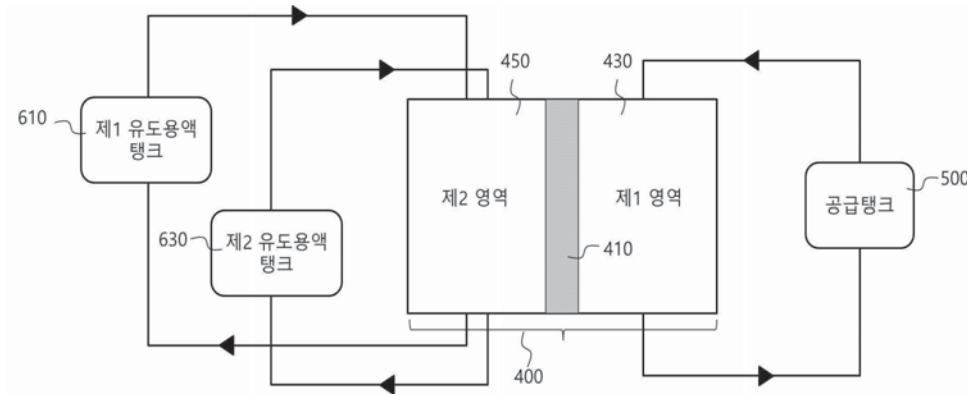
도면

도면1

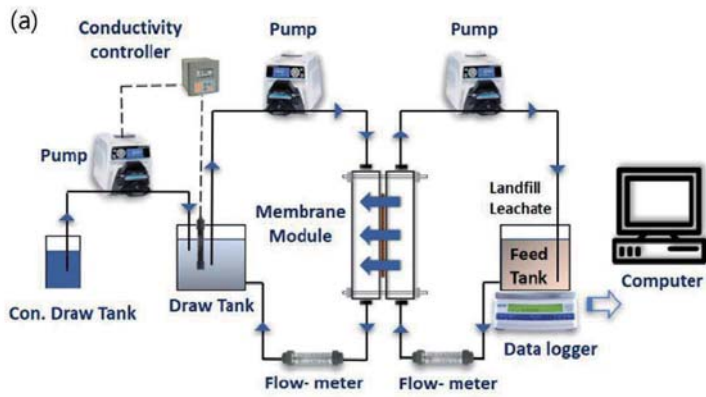




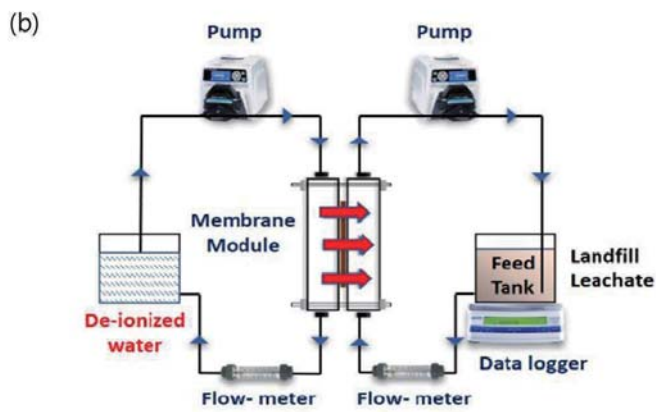
도면2



도면3

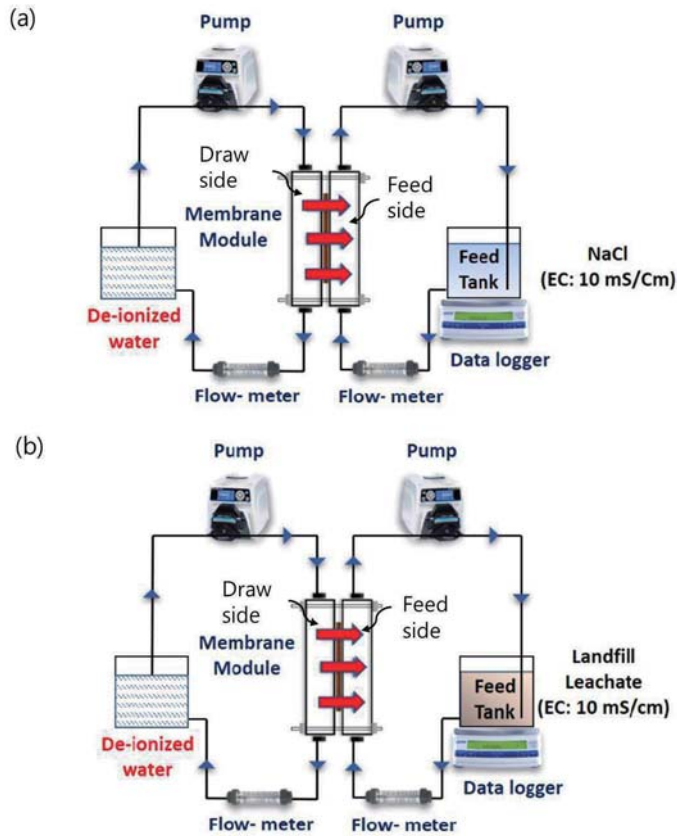


Forward osmosis configuration

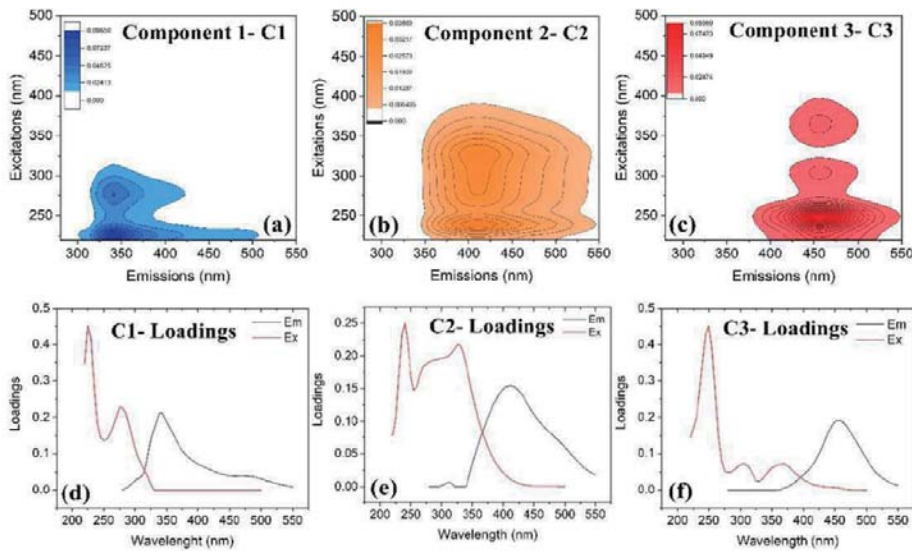


Intermittent Osmotic relaxation (IOR) configuration

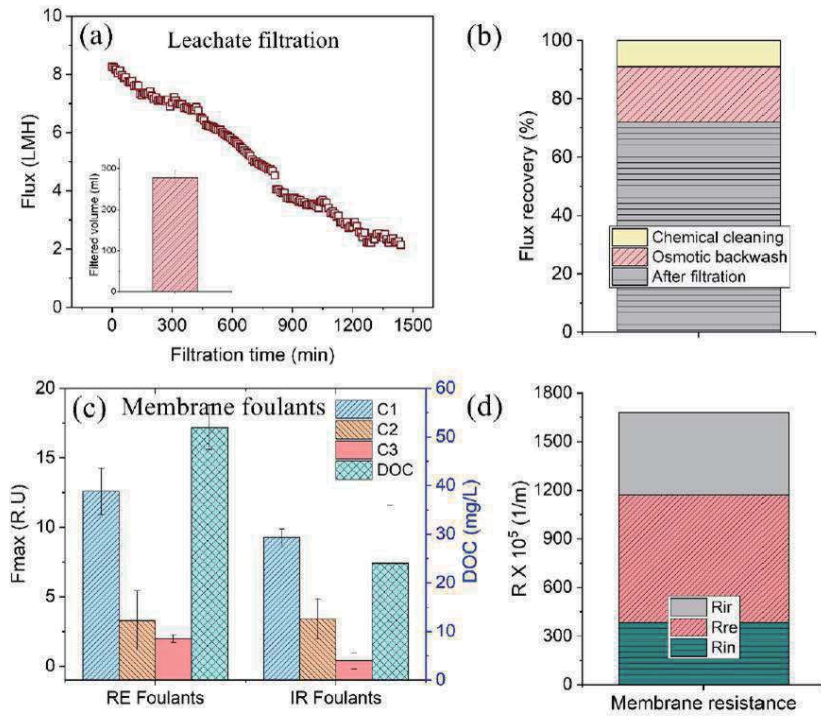
도면4



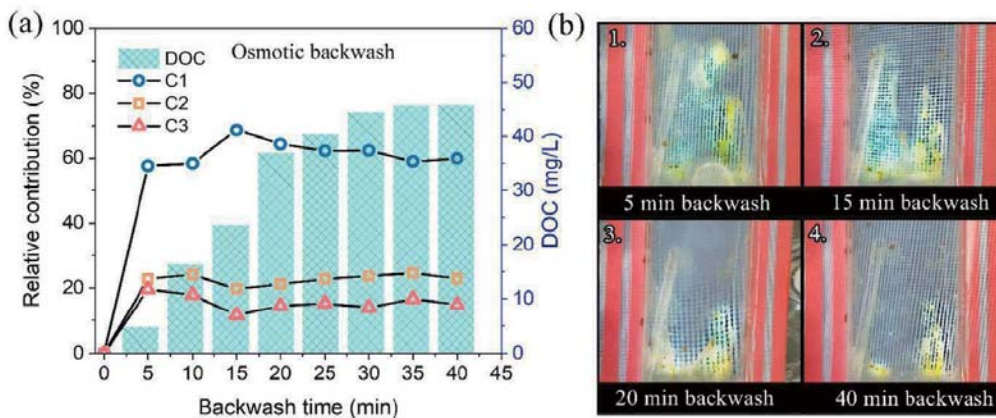
도면5



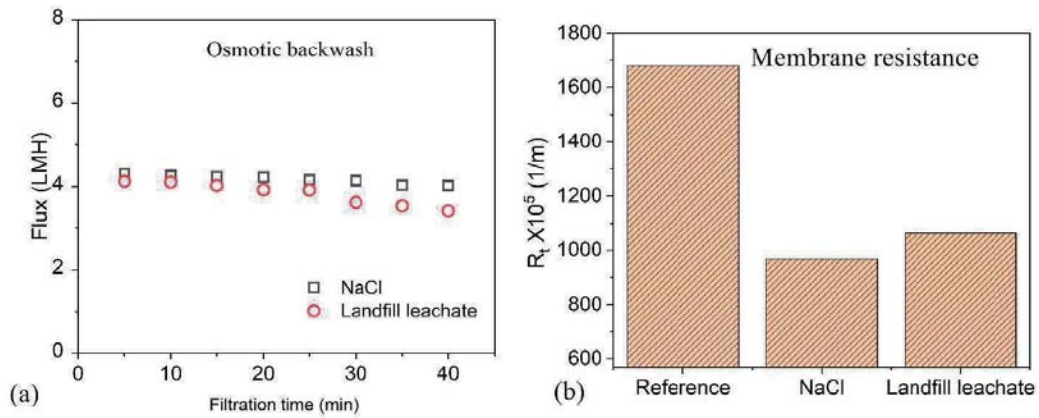
도면6



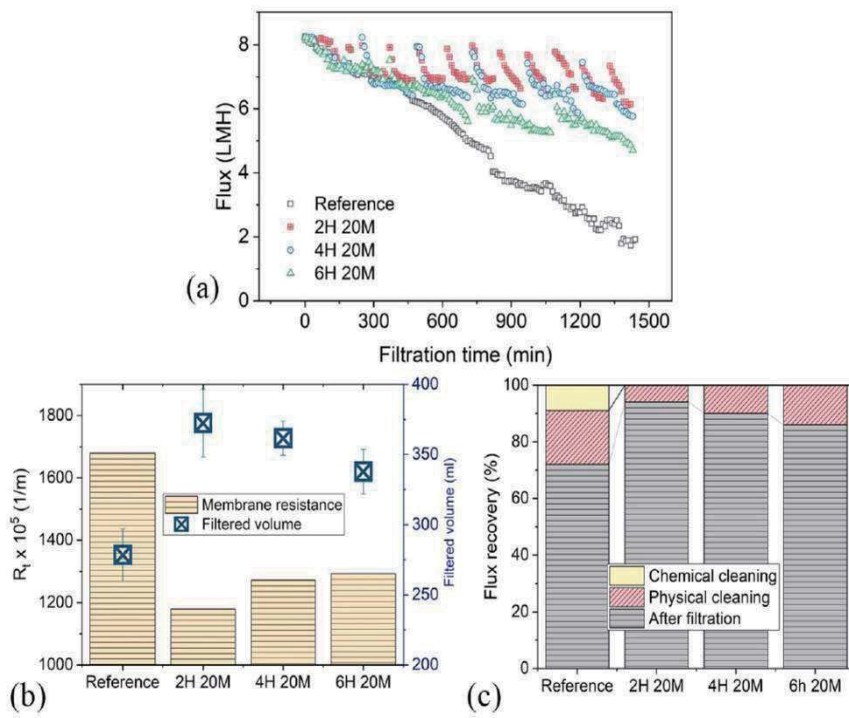
도면7



도면8



도면9



도면10

