



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0109332
(43) 공개일자 2017년09월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 65/10 (2006.01) B01D 61/00 (2006.01)
B01D 65/02 (2006.01) B01D 65/08 (2006.01)
C02F 1/44 (2006.01) C02F 103/08 (2006.01)

(52) CPC특허분류
B01D 65/10 (2013.01)
B01D 61/002 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0033315
(22) 출원일자 2016년03월21일
심사청구일자 2016년03월21일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자
홍승관
경기도 용인시 기흥구 흥덕중앙로105번길 40, 1505-301 (영덕동, 우남퍼스트빌리젠트)

최병규
경기도 과천시 별양로 12, 339동 1302호 (원문동, 래미안슈르아파트)
(뒷면에 계속)

(74) 대리인
특허법인남춘

전체 청구항 수 : 총 10 항

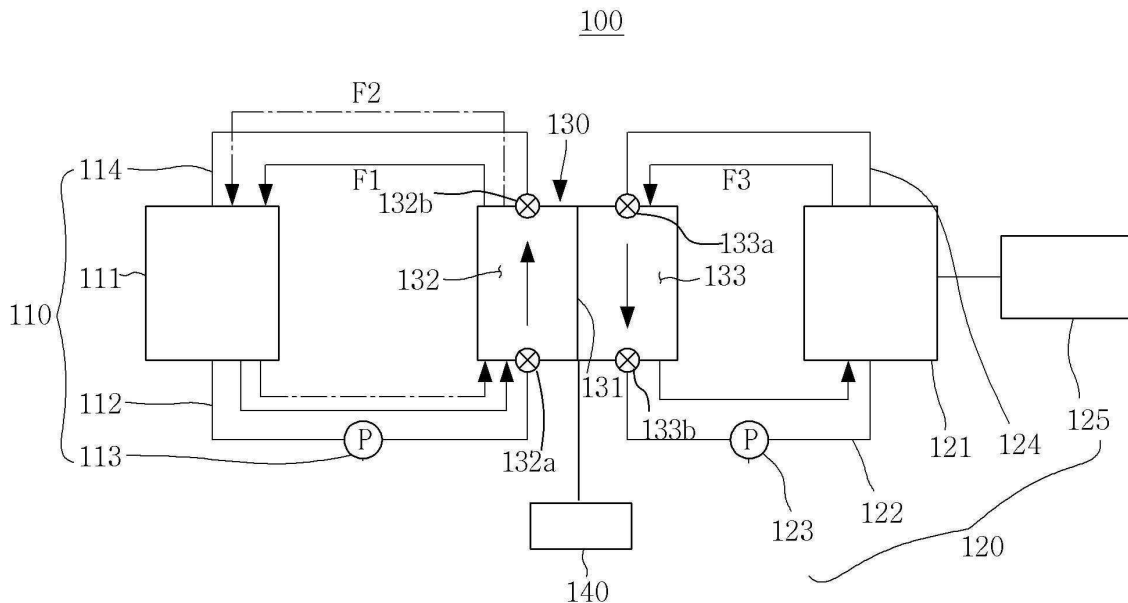
(54) 발명의 명칭 정삼투 막오염 예측 장치 및 정삼투 막오염 예측 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 정삼투 막오염 예측 장치는, 정삼투분리막이 구비되고, 정삼투공정시 정삼투분리막의 막오염이 모사되는 막오염모사부; 막오염모사부에 연결되어, 정삼투공정시 1차유입수를 제공하고, 세척공정시 1차유입수의 유속보다 큰 유속을 가진 2차유입수를 제공하는 유입수공급부; 막오염모사부에 연결되어, 정삼투공

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



정시 1차유입수보다 높은 농도를 가진 유도용액을 공급하는 유도용액 공급부; 및 정삼투공정의 운전시간 경과에 따라 정삼투분리막을 통과하는 1차유입수의 수투과량을 측정하여 정삼투막오염지수(OFI)를 산출하고, 정삼투막오염지수(OFI)로부터 정삼투분리막의 막오염을 예측하는 막오염예측부를 포함하고, 유도용액 공급부는 물농도를 조절하면서 유도용액을 막오염모사부로 제공하여 부착층의 형성을 가속화시키고, 막오염모사부는 정삼투공정시 1차유입수와 유도용액 간의 농도차이에 의한 삼투압에 의해 1차유입수 내의 물이 정삼투분리막을 통해 유도용액이 수용된 공간으로 유동하는 과정에서, 1차유입수의 유기물이 정삼투분리막의 표면에 쌓이면서 형성된 부착층에 의해 정삼투분리막의 막오염을 모사하는 것이 바람직하다.

(52) CPC특허분류

- B01D 61/005* (2013.01)
- B01D 65/02* (2013.01)
- B01D 65/08* (2013.01)
- C02F 1/445* (2013.01)
- B01D 2321/04* (2013.01)
- C02F 2103/08* (2013.01)
- C02F 2303/16* (2013.01)

이상석

서울특별시 송파구 올림픽로 99, 146동 2102호 (잠실동, 잠실엘스)

(72) 발명자

김인혁

서울특별시 성북구 보문로29다길 31, 107동 202호
(삼선동2가, 대우푸르지오)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	15IFIP-B088091-02
부처명	국토교통부
연구관리전문기관	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	정삼투-역삼투 융합공정 고도화기술
연구과제명	정삼투-역삼투 통합공정에서의 막오염 예측 및 제어기술 개발
기여율	1/1
주관기관	고려대학교 산학협력단
연구기간	2014.12.04 ~ 2019.12.03

명세서

청구범위

청구항 1

정삼투분리막이 구비되고, 정삼투공정시 상기 정삼투분리막의 막오염이 모사되는 막오염모사부;

상기 막오염모사부에 연결되어, 정삼투공정시 1차유입수를 제공하고, 세척공정시 상기 1차유입수의 유속보다 큰 유속을 가진 2차유입수를 제공하는 유입수공급부;

상기 막오염모사부에 연결되어, 상기 정삼투공정시 상기 1차유입수보다 높은 농도를 가진 유도용액을 공급하는 유도용액 공급부; 및

상기 정삼투공정의 운전시간 경과에 따라 상기 정삼투분리막을 통과하는 상기 1차유입수의 수투과량을 측정하여 정삼투막오염지수(OFI)를 산출하고, 상기 정삼투막오염지수(OFI)로부터 상기 정삼투분리막의 막오염을 예측하는 막오염예측부를 포함하고,

상기 유도용액 공급부는 물농도를 조절하면서 상기 유도용액을 상기 막오염모사부로 제공하여 상기 부착층의 형성을 가속화시키고,

상기 막오염모사부는 상기 정삼투공정시 상기 1차유입수와 상기 유도용액 간의 농도차이에 의한 삼투압에 의해 상기 1차유입수 내의 물이 상기 정삼투분리막을 통해 상기 유도용액이 수용된 공간으로 유동하는 과정에서, 상기 1차유입수의 유기물이 상기 정삼투분리막의 표면에 쌓이면서 형성된 부착층에 의해 상기 정삼투분리막의 막오염을 모사하는 것을 특징으로 하는 정삼투 막오염 예측 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 막오염예측부는 상기 운전시간 경과에 따라,

상기 정삼투분리막에 상기 부착층이 형성되기 전 상기 정삼투공정 초기에 상기 정삼투분리막을 통과하는 상기 1차유입수의 수투과량인 제 1 수투과량(J1)과,

상기 정삼투분리막의 상기 부착층이 상기 세척공정에 의해 제거된 후의 정삼투공정에서 상기 정삼투분리막을 통과하는 상기 1차유입수의 수투과량인 제 3 수투과량(J3)이 측정되고,

상기 정삼투막오염지수(OFI)가 상기 제 1 수투과량(J1)에 대한 상기 제 3 수투과량(J3)의 회복율에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 정삼투 막오염 예측 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 막오염예측부는,

상기 정삼투막오염지수(OFI)가 임계가역성(R_c)보다 크고 1보다 작은 범위($R_c < OFI < 1$)에 속할 때, 상기 정삼투분리막의 막오염을 예측하고,

상기 임계가역성(R_c)은 상기 2차유입수에 의한 물리적 세척만으로 상기 정삼투분리막의 막오염이 회복불가능한 상태에서, 상기 세척공정 전의 상기 1차유입수의 수투과량에 대한 상기 세척공정 후의 상기 1차유입수의 수투과량의 회복율인 것을 특징으로 하는 정삼투 막오염 예측 장치.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 막오염예측부에서, 상기 정삼투분리막의 표면에 형성된 상기 부착층에 의해 상기 정삼투분리막을 통과하는 상기 1차유입수의 수투과량이 상기 제 1 수투과량(J1)보다 점차 떨어지다 수렴되는 제 2 수투과량(J2)이 측정되면,

상기 유입수공급부는 상기 제 2 수투과량(J2)이 측정되는 시점에서, 상기 막오염모사부로 상기 2차유입수를 제공하여, 상기 2차유입수에 의해 상기 정삼투분리막이 세척되어 상기 부착층이 제거되도록 하는 것을 특징으로 하는 정삼투 막오염 예측 장치.

청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 유도용액 공급부에는 TDS컨트롤러가 연결되어,

상기 TDS컨트롤러는 상기 막오염모사부로 제공되는 상기 유도용액의 TDS(total dissolved solids)를 조절함으로써, 상기 1차유입수의 TDS와 상기 유도용액의 TDS의 차이에 의한 상기 제 1 수투과량을 조절하는 것을 특징으로 하는 정삼투 막오염 예측 장치.

청구항 6

제 1 항의 정삼투 막오염 예측 장치를 이용하여 정삼투공정에서의 막오염을 예측하는 정삼투 막오염 예측 방법에 있어서,

(A) 상기 정삼투 막오염 예측 장치의 막오염모사부로 공급된 유입수공급부의 1차유입수와 유도용액공급부의 유도용액의 농도차이에 의한 삼투압에 의해 상기 정삼투공정이 수행되고, 상기 1차유입수의 유기물이 상기 정삼투분리막의 표면에 쌓여 형성된 부착층에 의한 상기 정삼투분리막의 막오염이 모사되는 단계;

(B) 상기 유입수공급부에서 상기 막오염모사부로 2차유입수가 제공되어, 상기 2차유입수에 의해 상기 정삼투분리막이 세척되는 단계; 및

(C) 상기 정삼투공정의 운전시간 경과 및 운전횟수에 따라 상기 정삼투분리막을 통과하는 상기 1차유입수의 수투과량이 측정되고, 식 (1)로부터 정삼투막오염지수(OFI)가 산출되고, 상기 정삼투막오염지수(OFI)로부터 상기 정삼투분리막의 막오염이 예측되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 정삼투 막오염 예측 방법.

$$OFI = \frac{J3}{J1} \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

(여기서, J1은 상기 정삼투분리막에 상기 부착층이 형성되기 전 상기 정삼투공정 초기에 상기 정삼투분리막을 통과하는 상기 1차유입수의 수투과량인 제 1 수투과량이고, J3는 상기 정삼투분리막의 상기 부착층이 상기 세척공정에 의해 제거된 후의 정삼투공정에서 상기 정삼투분리막을 통과하는 상기 1차유입수의 수투과량인 제 3 수투과량이다.)

청구항 7

제 6 항에 있어서, 상기 (B) 단계는

상기 정삼투공정의 운전시간 경과에 따라,

상기 정삼투분리막을 통과하는 상기 1차유입수의 수투과량이 상기 부착층에 의해 상기 제 1 수투과량(J1)보다 점차 떨어지다 제 2 수투과량(J2, J1>J2)으로 수렴되는 시점에서, 상기 2차유입수에 의한 상기 정삼투분리막의 세척이 진행되어, 상기 부착층이 상기 정삼투분리막에서 제거됨에 따라 상기 정삼투분리막의 막오염이 회복되는 것을 특징으로 하는 정삼투 막오염 예측 방법.

청구항 8

제 6 항에 있어서, 상기 (C) 단계는,

(C1) 상기 정삼투막오염지수(OFI)가 1보다 크게 산출되면($1 < OFI$), 상기 정삼투분리막이 손상된 경우라 예측하여, 상기 정삼투공정의 운전이 중단되는 단계;

(C2) 상기 정삼투막오염지수(OFI)가 1($OFI=1$)이라 산출되면, 상기 정삼투분리막이 오염되지 않았다고 예측하여 상기 정삼투공정의 운전이 지속되는 단계;

(C3) 상기 정삼투막오염지수(OFI)가 임계가역성(R_c)보다 크고 1보다 작을 때($R_c < OFI < 1$), 상기 정삼투분리막의 막오염을 예측하여, 상기 정삼투공정의 운전이 중단되고 상기 (B)단계의 세척공정이 진행되는 단계; 및

(C4) 상기 정삼투막오염지수(OFI)가 상기 임계가역성(R_c)보다 작으면($R_c > OFI$), 상기 정삼투분리막이 상기 2차 유입수에 의한 물리적 세척만으로 막오염의 회복이 불가능한 상태라 예측하여, 상기 정삼투공정의 운전이 중단되고, 화학적세정과 같은 전처리공정이 수행되는 단계이고,

상기 임계가역성(R_c)은 상기 정삼투공정과 상기 세척공정의 반복적인 수행에 의해 상기 2차유입수에 의한 물리적 세척만으로 상기 정삼투분리막의 막오염의 회복이 불가능한 상태에서, 상기 세척공정 전의 상기 1차유입수의 수투과량($J_{세척전}$)에 대한 상기 세척공정 후의 상기 1차유입수의 수투과량($J_{세척후}$)의 회복율인 것을 특징으로 하는 정삼투 막오염 예측 방법.

청구항 9

제 6 항에 있어서, 상기 (A) 단계에서,

상기 유도용액은 물농도가 조절되어 상기 막오염모사부로 공급되어, 상기 부착층의 형성을 가속화시키는 것을 특징으로 하는 정삼투 막오염 예측 방법.

청구항 10

제 6 항에 있어서, 상기 (A) 단계에서,

상기 유도용액은 TDS컨트롤러에 의해 상기 막오염모사부로 제공되는 상기 유도용액의 TDS(total dissolved solids)가 조절되고,

상기 제 1 수투과량은 상기 1차유입수의 TDS와 상기 유도용액의 TDS의 차이에 의해 조절되는 것을 특징으로 하는 정삼투 막오염 예측 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 정삼투 막오염 예측 장치 및 정삼투 막오염 예측 방법에 관한 것이며, 상세하게는 정삼투 방식을 이용한 해수담수화 공정이나 여과 공정, 탈수 공정, 농축 공정 등에 의해 발생하는 정삼투분리막의 오염 현상을 보다 정확하게 사전에 측정 및 예측할 수 있는 정삼투 막오염 예측 장치 및 정삼투 막오염 예측 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 막 여과 기술을 기반으로 하는 해수 담수화 공정이나 물 재이용 공정은 미래의 물 부족 문제를 해결할 수 있는 가장 이상적인 대안으로 평가받고 있다. 이를 반영하듯 최근 수십 년간 급속도로 발전한 막 여과 공정은 해수담수화(RO/NF), 하수처리 및 물의 재이용(MF/UF, MBR)등 새로운 수자원 확보뿐 아니라, 기존의 정수시스템을 대체할 신개념 수처리 공정(FO)으로 적용범위를 넓혀 가고 있다.

- [0004] 이중 역삼투 공정은 기존 재래식 수처리 공법보다 우수한 생산수 수질의 제공으로 인해 그 사용이 급격히 증가하고 있는 추세이다. 다만, 역삼투 공정은 막 분리를 위한 구동력으로 고압을 사용하기 때문에 많은 전력을 필요로 할 뿐 아니라 비가역적 막오염 현상으로 화학세척이나 유입수의 전처리 공정이 요구되는 등의 경제적, 환경적 문제점이 있다.
- [0006] 이러한 관점에서 정삼투 공정은 역삼투 공정이 주로 활용되던 분야에서 기존공정의 한계를 극복하고 그 역할을 대신할 수 있는 차세대 수처리 기술로 주목받고 있다. 정삼투 공정의 가장 큰 장점은 압력을 가하지 않고 반투과성 막을 사이에 두고 발생하는 삼투압 차이를 처리수 생산을 위한 구동력으로 이용하는데, 이와 같은 공정 운영상의 특성으로 인해 정삼투 공정은 기존의 역삼투 공정과 비교하여, 압력에 의한 막오염 문제가 상대적으로 적어 막의 교체주기나 세척 주기를 크게 증가할 수 있으므로, 유지비용은 물론 작업자의 편리성을 도모할 수 있다는 점에서, 에너지 효율성 측면뿐 아니라 막 오염 및 세척 관점에서 유리한 장점을 지닌다.
- [0007] 이에, 경제적, 환경적으로 큰 이점을 지닌 정삼투 공정의 상용화를 위해 관련 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 여러 연구 분야 중에서 특히 정삼투 전용막(이하, '정삼투분리막'이라 함)의 개발에 대한 관심이 매우 높다.
- [0009] 정삼투 공정은 비가압 방식으로 운영되기 때문에 역삼투와는 다른 막오염 메커니즘을 보인다. 그리고, 유입수와 유도용액 간의 삼투압 차만을 구동력으로 하는 정삼투 운전의 경우, 느슨하고 분산된 막오염층이 관측되었으며, 삼투압과 기계적 가압의 영향을 모두 받아 비가역적 거동을 보이는 역삼투 막오염과는 달리 정삼투에서 발생된 막오염층은 물리적 세척을 통해 일정수준이상 회복되는 가역성을 보인다.
- [0011] 현재 가압식 분리막들(MF, UF, NF, RO)에 대한 막오염 측정방법 및 장치들은 존재하나 정삼투 막오염 현상을 정확히 모사한 측정 방법과 장치는 없는 것으로 조사되었다.
- [0012] 분리막 막오염 측정방법은 역삼투공정의 가압식 운전 모드에서 이루어지고 있다. 역삼투공정은 막오염지수(SDI, silt density index)를 사용하여 역삼투공정의 분리막의 막오염을 측정한다. 여기서, 막오염지수 (SDI, silt density index)는 역삼투 분리막에서 제조사의 품질보증 및 운전기준으로 사용되는 보편적인 지수이다. 기존의 역삼투공정에서의 막오염지수(SDI)는 SDI지수측정장비에 의해 측정된다.
- [0013] SDI지수측정장비는 간단하여 다루기 쉬운 장점이 있는 반면, 역삼투공정의 막오염을 예측하는데 역삼투분리막(RO)이 아니라 공극(pore)이 있는 MF막을 사용하여 실제 사용되는 분리막의 재질과 지수측정시 사용되는 막의 재질이 상이하고, 실제 역삼투공정은 크로스-플로우(CROSS-FLOW)로 진행되는데 SDI 지수측정은 데드-엔드-테스트(DEAD-END-TEST)로 진행된다는 점에서 실제 운영조건과 지수 실험조건이 상이한 문제점이 있었다.
- [0014] 이러한 문제점이 존재하더라도, 역삼투공정은 SDI지수측정장비를 이용하여 역삼투분리막의 막오염을 예측할 수 있는 반면, 정삼투공정은 역삼투공정과 달리 SDI와 같이 보편화된 정삼투분리막의 막오염지수가 없어, 실제 정삼투 운영조건을 반영하지 못해 정삼투공정을 모사하기 어려운 실정이다. 이와 더불어, 정삼투분리막의 막오염 지수를 측정하기 위한 장비도 없다.
- [0016] 이에, 정삼투공정의 막오염을 측정하는데 역삼투공정의 막오염지수(SDI)를 적용하는 것이 부합하는지의 여부에 대한 연구가 진행되었다. 이러한 역삼투공정의 막오염지수인 SDI가 정삼투분리막의 막오염을 나타낼 수 있는지를 검토하기 위해, 하수 2차처리수를 유입수(feed water)로 해수를 유도용액(draw solution)으로 사용하여 정삼투분리막을 운전한 실험 1을 진행하였다.
- [0017] 유입수로 제공되는 하수 2차처리수는 구리하수처리장(A²O 공정)의 2차 침전지 유출수가 사용되었고, 유도용액으로 제공되는 해수는 NaCl 0.6 M (TDS 35,000 mg/L)을 이용한 인공 해수가 사용되었다. 실험에 사용된 정삼투분리막은 트리아세틸 셀룰로오스(CTA, cellulose triacetate) 재질의 HTI사의 제품을 사용하였으며, 역삼투 분리막은 DOW filmtec사의 SW30HR-380 제품이 사용되었다.

- [0018] 그리고, 실험조건으로, 운전 온도는 25 ℃ 로 설정하였으며 전체 공정의 회수율은 50%이다. 이 조건으로 실험을 진행할 경우 정삼투 처리수와 해수의 회석비율은 0.7 : 1 (정삼투 처리수 : 해수)이다. SESW와 MFSW 실험조건에서도 같은 회석비율로 해수와 회석을 하여 실험을 진행하였다.
- [0019] 이와 같은 실험에 의해 도출된 원수와 해수의 회석에 따른 SDI 값은 도 5a에 도시된 바와 같다. 원수와 해수의 회석에 따른 SDI 값은 원수가 얼마만큼의 막오염 포텐셜(potential)을 가지고 있는지를 평가한 결과이다.
- [0020] 도 5a에서, SE는 하수2차처리수이고, SESW는 처리하지 않은 하수2차처리수를 해수에 회석한 것이고, MFSW는 MF(Millipore, polypropylene, 0.45 μm)를 이용하여 하수2차처리수를 여과후 해수에 회석한 것이며, FOSW는 하수2차처리수가 정삼투분리막에 의한 삼투회석효과를 이용하여 해수에 회석된 것이다.
- [0021] 도 5a에서 SE의 SDI값은 6.42 ± 0.5 로 일반적으로 역삼투 분리막을 운전하기 위해 권고되는 SDI 3 이하보다 매우 높은 막오염 포텐셜을 나타내고 있다.
- [0022] SESW, MFSW의 SDI 값도 각각 6.11 ± 0.48 , 5.04 ± 0.33 으로 회석되었음에도 불구하고 SDI 값은 여전히 3이상의 값을 보여주며, 역삼투 분리막에 사용이 어려운 막오염포텐셜을 보여주며 이러한 조건으로 역삼투 분리막을 운전시 전처리 비용이 발생할 수 있다.
- [0023] 그러나, 하수2차처리수가 정삼투분리막에 의한 삼투회석효과를 이용하여 해수에 회석된 FOSW의 경우, FOSW의 SDI 값은 1.28 ± 0.12 로 유일하게 SDI 3이하의 권고 수준에 적합한 막오염 포텐셜을 나타냄을 알 수 있다.
- [0024] 또한, 상기 실험을 통해, 기존의 역삼투공정의 막오염지수인 SDI는 정삼투분리막의 막오염을 측정하는데 사용하는 것은 부적합함을 알 수 있다. 그리고, 하수2차처리수(SE)를 정삼투공정(FO, forward osmosis)로 처리한 생산수를 해수에 회석하는 삼투회석 방법이 막오염 측면에서 가장 우수한 방법으로 확인되었으며, 동시에 SDI값이 6 이상의 원수도 정삼투분리막을 통해 수처리가 가능하다는 결론을 내릴 수 있다. 이에 따라, 정삼투분리막의 막오염을 모사하고 이로부터 정삼투분리막의 막오염을 예측할 수 있는 정삼투공정에서의 막오염지수를 산출할 수 있는 기술개발이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0026] (특허문헌 0001) 한편, 한국등록특허 제10-1560524호에는 정삼투분리막 베셀 내 실시간 막오염 감시 장치 및 방법이 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0027] 본 발명은 정삼투 방식을 이용한 해수담수화 공정이나 여과 공정, 탈수 공정, 농축 공정 등에 의해 발생하는 정삼투분리막의 오염 현상을 보다 정확하게 사전에 측정 및 예측할 수 있는 정삼투 막오염 예측 장치 및 정삼투 막오염 예측 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0028] 본 발명은 현장에서 적용되는 환경적 요인에 의한 변수가 반영되고 실제로 사용되는 정삼투분리막을 활용하여 정삼투공정에 사용되는 정삼투분리막의 막오염을 모사하고, 막오염이 모사된 정삼투분리막에서 측정된 막오염 데이터를 바탕으로 정삼투막오염지수(OFI)를 산출하여, 정삼투막오염지수(OFI)로부터 정삼투분리막의 막오염을 사전에 예측할 수 있는 정삼투 막오염 예측 장치 및 정삼투 막오염 예측 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0029] 본 발명은 기존의 역삼투공정의 막오염지수(SDI) 측정장치의 장단점을 모두 반영하여 정삼투공정에서 정삼투분리막의 막오염에 의한 정삼투막오염지수(OFI)를 산출하여, 실제 정삼투공정에서 정삼투분리막의 막오염을 예측할 수 있는 정삼투 막오염 예측 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0030] 본 발명의 일 실시예에 따른 정삼투 막오염 예측 장치는, 정삼투분리막이 구비되고, 정삼투공정시 정삼투분리막

의 막오염이 모사되는 막오염모사부; 막오염모사부에 연결되어, 정삼투공정시 1차유입수를 제공하고, 세척공정시 1차유입수의 유속보다 큰 유속을 가진 2차유입수를 제공하는 유입수공급부; 막오염모사부에 연결되어, 정삼투공정시 1차유입수보다 높은 농도를 가진 유도용액을 공급하는 유도용액 공급부; 및 정삼투공정의 운전시간 경과에 따라 정삼투분리막을 통과하는 1차유입수의 수투과량을 측정하여 정삼투막오염지수(OFI)를 산출하고, 정삼투막오염지수(OFI)로부터 정삼투분리막의 막오염을 예측하는 막오염예측부를 포함하고, 유도용액 공급부는 물농도를 조절하면서 유도용액을 막오염모사부로 제공하여 부착층의 형성을 가속화시키고, 막오염모사부는 정삼투공정시 1차유입수와 유도용액 간의 농도차이에 의한 삼투압에 의해 1차유입수 내의 물이 정삼투분리막을 통해 유도용액이 수용된 공간으로 이동하는 과정에서, 1차유입수의 유기물이 정삼투분리막의 표면에 쌓이면서 형성된 부착층에 의해 정삼투분리막의 막오염을 모사하는 것이 바람직하다.

[0032] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 막오염예측부는 운전시간 경과에 따라, 정삼투분리막에 부착층이 형성되기 전 정삼투공정 초기에 정삼투분리막을 통과하는 1차유입수의 수투과량인 제 1 수투과량(J1)과, 정삼투분리막의 부착층이 세척공정에 의해 제거된 후의 정삼투공정에서 정삼투분리막을 통과하는 1차유입수의 수투과량인 제 3 수투과량(J3)이 측정되고, 정삼투막오염지수(OFI)가 제 1 수투과량(J1)에 대한 제 3 수투과량(J3)의 회복율에 의해 산출되는 것이 바람직하다.

[0034] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 막오염예측부는, 정삼투막오염지수(OFI)가 임계가역성(Rc)보다 크고 1보다 작은 범위(Rc < OFI < 1)에 속할 때, 정삼투분리막의 막오염을 예측하고, 임계가역성(Rc)은 2차유입수에 의한 물리적 세척만으로 정삼투분리막의 막오염이 회복불가능한 상태에서의 세척공정 전의 1차유입수의 수투과량에 대한 세척공정 후의 1차유입수의 수투과량의 회복율인 것이 바람직하다.

[0036] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 막오염예측부에서 정삼투분리막의 표면에 형성된 부착층에 의해 정삼투분리막을 통과하는 1차유입수의 수투과량이 제 1 수투과량(J1)보다 점차 떨어지다 수렴되는 제 2 수투과량(J2)이 측정되면, 유입수공급부는 제 2 수투과량(J2)이 측정되는 시점에서 막오염모사부로 2차유입수를 제공하고, 유도용액공급부는 2차유입수에 의해 정삼투분리막이 세척되어 부착층이 제거되도록 하는 것이 바람직하다.

[0038] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 유도용액 공급부에는 TDS컨트롤러가 연결되어, TDS컨트롤러는 막오염모사부로 제공되는 유도용액의 TDS(total dissolved solids)를 조절함으로써, 1차유입수의 TDS와 유도용액의 TDS의 차이에 의한 제 1 수투과량을 조절하는 것이 바람직하다.

[0040] 한편, 정삼투 막오염 예측 장치를 이용하여 정삼투공정에서의 막오염을 예측하는 정삼투 막오염 예측 방법은, (A) 정삼투 막오염 예측 장치의 막오염모사부로 공급된 유입수공급부의 1차유입수와 유도용액공급부의 유도용액의 농도차이에 의한 삼투압에 의해 정삼투공정이 수행되고, 1차유입수의 유기물이 정삼투분리막의 표면에 쌓여 형성된 부착층에 의한 정삼투분리막의 막오염이 모사되는 단계; (B) 유입수공급부에서 막오염모사부로 2차유입수가 제공되어, 2차유입수에 의해 정삼투분리막이 세척되는 단계; 및 (C) 정삼투공정의 운전시간 경과 및 운전횟수에 따라 정삼투분리막을 통과하는 1차유입수의 수투과량이 측정되고, 식 (1)로부터 정삼투막오염지수(OFI)가 산출되고, 정삼투막오염지수(OFI)로부터 정삼투분리막의 막오염이 예측되는 단계를 포함하는 것이 바람직하다.

[0041]
$$OFI = \frac{J3}{J1} \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

[0042] (여기서, J1은 정삼투분리막에 부착층이 형성되기 전 정삼투공정 초기에 정삼투분리막을 통과하는 1차유입수의 수투과량인 제 1 수투과량이고, J3는 정삼투분리막의 부착층이 세척공정에 의해 제거된 후의 정삼투공정에서 정삼투분리막을 통과하는 1차유입수의 수투과량인 제 3 수투과량이다.)

[0044] 본 발명의 일 실시예에 있어서, (B) 단계는 정삼투공정의 운전시간 경과에 따라, 정삼투분리막을 통과하는 1차 유입수의 수투과량이 부착층에 의해 제 1 수투과량(J1)보다 점차 떨어지다 제 2 수투과량(J2, J1>J2)으로 수렴되는 시점에서, 2차유입수에 의한 정삼투분리막의 세척이 진행되어, 부착층이 정삼투분리막에서 제거됨에 따라 정상투분리막의 막오염이 회복되는 것이 바람직하다.

[0046] 본 발명의 일 실시예에 있어서, (C) 단계는, (C1) 정삼투막오염지수(OFI)가 1보다 크게 산출되면(1<OFI), 정삼투분리막이 손상된 경우라 예측하여, 정삼투공정의 운전이 중단되는 단계; (C2) 정삼투막오염지수(OFI)가 1(OFI=1)이라 산출되면, 정삼투분리막이 오염되지 않았다고 예측하여 정삼투공정의 운전이 지속되는 단계; (C3) 정삼투막오염지수(OFI)가 임계가역성(Rc)보다 크고 1보다 작을 때(Rc< OFI <1), 정삼투분리막의 막오염을 예측하여, 정삼투공정의 운전이 중단되고 (B)단계의 세척공정이 진행되는 단계; 및 (C4) 정삼투막오염지수(OFI)가 임계가역성(Rc)보다 작으면(Rc> OFI), 정삼투분리막이 2차유입수에 의한 물리적 세척만으로 막오염의 회복이 불가능한 상태라 예측하여, 정삼투공정의 운전이 중단되고, 화학적세정과 같은 전처리공정이 수행되는 단계이고, 임계가역성(Rc)은 정삼투공정과 세척공정의 반복적인 수행에 의해 2차유입수에 의한 물리적 세척만으로 정삼투분리막의 막오염의 회복이 불가능한 상태에서, 세척공정 전의 1차유입수의 수투과량(J_{세척전})에 대한 세척공정 후의 1차유입수의 수투과량(J_{세척후})의 회복율인 것이 바람직하다.

[0048] 본 발명의 일 실시예에 있어서, (A) 단계에서, 유도용액은 물농도가 조절되어 막오염모사부로 공급되어, 부착층의 형성을 가속화시키는 것이 바람직하다.

[0050] 본 발명의 일 실시예에 있어서, (A) 단계에서, 유도용액은 TDS컨트롤러에 의해 막오염모사부로 제공되는 유도용액의 TDS(total dissolved solids)가 조절되고, 제 1 수투과량은 1차유입수의 TDS와 유도용액의 TDS의 차이에 의해 조절되는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0052] 본 발명은 실제로 사용되는 정삼투분리막을 활용하여, 정삼투분리막의 가역성, 고농도 유도용액을 이용하여 정삼투공정에 의한 막오염시기 단축하여, 단기간에 정삼투분리막의 막오염을 모사할 수 있다.

[0053] 본 발명은 막오염이 모사된 정삼투분리막에서 측정된 수투과량과 정삼투분리막의 특성을 반영하여 정삼투막오염지수(OFI)를 산출할 수 있고, 정삼투막오염지수(OFI)로부터 정삼투분리막의 막오염을 예측할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0055] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 정삼투 막오염 예측 장치의 구성도를 개략적으로 도시한 것이다.
- 도 2는 유도용액의 물농도 변화에 따른 운전시간-막오염 가역성 그래프를 도시한 것이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 물리적세척 전후의 시간변화에 따른 수투과량 그래프를 도시한 것이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 정삼투 막오염 예측 방법의 순서도를 개략적으로 도시한 것이다.
- 도 5a는 실험 1에서, 원수 및 해수 희석방법에 따른 SDI 결과이다.
- 도 5b는 실험 2에서, 가압 또는 감압 조건에 따른 정삼투분리막의 수투과량과 막오염 가역성(fouling reversibility)에 대한 결과 그래프이다.
- 도 5c는 실험 3에서, 가압조건과 삼투압을 이용한 조건에서 운전횟수에 따른 막오염 가역성(fouling reversibility) 그래프이다.

도 5d는 4개 하수처리장에 대한 SDI와 TDS 그래프이다.

도 5e는 동일한 TDS (250 mg/L) 조건에서 작동시간에 따른 4개 하수처리장 2차처리수의 수투과량(flux)에 대한 그래프이다.

도 5f는 4개의 하수처리장의 운전횟수에 대한 막오염 가역성(fouling reversibility)에 대한 그래프가 도시되어 있다.

도 5g은 4개 하수처리장에 대한 2차처리수의 유기물들의 농도 그래프이다.

도 5h는 정삼투분리막에 부착된 4종류의 유기물질의 세척주기에 따른 농도에 대한 그래프이다.

도 5i는 물리적 세척조건인 유속에 따라 정삼투분리막의 막오염 가역성(fouling reversibility)가 운전주기에 따른 결과그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0056] 이하에서는 첨부도면을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 정삼투 막오염 예측 장치 및 정삼투 막오염 예측 방법에 대해 설명하기로 한다.
- [0058] 발명의 배경이 되는 기술에서 설명했듯이, 기존 역삼투공정의 막오염지수인 SDI가 정삼투분리막의 막오염에 사용이 불가능하다는 결론에 따라, 본 발명은 정삼투분리막 막오염을 모사하고 현장에서 적용되는 환경적 요인에 의한 변수가 반영된 정삼투막오염지수를 개발하여, 정삼투분리막의 막오염을 측정 및 예측하기 위한 것이다.
- [0060] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 정삼투 막오염 예측 장치(100)는 정삼투공정을 모사하고 정삼투막오염지수를 측정하기 위한 구성요소로서, 유입수공급부(110), 유도용액공급부(120), 막오염모사부(130)와 막오염예측부(140)를 포함한다.
- [0062] 우선, 정삼투공정에 의한 정삼투분리막(131)의 막오염모사는, 유입수공급부(110), 유도용액공급부(120)와 막오염모사부(130)에 의해 수행된다.
- [0063] 유입수공급부(110)는 막오염모사부(130)에 연결된다. 유입수공급부(110)는 유입수저장탱크(111), 제 1 유입수관(112), 제 1 펌프(113)와 제 2 유입수관(114)을 포함한다.
- [0064] 유입수저장탱크(111)는 유입수가 저장된 탱크이다. 유입수는 정삼투 방식을 이용한 해수담수화 공정이나 여과 공정, 탈수 공정, 농축 공정에서 수처리되는 것이다.
- [0065] 제 1 유입수관(112)은 유입수저장탱크(111)와 막오염모사부(130)의 제 1 입구(132a)를 연결한다. 여기서, 제 1 유입수관(112)을 흐르는 유입수는 유입수저장탱크(111)에서 막오염모사부(130)로 이동된다. 제 1 유입수관(112)을 흐르는 유입수의 원활한 흐름을 위해, 제 1 유입수관(112)에는 제 1 펌프(113)가 연결된다. 제 1 펌프(113)는 유입수저장탱크(111)에 저장된 유입수를 빨아들여 막오염모사부(130)로 공급하는 것이다.
- [0066] 제 2 유입수관(114)은 유입수저장탱크(111)와 막오염모사부(130)의 제 1 출구(132b)를 연결한다. 여기서, 제 2 유입수관(114)을 흐르는 유입수는 막오염모사부(130)에서의 유도용액과의 정삼투공정에 의해 농축된 농축수로서, 막오염모사부(130)에서 유입수저장탱크(111)로 이동된다.
- [0067] 본 실시예에서는 설명의 편의를 위하여, 정삼투공정시 공급되는 유입수에 대해 '1차 유입수'라 지칭하고, 세척 공정시 공급되는 유입수에 대해 '2차 유입수'라 지칭하기로 한다. 여기서, 2차유입수는 1차유입수보다 유속이 빠르다. 본 예에서, 1차유입수는 정삼투공정시 화살표 F1을 따라 순환되고, 2차유입수는 세척공정시 화살표 F2를 따라 순환된다.
- [0069] 유도용액공급부(120)는 정삼투공정시 유도용액을 제공하기 위한 것이다. 유도용액 공급부는 유도용액의 몰농도를 조절하면서 막오염모사부(130)로 제공하여 부착층의 형성을 가속화시킬 수 있다.

- [0070] 유도용액공급부(120)는 유도용액저장탱크(121), 제 1 유도용액관(122), 제 2 펌프(123), 제 2 유도용액관(124)과 TDS컨트롤러(125)를 포함한다.
- [0071] 유도용액저장탱크(121)는 유도용액이 저장된 탱크이다. 유도용액은 1차유입수보다 고농도를 가진다.
- [0072] 제 1 유도용액관(122)은 유도용액저장탱크(121)와 막오염모사부(130)의 제 2 출구(133b)를 연결한다. 여기서, 제 1 유도용액관(122)을 흐르는 유도용액은 막오염모사부(130)에서 유도용액저장탱크(121)로 이동된다. 여기서, 제 1 유도용액관(122)을 흐르는 유도용액은 막오염모사부(130)에서의 상기 1차유입수와 의 정삼투공정에 의해 희석된 상태이다.
- [0073] 제 1 유도용액관(122)에는 제 1 유도용액관(122)을 흐르는 유도용액의 원활한 흐름을 위해 제 2 펌프(123)가 연결된다. 제 2 펌프(123)는 막오염모사부(130)에서 배출된 유도용액을 빨아들여 유도용액저장탱크(121)로 공급하는 것이다.
- [0074] 제 2 유도용액관(124)은 유도용액저장탱크(121)와 막오염모사부(130)의 제 2 입구(133a)를 연결한다. 여기서, 제 2 유도용액관(124)을 흐르는 유도용액은 1차유입수보다 높은 농도를 가진 물질이다.
- [0075] TDS컨트롤러(125)는 유도용액저장탱크(121)에 연결된다. TDS컨트롤러(125)는 막오염모사부(130)로 제공되는 유도용액의 TDS(total dissolved solids)를 조절한다. TDS컨트롤러(125)는 유도용액의 TDS를 조절하여, 제 1 수투과량을 조절할 수 있다. 여기서, 제 1 수투과량은 1차유입수의 TDS와 유도용액의 TDS의 차이에 의한다. 제 1 수투과량(J1)은 정삼투분리막(131)에 부착층이 형성되기 전, 정삼투공정 초기에 정삼투분리막(131)을 통과하는 1차유입수의 수투과량이다.
- [0077] 막오염모사부(130)는 정삼투공정이 수행되고, 반복적인 정삼투공정에 의해 정삼투분리막(131)의 막오염을 모사하기 위한 것이다. 막오염모사부(130)는 정삼투분리막(131)에 의해 구분된 제 1 공간(132)과 제 2 공간(133)이 구비된다.
- [0078] 막오염모사부(130)는 제 1 공간(132)이 마련된 부분에 제 1 입구(132a)와 제 1 출구(132b)가 마련된다. 여기서, 제 1 입구(132a)에는 제 1 유입수관(112)이 연결되고, 제 1 출구(132b)에는 제 2 유입수관(114)이 연결된다.
- [0079] 제 1 공간(132)은 유입수공급부(110)를 순환하는 유입수가 저장되는 공간이다. 정삼투공정시, 1차유입수는 화살표 F1을 따라 유입수저장탱크(111) -> 제 1 유입수관(112)-> 막오염모사부(130)의 제 1 공간(132) -> 제 2 유입수관(114) -> 유입수저장탱크(111)를 순환한다.
- [0081] 그리고, 막오염모사부(130)는 제 2 공간(133)이 마련된 부분에 제 2 입구(133a)와 제 2 출구(133b)가 마련된다. 제 2 입구(133a)에는 제 2 유도용액관(124)이 연결되고, 제 2 출구(133b)에는 제 1 유도용액관(122)이 연결된다. 제 2 공간(133)은 유도용액공급부(120)를 순환하는 유도용액이 저장되는 공간이다.
- [0082] 유도용액은 F3을 따라 유도용액공급부(120)와 막오염모사부(130)를 순환한다. 구체적으로, 유도용액은 F3을 따라 유도용액저장탱크(121) -> 제 2 유도용액관(124) -> 막오염모사부(130)의 제 2 공간(133) -> 제 1 유도용액관(122) -> 유도용액저장탱크(121)를 순환한다. 이때, 유도용액의 순환방향(F3)은 1차유입수의 순환방향(F1)과 반대방향이다.
- [0083] 1차유입수는 정삼투분리막(131)에 의해 유도용액과 구분된 상태로 크로스-플로우(CROSS-FLOW)되면서, 1차유입수와 유도용액 간의 농도차이에 의해 정삼투분리막(131)에 걸린 삼투압에 의해, 저농도의 1차유입수의 물이 고농도의 유도용액으로 이동된다.
- [0084] 이 과정에서, 1차유입수의 물이 제 1 공간(132)에서 제 2 공간(133)으로 이동되는 과정에서, 정삼투분리막(131)의 표면에는 1차유입수 내의 유기질이 쌓여 부착층이 형성된다. 정삼투분리막(131)은 부착층에 의해 막오염된다.
- [0085] 도 2에 도시된 바와 같이, 부착층은 유도용액의 물농도에 따라, 정삼투분리막(131)에 형성되는 속도가 변된다. 도 2는 유도용액의 물농도 변화에 따른 운전시간-막오염 가역성 그래프를 도시한 것이다. 여기서, 막오염 가역성(fouling reversibility)은 물리적 세척에 따른 정삼투분리막(131)의 회복능력을 말한다.
- [0086] 유도용액의 물농도 변화에 따른 운전시간-막오염 가역성 그래프는 5분 내지 10분 주기로 정삼투공정과 세척공정

이 반복수행됨에 따라, 세척공정전후에 정삼투분리막(131)의 회복율이 얼마만큼 회복되는지를 보여주는 결과값이다.

- [0087] 도 2를 참조하면, 3M의 유도용액으로 물농도로 20~30분 정도의 운전 후 세척을 진행하면 충분한 임계가역성(Rc, critical reversibility)에 도달하는 실험 결과를 얻을 수 있다. 이는, 도 5f의 그래프에서, 해수조건의 유도용액을 이용하여 5번 운전을 반복한 막오염 가역성과 일치하는 결과이다.
- [0088] 도 2를 참조하면, 정삼투분리막(131)의 막오염 가역성은 2M의 유도용액을 사용하여 정삼투공정을 수행하는 경우에 시간의 경과에 따라 75%로 수렴되는 반면, 3M 이상의 유도용액을 사용하여 정삼투공정을 수행하는 경우에 대략 60%로 수렴됨을 알 수 있다. 즉, 2M의 농도의 경우 충분한 실험결과를 보이지 못하였으며, 4M의 경우 시간을 단축할 수 있지만 약품비용과 장비의 부식 등을 고려하면 3M이 가장 경제적으로 판단된다.
- [0089] 도 2의 그래프를 통해, 유도용액의 물농도가 높을수록 정삼투분리막(131)의 막오염 가역성이 급격히 감소함을 알 수 있다. 이에 따라, 유도용액의 물농도가 높을수록 정삼투분리막(131)에 부착되는 부착층의 속도가 빨라짐을 알 수 있다.
- [0091] 상술한 정삼투공정에 의해 정삼투분리막(131)이 막오염되면, 정삼투분리막(131)의 막오염을 회복하기 위해 막오염된 정삼투분리막(131)이 2차유입수에 의해 세척된다.
- [0092] 세척공정시, 2차유입수는 화살표 F2을 따라 유입수저장탱크(111) -> 제 1 유입수관(112)-> 막오염모사부(130)의 제 1 공간(132) -> 제 2 유입수관(114) -> 유입수저장탱크(111)를 순환한다. 여기서, 2차유입수의 순환방향(F2)은 1차유입수의 순환방향(F1)과 동일하다.
- [0093] 2차유입수는 1차유입수보다 높은 유속을 가진다. 2차유입수는 빠른 유속으로 유입수공급부(110)와 막오염모사부(130)를 순환하면서, 정삼투분리막(131)을 세척한다.
- [0094] 2차유입수는 제 2 수투과량(J2)이 측정되는 시점에서, 막오염모사부(130)로 제공된다. 2차유입수가 막오염모사부(130)를 순환할 때, 유도용액은 유도용액공급부(120)의 막오염모사부(130)로의 공급이 중단된다.
- [0095] 도 3에 도시된 바와 같이, 제 2 수투과량(J2)은 정삼투분리막(131)의 표면에 형성된 부착층에 의해 정삼투분리막(131)을 통과하는 1차유입수의 수투과량이 시간의 경과에 따라 점차 낮아지다가 일정하게 수렴된 수투과량이다.
- [0097] 이하에서는 정삼투막오염지수(OFI)를 측정하여 정삼투분리막(131)의 막오염을 예측하는 막오염예측부(140)에 대해 설명하기로 한다.
- [0098] 막오염예측부(140)는 정삼투공정의 운전시간 경과에 따라 정삼투분리막(131)을 통과하는 1차유입수의 수투과량인 제 1 수투과량(J1), 제 2 수투과량(J2)과 제 3 수투과량(J3)을 측정하고, 이로부터 정삼투막오염지수(OFI)를 산출하고, 정삼투막오염지수(OFI)로부터 정삼투분리막(131)의 막오염을 예측한다.
- [0099] 제 1 수투과량(J1)은 정삼투분리막(131)에 부착층이 형성되기 전 정삼투공정 초기에 정삼투분리막(131)을 통과하는 1차유입수의 수투과량이다.
- [0100] 상술했듯이, 제 2 수투과량(J2)은 정삼투분리막(131)의 표면에 형성된 부착층에 의해 정삼투분리막(131)을 통과하는 1차유입수의 수투과량이 시간이 경과하더라도 일정하게 수렴되는 수투과량이다.
- [0101] 제 3 수투과량(J3)은 정삼투분리막(131)의 부착층이 세척공정에 의해 제거된 후의 정삼투공정에서 정삼투분리막(131)을 통과하는 1차유입수의 수투과량이다.
- [0102] 정삼투막오염지수(OFI)는 상기 제 1 수투과량(J1)과 제 3 수투과량(J3)으로부터 산출된다. 정삼투막오염지수(OFI)는 제 1 수투과량(J1)에 대한 제 3 수투과량(J3)의 회복율이다.
- [0103] 정삼투막오염지수(OFI)는 부착층에 의해 막오염된 정삼투분리막(131)이 2차유입수에 의한 세척에 의해, 세척후의 정삼투공정에서의 정삼투분리막(131)을 통과하는 1차유입수의 제 3 수투과량(J3)이 정삼투공정 초기의 제 1 수투과량(J1)과 비교하여 얼마만큼 회복되었는지에 대한 지수이다.

[0105] 막오염예측부(140)는 정삼투막오염지수(OFI)가 임계가역성(Rc)보다 크고 1보다 작을 때($Rc < OFI < 1$), 정삼투분리막(131)이 막오염되었다고 예측한다. 여기서, 임계가역성(Rc)은 정삼투공정과 세척공정의 반복적인 수행에 따라 2차유입수에 의한 물리적 세척만으로 정삼투분리막(131)의 막오염이 회복불가능한 상태에서의 막오염 가역성이다.

[0106] 임계가역성(Rc)은 시간의 경과에 따라 막오염 가역성이 일정하게 수렴되는 수치이다. 상술했듯이, 막오염 가역성(fouling reversibility)은 물리적 세척에 따른 정삼투분리막(131)의 회복능력으로서, 세척공정 전의 1차유입수의 수투과량에 대한 세척공정 후의 1차유입수의 수투과량의 회복율이다.

[0108] 이하에서는 도 4를 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 정삼투 막오염 예측 방법에 대해 설명하기로 한다. 정삼투 막오염 예측 방법은 정삼투 막오염 예측 장치(100)를 이용하여 정삼투공정에서의 막오염을 예측하는 방법이다.

[0109] 우선, 변수를 고려한 실제 운전조건이 적용되어, 막오염모사부(130)에서 정삼투공정에 의한 정삼투분리막(131)의 막오염이 모사된다(S1). 즉, 정삼투 막오염 예측 장치(100)의 막오염모사부(130)로 공급된 유입수공급부(110)의 1차유입수와 유도용액공급부(120)의 유도용액의 농도차이에 의한 삼투압에 의해 정삼투공정이 수행되면서, 정삼투분리막(131)의 표면에는 1차유입수의 유기물이 쌓여 형성된 부착층에 의한 정삼투분리막(131)의 막오염이 모사된다.

[0110] 이때, 유도용액은 몰농도가 조절되어 막오염모사부(130)로 공급되어, 부착층의 형성을 가속화시킬 수 있다. 그리고, 유도용액은 TDS컨트롤러(125)에 의해 막오염모사부(130)로 제공되는 유도용액의 TDS(total dissolved solids)가 조절된다. 1차유입수의 TDS와 유도용액의 TDS의 차이에 의해 제 1 수투과량이 조절된다. 여기서, 제 1 수투과량은 정삼투분리막(131)에 부착층이 형성되기 전 정삼투공정 초기에 정삼투분리막(131)을 통과하는 1차유입수의 수투과량이다.

[0112] 이후, 막오염예측부(140)는 상기 막오염모사부(130)에서의 정삼투공정의 운전시간 경과 및 운전횟수에 따라 정삼투분리막(131)을 통과하는 1차유입수의 수투과량을 측정하고, 이로부터 정삼투막오염지수(OFI)가 산출된다(S2). 정삼투막오염지수(OFI)는 임계가역성(Rc)보다 큰 것이 바람직하다.

[0113] 정삼투막오염지수(OFI)는 식 (1)에 의해 산출된다.

$$OFI = \frac{J3}{J1} \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

[0115] 상기 식(1)에서, J1은 제 1 수투과량이고, J3는 정삼투분리막(131)의 부착층이 세척공정에 의해 제거된 후의 정삼투공정에서 정삼투분리막(131)을 통과하는 1차유입수의 수투과량인 제 3 수투과량이다.

[0117] 그리고, 막오염예측부(140)는 정삼투막오염지수(OFI)로부터 정삼투분리막(131)의 막오염여부가 예측된다.

[0118] 정삼투막오염지수(OFI)가 1보다 크게 산출되면($1 < OFI$), 막오염예측부(140)는 정삼투분리막(131)이 손상된 경우라 예측한다(S3). 정삼투분리막(131)이 손상된 경우에, 막오염모사부(130)에서의 정삼투공정은 중단된다.

[0119] 다음으로, 정삼투막오염지수(OFI)가 1($OFI=1$)이라 산출되면, 막오염예측부(140)는 정삼투분리막(131)이 오염되지 않았다고 예측한다(S4). 이 경우에, 막오염모사부(130)에서의 정삼투공정이 지속된다.

[0121] 정삼투막오염지수(OFI)가 임계가역성(Rc)보다 크고 1보다 작은 범위($Rc < OFI < 1$)에 속할 때, 막오염예측부(140)는 정삼투분리막(131)이 막오염된 상태라 예측하고, 이때, 정삼투분리막(131)의 세척이 수행된다(S5). 이는, 2차유입수에 의한 정삼투분리막(131)의 세척에 의해, 부착층이 정삼투분리막(131)에서 제거됨에 따라 정삼투분리막의 막오염을 회복하기 위함이다.

[0122] 정삼투분리막(131)의 세척시 정삼투공정의 운전은 중단된다. 그리고, 유입수공급부(110)에서 막오염모사부(130)

0)로 2차유입수가 제공되어, 2차유입수에 의해 정삼투분리막(131)이 세척된다. 세척이 진행되는 시점은 정삼투공정의 운전시간 경과에 따라 정삼투분리막(131)을 통과하는 1차유입수의 수투과량이 부착층에 의해 제 1 수투과량(J1)보다 점차 떨어지다 제 2 수투과량(J2, J1>J2)으로 수렴되는 시점이다.

[0124] 임계가역성(Rc)은 정삼투공정과 세척공정의 반복적인 수행에 의해 2차유입수에 의한 물리적 세척만으로 정삼투분리막(131)의 막오염의 회복이 불가능한 상태에서, 세척공정 전의 1차유입수의 수투과량(J_{세척전})에 대한 세척공정 후의 1차유입수의 수투과량(J_{세척후})의 회복율로서, 식(2)에 의해 산출된다.

[0125]
$$R(\%) = \frac{J_{\text{세척후}}}{J_{\text{세척전}}} \times 100$$
식 (2)

[0127] 임계가역성(Rc)은 정삼투공정과 세척공정의 반복적인 수행에 따라 2차유입수에 의한 물리적 세척만으로 정삼투분리막(131)의 막오염이 회복불가능한 상태에서의 막오염 가역성(R)이다. 막오염 가역성(R)은 식 (2)에 의해 산출된다.

[0128] 임계가역성(Rc)은 시간의 경과에 따라 막오염 가역성이 일정하게 수렴되는 수치이다. 상술했듯이, 막오염 가역성(fouling reversibility)은 물리적 세척에 따른 정삼투분리막(131)의 회복능력으로서, 세척공정 전의 1차유입수의 수투과량에 대한 세척공정 후의 1차유입수의 수투과량의 회복율이다.

[0129] 세척공정 전의 1차유입수의 수투과량(J_{세척전})은 상술한 제 1 수투과량(J1)에 해당되고, 세척공정 후의 1차유입수의 수투과량(J_{세척후})은 상술한 제 3 수투과량(J3)에 해당된다.

[0130] 다만, 임계가역성에 적용되는 세척공정 전의 1차유입수의 수투과량(J_{세척전})은 정삼투분리막(131)에 쌓인 부착층이 물리적 세척에 의해 제거되지 않아 정삼투공정의 운전횟수가 증가해도 수투과량이 일정하게 수렴된 값인 반면, 제 1 수투과량은 정삼투공정의 초기 운전에서의 세척공정 전의 수투과량으로서, 측정된 수투과량의 값이 서로 차이가 난다.

[0131] 임계가역성에 적용되는 세척공정 후의 1차유입수의 수투과량(J_{세척후})은 정삼투분리막(131)에 쌓인 부착층이 물리적 세척에 의해 제거되지 않아 정삼투공정의 운전횟수가 증가해도 수투과량이 일정하게 수렴된 값인 반면, 제 3 수투과량은 세척에 의해 정삼투분리막(131)에서 부착층이 제거될 때의 수투과량이라는 점이다.

[0133] 한편, 정삼투막오염지수(OFI)가 임계가역성(Rc)보다 작으면(Rc> OFI), 정삼투분리막(131)이 2차유입수에 의한 물리적 세척만으로 막오염의 회복이 불가능한 상태라 예측하여, 정삼투공정의 운전이 중단되고, 화학적세정과 같은 전처리공정이 수행된다(S6).

[0135] 본 발명은 정삼투분리막 막오염을 모사하고 현장에서 적용되는 환경적 요인에 의한 변수가 반영된 정삼투막오염지수를 개발하여, 정삼투분리막의 막오염을 측정 및 예측할 수 있다.

[0136] 본 발명은 정삼투 방식을 이용한 해수담수화 공정이나 여과 공정, 탈수 공정, 농축 공정 등에 의해 발생하는 정삼투분리막의 오염 현상을 보다 정확하게 사전에 측정 및 예측할 수 있다.

[0138] 이하에서는, 막오염모사부에서 정삼투분리막의 막오염 모사가 왜 삼투압에 의해 수행되는지에 대한 실험결과 도출과, 정삼투막오염지수(OFI)를 산출하는 수식을 도출하는데 적용되는 실험에 대해 설명하기로 한다.

[0139] 발명의 배경이 되는 기술에서 상술했듯이 기존 막오염 지수가 정삼투분리막의 막오염에 사용이 불가능하며 정삼투분리막 막오염을 모사할 수 있는 새로운 방법이 필요하다는 결론에 따라, 막오염을 모사할 수 있는 방법에 대하여 실험 2를 진행하였다.

[0140] 분리막의 막오염을 모사할 수 있는 방법으로 가압, 감압, 삼투압에 의한 막오염 모사방법이 있는데, 여기서, 실

험 2는 가압 또는 감압 조건에서 정삼투분리막에 막오염을 모사하는 것이다.

[0141] 실험 2에서, 감압조건을 이용한 막오염 모사 방법은 유도용액(Draw solution)을 사용하지 않는 삼투압이 없는 조건에서 진공펌프를 이용하여 압력을 약 1 bar까지 감압하여 막오염을 모사한 것이다. 그리고, 가압조건을 이용한 막오염 모사 방법은 역삼투 분리막이 운전되는 방식과 동일하게 펌프를 이용하여 1bar 내지 9 bar의 압력을 정삼투분리막에 가하여 막오염을 모사하는 것이다.

[0143] 도 5b는 실험 2에서, 가압 또는 감압 조건에 따른 정삼투분리막의 수투과량와 가역성에 대한 결과 그래프이다.

[0144] 막오염 가역성(R, fouling reversibility)는 식(2)에 의해 산출하였다.

[0145]
$$R(\%) = \frac{J_{\text{세척후}}}{J_{\text{세척전}}} \times 100$$
식 (2)

[0146] J_{세척전}은 유속을 8.54 cm/s로 70시간 운전할 때의 수투과량(flux)를 말하며, J_{세척후}란 후 25.62 cm/s로 유속을 3배 증가 시켜 10분간 세척한 뒤 다시 8.54 cm/s로 운전을 하면서 측정 된 수투과량(flux)를 말한다.

[0148] 도 5b를 참조하여, 감압조건 실험결과를 살펴보면, 정삼투분리막에서 수투과량(flux)는 거의 발생하지 않음을 확인할 수 있으며, 수투과량(flux)가 매우 낮아 분리막 표면에 부착층(fouling layer)이 형성되지 않았기 때문에 막오염 가역성(fouling reversibility)이 거의 100%에 가깝게 측정되었다. 이 결과에 따라 감압방식으로 막오염을 모사할 경우 정삼투분리막의 운전이 어려우며 막오염을 발생할 수 없다는 결론을 내릴 수 있다.

[0150] 도 5b를 참조하여, 가압조건 실험결과를 살펴보면, 1bar의 압력조건에서는 매우 적은 약 1 LMH 수투과량(flux)가 발생하였으며, 7 bar의 압력조건에서는 7 LMH 수투과량(flux)를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

[0151] 그리고, 물리적 세척에 따른 분리막의 회복능력을 막오염 가역성(fouling reversibility)로 나타낼 수 있는데 그림 1b의 결과에 따르면 정삼투 운전조건과 동일한 초기 수투과량(initial flux)를 얻기 위한 조건인 7 bar에서 막오염 가역성(fouling reversibility)은 50% 정도로 관찰되었다.

[0153] 이후, 가압조건이 정삼투 조건 막오염 현상을 충분히 반영을 했는지 검증을 위해 실험 3이 진행되었고, 실험 3에 대한 결과는 도 5c에 도시된다.

[0154] 실험 3에서, 가압조건은 정삼투분리막에 7bar의 압력이 가해진 경우이고, 삼투압을 이용한 조건은 장치로 유입되는 유입수보다 높은 삼투압을 가진 유도용액을 이용하는 경우이다. 가압조건과 삼투압을 이용한 조건에서, 제 1 투과량은 7 LMH이고, 공정운행시간은 70분이며, 3배 유속의 물리적 세척은 10분 동안 분리막 교체 없이 수행된 경우이다.

[0155] 도 5c는 가압조건과 삼투압을 이용한 조건에서 작동주기에 따른 막오염 가역성(fouling reversibility) 그래프이다.

[0156] 도 5c를 참조하면, 가압 조건으로 운전한 정삼투분리막은 첫 번째 운전부터 가역성(reversibility)이 50%로 관찰됨을 알 수 있다. 반면, 삼투압을 이용하여 운전한 정삼투분리막은 첫번째 운전시 거의 100%에 근접한 가역성을 보이고, 이후 운전을 4번 반복했음에도 불구하고 80%의 가역성(fouling reversibility)을 가진다. 즉, 삼투압을 이용하여 운전한 정삼투분리막은 운전횟수가 증가하더라도, 가압조건에서의 정삼투분리막보다 높은 가역성을 가짐을 알 수 있다.

[0158] 위의 실험결과들에 따르면, 정삼투분리막은 감압과 가압의 조건으로 운전할 경우, 감압식으로 정삼투분리막을 운전할 경우에는 구동력의 부족으로 정삼투 공정의 운전이 어려움이 있고, 가압식으로 정삼투분리막을 운전할 경우에는 막오염층의 압밀이 일어나 정삼투분리막의 특성 중 하나인 막오염 회복능력이 나타나지 않는다는 점에서, 정삼투분리막의 높은 막오염 가역성(fouling reversibility)를 모사하기 어렵다고 판단할 수 있다. 이에,

정삼투분리막의 막오염을 모사하기 위해서는 삼투압이 이용되어야 한다는 결과가 도출된다.

[0160] 이에 따라, 삼투압을 이용하여 정삼투분리막의 막오염을 모사할 경우 어떠한 인자가 정삼투공정에서의 막오염지수에 영향을 미치는지를 도출하기 위해 실험 4가 수행되었다.

[0161] 실험 4를 위해, 서울인근의 4개 하수처리장 (중랑, 탄천, 난지, 구리)의 하수2차처리수가 채수되었다. 이는, 용량이 매우 큰 규모의 하수처리장부터 중소 규모의 하수처리장을 선택함으로써 사용된 원수에 대한 대표성을 확보하기 위함이다.

[0163] 표 1에는 4개 하수처리장 2차처리수 수질분석 결과가 나타난다.

표 1

하수처리장	처리공법	처리용량 (단 m^3/d)	BOD	COD	SS	T-N	T-P
중랑	A ² O+응집	159	5.7±0.1	12.4±0.3	7.6±0.4	9.3±0.6	0.18 ±0.02
탄천	MLE+응집	90	5.4±0.3	10.9±0.5	9.4±0.6	7.3±0.7	0.15 ±0.08
난지	MLE+응집	86	6.8±0.2	13.4±0.5	4.7±0.5	8.3±0.2	0.17 ±0.05
구리	A ² O+응집	11	4.6±0.2	10.4±0.4	6.3±0.5	7.4±0.5	0.12 ±0.05

[0165] 표 1에서, MLE는 Modified Ludzack Ettinger process이고, A²O는 Anaerobic-Anoxic-Aerobic process이다.

[0166] 정삼투 공정은 유입수(feed water)와 유도용액(draw solution)의 TDS차에 의하여 초기 수투과량이 결정되기 때문에 같은 조건의 초기 수투과량로 실험하기 위하여 4개 하수처리장의 2차처리수를 같은 농도 (TDS 250 mg/L)로 DI 워터(DeIonize water)을 이용하여 희석하여 실험 4을 진행하였다.

[0167] 실험에 사용된 정삼투분리막은 Toray사의 PA 재질의 분리막을 사용하였으며 draw solution은 인천 중구 향동 7가 근해의 해수를 채수 후 0.45 μm PP제질의 분리막으로 여과 후 사용하였다(TDS 31,900±200 mg/L).

[0168] 사용하고자하는 원수를 SDI 5.5로 DI 워터를 이용하여 희석한 후 정삼투분리막 실험을 진행하였다. 이 실험은 막오염지수는 동일하지만 원수에 존재하는 오염원(foulant)의 성상이 다른 경우 정삼투 수투과량(flux)와 가역성(reversibility)의 차이를 관찰하기 위하여 진행되었다.

[0170] 실험 4에서, 사용될 원수의 막오염 포텐셜을 평가하기 위하여 TDS와 SDI를 측정하였다. 도 5d를 참조하면, 4개 하수처리장의 하수2차처리수 모두 SDI 6 이상, TDS 280 mg/L 이상으로 관찰되었다. 도 5d는 4개 하수처리장에 대한 SDI와 TDS 그래프이다.

[0171] 한편, 도 5e를 참조하면, 동일한 삼투압 조건으로 초기 수투과량을 약 25 LMH로 동일하게 조절한 결과 수투과량(flux)만으로는 막오염 경향을 관찰하기 어려운 것으로 나타났다. 정삼투분리막의 경우, 단기간 운전으로는 막오염 경향이 나타나지 않기 때문에 장기간 운전으로 막오염 경향을 분석할 필요성이 도출된다. 여기서, 도 5e는 동일한 TDS (250 mg/L) 조건에서 작동시간에 따른 4개 하수처리장 2차처리수의 수투과량(flux)에 대한 그래프이다.

[0172] 그러나 장기간 관찰을 통한 막오염 예측은 막오염에 대한 대응이 즉각적으로 필요한 현장에서는 적용이 어렵고, 이미 막오염이 진행되어버린 후의 예측은 불필요하기 때문에 새로 개발하고 하는 정삼투막오염지수에는 인위적으로 높은 삼투압을 발생하여 막오염을 가속화하여 측정시간을 단축하는 방법을 적용해야 할 것이다. 이에, 본 발명에서는 상술했듯이 막오염 측정시간을 단축하기 위해 고농도의 유도용액이 사용된다.

- [0174] 도 5f를 참조하면, 물리적 세척 (유속 3배, 10분) 후 분리막 교체 없이 지속적으로 10번 반복하여 운전한 결과, 막오염 가역성(fouling reversibility)이 최대 55%까지 떨어졌으며, 동일한 SDI 값임에도 불구하고 각 원수별로 다른 막오염 가역성(fouling reversibility)을 나타냄을 알 수 있다. 도 5f는 4개의 하수처리장의 운전횟수에 대한 막오염 가역성(fouling reversibility)에 대한 그래프가 도시되어 있다.
- [0175] 도 5f에 도시된 그래프를 통해, 기존 역삼투공정에서 사용되는 막오염 지수 활용이 불가능함을 알 수 있다. 이에 따라, 원수안에 있는 오염원(foulant)의 특성, 즉 정삼투분리막의 가역성 차이를 발생하게 하는 인자를 정삼투 막오염 지수에 반영해야 정확한 막오염 모사를 할 수 있음이 도출된다.
- [0177] 한편, 도 5f를 참조하면, 탄천하수처리장이 다른 하수처리장에 비하여, 막오염 가역성(fouling reversibility)의 회복율이 가장 낮고, 최저 회복율에 빨리 근접하는 것을 알 수 있다.
- [0178] 이에, 막오염 가역성(fouling reversibility)이 가장 낮은 결과를 보여준 탄천하수처리장의 2차처리수로 실험한 정삼투분리막의 표면을 각 세척주기마다 검사한 후 부착층(fouling layer)을 형성하고 있는 유기물 분석을 LC-OCD로 수행되고, 수행된 실험결과는 도 5g에 도시되어 있다. 도 5g은 4개 하수처리장에 대한 2차처리수의 유기물들의 농도 그래프이다.
- [0179] 도 5g를 참조하면, 4개 하수처리장의 2차처리수의 유기물 분포는 비슷한 비율로 존재하고 있으며 모두 생물학적 처리를 기반으로 하고 있어 부식질(humics)이 가장 많은 비율을 차지하고 있으며, 미량의 바이오폴리머(biopolymers)도 존재함을 알 수 있다.
- [0181] 도 5h를 참조하면, 바이오폴리머(Biopolymers), 부식질(humics), 빌딩블록(building blocks), low MW neutrals 4종류 유기물질은 모두 물리적 세척만으로 정삼투분리막 표면에서 제거가 잘되는 것을 관찰할 수 있다. 그러나 세척주기마다 미량의 양으로 정삼투분리막 표면 위에 물질이 쌓이는 것을 관찰할 수 있는데, 특히 3번째 세척부터 바이오폴리머(biopolymers)와 부식질(humics)의 양이 많이 관찰됨을 알 수 있다.
- [0182] 정삼투분리막의 표면에 쌓이는 유기물의 경향을 살펴보면, 바이오폴리머(biopolymers)가 가장 많이 정삼투분리막의 표면에 잔존함을 알 수 있다. 일반적으로, 단백질(Protein)이나 다당류(polysaccharide)로 구성된 바이오폴리머(biopolymers) 계열의 물질들은 끈적거리는 물질특성상 물리적 세척만으로 제거 어렵다고 알려져있다.
- [0183] 이러한 바이오폴리머(biopolymers)와 같은 비가역(irreversible)한 막오염 물질이 정삼투분리막의 성능의 저하하게 되는 현상은 정삼투막오염지수에 반영되어야 함은 물론이다.
- [0184] 원수 안에 존재하는 물질의 농도를 측정하는 방법이 가장 좋은 방법이지만 이러한 방법은 현장에 in-situ 방식으로 적용하는 것에는 한계가 있으며 측정시간도 매우 길기 때문에 즉각적인 막오염 현상에 대응하기에 어려움이 따른다.
- [0186] 따라서 위 실험과 동일한 방법으로 물리적 세척을 통해 정삼투분리막의 막오염 가역성(fouling reversibility)을 측정하여, 간접적으로 원수에 존재하는 바이오폴리머(biopolymers)와 같은 비가역(irreversible)한 막오염 물질의 양을 파악하여 전처리강도에 대한 신호를 전처리 공정에 줄 수 있는 막오염지수가 가장 합리적인 방법이라고 판단된다.
- [0188] 그리고, 정삼투분리막의 막오염 지수의 개발에 막오염 가역성(fouling reversibility)을 반영을 하기 위해서는 물리적 세척 조건에 따른 영향을 분석하는 것이 필수적으로 포함되어야 한다. 도 5i에는 물리적 세척조건인 유속에 따라 정삼투분리막의 막오염 가역성(fouling reversibility)이 운전주기에 따른 결과그래프가 도시된다.
- [0189] 정삼투 공정이 8.54 cm/s의 유속으로 70시간 수행된 후, 정삼투분리막의 물리적 세척이 10분간 진행된다. 이때, 물리적세척의 유속은 17.08cm/s, 25.62cm/s, 34.16cm/s, 그리고 42.70 cm/s에서 운전주기별로 수행된다.
- [0190] 도 5i를 참조하면, 정삼투분리막이 25.62 cm/s 이하로 세척될 경우, 정삼투분리막의 부착층(fouling layer)이 정삼투분리막에서 충분히 제거되지 않아 낮은 막오염 가역성(fouling reversibility)이 관찰됨을 알 수 있다.

[0192] 도 5f과 도 5i에서 동일하게 관찰되는 결과는 정삼투분리막의 막오염 가역성(fouling reversibility)이 운전이 반복됨에 따라 5~6번째 주기에서 수렴을 하고 있는 점이다. 이로부터, 정삼투분리막이 물리적 세척만으로 더 이상 회복이 불가능한 상태를 '임계가역성(critical reversibility)'으로 설정할 수 있고, 막오염 가역성으로부터 정삼투분리막의 막오염 여부를 예측할 수 있음을 도출할 수 있다.

[0193] 정삼투막오염지수(OFI)는 정삼투분리막의 막오염을 지수화한 것으로서, 임계가역성(Rc)보다 큰 범위에서 정삼투분리막을 통과하는 유입수의 수투과량이 시간의 경과에 따라 얼마나 회복되는지 여부로 도출될 수 있다.

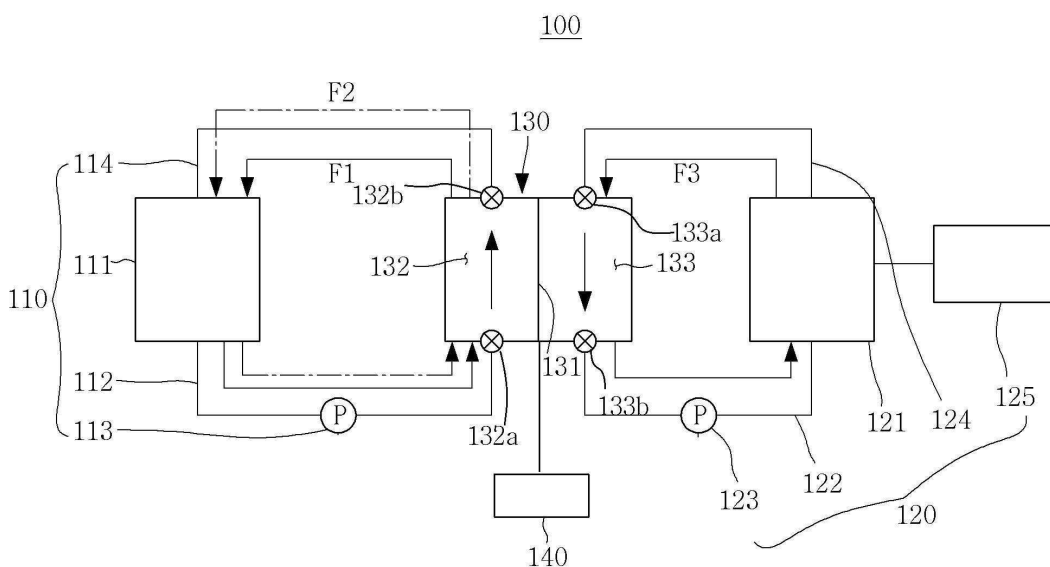
[0195] 이상에서 설명한 본 발명은 진술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능함은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명백할 것이다.

부호의 설명

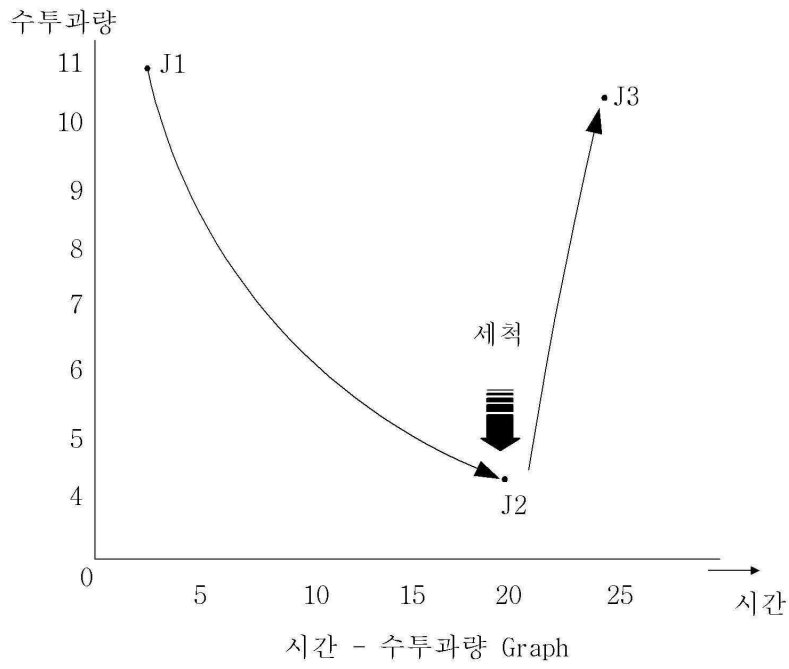
- [0197] 100: 정삼투 막오염 예측 장치
- 110: 유입수공급부 111: 유입수저장탱크
- 112: 제 1 유입수관 113: 제 1 펌프
- 114: 제 2 유입수관 120: 유도용액공급부
- 121: 유도용액저장탱크 122: 제 1 유도용액관
- 123: 제 2 펌프 124: 제 2 유도용액관
- 125: TDS컨트롤러 130: 막오염모사부
- 131: 정삼투분리막 140: 막오염예측부

도면

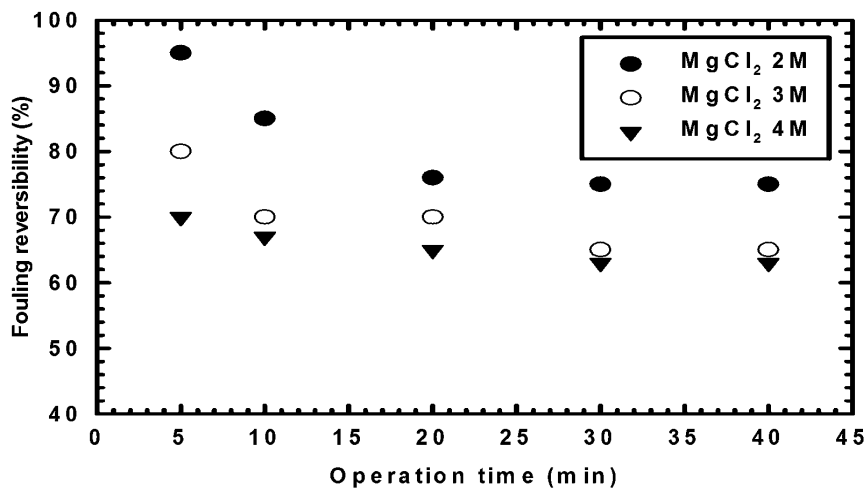
도면1



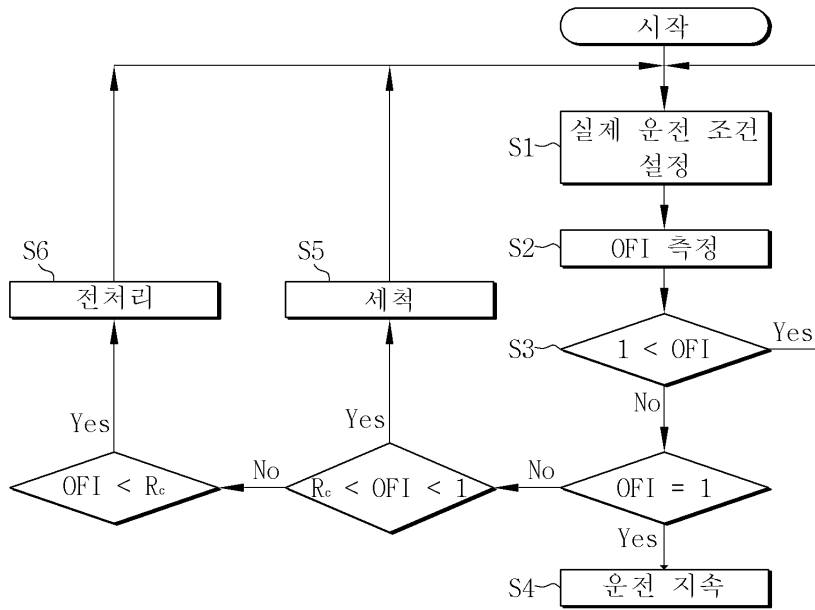
도면2



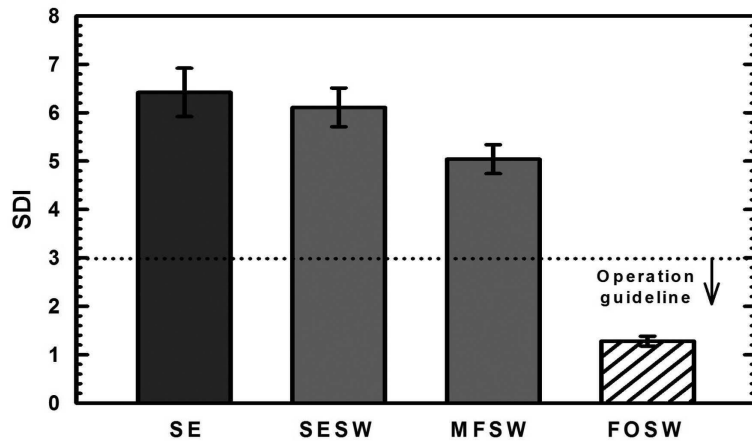
도면3



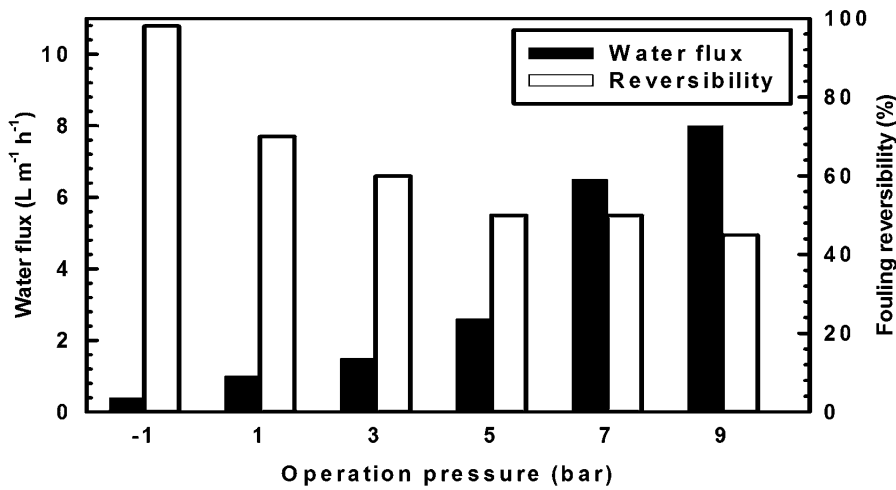
도면4



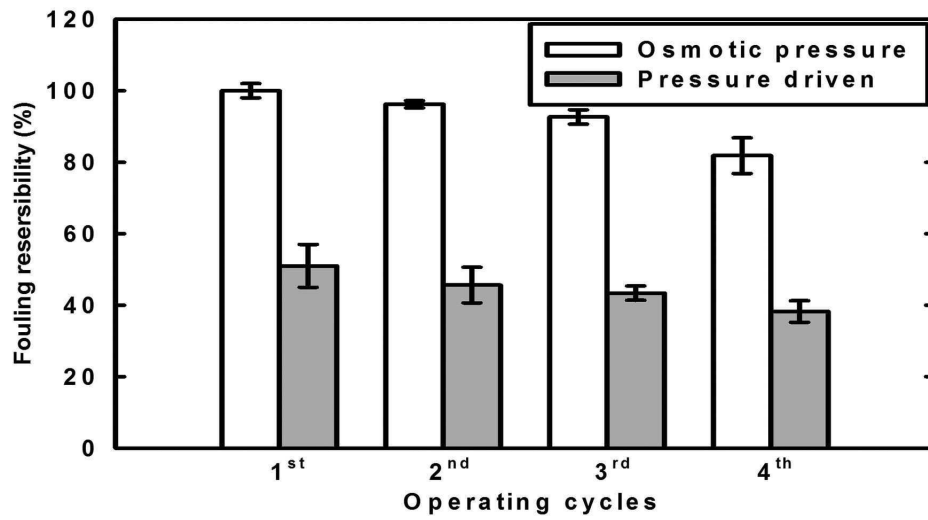
도면5a



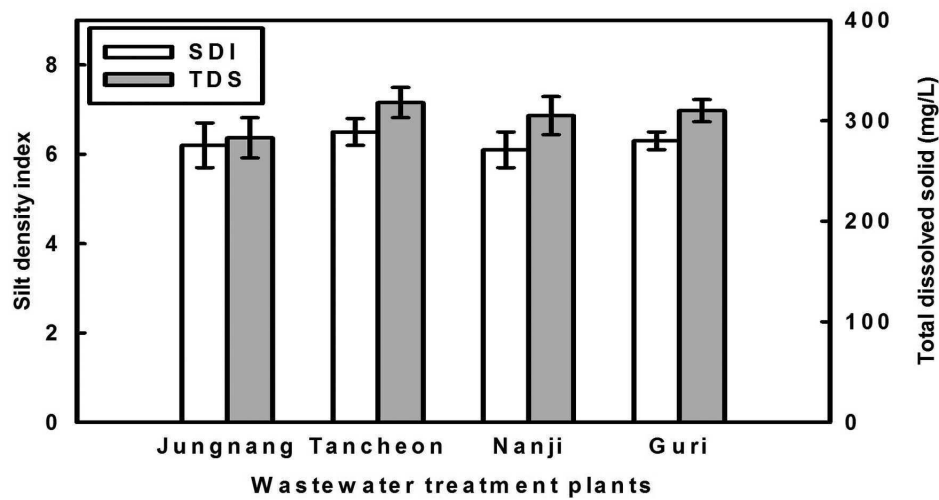
도면5b



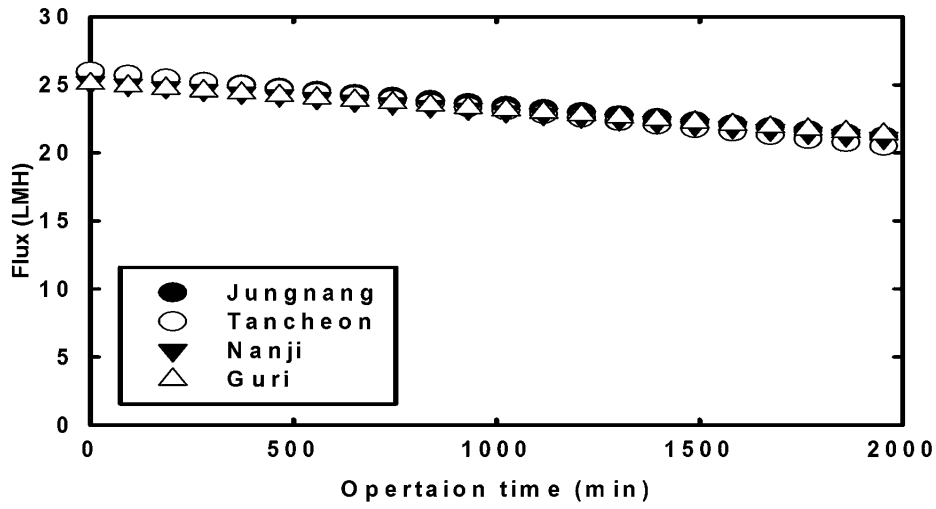
도면5c



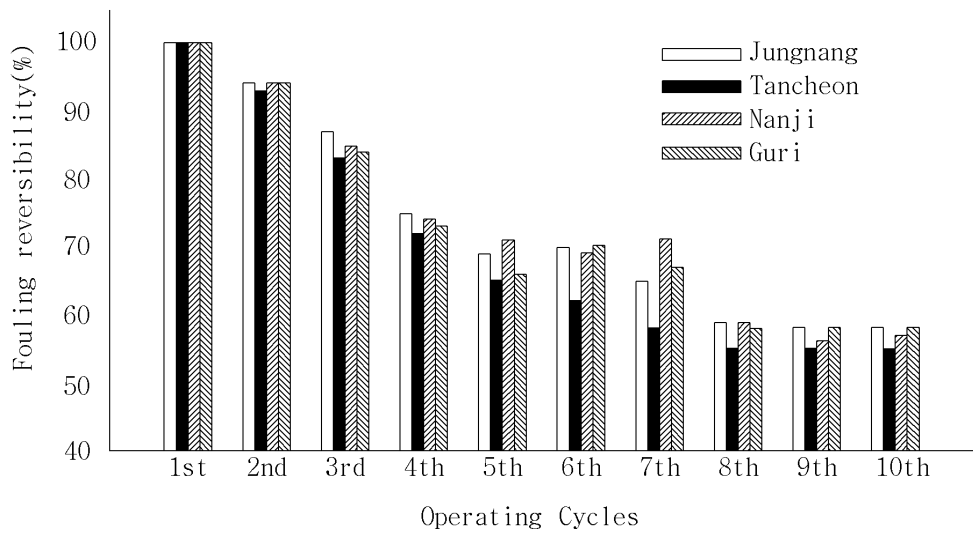
도면5d



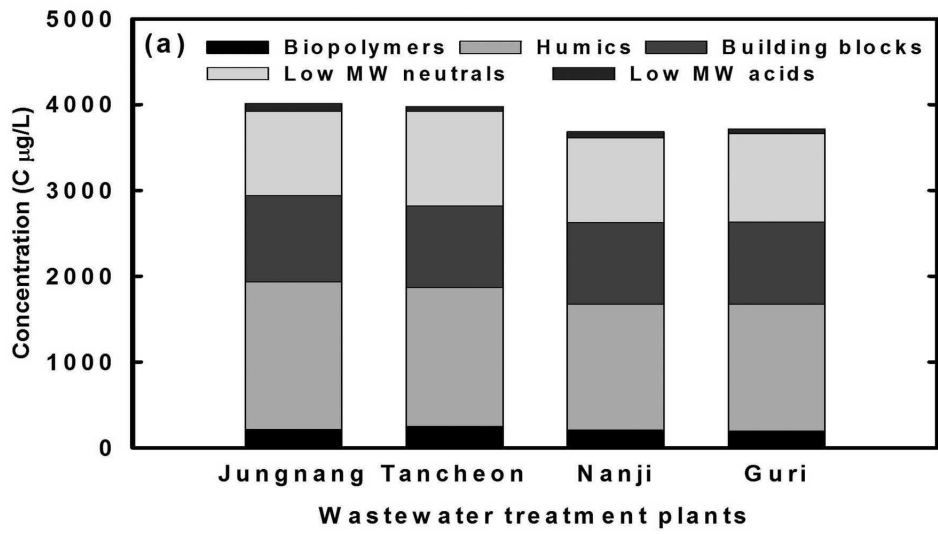
도면5e



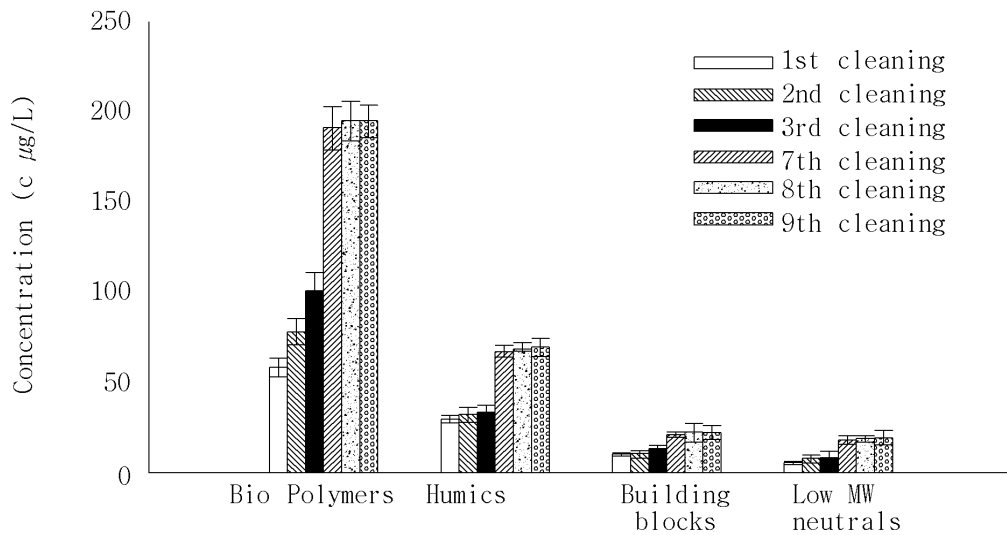
도면5f



도면5g



도면5h



도면5i

