



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0027684  
(43) 공개일자 2024년03월04일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B01D 61/02 (2006.01) B01D 61/10 (2006.01)  
B01D 61/12 (2006.01) B01D 61/58 (2006.01)  
B01D 69/02 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
B01D 61/02 (2013.01)  
B01D 61/10 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-7000733
- (22) 출원일자(국제) 2022년06월08일  
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2024년01월08일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2022/023031
- (87) 국제공개번호 WO 2023/276586  
국제공개일자 2023년01월05일
- (30) 우선권주장  
JP-P-2021-108090 2021년06월29일 일본(JP)

- (71) 출원인  
스미또모 가가꾸 가부시끼가이샤  
일본국 도쿄도 츄오쿠 니혼바시 2초메 7반 1고
- (72) 발명자  
나카스지 다케히로  
일본 에히메켄 니이하마시 소비라키쵸 5방 1고 스미또모 가가꾸 가부시끼가이샤 나이  
요코카와 나오키  
일본 지바켄 이치하라시 아네사키카이간 5방 1고 스미또모 가가꾸 가부시끼가이샤 나이  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
특허법인코리어나

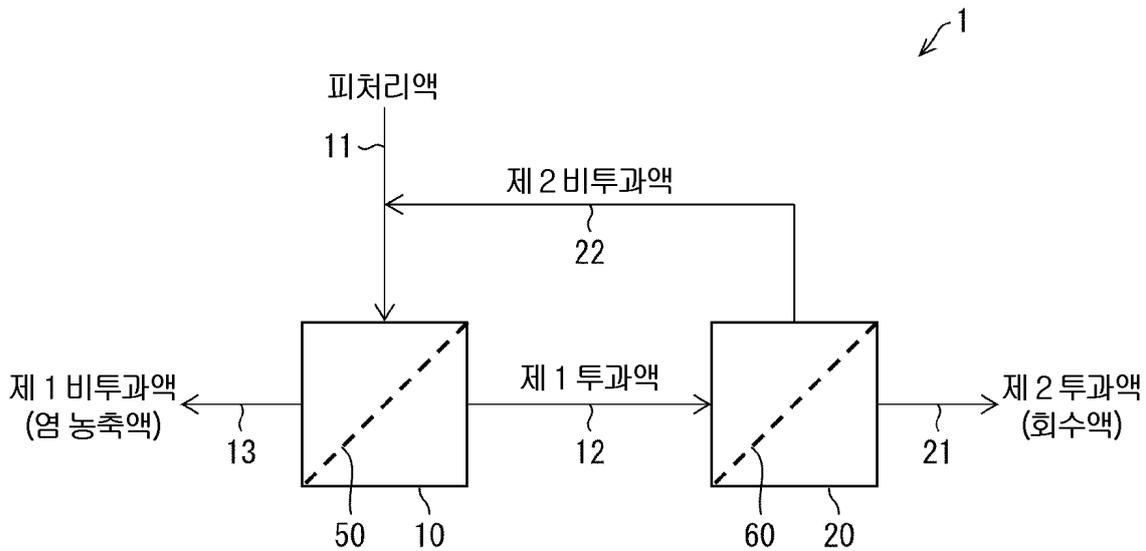
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 막 분리 방법 및 루스 RO 막의 제조 방법

(57) 요약

높은 침투압을 갖는 피처리액의 분리 혹은 농축법 또는 물 회수법으로서, 역침투법을 적용할 수 있는, 막 분리 방법을 제공한다. 본 발명의 침투압을 갖는 피처리액의 막 분리 방법은, 루스 RO 막 (50) 을 사용한 역침투법에 의해, 상기 피처리액을 제 1 투과액과 제 1 비투과액으로 분리하는 제 1 공정을 포함한다. 상기 피처리액은, 피처리액측 막면 농도  $C_b'$  의 침투압을  $\pi_{cb'}$ , 최대 운전 압력차를  $\Delta P_{max}$  로 한 경우,  $\pi_{cb'} > \Delta P_{max}$  를 만족하거나 또는 5 MPa 이상 100 MPa 이하의 침투압을 갖는다. 루스 RO 막 (50) 은, 상기 피처리액에 포함되는 용질의 적어도 일부를 용매와 함께 투과시키는 막이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*B01D 61/12* (2013.01)

*B01D 61/58* (2022.08)

*B01D 69/02* (2022.08)

(72) 발명자

**기노시타 마사히로**

일본 에히메켄 니이하마시 소비라키쵸 5방 1고 스  
미또모 가가꾸 가부시끼가이샤 나이

**나카오 신이치**

일본 도쿄도 네리마쿠 히가시오이즈미 2쵸메 11반  
치 19-1104 가부시끼가이샤 마쿠고가쿠켄큐쇼 나이

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

침투압을 갖는 피처리액의 막 분리 방법으로서,

루스 RO 막을 사용한 역침투법에 의해, 상기 피처리액을 제 1 투과액과 제 1 비투과액으로 분리하는 제 1 공정을 포함하고,

상기 루스 RO 막은, 상기 피처리액에 포함되는 용질의 적어도 일부를 용매와 함께 투과시키는 막이고,

상기 피처리액은,

(i) 피처리액측 막면 농도  $C_b'$  의 침투압을  $\pi_{C_b'}$ , 최대 운전 압력차를  $\Delta P_{max}$  로 한 경우, 이하의 식 (1) 을 만족하거나, 또는

$$\pi_{C_b'} > \Delta P_{max} \quad (1)$$

(ii) 5 MPa 이상 100 MPa 이하의 침투압을 갖는, 막 분리 방법.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 공정에 있어서, 피처리액측과 투과측의 침투압차를  $\Delta \pi$ , 상기 루스 RO 막의 용질의 반사 계수를  $\sigma$  로 한 경우, 운전 압력차  $\Delta P$  가, 이하의 식 (2) 를 만족하는 범위인, 막 분리 방법.

$$\Delta P > \sigma \Delta \pi \quad (2)$$

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 루스 RO 막에 있어서의 용질의 외관의 저지율  $R_{obs}$  는, 운전 조건에 있어서 20 % 이상 90 % 이하인, 막 분리 방법.

#### 청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 제 1 공정에 있어서, 상기 피처리액이 25 wt% 의 탄산수소칼륨 수용액이고, 당해 피처리액을, 액온 40 ℃, 운전 압력차 8 MPa, pH 7 이상 9 이하, 회수율 10 % 이상 20 % 이하에서 처리한 경우, 상기 루스 RO 막의 상기 외관의 저지율  $R_{obs}$  는, 20 % 이상 90 % 이하인, 막 분리 방법.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 투과액을, 역침투막을 사용한 역침투법에 의해, 제 2 투과액과 제 2 비투과액으로 분리하는 제 2 공정을 포함하고,

상기 역침투막에 대해, 외관의 저지율  $R_{obs}$  는 95 % 이상인, 막 분리 방법.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 공정을 1 이상 10 이하 포함하는, 막 분리 방법.

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,

적어도 1 개의 상기 루스 RO 막에 대해, 순수의 투과 계수  $L_p$  는  $1 \times 10^{-12}$  [ $m^3/m^2/s/Pa$ ] 이상  $1 \times 10^{-9}$  [ $m^3/m^2/s/Pa$ ] 이하이고, 용질의 반사 계수  $\sigma$  는 0.2 이상 0.9 이하이고, 용질의 투과 계수  $P$  는  $1 \times 10^{-8}$  [ $m/s$ ] 이상  $1 \times 10^{-5}$  [ $m/s$ ] 이하인, 막 분리 방법.

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,

복수의 상기 제 1 공정을 포함하고, 연속되는 상기 제 1 공정의 적어도 1 개에 있어서의 상기 루스 RO 막은, 상류의 상기 제 1 공정의 상기 루스 RO 막보다 저지율이 높은, 막 분리 방법.

**청구항 9**

제 5 항에 있어서,

상기 제 1 비투과액 및/또는 상기 제 2 비투과액의 적어도 일부를, 제 1 피처리액 및/또는 제 2 피처리액의 일부로서 사용하는, 막 분리 방법.

**청구항 10**

제 1 항에 있어서,

적어도 1 개의 상기 제 1 공정에 있어서의 운전 압력차는, 5 MPa 이상 10 MPa 이하인, 막 분리 방법.

**청구항 11**

산화제를 포함하는 산화제 용액과, RO 막을 접촉시키는, 루스 RO 막의 제조 방법.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,

상기 조정된 외관의 저지율  $R_{obs}$  는, 운전 조건에 있어서 20 % 이상 90 % 이하인, 루스 RO 막의 제조 방법.

**청구항 13**

제 11 항 또는 제 12 항에 기재된 제조 방법에 의해 제조된 루스 RO 막을 사용하는, 제 1 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항에 기재된 막 분리 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은, 막 분리 방법 및 루스 RO 막의 제조 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 역침투 (reverse osmosis : RO) 법은, 반투막으로 구획된 농후 용액측에 압력을 가하여, 피처리액측과 투과측 사이의 운전 압력차를 농후 용액측과 희박 용액측의 침투압의 차보다 높게 함으로써, 반투막을 통하여 용매를 선택 투과시키는 기술이다. 당해 기술은, 해수 담수화 용도 등에서 널리 보급되어 있는 기술이다. 또한, 역침투법은, RO 와 NF (nanofiltration : 나노 여과) 로 분류되는 경우가 있다. 역침투법은, 열 에너지를 사용하여 물을 증발시켜 농축시키는 증발법과 비교하여 에너지 절약 기술인 것이 알려져 있다.

[0003] 그러나, 역침투법에 사용하는 엘리먼트의 내압 등에서 유래하여, 조작 가능한 운전 압력차에 상한이 있기 때문에, 역침투법을 적용할 수 있는 용액의 농도가 한정되어 있었다. 또한 역침투법에서는, 분리에 수반하는 농도 분극에 의한 막 표면의 용질 농도의 상승 및 용매 투과에 의한 피처리액 중의 용질 농도 상승에 의해, 실질

적인 침투압이 상승하는 것도, 역침투법의 적용 범위 제약이 되고 있다. 그 때문에 고농도액의 농축 또는 저농도액의 고농축 등의 조작은, 여전히 증발법으로 실시되는 경우가 많다.

[0004] 특허문헌 1 에는, 역침투법을 사용한 염수의 담수화 처리 방법이 기재되어 있다. 특허문헌 1 에 기재된 담수화 처리 방법은, 반투막으로 구획된 제 1 실 및 제 2 실을 구비하는 반투막 모듈을 사용하고 있다. 그리고, 상기 제 1 실에 염수의 일부를 흐르게 하고, 상기 제 2 실에 염수의 다른 일부를 흐르게 하고, 상기 제 1 실을 가압함으로써, 투과측의 염수의 농도를 올리는 것에 의해, 침투압차를 저감시키는 방법이 개시되어 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0005] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 2018-1111호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 그러나, 상기 제 2 실에 도입한 염수 중의 염은, 농도 분포를 추진력으로 하여 투과측의 막면을 향하여 확산되어 가지만, 막면으로부터 투과되어 오는 용매의 흐름에 의해 확산과 역방향으로 되밀린다. 그 때문에, 상기 서술한 종래 기술에서는, 실질적으로 침투압에 기여하는, 투과측의 막면 농도를 충분히 올리는 것이 곤란한 경우가 있다.

[0007] 본 발명의 일 양태는, 높은 침투압을 갖는 피처리액의 분리 혹은 농축법 또는 물 회수법으로서, 역침투법을 적용할 수 있는, 막 분리 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

[0008] 상기의 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 일 양태에 관련된, 침투압을 갖는 피처리액의 막 분리 방법은, 루스 RO 막을 사용한 역침투법에 의해, 상기 피처리액을 제 1 투과액과 제 1 비투과액으로 분리하는 제 1 공정을 포함하고, 상기 피처리액은, 피처리액측 막면 농도  $C_b'$  의 침투압을  $\pi_{Cb'}$ , 최대 운전 압력차를  $\Delta P_{max}$  로 한 경우,  $\pi_{Cb'} > \Delta P_{max}$  를 만족하고, 상기 루스 RO 막은, 상기 피처리액에 포함되는 용질의 적어도 일부를 용매와 함께 투과시키는 막인, 막 분리 방법이다.

[0009] 또, 본 발명의 일 양태에 관련된, 침투압을 갖는 피처리액의 막 분리 방법은, 루스 RO 막을 사용한 역침투법에 의해, 가압하에서 상기 피처리액을 제 1 투과액과 제 1 비투과액으로 분리하는 제 1 공정을 포함하고, 상기 피처리액의 침투압은, 5 MPa 이상 100 MPa 이하이고, 상기 루스 RO 막은, 상기 피처리액에 포함되는 용질의 적어도 일부를 용매와 함께 투과시키는 막인, 막 분리 방법이다.

[0010] 본 발명의 일 양태에 관련된 루스 RO 막의 제조 방법은, 산화제를 포함하는 산화제 용액과, RO 막을 접촉시킨다.

**발명의 효과**

[0011] 본 발명의 일 양태에 의하면, 높은 침투압을 갖는 피처리액의 분리 혹은 농축법 또는 물 회수법으로서, 역침투법을 적용할 수 있는, 막 분리 방법을 제공할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0012] 도 1 은, 본 발명의 예시적인 일 실시형태에 관련된 막 분리 시스템 (1) 의 구성을 모식적으로 나타내는 개략도이다.

도 2 는, 본 발명의 실시형태에 관련된 루스 RO 막 (50) 의 제조 방법의 대략적인 흐름을 나타내는 플로도의 일 레이다.

도 3 은, 실시예 1 에서 사용한 막 분리 시스템 (1A) 의 구성을 모식적으로 나타내는 개략도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0013] 본 발명에 관련된 막 분리 방법의 예시적인 실시형태에 대해 이하에 상세하게 설명한다. 본 발명의 실시형태는, 이하에 나타내는 구체예에 한정되는 것은 아니다. 이하의 실시형태에 있어서, 막 분리 시스템은, 피처리액을 투과액과 비투과액으로 분리하는 시스템으로서 기재되지만, 당해 막 분리 시스템은, 피처리액을 농축시켜, 투과액과 농축액을 얻는 농축 시스템으로서도 사용될 수 있는 것은 용이하게 이해될 수 있다. 마찬가지로, 막 분리 시스템이 구비하는 분리 장치에 대해서도, 농축 장치로서 사용될 수 있는 것이 용이하게 이해될 수 있다. 게다가, 당해 막 분리 시스템은, 피처리액으로부터 순도가 높은 용매를 회수하는 여과 시스템으로서 사용될 수 있는 것은 용이하게 이해될 수 있고, 분리 장치에 대해서도, 여과 장치로서 사용될 수 있는 것이 용이하게 이해될 수 있다.

[0014] [실시형태]

[0015] 도 1 은, 본 발명의 예시적인 일 실시형태에 관련된 막 분리 방법에 사용하는 막 분리 시스템 (1) 의 구성을 모식적으로 나타내는 개략도이다. 도 1 에 나타내는 바와 같이, 막 분리 시스템 (1) 은, 제 1 분리 장치 (10) 와, 제 2 분리 장치 (20) 를 구비한다.

[0016] 제 1 분리 장치 (10) 는, 루스 RO 막 (50) (루스 역침투막) 을 구비하고 있고, 피처리액을 공급하는 피처리액측을 가압하여 통액시킴으로써, 피처리액을 제 1 투과액과, 제 1 비투과액으로 분리하는 장치이다. 즉, 제 1 분리 장치 (10) 는, 루스 RO 막을 사용한 역침투법에 의해, 상기 피처리액을 제 1 투과액과 제 1 비투과액으로 분리하는 제 1 공정을 실현하는 장치이다. 제 1 분리 장치 (10) 는, 크리스마스 트리형으로 대표되는 바와 같이, 비투과액에 대해, 복수의 막 모듈을 병렬 또는 직렬로 조합하여 구성해도 된다. 루스 RO 막 (50) 에 대해서는, 하기에서 상세하게 서술한다.

[0017] 제 2 분리 장치 (20) 는, 역침투막 (60) 을 구비하고 있고, 제 1 분리 장치 (10) 로부터 배출된 제 1 투과액을, 제 2 피처리액으로서 공급하는 피처리액측을 가압하여 통액시킴으로써, 제 1 투과액을 제 2 투과액과, 제 2 비투과액으로 분리하는 장치이다. 즉, 제 2 분리 장치 (20) 는, 제 1 투과액을, 역침투막 (60) 을 사용한 역침투법에 의해, 제 2 투과액과 제 2 비투과액으로 분리하는 제 2 공정을 실현하는 장치이다. 제 2 분리 장치 (20) 는, 크리스마스 트리형으로 대표되는 바와 같이, 비투과액에 대해, 복수의 막 모듈을 병렬 또는 직렬로 조합하여 구성해도 된다. 역침투막 (60) 에 대해서는, 하기에서 상세하게 서술한다.

[0018] 도 1 의 막 분리 시스템 (1) 에 있어서, 제 1 분리 장치 (10) 의 피처리액 입구에는, 배관 (11) 이 접속되어 있다. 제 1 분리 장치 (10) 의 제 1 투과액 출구와, 제 2 분리 장치 (20) 의 제 1 투과액 입구는, 배관 (12) 에 의해 접속되어 있고, 제 1 분리 장치 (10) 의 제 1 비투과액 출구에는, 배관 (13) 이 접속되어 있다. 제 2 분리 장치 (20) 의 제 2 투과액 출구에는, 배관 (21) 이 접속되고, 제 2 비투과액 출구에는, 배관 (22) 이 접속되어 있다. 배관 (22) 은, 배관 (11) 혹은 제 1 분리 장치 (10) 의 피처리액측에 접속되어 있어도 된다. 또, 각 배관에 있어서, 펌프 등으로 승압시켜도 되고, 각 분리 장치의 공급 배관은 승압시키는 것이 바람직하다.

[0019] <막 분리 프로세스에 있어서의 투과 현상에 대해>

[0020] 먼저, 본원 발명의 이해를 위해, 막 분리 프로세스에 있어서의 투과 현상에 관하여, (i) 저지율과 농도 분극에 대해, 및 (ii) 막 투과의 수송 방정식에 대해 이하에 설명한다.

[0021] (i) 저지율 및 농도 분극에 대해

[0022] 역침투막 성능은, 통상적으로 용질의 저지율과, 투과 유속으로 나타내어질 수 있다. 저지율은, 범용적으로는, 이하의 식 (1) 로 정의되는 외관의 저지율  $R_{obs} [-]$  가 사용될 수 있다.

[0023] 
$$R_{obs} = 1 - (C_p / C_b) \quad (1)$$

[0024] 상기 식 중,  $C_b$  는 피처리액 농도 [ $mol/m^3$ ] 이고,  $C_p$  는 투과액 농도 [ $mol/m^3$ ] 이다.

[0025] 한편, 막에 의해 저지된 용질이 막면에 축적되어, 피처리액측 막면에 있어서의 농도  $C_b'$  [ $mol/m^3$ ] 가, 피처리액 농도  $C_b$  보다 높아지는 농도 분극이 발생하는 것이 알려져 있다. 즉, 막은, 실제로는 농도  $C_b'$  의 용액을 분리하고 있는 것이 되어, 실제의 저지율  $R [-]$  은, 이하의 식 (2) 로 나타내어질 수 있다.

[0026] 
$$R = 1 - (C_p / C_{b'}) \quad (2)$$

[0027] 상기 식 중,  $C_p$  는 투과액의 농도 [ $\text{mol}/\text{m}^3$ ] 이다.

[0028] 또, 피처리액측 막면에 있어서의 농도  $C_{b'}$  는, 경막 (境膜) 내의 물질 수지로부터, 이하의 식 (3) 을 사용하여 구해질 수 있다.

[0029] 
$$(C_{b'} - C_p) / (C_b - C_p) = \exp (J_v / k) \quad (3)$$

[0030] 상기 식 중,  $J_v$  는 용매 투과 유속 [ $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ ] 이고,  $k$  는 피처리액측 경막 내 용질 물질 이동 계수 [ $\text{m}/\text{s}$ ] 이다.

[0031] (ii) 막 투과의 수송 방정식

[0032] 막 분리 프로세스에 있어서, 막을 투과하는 용매 투과 유속 및 용질 투과 유속을 기술하는 방정식이, 막 투과의 수송 방정식이다. 용매 투과 유속  $J_v$  및 용질 투과 유속  $J_s$  [ $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ ] 는, 예를 들어, 각각 이하의 식 (4) 및 식 (5) 로 나타내어질 수 있다.

[0033] 
$$J_v = L_p (\Delta P - \sigma \Delta \pi) \quad (4)$$

[0033] 
$$J_s = P (C_{b'} - C_p) + (1 - \sigma) C J_v \quad (5)$$

[0034] 상기 식 중,  $L_p$  는 순수 투과 계수 [ $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}/\text{Pa}$ ],  $\Delta P$  는 피처리액측과 투과측의 운전 압력차 [ $\text{Pa}$ ],  $\sigma$  는 반사 계수 [-],  $\Delta \pi$  는 피처리액측과 투과측의 침투압차 [ $\text{Pa}$ ],  $P$  는 용질의 투과 계수 [ $\text{m}/\text{s}$ ],  $C$  는 막 양측의 평균 농도 [ $\text{mol}/\text{m}^3$ ] 이다. 반사 계수  $\sigma$  는, 막의 반투성을 나타내고 있고,  $\sigma = 1$  인 경우에는 완전한 반투막인 것을 나타내고,  $\sigma = 0$  인 경우에는 전혀 반투성이 없는 (분리가 일어나지 않는) 것을 나타내고 있다.

[0035] 또  $\Delta \pi$  는, 이하의 식 (6) 으로 나타내어질 수 있다.

[0036] 
$$\Delta \pi = \pi_{c_{b'}} - \pi_{c_p} \quad (6)$$

[0037] 상기 식 중,  $\pi_{c_{b'}}$  는 피처리액측 막면 농도  $C_{b'}$  의 침투압 [ $\text{Pa}$ ],  $\pi_{c_p}$  는 투과액 농도  $C_p$  의 침투압 [ $\text{Pa}$ ] 이다.

[0038] 상기 식 (4) 및 식 (5) 는, 불가역 과정의 열역학에 기초하여, 현상론 방정식을 출발점으로 한 것이다. 상기 식 (5) 에 있어서,  $C$  는 막 양측의 평균 농도를 나타내고 있지만, 막 분리법과 같이 양측의 농도차가 매우 큰 경우에는 평균값이 의미를 갖지 않는다. 그래서, 식 (5) 를 미분계로 막 내에 적용하고, 막 두께에 대해 적분한 수송 방정식이 제안되어 있다. 적분 결과는 용질 투과 유속  $J_s$  의 형태로는 써서 나타낼 수 없지만 실제의 저지율  $R$  을 사용하여, 이하의 식 (7) 로 나타내어질 수 있다.

### 수학식 1

[0039] 
$$R \equiv \frac{C_{b'} - C_p}{C_{b'}} = \frac{\sigma [1 - \exp\{-J_v(1 - \sigma)/P\}]}{1 - \sigma \exp\{-J_v(1 - \sigma)/P\}} \quad (7)$$

[0040] < 피처리액 >

[0041] 본 실시형태에 관련된 막 분리 시스템 (1) 은, 높은 침투압을 갖는 피처리액에 적용될 수 있고, 최대 운전 압력차를 초과하는 침투압을 갖는 피처리액에 바람직하게 적용된다. 환언하면, 피처리액측 막면 농도  $C_{b'}$  의 침투압을  $\pi_{c_{b'}}$ , 최대 운전 압력차를  $\Delta P_{\text{max}}$  로 한 경우,  $\pi_{c_{b'}} > \Delta P_{\text{max}}$  를 만족하는 피처리액에 바람직하게 적용된다. 보다 구체적으로는, 본 실시형태에 관련된 막 분리 시스템 (1) 은, 5 MPa 이상 100 MPa 이하의 침투압을 갖는 피처리액에 바람직하게 적용될 수 있다.

[0042] < 제 1 분리 장치 (10) 및 루스 RO 막 (50) >

[0043] 본 실시형태에 관련된 제 1 분리 장치 (10) 는, 루스 RO 막 (50) 을 구비하고 있다.

[0044] 본 실시형태에 관련된 루스 RO 막 (50) 은, 피처리액에 포함되는 용질의 적어도 일부를 용매와 함께 투과시키는, RO 막이다. 환언하면, 종래의 RO 막과 비교하여, 낮은 외관의 저지율  $R_{\text{obs}}$  를 갖고 있다. 구체적으로는, 루스 RO 막 (50) 의 외관의 저지율  $R_{\text{obs}}$  는, 루스 RO 막 (50) 을 사용한 역침투막 처리의 운전

조건에 있어서, 20 % 이상 90 % 이하일 수 있다.

- [0045] 운전 조건에 있어서의 외관의 저지율 Robs 가 20 % 이상 90 % 이하임으로써, 투과액 농도 Cp 를 상승시켜, 피처리액측의 용액과 투과측의 용액의 침투압차를 컨트롤 가능해진다. 이로써, 고침투압을 갖는 피처리액을 역침투 처리하는 것이 가능해진다. 외관의 저지율 Robs 가 20 % 미만이면, 농축 프로세스에 적용하는 경우, 농축 효율이 낮아, 원하는 농축도를 얻기 위해 필요 단수가 증가하여, 막 면적이 커진다. 외관의 저지율 Robs 가 90 % 를 초과하면, 충분한 피처리액측의 용액과, 투과측의 용액의 침투압차를 확보하는 것이 곤란해진다. 그 때문에, 본 실시형태에 있어서의 루스 RO 막 (50) 의 외관의 저지율 Robs 는 20 % 이상 90 % 이하인 것이 바람직하고, 40 % 이상 80 % 이하인 것이 보다 바람직하다.
- [0046] 상기 저지율의 대상은, 용액 중의 침투압을 갖는 모든 용질의 총합이다. 한편으로, 본 실시형태에 관련된 루스 RO 막 (50) 이 투과시키는 용질은, 특정한 것에 한정되지 않는다.
- [0047] 또한, 당해 외관의 저지율 Robs 는, 동일한 막이어도 운전 조건에 따라 변동될 수 있다. 본 실시형태에 관련된 루스 RO 막 (50) 은, 예시적인 운전 조건으로서, 25 wt% 의 탄산수소칼륨 수용액의 상기 피처리액을, 액온 40 ℃, 운전 압력차 8 MPa, pH 7 이상 9 이하, 회수율 10 % 이상 20 % 이하에서 역침투법 처리한 경우, 20 % 이상 90 % 이하의 외관의 저지율 Robs 를 갖고 있다고 정의할 수도 있다.
- [0048] 혹은, 본 실시형태에 관련된 루스 RO 막 (50) 은, 순수의 투과 계수 Lp 가  $1 \times 10^{-12}$  [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s/Pa] 이상  $1 \times 10^{-9}$  [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s/Pa] 이하, 용질의 반사 계수  $\sigma$  가 0.2 이상 0.9 이하, 및 용질의 투과 계수 P 가  $1 \times 10^{-8}$  [m/s] 이상  $1 \times 10^{-5}$  [m/s] 이하인 역침투막이어도 된다.
- [0049] (루스 RO 막 (50) 의 제조)
- [0050] 이와 같은 루스 RO 막 (50) 은, 예를 들어, 종래의 역침투막을 사용하여 제조할 수 있다. 도 2 는, 루스 RO 막 (50) 의 제조 방법의 대략적인 흐름을 나타내는 플로도의 일례이다.
- [0051] 도 2 에 나타내는 바와 같이, 먼저, 일반적으로 사용되고 있는 역침투막을 준비한다 (역침투막 준비 공정 : S1). 루스 RO 막 (50) 을 제조하기 위해 사용하는 역침투막은 특별히 한정되지 않는다. 당해 역침투막은, 폴리아미드계 막이나 아세트산셀룰로오스계 막이어도 되고, 엘리트먼트 스파이럴 타입이어도 되고 중공사 타입이어도 되지만, 사용 가능 압력이 높은 것이 바람직하고, 순수 투과 계수가 큰 편이 보다 바람직하다.
- [0052] 다음으로, 공정 S1 에서 준비한 역침투막을 산화시킨다 (산화 공정 : S2). 예를 들어, 역침투막과, 산화제를 접촉시킨다. 산화제는, 예를 들어, 물 등의 용매에 용해시킨 것을 사용해도 된다. 산화 공정 S2 에 있어서 사용되는 산화제로는, 무기 할로젠계 산화제, 산소계 산화제, 유기 화합물 산화제 등을 사용할 수 있다. 그 중에서도, 염소를 포함하는 산화제가 바람직하고, 보다 구체적으로는, 염소산염, 차아염소산염, 아염소산염, 이산화염소 등을 사용할 수 있다.
- [0053] 산화 공정 S2 는, 예를 들어, 소정 농도의 산화제를 포함하는 수용액에, 역침투막을 소정 시간 접촉시킴으로써 실시될 수 있다. 산화제와, 역침투막을 접촉시킴으로써, 역침투막의 저지율을 저하시켜, 예를 들어, 외관의 저지율 Robs 가 20 % 이상 90 % 이하인 루스 RO 막을 제조할 수 있다.
- [0054] 또한, 산화 공정 S2 에서는, 역침투막과, 산화제의 접촉 시간을 조정함으로써, 원하는 저지율을 갖는 루스 RO 막을 제조할 수 있다. 구체적으로는, 산화제 용액의 농도가 일정한 경우에는, 산화제 용액과, 역침투막의 접촉 시간을 길게 할수록, 저지율이 낮은 루스 RO 막을 얻을 수 있다.
- [0055] 혹은, 산화 공정 S2 에서는, 산화제의 농도를 조정함으로써, 원하는 저지율을 갖는 루스 RO 막을 제조할 수 있다. 구체적으로는, 접촉 시간이 일정한 경우, 산화제 용액의 농도를 높게 할수록, 저지율이 낮은 루스 RO 막을 얻을 수 있다. 물론, 산화제 농도 및 접촉 시간의 양방을 조절함으로써, 저지율을 조정해도 된다.
- [0056] 산화 공정 S2 후, 역침투막과 접촉할 수 있는 산화제 용액을 순수 등으로 치환함으로써, 루스 RO 막 (50) 을 얻는다 (세정 공정 : S3). 접촉에 사용한 용기 중의 산화제 용액을 순수로 치환해도 되고, 루스 RO 막을 용기로부터 꺼내어, 순수 등에 의해 세정해도 된다.
- [0057] 상기 서술한 역침투막을 사용한 루스 RO 막의 제조 방법은, 역침투막 엘리트먼트를 사용한 루스 RO 막 엘리트먼트의 제조에 있어서도 동일하게 적용할 수 있다.
- [0058] (제 1 분리 장치 (10) 의 다단 구성)

- [0059] 도 1 의 막 분리 시스템 (1) 에서는, 제 1 분리 장치 (10) 가 1 개인 예가 나타나 있지만, 막 분리 시스템 (1) 은, 제 2 분리 장치 (20) 보다 상류에 복수의 제 1 분리 장치 (10) 를 구비하고 있어도 된다. 상기 이론식 으로부터, 피처리액의 침투압 및 최대 운전 압력차 등으로부터 필요 단수가 결정되고, 피처리액의 침투압이 높 을수록, 많은 단이 필요해진다. 그러나, 단수가 지나치게 증가하면 제압축 동력 등이 증가하기 때문에, 막 분리 시스템 (1) 은, 1 이상 10 이하의 제 1 분리 장치 (10) 를 구비하는 것이 바람직하다. 즉, 막 분리 방 법에 있어서, 제 1 공정을 1 이상 10 이하 포함해도 된다.
- [0060] 막 분리 시스템 (1) 이 2 이상의 제 1 분리 장치 (10) 를 구비하는 경우, 연속되는 제 1 분리 장치 (10) 의 적 어도 1 개에 있어서의 루스 RO 막 (50) 은, 상류의 제 1 분리 장치 (10) 의 상기 루스 RO 막 (50) 보다 저지율 이 높은 것이 바람직하다. 또, 필요 막 면적 및 필요 단수를 적게 하기 위해서는, 하류로 갈수록, 루스 RO 막 (50) 의 저지율 Robs 가 높은 것이 바람직하다. 혹은, 루스 RO 막 (50) 의 성능 파라미터에 대해서는, 하류로 갈수록, 용질 투과 계수 P 는 낮고, 반사 계수  $\sigma$  는 높은 것이 바람직하다.
- [0061] 막 분리 시스템 (1) 이 제 1 분리 장치 (10) 를 복수 구비함으로써, 보다 높은 침투압을 갖는 피처리액을 처리 할 수 있다.
- [0062] <제 2 분리 장치 (20) 및 역침투막 (60)>
- [0063] 본 실시형태에 관련된 제 2 분리 장치 (20) 는, 역침투막 (60) 을 구비하고 있다.
- [0064] 본 실시형태에 있어서 사용되는 역침투막 (60) 은, 일반적으로 해수 담수화에 사용될 수 있는 RO 막이고, 통상 적으로, 공경이 1 nm 이하이고, 이온류 또는 저분자의 유기물을 제거할 수 있는 막이다. 예를 들어, 예시적 인 역침투막 (60) 의 순수의 투과 계수  $L_p$  는  $1 \times 10^{-13}$  [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s/Pa] 이상  $1 \times 10^{-10}$  [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s/Pa] 이하이고, 용질의 반사 계수  $\sigma$  는 0.95 이상 1 이하이고, 용질의 투과 계수 P 는  $1 \times 10^{-6}$  [m/s] 이하일 수 있다. 혹은, 예시적인 역침투막 (60) 의 외관의 저지율 Robs 는, 95 % 이상일 수 있다.
- [0065] <본 실시형태에 관련된 막 분리 방법 및 막 분리 시스템 (1) 의 동작>
- [0066] 피처리액 (제 1 피처리액) 은, 배관 (11) 을 통하여 제 1 분리 장치 (10) 의 피처리액측으로 송액된다. 제 1 피처리액은, 펌프 등으로 승압되고, 루스 RO 막 (50) 에 통액됨으로써, 제 1 투과액과 제 1 비투과액 (농축액, 염 농축액) 으로 분리된다 (제 1 공정). 제 1 공정에서 얻어진 제 1 비투과액은, 배관 (13) 을 통 하여 배출된다.
- [0067] 제 1 투과액은, 제 2 피처리액으로서, 배관 (12) 을 통하여 제 2 분리 장치 (20) 의 피처리액측으로 송액된다. 제 2 피처리액은, 펌프 등으로 승압되고, 역침투막 (60) 에 통액됨으로써, 제 2 투과액과 제 2 비투과액으로 분리된다 (제 2 공정). 제 2 공정에서 얻어진 제 2 투과액은, 배관 (21) 을 통하여 회수될 수 있다. 용 질 (예를 들어 염) 의 회수율을 높이기 위해, 제 2 공정에서 얻어진 제 2 비투과액을, 배관 (22) 을 통하여, 제 1 피처리액과 혼합하는 것이 바람직하다.
- [0068] 이와 같이, 본 실시형태에 관련된 막 분리 방법 및 막 분리 시스템 (1) 에서는, 제 1 공정으로서 저지율이 낮은 루스 RO 막 (50) 을 사용한 역침투막 처리를 실시한다. 이로써, 제 1 공정에 있어서, 침투압이 높은 피처리 액을, 투과액과 비투과액으로 분리할 수 있다. 보다 구체적으로는, 제 1 분리 장치 (10) 는, 최대 운전 압 력차  $\Delta P_{max}$  보다 높은 침투압  $\pi_{cb}$  를 갖는 피처리액을,  $\Delta P_{max}$  이하의 압력으로 처리할 수 있다. 또, 제 1 공정에 있어서, 운전 압력차  $\Delta P$  는,  $\Delta P > \sigma \Delta \pi$  의 조건을 만족할 수 있다. 혹은, 적어도 1 개의 제 1 공정에 있어서의 운전 압력차는, 예를 들어, 5 MPa 이상 10 MPa 이하이다.
- [0069] 또한, 제 1 분리 장치 (10) 가 루스 RO 막 (50) 엘리먼트인 경우, 상기  $\Delta P_{max}$  는 루스 RO 막 (50) 엘리먼트의 내압일 수 있다.
- [0070] 또, 본 실시형태에 관련된 막 분리 방법 및 막 분리 시스템 (1) 에서는, 루스 RO 막을 구비하는 제 1 분리 장치 (10) 뒤에, 역침투막 (60) 을 구비하는 제 2 분리 장치를 설치하고, 나아가서는 제 2 비투과액을 제 1 분리 장 치 (10) 의 피처리액에 되돌림으로써, 높은 침투압의 처리가 가능해짐과 함께, 고염 회수율, 고순도 용매 회수 를 동시에 실현할 수 있다.
- [0071] 이와 같은 구성에 의하면, 종래, 에너지 다소비 프로세스인 증발법을 사용하여 처리하고 있었던 높은 침투압을 갖는 피처리액의 처리를 막 분리법에 의해 대체할 수 있어, 프로세스의 에너지 절약화, 나아가서는 지속 가능한

개발 목표 (SDGs) 의 달성에 공헌할 수 있다.

[0072] (실시형태 정리)

[0073] ·본원 발명의 양태 1 에 관련된 막 분리 방법은, 침투압을 갖는 피처리액의 막 분리 방법으로서, 루스 RO 막을 사용한 역침투법에 의해, 상기 피처리액을 제 1 투과액과 제 1 비투과액으로 분리하는 제 1 공정을 포함하고, 상기 피처리액은, 피처리액측 막면 농도  $C_{b'}$  의 침투압을  $\pi_{Cb'}$ , 최대 운전 압력차를  $\Delta P_{max}$  로 한 경우, 이하의 식 (1) 을 만족하고,

[0074] 
$$\pi_{Cb'} > \Delta P_{max} \quad (1)$$

[0075] 상기 루스 RO 막은, 상기 피처리액에 포함되는 용질의 적어도 일부를 용매와 함께 투과시키는 막인, 막 분리 방법이다.

[0076] ·본원 발명의 양태 2 에 관련된 막 분리 방법은, 침투압을 갖는 피처리액의 막 분리 방법으로서, 루스 RO 막을 사용한 역침투법에 의해, 가압하에서 상기 피처리액을 제 1 투과액과 제 1 비투과액으로 분리하는 제 1 공정을 포함하고, 상기 피처리액의 침투압은, 5 MPa 이상 100 MPa 이하이고, 상기 루스 RO 막은, 상기 피처리액에 포함되는 용질의 적어도 일부를 용매와 함께 투과시키는 막인, 막 분리 방법이다.

[0077] ·본원 발명의 양태 3 에 관련된 막 분리 방법은, 상기 양태 1 또는 양태 2 에 있어서의 상기 제 1 공정에 있어서, 피처리액측과 투과측의 침투압차를  $\Delta \pi$ , 상기 루스 RO 막의 용질의 반사 계수를  $\sigma$  로 한 경우, 운전 압력차  $\Delta P$  가, 이하의 식 (2) 를 만족하는 범위인, 막 분리 방법이다.

[0078] 
$$\Delta P > \sigma \Delta \pi \quad (2)$$

[0079] ·본원 발명의 양태 4 에 관련된 막 분리 방법은, 상기 양태 1 내지 3 중 어느 하나에 있어서, 상기 루스 RO 막에 있어서의 용질의 외관의 저지율  $R_{obs}$  는, 운전 조건에 있어서 20 % 이상 90 % 이하인, 막 분리 방법이다.

[0080] ·본원 발명의 양태 5 에 관련된 막 분리 방법은, 상기 양태 4 의 상기 제 1 공정에 있어서, 상기 피처리액이 25 wt % 의 탄산수소칼륨 수용액이고, 당해 피처리액을, 액온 40 °C, 운전 압력차 8 MPa, pH 7 이상 9 이하, 회수율 10 % 이상 20 % 이하에서 처리한 경우, 상기 루스 RO 막의 상기 외관의 저지율  $R_{obs}$  는, 20 % 이상 90 % 이하인, 막 분리 방법이다.

[0081] ·본원 발명의 양태 6 에 관련된 막 분리 방법은, 상기 양태 1 내지 5 중 어느 하나에 있어서, 상기 제 1 투과액을, 역침투막을 사용한 역침투법에 의해, 제 2 투과액과 제 2 비투과액으로 분리하는 제 2 공정을 포함하고, 상기 역침투막에 대해, 외관의 저지율  $R_{obs}$  는 95 % 이상인, 막 분리 방법이다.

[0082] ·본원 발명의 양태 7 에 관련된 막 분리 방법은, 상기 양태 1 내지 6 중 어느 하나에 있어서, 상기 제 1 공정을 1 이상 10 이하 포함하는, 막 분리 방법이다.

[0083] ·본원 발명의 양태 8 에 관련된 막 분리 방법은, 상기 양태 1 내지 7 중 어느 하나에 있어서, 적어도 1 개의 상기 루스 RO 막에 대해, 순수의 투과 계수  $L_p$  는  $1 \times 10^{-12}$  [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s/Pa] 이상  $1 \times 10^{-9}$  [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s/Pa] 이하이고, 용질의 반사 계수  $\sigma$  는 0.2 이상 0.9 이하이고, 용질의 투과 계수  $P$  는  $1 \times 10^{-8}$  [m/s] 이상  $1 \times 10^{-5}$  [m/s] 이하인, 막 분리 방법이다.

[0084] ·본원 발명의 양태 9 에 관련된 막 분리 방법은, 상기 양태 1 내지 8 중 어느 하나에 있어서, 복수의 상기 제 1 공정을 포함하고, 연속되는 상기 제 1 공정의 적어도 1 개에 있어서의 상기 루스 RO 막은, 상류의 상기 제 1 공정의 상기 루스 RO 막보다 저지율이 높은, 막 분리 방법이다.

[0085] ·본원 발명의 양태 10 에 관련된 막 분리 방법은, 상기 양태 6 내지 9 중 어느 하나에 있어서, 상기 제 1 비투과액 및/또는 상기 제 2 비투과액의 적어도 일부를, 당해 제 1 피처리액 및/또는 제 2 피처리액의 일부로서 사용하는, 막 분리 방법이다.

[0086] ·본원 발명의 양태 11 에 관련된 막 분리 방법은, 상기 양태 1 내지 10 중 어느 하나에 있어서, 적어도 1 개의 상기 제 1 공정에 있어서의 운전 압력차는, 5 MPa 이상 10 MPa 이하인, 막 분리 방법이다.

[0087] ·본원 발명의 양태 12 에 관련된 루스 RO 막의 제조 방법은, 산화제를 포함하는 산화제 용액과, RO 막을 접촉시키는, 제조 방법이다.

- [0088] ·본원 발명의 양태 13 에 관련된 루스 RO 막의 제조 방법은, 상기 양태 12 에 있어서, 상기 조정된 외관의 저지울 Robs 는, 운전 조건에 있어서 20 % 이상 90 % 이하인, 제조 방법이다.
- [0089] ·본원 발명의 양태 14 에 관련된 막 분리 방법은, 상기 양태 1 내지 11 중 어느 하나의 막 분리 방법에 있어서, 상기 양태 12 또는 13 의 제조 방법에 의해 제조된 루스 RO 막을 사용하는, 막 분리 방법이다.
- [0090] 본 발명은 상기 서술한 각 실시형태에 한정되는 것은 아니고, 청구항에 나타난 범위에서 다양한 변경이 가능하고, 상이한 실시형태에 각각 개시된 기술적 수단을 적절히 조합하여 얻어지는 실시형태에 대해서도 본 발명의 기술적 범위에 포함된다.
- [0091] 실시예
- [0092] 이하, 실시예 및 비교예를 들어 본 발명을 보다 구체적으로 설명하지만, 본 발명은 이하의 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- [0093] <적용예>
- [0094] 피처리액으로서, 농도  $C_w = 25 \text{ wt\%}$  인 염수를 농축시키는 프로세스에, 역침투법을 적용하는 케이스에 대해, 비교예 및 실시예 1 에 따라 실시하였다. 당해 염수의 농도  $C \text{ [mol/m}^3\text{]}$  및 농도  $C$  에 있어서의 침투압  $\pi_c \text{ [Pa]}$  는, 이하의 식 (8) 및 식 (9) 로부터 산출되는 것으로 한다. 이것에 의하면, 농도  $C_w = 25 \text{ wt\%}$  인 본 피처리액의 침투압  $\pi_{cb}$  는 18.5 MPa 이다.
- $$C = 0.003286 \times C_w^3 + 0.6091 \times C_w^2 + 99.2 \times C_w \quad (8)$$
- $$\pi_c = 0.7345 C^2 + 4229.9 C \quad (9)$$
- [0095]
- [0096] (비교예)
- [0097] 비교예에서는, 최대 운전 압력차  $\Delta P_{max} = 8 \text{ MPa}$ , 순수 투과 계수  $L_p = 8.90 \times 10^{-12} \text{ [m}^3\text{/m}^2\text{/s/Pa]}$ , 용질 투과 계수  $P = 1.00 \times 10^{-7} \text{ [m/s]}$ , 반사 계수  $\sigma = 0.999$  인 역침투막을 사용하여 역침투법 처리를 시도한다. 그러나, 본 조건하에서는  $(\Delta P - \sigma \Delta \pi) \approx -10.5 < 0$  으로, 상기 식 (4) 로 나타내는 용매 투과 유속이 부의 값이 되기 때문에, 본 역침투법 처리에서는, 피처리액을 농축시킬 수 없다.
- [0098] (실시예 1)
- [0099] 실시예 1 에서는, 본 발명에 따르는 막 분리 방법을 사용하여 피처리액의 역침투법 처리를 시도하는 것이다. 도 3 은, 실시예 1 에서 사용한 막 분리 시스템 (1A) 의 구성을 모식적으로 나타내는 개략도이다. 막 분리 시스템 (1A) 은, 3 개의 제 1 분리 장치 (10 (10A·10B·10C)) 와, 제 2 분리 장치 (20) 를 구비한다.
- [0100] 제 1 분리 장치 (10A) 는 가장 상류측에 배치되는 장치이고, 루스 RO 막 (50A) 을 구비하고 있다. 제 1 분리 장치 (10B) 는 제 1 분리 장치 (10A) 의 투과측의 하류측에 배치되는 장치이고, 루스 RO 막 (50B) 을 구비하고 있다. 제 1 분리 장치 (10C) 는 제 1 분리 장치 (10B) 의 투과측의 하류측에 배치되는 장치이고, 루스 RO 막 (50C) 을 구비하고 있다. 제 2 분리 장치 (20) 는 제 1 분리 장치 (10C) 의 투과측의 하류측에 배치되는 장치이고, 역침투막 (60) 을 구비하고 있다.
- [0101] 루스 RO 막 (50A) 및 루스 RO 막 (50B) 은, 최대 운전 압력차  $\Delta P_{max} = 8 \text{ MPa}$ , 순수 투과 계수  $L_p = 1.50 \times 10^{-11} \text{ [m}^3\text{/m}^2\text{/s/Pa]}$ , 용질 투과 계수  $P = 9.00 \times 10^{-6} \text{ [m/s]}$ , 반사 계수  $\sigma = 0.65$  인 막을 사용하였다. 루스 RO 막 (50C) 은, 최대 운전 압력차  $\Delta P_{max} = 8 \text{ MPa}$ , 순수 투과 계수  $L_p = 1.26 \times 10^{-11} \text{ [m}^3\text{/m}^2\text{/s/Pa]}$ , 용질 투과 계수  $P = 7.00 \times 10^{-6} \text{ [m/s]}$ , 반사 계수  $\sigma = 0.75$  인 막을 사용하였다.
- [0102] 역침투막 (60) 은, 비교예와 동일한, 최대 운전 압력차  $\Delta P_{max} = 8 \text{ MPa}$ , 순수 투과 계수  $L_p = 8.90 \times 10^{-12} \text{ [m}^3\text{/m}^2\text{/s/Pa]}$ , 용질 투과 계수  $P = 1.00 \times 10^{-7} \text{ [m/s]}$ , 반사 계수  $\sigma = 0.999$  인 막이다.
- [0103] (막 분리 조작의 흐름)

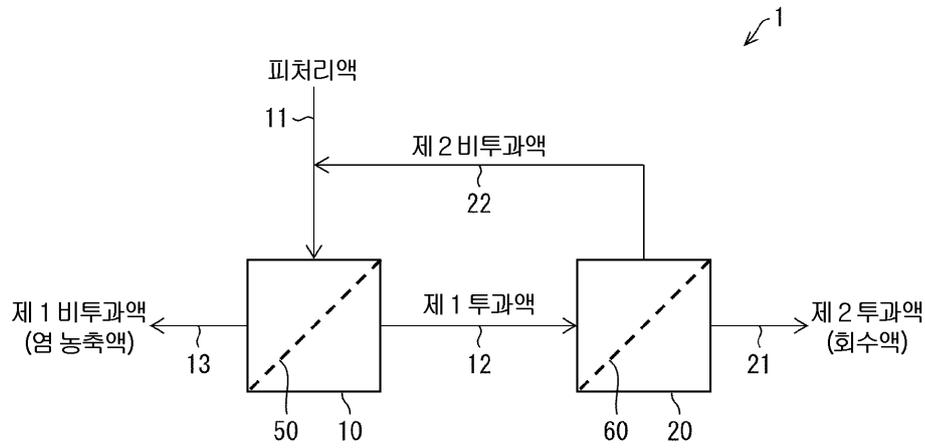
- [0104] 피처리액 (제 1 피처리액) 은, 배관 (11) 을 통하여 제 1 분리 장치 (10A) 의 피처리액측으로 송액된다. 제 1 피처리액은, 루스 RO 막 (50A) 에 통액되고,  $\Delta P = 8 \text{ MPa}$  인 조건하에서, 제 1 A 투과액과 제 1 A 비투과액 (농축액) 으로 분리된다 (제 1 A 공정). 제 1 A 공정에서 얻어진 제 1 A 비투과액은, 배관 (13) 을 통하여 배출된다.
- [0105] 제 1 A 투과액은, 제 1 B 피처리액으로서, 배관 (12) 을 통하여 제 1 분리 장치 (10B) 의 피처리액측으로 송액된다. 제 1 B 피처리액은, 루스 RO 막 (50B) 에 통액되고,  $\Delta P = 8 \text{ MPa}$  인 조건하에서, 제 1 B 투과액과 제 1 B 비투과액으로 분리된다 (제 1 B 공정). 제 1 B 공정에서 얻어진 제 1 B 비투과액은, 리사이클액으로서, 배관 (16) 을 통하여 제 1 피처리액에 혼합된다.
- [0106] 제 1 B 투과액은, 제 1 C 피처리액으로서, 배관 (14) 을 통하여 제 1 분리 장치 (10C) 의 피처리액측으로 송액된다. 제 1 C 피처리액은, 루스 RO 막 (50C) 에 통액되고,  $\Delta P = 8 \text{ MPa}$  인 조건하에서, 제 1 C 투과액과 제 1 C 비투과액으로 분리된다 (제 1 C 공정). 제 1 C 공정에서 얻어진 제 1 C 비투과액은, 리사이클액으로서, 배관 (17) 을 통하여 제 1 B 피처리액과 혼합된다.
- [0107] 제 1 C 투과액은, 제 2 피처리액으로서, 배관 (15) 을 통하여 제 2 분리 장치 (20) 의 피처리액측으로 송액된다. 제 2 피처리액은, 역침투막 (60) 에 통액되고,  $\Delta P = 8 \text{ MPa}$  인 조건하에서, 제 2 투과액과 제 2 비투과액으로 분리된다 (제 2 공정). 제 2 공정에서 얻어진 제 2 투과액은, 배관 (21) 을 통하여 배출된다. 제 2 공정에서 얻어진 제 2 비투과액은, 리사이클액으로서, 배관 (22) 을 통하여 제 1 C 피처리액과 혼합된다.
- [0108] 제 1 피처리액, 제 1 B 피처리액, 제 1 C 피처리액 및 제 2 피처리액은, 펌프를 사용하여 송압시키는 것으로 하고, 각 분리 장치의 운전 압력차  $\Delta P = 8 \text{ MPa}$  로 하였다.
- [0109] (수속 조건의 설정)
- [0110] 각 제 1 분리 장치 (10A ~ 10C) 및 제 2 분리 장치 (20) 에 있어서의 경막 내 물질 이동 계수  $k$  는  $8.00 \times 10^{-5} \text{ [m/s]}$  로 하였다. 또, 각 제 1 분리 장치 (10A ~ 10C) 및 제 2 분리 장치 (20) 에 있어서의 머티리얼 밸런스는, 이하와 같이 계산하였다. 즉, 피처리액측의 농도  $C_b' \text{ [mol/m}^3\text{]}$  와 투과액 농도  $C_p \text{ [mol/m}^3\text{]}$  를 변수로 하여, 막 면적  $0.001 \text{ m}^2$  마다, 상기 식 (3), 식 (4) 및 식 (7) 이 성립하도록 수속 계산을 실시하였다. 또, 필요 막 면적을 변수로 하여, 각 리사이클액의 염 농도가 리사이클 합류처의 피처리액의 염 농도와 동등해지는 것을 수속 조건으로 하였다.
- [0111] 상기 서술한 바와 같이 설정한 머티리얼 밸런스의 상세한 수치는, 도 3 에 나타나 있다. 도 3 에 나타내는 바와 같이, 막 분리 시스템 (1A) 을 사용한 막 분리 조작에 의해, 최대 운전 압력차 이하의 조작에 의해, 제 1 피처리액을 약 30 % 탈수하여, 농축된 제 1 비투과액을 얻음과 함께, 99.9 % 이상의 염 회수율을 달성할 수 있었다. 즉, 막 분리 시스템 (1A) 은, 비교예에서는 분리할 수 없었던 18.5 MPa 의 높은 침투압을 갖는 피처리액을, 최대 운전 압력차 이하의 조작으로, 역침투법 처리할 수 있는 것이 증명되었다.

### 부호의 설명

- [0112] 1, 1A : 막 분리 시스템  
 10, 10A, 10B, 10C : 제 1 분리 장치  
 20 : 제 2 분리 장치  
 50, 50A, 50B, 50C : 루스 RO 막  
 60 : 역침투막

도면

도면1



도면2



