

명세서

발명의 명칭: 정삼투 성능이 개선된 멤브레인 장치 및 이를 이용하는 용액 분리 방법

기술분야

- [1] 본 개시는 멤브레인 분리 장치 및 용액 분리 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 일반적으로 석유, 정유, 화학, 정밀화학, 세일가스 공정, 유해가스의 제거나 폐수처리, 해수담수화 등과 같이 화학물질이나 물을 분리하는 데 사용되고 있는 멤브레인은 정삼투, 역삼투, 선택적 기체분리, 투과증발(PERVAPORATION) 등의 기능을 갖는 선택적 분리 멤브레인(Semipermeable membrane)이다.
- [3] 이러한 멤브레인들은 각각 친수성(HYDROPHILIC), 소수성(HYDROPHOBIC), 친유기성(ORGANOPHILIC), 소유기성(ORGANOPHOBIC) 등의 성질을 가지고 있어 각 화학물질들을 농도 차이에 의한 분자간 확산율, 전하 반발력의 차이, 분자의 크기 차이등과 같은 성질의 차이에 의해 선택적으로 분리하는데 사용된다.
- [4] 멤브레인을 사용하여 화학물질을 분리하는 방법에는 독립적인 기능을 갖는 멤브레인 장치들을 이용하는 것이 있다. 예를 들어, 정삼투 멤브레인을 이용하는 경우 삼투액과 투과액을 분리하기 위해 독립적인 정삼투 멤브레인 장치 및 역삼투 멤브레인 장치가 이용될 수 있다. 위와같이 독립적인 멤브레인 장치들을 이용하면, 장치비가 비싸지고 넓은 공간을 요구되는 문제가 있다.
- [5] 정삼투 멤브레인 장치는 분리하고자 하는 물질이 혼합된 유체가 공급되는 공급측 공간(FEED SECTION) 및 삼투액(DRAW SOLUTION)이 공급되어 정삼투막을 통과한 물질이 삼투액과 섞이게 되는 삼투액 측 공간(DRAW SOLUTION SECTION, 혹은 PERMEATE SECTION)을 포함할 수 있다. 이때, 정삼투막을 선택적으로 통과한 화학물질(PERMEATE)은 삼투액 측 용액 내에서 분자의 확산에 의해 서서히 확산하게 되는데, 화학물질이 정삼투막 부근에서 정삼투막으로부터 먼 곳으로 확산되는 속도가 느리므로 멤브레인에 인접한 양측간의 삼투압 차이가 작아져서 정삼투막을 통한 분리 속도가 감소하게 된다.
- [6] 이를 해소하기 위해 정삼투막의 삼투액측 표면에 통과물질을 배척하는 성질을 갖는 멤브레인을 접착하여 확산 속도를 증가 시키고자 하는 경우가 있으나 확산속도가 현격하게 증가하는 것이 아니므로 정삼투 성능을 향상시키는데 충분한 효과가 없다. 또한, 화학물질의 확산 효과를 증가시키기 위해 삼투액이 삼투액 측 공간에서 난류를 형성할 수 있도록, 삼투액을 빠른 속도로 통과시키는 방법 사용될 수 있다. 하지만, 이를 위해 삼투액을 과다하게 순환 시켜야 하는 문제가 있으며, 삼투액을 빠른 속도로 통과 시키더라도 장치를 통과하는 동안 화학물질에 의해 삼투액의 농도가 희석될 수 밖에 없기 때문에 정삼투

성능이 저하되는 문제가 해소되지 않는다.

- [7] 도 17은 정삼투막 장치에서 NaCl 농도가 0.6 mol/L인 해수를 담수화하기 위해 NaCl 용액을 삼투액으로 사용할 경우 삼투액중 NaCl 농도에 따른 담수 능력을 나타낸다. 이론적으로는 삼투액중 NaCl 농도가 높을수록 담수 능력이 증가되어야 하지만, 실제 운전에서는 해수로부터 정삼투막을 통과한 물이 삼투액에 섞여 삼투막 부근에서 신속하게 확산되지 않기 때문에 담수 능력이 현저하게 감소하는 현상을 나타낸다.
- [8] 이러한 문제를 해결하기 위한 방편으로 정삼투막과 막증류(Membrane distillation) membrane을 복합(Integrate)하여 정삼투-막증류(Forward Osmosis-Membrane distillation) 유닛을 구성하기도 한다. 그러나, membrane distillation 막은 pore(기공)를 갖는 막으로서 삼투액을 증발시켜 기상의 물질을 membrane distillation 막에 있는 pore를 통해 배출 해 내기 때문에 에너지 소모가 많다는 문제가 있다. 또한, Membrane distillation 막은 물이 pore를 막아 wet한 상태로 만들게 되면 증발시켜 분리하고자 하는 물질이 pore를 통해 잘 빠져 나올 수 없기 때문에 Hydrophobic membrane을 사용하므로 분리막의 hydrophilic한 성질을 이용하여 물질을 분리하고자 하는 경우 사용상 제한이 있다. 이러한 이유들 때문에 정삼투막을 통해 통과된 투과액에 의해 희석된 정삼투 유도액의 농도를 일정하게 유지하는데 어려움이 있다.
- [9] 이러한 문제를 해결하기 위한 또 다른 방편으로 정삼투막과 마이크로필터(Micro filter) 혹은 나노필터 혹은 울트라필터를 복합(Integrate)하여 정삼투-필터(Forward Osmosis-filter) 유닛을 구성하기도 한다. 그러나, 상기 필터를 사용하여 물을 여과하기 위해서는 분자 크기가 작은 물질을 유도용액으로 사용하면 필터를 통과하여 유도용액이 유실될 수 있기 때문에 고분자 물질 용액을 유도용액으로 사용해야 하는 제한이 있다. 그런데, 고분자 물질 용액을 유도용액으로 사용하면 삼투압 차이가 작기때문에 정삼투막을 통과하는 물의 양(Water flux)이 적어지는 문제가 있다.
- [10]
- [11] (특허문헌 1) 대한민국 공개특허공보 제10-2017-0047090호: 고분자 유도물질을 사용한 에너지 저감형 정삼투막-여과막 결합 수처리와 해수담수화 시스템 및 방법
- [12]
- [13] (특허문헌 2) 미국 공개특허공보 제2010/0224476호: COMBINED MEMBRANE-DISTILLATION-FORWARD-OSMOSIS SYSTEMS AND METHODS OF USE
- 발명의 상세한 설명**
- 기술적 과제**
- [14] 기술적 과제는 정삼투 성능이 개선된 멤브레인 장치를 제공하는 것에 있다.

- [15] 기술적 과제는 소형화된 멤브레인 장치를 제공하는 것에 있다.
- [16] 기술적 과제는 정삼투 성능이 향상된 용액 분리 방법을 제공하는 것에 있다.
- [17] 다만, 기술적 과제는 상기 개시에 한정되지 않는다.

과제 해결 수단

- [18] 일 측면에 있어서, 하우징; 상기 하우징의 내부 공간을 유입 영역 및 혼합 영역으로 나누는 정삼투막; 및 상기 하우징의 상기 내부 공간을 상기 혼합 영역 및 배출 영역으로 나누는 투과증발막;을 포함하고, 상기 정삼투막은 예비 투과액을 상기 유입 영역 내에 제공된 유입액으로부터 분리하여, 상기 혼합 영역에 제공하고, 상기 예비 투과액은 상기 혼합 영역에서 정삼투 유도 용액과 혼합되어 혼합 용액을 생성하고, 상기 투과증발막은 상기 혼합 용액으로부터 최종 투과액을 분리하여, 상기 배출 영역에 제공하며, 상기 최종 투과액은 상기 배출 영역에서 증발되어, 증기를 생성하고, 상기 혼합 용액의 농도는 일정하게 유지되는 멤브레인 장치가 제공될 수 있다.
- [19] 상기 혼합 용액의 온도 및 상기 배출 영역의 진공도 중 적어도 하나를 조절하는 제어부를 더 포함하고, 상기 증기의 양은 상기 혼합 용액의 상기 온도 및 상기 배출 영역의 상기 진공도 중 적어도 하나에 의해 조절되는 멤브레인 장치가 제공될 수 있다.
- [20] 상기 혼합 용액의 상기 농도는 상기 투과증발막에 의해 상기 최종 투과액이 상기 혼합 용액으로부터 분리되는 것에 의해 상기 하우징 내부의 상기 혼합 영역에서 일정하게 유지되는 멤브레인 장치가 제공될 수 있다.
- [21] 상기 혼합 영역은 상기 정삼투막의 일 표면을 노출하고, 상기 혼합 용액의 상기 농도는 상기 정삼투막의 상기 일 표면에 평행한 방향을 따라 일정하게 유지되는 멤브레인 장치가 제공될 수 있다.
- [22] 상기 유입 영역에 상기 유입액을 제공하는 유입액 제공부; 상기 증기를 응축하여 최종 투과액을 재생성하는 응축기; 및 상기 배출 영역의 진공도를 조절하는 진공 펌프를 더 포함하는 멤브레인 장치가 제공될 수 있다.
- [23] 상기 정삼투막은 일 방향으로 연장하는 평판 형상을 갖고, 상기 혼합 용액의 상기 농도는 상기 일 방향을 따라 일정하게 유지되는 멤브레인 장치가 제공될 수 있다.
- [24] 상기 정삼투막 및 상기 투과증발막은 튜브 형상 또는 할로우 파이버 형상을 갖는 멤브레인 장치가 제공될 수 있다.
- [25] 상기 정삼투막 또는 상기 투과증발막은 복수 개로 제공되는 멤브레인 장치가 제공될 수 있다.
- [26] 상기 혼합 영역을 제1 혼합 영역 및 제2 혼합 영역으로 나누는 역삼투용 멤브레인을 더 포함하는 멤브레인 장치가 제공될 수 있다.
- [27] 일 측면에 있어서, 하우징, 상기 하우징의 내부 공간을 유입 영역 및 혼합 영역으로 나누는 정삼투막, 및 상기 하우징의 상기 내부 공간을 상기 혼합 영역

및 배출 영역으로 나누는 투과증발막을 준비하는 것; 유입액 및 정삼투 유도 용액을 각각 상기 유입 영역 및 상기 혼합 영역에 제공하는 것; 상기 유입액으로부터 분리된 예비 투과액을 상기 정삼투 유도 용액과 혼합하여, 혼합 용액을 생성하는 것; 및 상기 혼합 용액으로 분리된 최종 투과액을 상기 배출 영역에 제공하여, 상기 배출 영역에서 상기 최종 투과액을 증발시키는 것;을 포함하되, 상기 혼합 용액의 농도는 일정하게 유지되는 멤브레인 장치를 이용하는 용액 분리 방법이 제공될 수 있다.

- [28] 상기 혼합 용액의 상기 농도에 대응하여 상기 혼합 용액의 온도 및 상기 배출 영역의 진공도 중 적어도 하나를 제어하는 것을 더 포함하되, 상기 최종 투과액의 증발량은 상기 혼합 용액의 상기 온도 및 상기 배출 영역의 상기 진공도 중 적어도 하나에 의해 조절되는 멤브레인 장치를 이용하는 용액 분리 방법이 제공될 수 있다.
- [29] 상기 최종 투과액이 증발되어 생성된 증기를 응축시켜, 상기 최종 투과액을 재생성하는 것을 더 포함하는 멤브레인 장치를 이용하는 용액 분리 방법이 제공될 수 있다.
- [30] 상기 혼합 용액의 삼투압은 일정하게 유지되는 멤브레인 장치를 이용하는 용액 분리 방법이 제공될 수 있다.

발명의 효과

- [31] 정삼투 성능이 개선된 멤브레인 장치가 제공될 수 있다.
- [32] 소형화된 멤브레인 장치가 제공될 수 있다.
- [33] 정삼투 성능이 향상된 용액 분리 방법이 제공될 수 있다.
- [34] 다만, 발명의 효과는 상기 개시에 한정되지 않는다.

도면의 간단한 설명

- [35] 도 1은 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다.
- [36] 도 2는 도 1의 멤브레인 장치의 구동을 설명하기 위한 순서도이다.
- [37] 도 3은 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다.
- [38] 도 4는 도 3의 투과 챔버의 단면도이다.
- [39] 도 5는 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다.
- [40] 도 6은 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다.
- [41] 도 7은 도 6의 투과 챔버의 단면도이다.
- [42] 도 8은 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다.
- [43] 도 9는 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다.
- [44] 도 10은 도 9의 투과 챔버의 단면도이다.
- [45] 도 11은 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다.
- [46] 도 12는 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다.
- [47] 도 13은 도 12의 투과 챔버의 단면도이다.
- [48] 도 14는 예시적인 실시예들에 따른 투과 챔버의 블록 구성도이다.

- [49] 도 15는 예시적인 실시예들에 따른 투과 챔버의 블록 구성도이다.
- [50] 도 16은 예시적인 실시예들에 따른 투과 챔버의 블록 구성도이다.
- [51] 도 17은 정삼투막 장치에서 NaCl 농도가 0.6 mol/L인 해수를 담수화하기 위해 NaCl 용액을 삼투액으로 사용할 경우 삼투액중 NaCl 농도에 따른 담수 능력을 나타내는 그래프이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [52] 일 측면에 있어서, 하우징; 상기 하우징의 내부 공간을 유입 영역 및 혼합 영역으로 나누는 정삼투막; 및 상기 하우징의 상기 내부 공간을 상기 혼합 영역 및 배출 영역으로 나누는 투과증발막;을 포함하고, 상기 정삼투막은 예비 투과액을 상기 유입 영역 내에 제공된 유입액으로부터 분리하여, 상기 혼합 영역에 제공하고, 상기 예비 투과액은 상기 혼합 영역에서 정삼투 유도 용액과 혼합되어 혼합 용액을 생성하고, 상기 투과증발막은 상기 혼합 용액으로부터 최종 투과액을 분리하여, 상기 배출 영역에 제공하며, 상기 최종 투과액은 상기 배출 영역에서 증발되어, 증기를 생성하고, 상기 혼합 용액의 농도는 일정하게 유지되는 멤브레인 장치가 제공될 수 있다.
- [53] 일 측면에 있어서, 하우징, 상기 하우징의 내부 공간을 유입 영역 및 혼합 영역으로 나누는 정삼투막, 및 상기 하우징의 상기 내부 공간을 상기 혼합 영역 및 배출 영역으로 나누는 투과증발막을 준비하는 것; 유입액 및 정삼투 유도 용액을 각각 상기 유입 영역 및 상기 혼합 영역에 제공하는 것; 상기 유입액으로부터 분리된 예비 투과액을 상기 정삼투 유도 용액과 혼합하여, 혼합 용액을 생성하는 것; 및 상기 혼합 용액으로 분리된 최종 투과액을 상기 배출 영역에 제공하여, 상기 배출 영역에서 상기 최종 투과액을 증발시키는 것;을 포함하되, 상기 혼합 용액의 농도는 일정하게 유지되는 멤브레인 장치를 이용하는 용액 분리 방법이 제공될 수 있다.

발명의 실시를 위한 형태

- [54] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들에 대해 상세히 설명하기로 한다. 이하의 도면들에서 동일한 참조부호는 동일한 구성요소를 지칭하며, 도면상에서 각 구성요소의 크기는 설명의 명료성과 편의상 과장되어 있을 수 있다. 한편, 이하에 설명되는 실시예는 단지 예시적인 것에 불과하며, 이러한 실시예들로부터 다양한 변형이 가능하다.
- [55] 이하에서, "상부" 나 "상"이라고 기재된 것은 접촉하여 바로 위에 있는 것뿐만 아니라 비접촉으로 위에 있는 것도 포함할 수 있다.
- [56] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [57] 또한, 명세서에 기재된 "..부" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을

처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

- [58]
- [59] 도 1은 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다.
- [60] 도 1을 참조하면, 투과 챔버(10), 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220), 응축기(230), 진공 펌프(240), 투과액 저장부(250), 및 집액 챔버(300)를 포함하는 멤브레인 장치(1)가 제공될 수 있다.
- [61] 투과 챔버(10)는 하우징(102), 유입 영역(IR), 혼합 영역(MR), 배출 영역(DR), 정삼투 멤브레인(110), 및 투과증발 멤브레인(120)을 포함할 수 있다. 하우징(102)은 하우징(102) 내부의 압력을 견디는 재질을 포함할 수 있다.
- [62] 유입 영역(IR)은 유입액(142)을 수용할 수 있다. 유입액(142)은 유입액 공급부(210)로부터 유입 영역(IR)에 공급될 수 있다. 유입액 공급부(210)와 투과 챔버(10) 사이에 밸브(미도시) 및 펌프(미도시)가 제공되어, 유입액(142)의 흐름을 제어할 수 있다. 유입액(142)은 예비 투과액(PFL) 및 잔여물이 혼합된 용액일 수 있다. 예비 투과액(PFL)은 유입액(142)의 용매를 포함할 수 있다. 예를 들어, 유입액(142)은 해수(sea water) 또는 폐수(waste water)일 수 있고, 예비 투과액(PFL)은 물일 수 있다.
- [63] 후술되는 정삼투 현상에 의해 예비 투과액(PFL)과 유입액(142)은 서로 분리될 수 있다. 예비 투과액(PFL)으로부터 분리된 유입액(142)은 투과 챔버(10)로부터 잔여물 처리부(220)로 제공될 수 있다. 잔여물 처리부(220)는 예비 투과액(PFL)으로부터 분리된 상기 유입액(142)을 폐기할 수 있다.
- [64] 혼합 영역(MR)은 혼합 용액(144)을 수용할 수 있다. 혼합 용액(144)은 예비 투과액(PFL)과 정삼투 유도 용액을 포함할 수 있다. 정삼투 유도 용액은 수용액에서 이온 상태를 갖는 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 정삼투 유도 용액은 SO_2 , MgCl_2 , CaCl_2 , NaCl , KCl , MgSO_4 , KNO_3 , NH_4HCO_3 , NaHCO_3 , 황산알루미늄 등과 같은 무기염, 지방족 알코올, 글루코오스, 프룩토오스, 수크로스(Sucrose)와 같은 고분자 화학물질, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 정삼투 유도 용액 내의 용질 농도는 유입액(142) 내의 용질 농도보다 높을 수 있다. 혼합 용액(144) 내의 용질 농도는 유입액(142) 내의 용질 농도보다 높을 수 있다. 혼합 용액(144)은 분리 대상 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 분리 대상 물질은 순수한 물일 수 있다.
- [65] 혼합 용액(144)은 혼합 펌프(MRP)에 의해 순환될 수 있다. 예를 들어, 혼합 용액(144)은 혼합 펌프(MRP)에 의해 혼합 영역(MR)으로부터 배출된 후, 다시 혼합 영역(MR)으로 주입될 수 있다.
- [66] 혼합 영역(MR)으로부터 배출된 혼합 용액(144)은 혼합 용액 가열부(144h)에 의해 가열될 수 있다. 예를 들어, 혼합 용액(144)의 온도는 혼합 용액 가열부(144h)에 의해 15 도(°C) 내지 150 도(°C)로 유지될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 150 도(°C) 이상인 경우, 멤브레인들의 선택이 제한될 수

- 있고, 에너지 소비가 증가될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 15 도(°C) 이하이면, 투과증발 현상이 원활히 발생되지 않을 수 있다. 상기 히터는 전기, 오일, 및/또는 온수를 열원으로 사용하는 장치일 수 있다. 바람직하게는, 약 170 도(°C) 이하, 더욱 바람직하게는 약 120 도(°C) 이하의 폐열이 활용될 수 있다. 본 개시에 따른 멤브레인 장치는 폐열을 활용할 수 있다는 장점을 가질 수 있다.
- [67] 또한, 혼합용액 가열부(144h)는 투과 챔버(10) 외부에 설치하는 대신, 혼합영역(MR) 내부에 판형 혹은 봉형 형태로 설치 될 수 있다.
- [68] 정삼투 멤브레인(110)은 유입 영역(IR)과 혼합 영역(MR) 사이에 배치되어, 유입 영역(IR)과 혼합 영역(MR)을 분리시킬 수 있다. 예를 들어, 정삼투 멤브레인(110)은 일 방향으로 연장하는 평판 형상을 가질 수 있다. 정삼투 멤브레인(110)은 정삼투용 멤브레인일 수 있다. 예를 들어, 정삼투 멤브레인(110)은 유입 영역(IR) 내의 유입액(142)과 혼합 영역(MR) 내의 정삼투 유도 용액 사이에서 정삼투 현상(forward osmosis)이 일어날 때 반투과막 역할을 수행할 수 있다. 정삼투 멤브레인(110)은 고분자, 세라믹, 탄소, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들어, 정삼투 멤브레인(110)은 셀룰로오스계 막, 폴리아미드계 막, 폴리아릴렌계 막, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.
- [69] 배출 영역(DR)은 증기(146)를 수용할 수 있다. 증기(146)는 혼합 용액(144)으로부터 분리된 최종 투과액(FFL)이 증발된 것일 수 있다. 최종 투과액(FFL)은 혼합 용액(144)의 분리 대상 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 최종 투과액(FFL)은 순수한 물이고, 증기(146)는 수증기일 수 있다. 배출 영역(DR)은 진공 상태를 가질 수 있다. 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액(144)으로부터 분리되어 배출 영역(DR)에서 증발하는 것은 투과증발 현상(Pervaporation)으로 지칭될 수 있다. 배출 영역(DR)은 증기(146)를 투과 챔버(10) 외부로 배출할 수 있다. 증기(146)는 투과 챔버(10)로부터 응축기(230)로 이동할 수 있다.
- [70] 투과증발 멤브레인(120)은 혼합 영역(MR)과 배출 영역(DR) 사이에 배치되어, 혼합 영역(MR)과 배출 영역(DR)을 분리시킬 수 있다. 예를 들어, 투과증발 멤브레인(120)은 일 방향으로 연장하는 평판 형상을 가질 수 있다. 투과증발 멤브레인(120)은 정삼투 멤브레인(110)과 마주할 수 있다. 투과증발 멤브레인(120)은 혼합 용액(144)으로부터 최종 투과액(FFL)을 분리시킬 수 있다. 예를 들어, 분리막은 친수성(Hydrophilic) 막을 포함할 수 있다. 다른 예시적인 실시예들에서, 최종 투과액(FFL)이 물이 아닌 경우, 분리막은 소수성(Hydrophobic) 막을 포함할 수 있다.
- [71] 응축기(230)는 증기(146)를 응축하여, 최종 투과액(FFL)을 재생성할 수 있다. 예를 들어, 응축기(230)는 냉매를 이용하는 콘덴서(condenser)를 포함할 수 있다. 상기 냉매는, 예를 들어, 물, 브라인(brine), 또는 오일(oil)을 포함할 수 있다. 응축기(230)는 재생성된 최종 투과액(FFL)을 집액 챔버(300)에 제공할 수 있다.
- [72] 집액 챔버(300)는 응축기(230)로부터 제공된 최종 투과액(FFL)을 수용할 수

있다. 집액 챔버(300)는 최종 투과액(FFL)을 투과액 저장부(250)에 제공할 수 있다.

- [73] 집액 챔버(300)의 일 측에 진공 펌프(240)가 제공될 수 있다. 진공 펌프(240)는 다양한 형태의 진공 펌프이거나 바로메트릭 콘덴서일 수 있으며, 집액 챔버(300) 내부의 기압을 감소시킬 수 있다. 집액 챔버(300)의 내부와 배출 영역(DR)의 내부는 서로 연결될 수 있다. 배출 영역(DR) 내의 기압은 진공 펌프(240)에 의해 감소될 수 있다. 예를 들어, 집액 챔버(300) 내부 및 배출 영역(DR)은 실질적으로 진공 상태를 가질 수 있다. 진공 펌프(240)는 혼합 용액(144)의 용질 농도에 대응하여 배출 영역(DR)의 진공도를 조절할 수 있다. 예를 들어, 진공 펌프(240)는 혼합 용액(144)의 용질 농도가 낮아지면, 배출 영역(DR)의 진공도를 높임으로써 최종 투과액(FFL)의 양을 증가시켜 혼합용액(144)의 용질의 농도를 높여 혼합용액의 용질의 농도를 일정하게 유지할 수 있다. 배출영역(DR)의 진공도는 절대압 1 Torr 내지 660 Torr인 것이 바람직하다. 진공도가 절대압 661 Torr 내지 759 Torr로 낮으면 혼합용액의 온도를 150 도(°C) 이상 과다하게 높여야 최종 투과액(FFL)을 증기로 배출할 수 있게 된다.
- [74] 제어부(144c)가 제공될 수 있다. 제어부(144c)는 진공 펌프(240) 및 혼합 용액 가열부(144h)를 제어하여, 혼합 용액(144)의 농도를 조절할 수 있다. 예를 들어, 제어부(144c)는 배출 영역(DR)이 요구되는 진공도를 갖도록 진공 펌프(240)를 제어할 수 있고, 혼합 용액(144)이 요구되는 온도를 갖도록 혼합 용액 가열부(144h)를 제어할 수 있다. 혼합 용액(144)의 농도는 제어부(144c)에 의해 측정될 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 배출 영역(DR)의 진공도 및 혼합 용액(144)의 온도 중 적어도 하나가 제어부(144c)에 의해 제어되어, 혼합 용액(144)의 농도를 일정하게 유지할 수 있다. 증기(146)의 양은 혼합 용액(144)의 농도 및 배출 영역(DR)의 진공도 중 적어도 하나에 의해 조절될 수 있다.
- [75] 일반적으로, 정삼투 공정이 수행됨에 따라 정삼투 유도 용액의 농도가 낮아질 수 있다. 정삼투 유도 용액의 농도가 낮아질 경우, 정삼투 현상이 원활히 발생되지 못 할 수 있다. 본 개시에 따르면, 혼합 용액(144)에 예비 투과액(PFL)이 유입됨과 동시에 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액(144)으로부터 분리되므로, 혼합 용액(144)의 농도가 일정하게 유지될 수 있다. 이에 따라, 정삼투 현상이 원활히 발생될 수 있다. 결과적으로, 정삼투 성능이 개선된 멤브레인 장치(1)가 제공될 수 있다.
- [76] 투과액 저장부(250)는 최종 투과액(FFL)을 저장할 수 있다. 투과액 저장부(250)와 집액 챔버(300) 사이에 밸브(미도시) 및 펌프(미도시)가 제공되어, 최종 투과액(FFL)의 흐름을 제어할 수 있다.
- [77]
- [78] 도 2는 도 1의 멤브레인 장치의 구동을 설명하기 위한 순서도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 1을 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은

설명되지 않을 수 있다.

[79] 도 1 및 도 2를 참조하면, 유입액(142)이 유입 영역(IR)에 제공될 수 있다.(S10)
유입액(142)은 유입액 공급부(210)로부터 유입 영역(IR) 내에 제공될 수 있다.
예를 들어, 유입액(142)은 해수 또는 폐수일 수 있다.

[80] 유입액(142)이 유입 영역(IR)에 제공되기 전, 혼합 영역(MR)은 정삼투 유도
용액(미표기)으로 채워질 수 있다. 정삼투 유도 용액은 수용액에서 이온 상태를
갖는 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 정삼투 유도 용액은 SO_2 , MgCl_2 , CaCl_2 ,
 NaCl , KCl , MgSO_4 , KNO_3 , NH_4HCO_3 , NaHCO_3 , 황산알루미늄 등과 같은 무기염,
지방족 알코올, 글루코오스, 프룩토오스, 수크로스(Sucrose)과 같은 고분자
화합물질, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 정삼투 유도 용액 내의 용질
농도는 유입액(142) 내의 용질 농도보다 높을 수 있다. 이에 따라, 유입액(142)과
정삼투 유도 용액 사이에 삼투압 차이가 발생할 수 있다.

[81] 삼투압은 하기 식으로 표현될 수 있다.

[82]

$$[83] \quad \pi = i c R T$$

[84]

[85] (π : 삼투압(osmotic pressure), i : 용액 내의 삼투성 활성 입자들의 수(the number
of osmotically active particles in the solution), c : 몰 농도(the molar concentration), R
: 기체상수(the universal gas constant), T : 절대온도(the absolute temperature))

[86]

[87] 상기 i 는 아래와 같이 표현될 수 있다.

[88]

$$[89] \quad i = 1 + \alpha (v - 1)$$

[90]

[91] (α : 해리도(the degree of dissociation), v : 해리 반응의 화학량론적 계수(the
stoichiometric coefficient of dissociation reaction))

[92]

[93] 예비 투과액(PFL)이 순수한 물인 경우, 정삼투 현상에 의한 예비
투과액(PFL)의 투과 플럭스(water flux)는 아래와 같이 표현될 수 있다.

[94]

$$[95] \quad J_w = A(\pi_D - \pi_F)$$

[96]

[97] (J_w : 예비 투과액의 투과 플럭스(water flux), A : 투수성(water permeability), π_D :
정삼투 유도 용액의 삼투압, π_F : 유입액의 삼투압)

[98]

[99] 유입액(142)은 정삼투 유도 용액보다 낮은 용질 농도를 가질 수 있다. 이에
따라, 유입액(142)의 삼투압은 정삼투 유도 용액의 삼투압보다 작을 수 있다.
유입액(142)과 정삼투 유도 용액 사이의 삼투압 차이에 의해 정삼투 현상이

발생할 수 있다. 즉, 유입액(142) 내의 예비 투과액(PFL)은 유입액(142)로부터 분리되어, 정삼투 유도 용액으로 이동할 수 있다.(S20) 예비 투과액(PFL)은 정삼투 멤브레인(110)을 통과하여 혼합 영역(MR)으로 제공될 수 있다. 예비 투과액(PFL)은 유입액(142)의 용매를 포함할 수 있다. 예를 들어, 예비 투과액(PFL)은 물일 수 있다. 예비 투과액(PFL)과 정삼투 유도 용액이 혼합되어, 혼합 용액(144)을 생성할 수 있다.

- [100] 혼합 용액(144)의 온도는 15 도(°C) 내지 150 도(°C)일 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 150 도(°C)보다 높은 경우, 이용될 수 있는 멤브레인들이 제한될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 15 도(°C)보다 낮은 경우, 투과증발 현상이 원활하게 발생되지 않을 수 있다.
- [101] 예비 투과액(PFL)이 혼합 영역(MR)으로 제공됨에 따라, 혼합 용액(144) 내의 용질 농도는 낮아질 수 있다. 이에 따라, 혼합 용액(144)의 삼투압이 작아질 수 있다. 유입액(142)의 삼투압은 일정하므로, 유입액(142)과 혼합 용액(144) 사이의 삼투압 차이가 감소할 수 있다. 일반적으로, 유입액(142)과 혼합 용액(144) 사이의 삼투압 차이가 감소할 경우, 예비 투과액(PFL)이 유입 영역(IR)에서 혼합 영역(MR)으로 이동하는 속도가 줄어든 수 있다.
- [102] 투과증발 멤브레인(120)에서 투과증발 현상이 발생되어, 혼합 용액(144)으로부터 최종 투과액(FFL)이 분리될 수 있다. 최종 투과액(FFL)은 혼합 용액(144)의 용매를 포함할 수 있다. 예를 들어, 최종 투과액(FFL)은 순수한 물일 수 있다. 최종 투과액(FFL)은 배출 영역(DR)에서 증발되어, 증기(146)로 변환될 수 있다.(S30) 예를 들어, 증기(146)는 수증기일 수 있다. 증기(146)는 배출 영역(DR)으로부터 투과 챔버(10) 외부로 배출될 수 있다.
- [103] 배출 영역(DR)은 진공 펌프(240)에 의해 진공 상태를 가질 수 있다. 배출 영역(DR)의 진공도에 따라 최종 투과액(FFL)의 증발량이 결정될 수 있다. 예를 들어, 배출 영역(DR)의 진공도가 낮을 때의 최종 투과액(FFL)의 증발량보다 배출 영역(DR)의 진공도가 높을 때의 최종 투과액(FFL)의 증발량이 더 많을 수 있다. 혼합 용액(144)으로부터 최종 투과액(FFL)이 분리되는 양은 최종 투과액(FFL)의 증발량에 비례할 수 있다. 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액(144)으로부터 분리되는 양은 최종 투과액(FFL)의 증발량에 비례할 수 있다. 따라서, 배출 영역(DR)의 진공도가 제어되어, 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액(144)으로부터 분리되는 양을 조절할 수 있다. 배출영역(DR)의 진공도는 절대압 1 Torr 내지 660 Torr인 것이 바람직하다. 진공도가 절대압 661 Torr 내지 759 Torr로 낮으면 혼합용액의 온도를 150 도(°C) 이상 과다하게 높여야 최종 투과액(FFL)을 증기로 배출할 수 있게 된다.
- [104] 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액(144)으로부터 분리됨에 따라, 혼합 용액(144) 내의 용질 농도는 높아질 수 있다. 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액(144)으로부터 분리되는 양은 배출 영역(DR)의 진공도에 의해 조절될 수 있으므로, 배출 영역(DR)의 진공도가 제어되어, 혼합 용액(144) 내의 용질 농도를 조절할 수

있다. 혼합 용액(144) 내의 용질 농도는 혼합 용액(144)이 요구되는 삼투압을 갖도록 조절될 수 있다. 혼합 용액(144)의 삼투압을 일정하게 유지시킬 경우, 예비 투과액(PFL)의 정삼투 멤브레인(110)에 대한 투과 플럭스는 일정하게 유지될 수 있다.

- [105] 증기(146)는 응축기(230)로 이동할 수 있다. 증기(146)는 응축기(230)에 의해 응축되어, 최종 투과액(FFL)을 재생성할 수 있다.(S40) 재생성된 최종 투과액(FFL)은 응축기(230)로부터 집액 챔버(300) 내로 제공될 수 있다. 최종 투과액(FFL)은 집액 챔버(300)로부터 투과액 저장부(250)에 제공되어, 투과액 저장부(250) 내에 수용될 수 있다.
- [106] 상기 개시에 따르면, 서로 다른 기능을 갖는 멤브레인들(110, 120)이 하나의 투과 챔버(10) 내에 제공될 수 있다. 이에 따라, 멤브레인 장치(1)를 소형화시킬 수 있다.
- [107] 상기 개시에 따르면, 배출 영역(DR)의 진공도와 혼합용액(144)의 온도 중 적어도 하나가 제어부(144c)에 의해 제어되어, 혼합 용액(144)의 삼투압을 일정하게 유지시킬 수 있다. 증기(146)의 양은 혼합 용액(144)의 농도 및 배출 영역(DR)의 진공도 중 적어도 하나에 의해 조절될 수 있다. 이에 따라, 예비 투과액(PFL)의 투과 플럭스는 일정하게 유지될 수 있다.
- [108]
- [109] 도 3은 예시적인 실시예들에 따른 복합 멤브레인 장치의 블록 구성도이다. 도 4는 도 3의 투과 챔버의 단면도이다. 설명의 간결함을 위해 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [110] 도 3 및 도 4를 참조하면, 투과 챔버(11), 혼합 펌프(MRP), 혼합 용액 가열부(144h), 제어부(144c), 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220), 응축기(230), 진공 펌프(240), 투과액 저장부(250), 및 집액 챔버(300)를 포함하는 멤브레인 장치(2)가 제공될 수 있다. 혼합 펌프(MRP), 혼합 용액 가열부(144h), 제어부(144c), 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220), 응축기(230), 진공 펌프(240), 투과액 저장부(250), 및 집액 챔버(300)는 도 1을 참조하여 설명된 것들과 실질적으로 동일할 수 있다. 투과 챔버(11)는 그 형상을 제외하면, 도 1을 참조하여 설명된 투과 챔버(10)와 실질적으로 동일할 수 있다. 이하에서, 투과 챔버(11)의 형상에 대해 설명된다.
- [111] 투과 챔버(11)는 하우징(102), 유입 영역(IR), 혼합 영역(MR), 배출 영역(DR), 정삼투 멤브레인(110), 및 투과증발 멤브레인(120)을 포함할 수 있다. 하우징(102)은 투과 챔버(10) 내의 압력을 견디는 재질을 포함할 수 있다. 하우징(102)은 원통형인 것으로 도시되었으나, 이는 예시적인 것이다.
- [112] 도 1에 도시된 것과 달리, 정삼투 멤브레인(110)과 투과증발 멤브레인(120)은 튜브(tube) 형상 또는 할로우 파이버(hollow fiber) 형상을 가질 수 있다. 정삼투 멤브레인(110)은 투과증발 멤브레인(120)에 의해 둘러싸일 수 있다. 즉, 정삼투 멤브레인(110)의 직경은 투과증발 멤브레인(120)의 직경보다 작을 수 있다.

정삼투 멤브레인(110)과 투과증발 멤브레인(120)은 서로 이격될 수 있다.

- [113] 유입 영역(IR)은 정삼투 멤브레인(110)의 내측면에 의해 정의될 수 있다. 혼합 영역은 정삼투 멤브레인(110)의 외측면과 투과증발 멤브레인(120)의 내측면에 의해 정의될 수 있다. 배출 영역(DR)은 투과증발 멤브레인(120)의 외측면과 하우징(102)의 내측면에 의해 정의될 수 있다.
- [114] 예비 투과액(PFL)은 정삼투 멤브레인(110)에 의해 유입액(142)으로부터 분리되어, 혼합 영역(MR)에 제공될 수 있다. 예를 들어, 예비 투과액(PFL)은 정삼투 멤브레인(110)의 지름 방향을 따라 방사형으로 유동할 수 있다. 혼합 영역(MR)에서 예비 투과액(PFL)은 정삼투 유도 용액과 혼합되어, 혼합 용액(144)을 생성할 수 있다. 혼합 용액(144)에 예비 투과액(PFL)이 혼합됨에 따라, 혼합 용액(144) 내의 용질 농도가 낮아질 수 있다. 이에 따라, 혼합 용액(144)의 삼투압이 낮아질 수 있다.
- [115] 예시적인 실시예들에서, 혼합 용액(144)의 온도는 혼합 용액 가열부(144h)에 의해 15 도(°C) 내지 150 도(°C)로 유지될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 150 도(°C) 이상인 경우, 멤브레인들의 선택이 제한될 수 있고, 에너지 소비가 증가될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 15 도(°C) 이하이면, 투과증발 현상이 원활히 발생되지 않을 수 있다.
- [116] 최종 투과액(FFL)은 투과증발 멤브레인(120)에 의해 혼합 용액(144)으로부터 분리될 수 있다. 최종 투과액(FFL)은 배출 영역(DR) 내에서 증발되어, 증기(146)를 생성할 수 있다. 증기(146)는 배출 영역(DR)으로부터 투과 챔버(11) 외부로 배출되어, 응축기(230)로 이동할 수 있다. 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액(144)으로부터 분리됨에 따라, 혼합 용액(144) 내의 용질 농도가 높아질 수 있다. 이에 따라, 혼합 용액(144)의 삼투압이 높아질 수 있다.
- [117] 도 2를 참조하여 설명된 것과 같이, 상기 멤브레인 장치(2)는 배출 영역(DR)의 진공도 및 혼합 용액(144)의 온도 중 적어도 하나를 제어하여, 혼합 용액(144)이 요구되는 삼투압을 갖도록 혼합 용액(144) 내의 용질 농도를 조절할 수 있다. 증기(146)의 양은 혼합 용액(144)의 농도 및 배출 영역(DR)의 진공도 중 적어도 하나에 의해 조절될 수 있다. 이에 따라, 예비 투과액(PFL)의 정삼투 멤브레인(110)에 대한 투과 플럭스는 일정하게 유지될 수 있다. 배출영역(DR)의 진공도는 절대압 1 Torr 내지 660 Torr인 것이 바람직하다. 진공도가 절대압 661 Torr 내지 759 Torr로 낮으면 혼합용액의 온도를 150 도(°C) 이상 과다하게 높여야 최종 투과액(FFL)을 증기로 배출할 수 있게 된다.
- [118]
- [119] 도 5는 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다. 설명의 간결함을 위해 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [120] 도 5를 참조하면, 투과 챔버(12), 혼합 펌프(MRP), 압력 조절 밸브(MRV), 혼합 용액 저장부(MRT), 제어부(144c), 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220),

펌프(260), 및 투과액 저장부(250)를 포함하는 멤브레인 장치(3)가 제공될 수 있다. 혼합 펌프(MRP), 제어부(144c), 유입액 공급부(210) 및 잔여물 처리부(220)는 도 1을 참조하여 설명된 것들과 실질적으로 동일할 수 있다.

- [121] 투과 챔버(12)는 하우징(102), 유입 영역(IR), 혼합 영역(MR), 배출 영역(DR), 정삼투 멤브레인(110), 및 역삼투 멤브레인(130)을 포함할 수 있다. 도 1을 참조하여 설명된 것과 달리, 배출 영역(DR)은 최종 투과액(FFL)이 제공될 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 최종 투과액(FFL)은 배출 영역(DR)의 일부에 제공될 수 있다. 즉, 배출 영역(DR)에 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 증기가 제공되지 않을 수 있다. 역삼투 멤브레인(130)은 역삼투용 멤브레인일 수 있다. 예를 들어, 역삼투 멤브레인(130)은 혼합 영역(MR)과 배출 영역(DR) 사이에서 역삼투 현상(Reverse osmosis)이 일어날 때, 반투과막 역할을 수행할 수 있다. 역삼투 멤브레인(130)은 고분자, 세라믹, 탄소, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들어, 역삼투 멤브레인(130)은 Cellulose Acetate(CA) 막, Polyamide(PA) 막, Polysulfonate 막, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.
- [122] 예비 투과액(PFL)은 정삼투 멤브레인(110)에 의해 유입액(142)으로부터 분리될 수 있다. 예비 투과액(PFL)은 혼합 영역(MR)에서 정삼투 유도 용액과 혼합되어, 혼합 용액(144)을 생성할 수 있다. 예를 들어, 혼합 용액(144)에 예비 투과액(PFL)이 혼합됨에 따라, 혼합 용액(144) 내의 용질 농도가 낮아질 수 있다. 이에 따라, 혼합 용액(144)의 삼투압이 낮아질 수 있다.
- [123] 최종 투과액(FFL)은 역삼투 멤브레인(130)에 의해 혼합 용액(144)으로부터 분리될 수 있다. 혼합 용액(144)으로부터 최종 투과액(FFL)이 분리되도록, 혼합 용액(144)은 압력을 가질 수 있다. 예를 들어, 혼합 용액(144)의 압력은 20 bar 내지 80 bar일 수 있다. 이때, 유입액(142)의 압력은 혼합 용액(144)의 압력과 실질적으로 동일할 수 있다. 혼합 용액(144)의 압력이 20 bar보다 작은 경우, 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액으로부터 원활히 분리되지 않을 수 있다. 혼합 용액의 압력을 80 bar 이상으로 하는 것은 에너지 소모가 많으므로 바람직하지 않다.
- [124] 예를 들어, 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액(144)으로부터 분리됨에 따라, 혼합 용액(144) 내의 용질 농도가 높아질 수 있다. 이에 따라, 혼합 용액(144)의 삼투압이 커질 수 있다.
- [125] 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액(144)으로부터 분리되는 양은 혼합 용액(144)의 압력이 증가함에 따라 증가할 수 있다. 따라서, 상기 혼합 용액(144)의 압력이 제어되어, 혼합 용액(144)이 요구되는 삼투압을 갖도록 혼합 용액(144) 내의 용질 농도를 조절할 수 있다. 혼합 용액(144)이 일정한 삼투압을 갖도록 혼합 용액(144)의 압력을 조절할 경우, 예비 투과액(PFL)의 정삼투 멤브레인(110)에 대한 투과 플럭스는 일정하게 유지될 수 있다.
- [126] 최종 투과액(FFL)은 펌프(260)에 의해 배출 영역(DR)으로부터 투과액 저장부(250)로 이동될 수 있다.
- [127] 도 1을 참조하여 설명된 것과 달리, 제어부(144c)는 혼합 펌프(MRP) 및 압력

조절 밸브(MRV)를 제어하여, 혼합 용액(144)의 농도를 조절할 수 있다. 예를 들어, 제어부(144c)는 혼합 용액(144)이 요구되는 압력을 갖도록 혼합 펌프(MRP) 및 압력 조절 밸브(MRV)를 제어할 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 혼합 용액(144)의 압력이 제어부(144c)에 의해 제어되어, 혼합 용액(144)의 농도를 일정하게 유지할 수 있다. 혼합 펌프(MRP)와 혼합 영역(MR) 사이에 혼합 용액 저장부(MRT)가 제공될 수 있다. 즉, 혼합 펌프(MRP)로부터 배출된 혼합 용액(144)은 혼합 용액 저장부(MRT)를 지나 혼합 영역(MR)에 제공될 수 있다.

[128]

[129] 도 6은 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다. 도 7은 도 6의 투과 챔버의 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 5를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

[130] 도 6 및 도 7을 참조하면, 투과 챔버(13), 혼합 펌프(MRP), 압력 조절 밸브(MRV), 혼합 용액 저장부(MRT), 제어부(144c), 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220), 펌프(260), 및 투과액 저장부(250)를 포함하는 멤브레인 장치(4)가 제공될 수 있다. 혼합 펌프(MRP), 압력 조절 밸브(MRV), 혼합 용액 저장부(MRT), 제어부(144c), 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220), 펌프(260), 및 투과액 저장부(250)는 도 5를 참조하여 설명된 것들과 실질적으로 동일할 수 있다. 투과 챔버(13)는 그 형상을 제외하면, 도 5를 참조하여 설명된 투과 챔버(12)와 실질적으로 동일할 수 있다. 이하에서, 투과 챔버(13)의 형상에 대해 설명된다.

[131] 투과 챔버(13)는 하우징(102), 유입 영역(IR), 혼합 영역(MR), 배출 영역(DR), 정삼투 멤브레인(110), 및 역삼투 멤브레인(130)을 포함할 수 있다. 하우징(102)은 원통형인 것으로 도시되었으나, 이는 예시적인 것이다.

[132] 도 5에 도시된 것과 달리, 정삼투 멤브레인(110)과 역삼투 멤브레인(130)은 튜브 형상 또는 할로우 파이버 형상을 가질 수 있다. 정삼투 멤브레인(110)은 역삼투 멤브레인(130)에 의해 둘러싸일 수 있다. 즉, 정삼투 멤브레인(110)의 직경은 역삼투 멤브레인(130)의 직경보다 작을 수 있다. 정삼투 멤브레인(110)과 역삼투 멤브레인(130)은 서로 이격될 수 있다.

[133] 유입 영역(IR)은 정삼투 멤브레인(110)의 내측면에 의해 정의될 수 있다. 혼합 영역은 정삼투 멤브레인(110)의 외측면과 역삼투 멤브레인(130)의 내측면에 의해 정의될 수 있다. 배출 영역(DR)은 역삼투 멤브레인(130)의 외측면과 하우징(102)의 내측면에 의해 정의될 수 있다.

[134] 예비 투과액(PFL)은 정삼투 멤브레인(110)에 의해 유입액(142)으로부터 분리되어, 혼합 영역(MR)에 제공될 수 있다. 예를 들어, 예비 투과액(PFL)은 정삼투 멤브레인(110)의 지름 방향을 따라 방사형으로 이동할 수 있다. 혼합 영역(MR)에서 예비 투과액(PFL)은 정삼투 유도 용액과 혼합되어, 혼합 용액(144)을 생성할 수 있다. 예를 들어, 혼합 용액(144)에 예비 투과액(PFL)이 혼합됨에 따라, 혼합 용액(144) 내의 용질 농도가 낮아질 수 있다. 이에 따라, 혼합

용액(144)의 삼투압이 작아질 수 있다.

- [135] 최종 투과액(FFL)은 역삼투 멤브레인(130)에 의해 혼합 용액(144)으로부터 분리될 수 있다. 혼합 용액(144)으로부터 분리된 최종 투과액(FFL)은 배출 영역(DR) 내에 채워진 최종 투과액(FFL)과 혼합될 수 있다. 예를 들어, 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액(144)으로부터 분리됨에 따라, 혼합 용액(144) 내의 용질 농도가 높아질 수 있다. 이에 따라, 혼합 용액(144)의 삼투압이 커질 수 있다.
- [136] 상기 멤브레인 장치(4)는 혼합 용액(144)의 압력을 제어하여, 혼합 용액(144)이 요구되는 삼투압을 갖도록 혼합 용액(144) 내의 용질 농도를 조절할 수 있다. 혼합 용액(144)이 일정한 삼투압을 갖도록 혼합 용액(144)의 압력을 조절할 경우, 예비 투과액(PFL)의 정삼투 멤브레인(110)에 대한 투과 플럭스는 일정하게 유지될 수 있다. 예를 들어, 혼합 용액(144)의 압력은 20 bar 내지 80 bar일 수 있다. 혼합 용액(144)의 압력이 20 bar보다 작은 경우, 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액으로부터 원활히 분리되지 않을 수 있다. 혼합 용액의 압력을 80 bar 이상으로 하는 것은 에너지 소모가 많으므로 바람직하지 않다.
- [137]
- [138] 도 8은 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다. 설명의 간결함을 위해 도 1, 도 2, 및 도 5를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [139] 도 8을 참조하면, 투과 챔버(14), 제1 및 제2 혼합 펌프들(MRP1, MRP2), 압력 조절 밸브(MRV), 혼합 용액 저장부(MRT), 혼합 용액 가열부(144h), 제어부(144c), 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220), 응축기(230), 진공 펌프(240), 투과액 저장부(250), 및 집액 챔버(300)를 포함하는 멤브레인 장치(5)가 제공될 수 있다. 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220), 응축기(230), 진공 펌프(240), 투과액 저장부(250), 및 집액 챔버(300)는 도 1을 참조하여 설명된 것들과 실질적으로 동일할 수 있다. 제1 혼합 펌프(MRP1), 혼합 용액 가열부(144h), 및 제어부(144c)는 도 1을 참조하여 설명된 것들과 실질적으로 동일할 수 있다. 제2 혼합 펌프(MRP2), 압력 조절 밸브(MRV), 및 혼합 용액 저장부(MRT)는 도 5를 참조하여 설명된 것들과 실질적으로 동일할 수 있다. 제어부(144c)는 후술되는 제1 혼합 용액(144a)의 농도를 조절할 수 있다.
- [140] 투과 챔버(14)는 도 1을 참조하여 설명된 것과 달리, 정삼투 멤브레인(110)과 투과증발 멤브레인(120) 사이에 역삼투 멤브레인(130)을 더 포함할 수 있다. 역삼투 멤브레인(130)은 도 5를 참조하여 설명된 역삼투 멤브레인(130)과 실질적으로 동일할 수 있다.
- [141] 혼합 영역은 역삼투 멤브레인(130)에 의해 서로 분리된 제1 혼합 영역(MR1) 및 제2 혼합 영역(MR2)을 포함할 수 있다. 제1 혼합 영역(MR1)은 정삼투 멤브레인(110)과 역삼투 멤브레인(130) 사이에 배치되고, 제2 혼합 영역(MR2)은 역삼투 멤브레인(130)과 투과증발 멤브레인(120) 사이에 배치될 수 있다.
- [142] 정삼투 유도 용액이 제1 혼합 영역(MR1)에 제공될 수 있다. 정삼투 유도 용액은

유입액(142)보다 높은 용질 농도를 가질 수 있다. 정삼투 현상에 의해 유입액(142)으로부터 제1 투과액(FL1)이 분리되어, 제1 혼합 영역(MR1)에 제공될 수 있다. 제1 투과액(FL1)은 도 3을 참조하여 설명된 예비 투과액(PFL)과 실질적으로 동일할 수 있다.

- [143] 제1 혼합 영역(MR1)에서 제1 투과액(FL1)은 정삼투 유도 용액과 혼합되어, 제1 혼합 용액(144a)을 생성할 수 있다. 제1 혼합 용액(144a)은 도 1을 참조하여 설명된 혼합 용액(144)과 실질적으로 동일할 수 있다. 제1 혼합 용액(144a)의 압력은 유입액(142)의 압력과 실질적으로 동일할 수 있다. 예를 들어, 제1 혼합 용액(144a)의 압력 및 유입액(142)의 압력은 20 bar 내지 80 bar일 수 있다. 이에 따라, 유입액(142)과 제1 혼합 용액(144a) 사이에서 역삼투 현상이 발생하는 것이 방지될 수 있다. 즉, 제1 투과액(FL1)이 제1 혼합 용액(144a)에서 다시 유입액(142)으로 이동하는 것이 방지될 수 있다. 제1 혼합 용액(144a)에 제1 투과액(FL1)이 혼합됨에 따라, 제1 혼합 용액(144a) 내의 용질 농도가 낮아질 수 있다. 이에 따라, 제1 혼합 용액(144a)의 삼투압이 작아질 수 있다.
- [144] 제1 혼합 용액(144a)으로부터 제2 투과액(FL2)이 분리될 수 있다. 제2 투과액(FL2)은 제1 혼합 용액(144a)의 투과 대상 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제2 투과액(FL2)은 순수한 물과 제1 혼합 용액(144a)의 일부가 역삼투 멤브레인(130)을 통과한 것일 수 있다. 제2 투과액(FL2)은 제2 혼합 영역(MR2)에서 집액되어, 제2 혼합 용액(144b)을 생성할 수 있다. 제1 혼합 용액(144a)의 압력은 제2 투과액(FL2)이 제1 혼합 용액(144a)으로부터 분리되도록 충분히 클 수 있다. 예를 들어, 제1 혼합 용액(144a)의 압력은 20 bar 내지 80 bar일 수 있다. 제1 혼합 용액(144a)의 압력이 20 bar보다 작은 경우, 제2 투과액(FL2)이 제1 혼합 용액(144a)으로부터 원활히 분리되지 않을 수 있다. 제1 혼합 용액(144a)의 압력을 80 bar 이상으로 하는 것은 에너지 소모가 많으므로 바람직하지 않다. 예를 들어, 제2 투과액(FL2)이 제1 혼합 용액(144a)으로부터 분리됨에 따라, 제1 혼합 용액(144a) 내의 용질 농도가 높아질 수 있다. 이에 따라, 제1 혼합 용액(144a)의 삼투압이 커질 수 있다.
- [145] 제2 혼합 용액(144b)으로부터 최종 투과액(FFL)이 분리될 수 있다. 최종 투과액(FFL)은 투과증발 멤브레인(130)에 의해 증기(146)로 변환될 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 제2 혼합 용액(144b)의 온도는 혼합 용액 가열부(144h)에 의해 15 도(°C) 내지 150 도(°C)로 유지될 수 있다. 제2 혼합 용액(144b)의 온도가 150 도(°C) 이상인 경우, 멤브레인들의 선택이 제한될 수 있고, 에너지 소비가 증가될 수 있다. 제2 혼합 용액(144b)의 온도가 15 도(°C) 이하이면, 투과증발 현상이 원활히 발생되지 않을 수 있다.
- [146] 배출 영역(DR)은 진공 상태를 가질 수 있다. 예를 들어, 배출영역(DR)의 진공도는 절대압 1 Torr 내지 660 Torr인 것이 바람직하다. 진공도가 절대압 661 Torr 내지 759 Torr로 낮으면 혼합용액의 온도를 150 도(°C) 이상 과다하게 높여야 최종 투과액(FFL)을 증기로 배출할 수 있게 된다. 배출 영역(DR)은 증기(146)를

수용할 수 있다. 투과증발 멤브레인(130), 배출 영역(DR), 및 최종 투과액(FFL)은 도 1을 참조하여 설명된 것들과 실질적으로 동일할 수 있다.

- [147] 제1 혼합 용액(144a)의 압력, 제2 혼합 용액(144b)의 온도, 및 배출 영역(DR)의 진공도 중 적어도 하나가 제어되어, 제1 혼합 용액(144a) 내의 용질 농도를 조절할 수 있다. 증기(146)의 양은 제1 혼합 용액(144a)의 압력, 제2 혼합 용액(144b)의 온도, 및 배출 영역(DR)의 진공도 중 적어도 하나에 의해 조절될 수 있다. 이와 같은 방법으로 제1 투과액(FL1)의 정삼투 멤브레인(110)에 대한 투과 플럭스가 일정하게 유지될 수 있다.

[148]

- [149] 도 9는 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다. 도 10은 도 9의 투과 챔버의 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 3, 도 4, 및 도 5를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

- [150] 도 9 및 도 10을 참조하면, 투과 챔버(15), 제1 및 제2 혼합 펌프들(MRP1, MRP2), 압력 조절 밸브(MRV), 혼합 용액 저장부(MRT), 혼합 용액 가열부(144h), 제어부(144c), 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220), 응축기(230), 진공 펌프(240), 투과액 저장부(250), 및 집액 챔버(300)를 포함하는 멤브레인 장치(6)가 제공될 수 있다. 제1 및 제2 혼합 펌프들(MRP1, MRP2), 압력 조절 밸브(MRV), 혼합 용액 저장부(MRT), 혼합 용액 가열부(144h), 제어부(144c), 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220), 응축기(230), 진공 펌프(240), 투과액 저장부(250), 및 집액 챔버(300)는 도 8을 참조하여 설명된 것들과 실질적으로 동일할 수 있다.

- [151] 투과 챔버(15)는 도 3 및 도 4를 참조하여 설명된 것과 달리, 정삼투 멤브레인(110)과 투과증발 멤브레인(120) 사이에 역삼투 멤브레인(130)을 더 포함할 수 있다. 역삼투 멤브레인(130)은 도 8을 참조하여 설명된 역삼투 멤브레인(130)과 실질적으로 동일할 수 있다.

- [152] 혼합 영역(MR)은 역삼투 멤브레인(130)에 의해 서로 분리된 제1 혼합 영역(MR1) 및 제2 혼합 영역(MR2)을 포함할 수 있다. 제1 혼합 영역(MR1)은 정삼투 멤브레인(110)과 역삼투 멤브레인(130) 사이에 배치되고, 제2 혼합 영역(MR2)은 역삼투 멤브레인(130)과 투과증발 멤브레인(120) 사이에 배치될 수 있다.

- [153] 정삼투 유도 용액이 제1 혼합 영역(MR1)에 제공될 수 있다. 정삼투 유도 용액은 유입액(142)보다 높은 용질 농도를 가질 수 있다. 정삼투 현상에 의해 유입액(142)으로부터 제1 투과액(FL1)이 분리되어, 제1 혼합 영역(MR1)으로 이동할 수 있다. 제1 투과액(FL1)은 도 3을 참조하여 설명된 예비 투과액(PFL)과 실질적으로 동일할 수 있다.

- [154] 제1 혼합 영역(MR1)에서 제1 투과액(FL1)은 정삼투 유도 용액과 혼합되어, 제1 혼합 용액(144a)을 생성할 수 있다. 제1 혼합 용액(144a)은 도 1을 참조하여 설명된 혼합 용액(144)과 실질적으로 동일할 수 있다. 제1 혼합 용액(144a)의

압력은 유입액(142)의 압력과 실질적으로 동일할 수 있다. 예를 들어, 제1 혼합 용액(144a)의 압력 및 유입액(142)의 압력은 20 bar 내지 80 bar일 수 있다. 이에 따라, 유입액(142)과 제1 혼합 용액(144a) 사이에서 역삼투 현상이 발생하는 것이 방지될 수 있다. 즉, 제1 투과액(FL1)이 제1 혼합 용액(144a)에서 다시 유입액(142)으로 이동하는 것이 방지될 수 있다. 예를 들어, 제1 혼합 용액(144a)에 제1 투과액(FL1)이 혼합됨에 따라, 제1 혼합 용액(144a) 내의 용질 농도가 낮아질 수 있다. 이에 따라, 제1 혼합 용액(144a)의 삼투압이 낮아질 수 있다.

- [155] 제1 혼합 용액(144a)의 압력을 80 bar 이상으로 하는 것은 에너지 소모가 많으므로 바람직하지 않다. 제1 혼합 용액(144a)으로부터 제2 투과액(FL2)이 분리되어, 제2 혼합 영역(MR2)으로 이동할 수 있다. 예를 들어, 제2 투과액(FL2)은 제1 혼합 용액(144a)의 용매를 포함할 수 있다. 예를 들어, 제2 투과액(FL2)은 순수한 물과 제1 혼합 용액(144a)의 일부가 역삼투 멤브레인(130)을 통과한 것일 수 있다. 제2 투과액(FL2)은 제2 혼합 영역(MR2)에서 집액되어, 제2 혼합 용액(144b)을 생성할 수 있다. 제1 혼합 용액(144a)의 압력은 제2 투과액(FL2)이 제1 혼합 용액(144a)으로부터 분리되도록 충분히 클 수 있다. 예를 들어, 제1 혼합 용액(144a)의 압력 및 유입액(142)의 압력은 20 bar 내지 80 bar일 수 있다. 제1 혼합 용액(144a)의 압력이 20 bar보다 작은 경우, 제2 투과액(FL2)이 제1 혼합 용액(144a)으로부터 원활히 분리되지 않을 수 있다.
- [156] 예를 들어, 제2 투과액(FL2)이 제1 혼합 용액(144a)으로부터 분리됨에 따라, 제1 혼합 용액(144a) 내의 용질 농도가 높아질 수 있다. 이에 따라, 제1 혼합 용액(144a)의 삼투압이 높아질 수 있다.
- [157] 제2 혼합 용액(144b)으로부터 최종 투과액(FFL)이 분리될 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 제2 혼합 용액(144b)의 온도는 혼합 용액 가열부(144h)에 의해 15 도(°C) 내지 150 도(°C)로 유지될 수 있다. 제2 혼합 용액(144b)의 온도가 150 도(°C) 이상인 경우, 멤브레인들의 선택이 제한될 수 있고, 에너지 소비가 증가될 수 있다. 제2 혼합 용액(144b)의 온도가 15 도(°C) 이하이면, 투과증발 현상이 원활히 발생되지 않을 수 있다.
- [158] 최종 투과액(FFL)은 투과증발 멤브레인(130)에 의해 증기(146)으로 변환될 수 있다. 배출 영역(DR)은 증기(146)를 수용할 수 있다. 투과증발 멤브레인(130), 배출 영역(DR), 및 최종 투과액(FFL)은 도 3을 참조하여 설명된 것들과 실질적으로 동일할 수 있다. 배출 영역(DR)은 진공 상태를 가질 수 있다. 예를 들어, 배출영역(DR)의 진공도는 절대압 1 Torr 내지 660 Torr인 것이 바람직하다. 진공도가 절대압 661 Torr 내지 759 Torr로 낮으면 혼합용액의 온도를 150 도(°C) 이상 과도하게 높여야 최종 투과액(FFL)을 증기로 배출할 수 있게 된다.
- [159] 제1 혼합 용액(144a)의 압력, 제2 혼합 용액(144b)의 온도, 및 배출 영역(DR)의 진공도 중 적어도 하나가 제어되어, 제1 혼합 용액(144a) 내의 용질 농도를

조절할 수 있다. 증기(146)의 양은 제1 혼합 용액(144a)의 압력, 제2 혼합 용액(144b)의 온도, 및 배출 영역(DR)의 진공도 중 적어도 하나에 의해 조절될 수 있다. 이와 같은 방법으로 제1 투과액(FL1)의 정삼투 멤브레인(110)에 대한 투과 플럭스가 일정하게 유지될 수 있다.

[160]

[161] 도 11은 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다. 설명의 간결함을 위해 도 1, 도 2, 및 도 5를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

[162] 도 11을 참조하면, 투과 챔버(16), 혼합 펌프(MRP), 혼합 용액 가열부(144h), 제어부(144c), 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220), 응축기(230), 진공 펌프(240), 투과액 저장부(250), 및 집액 챔버(300)를 포함하는 멤브레인 장치(7)가 제공될 수 있다. 혼합 펌프(MRP), 혼합 용액 가열부(144h), 제어부(144c), 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220), 응축기(230), 진공 펌프(240), 투과액 저장부(250), 및 집액 챔버(300)는 도 1을 참조하여 설명된 것들과 실질적으로 동일할 수 있다.

[163] 투과 챔버(16)는 도 1을 참조하여 설명된 것과 달리, 배출 영역(DR)을 중심으로 한 쌍의 혼합 영역들(MR) 및 한 쌍의 유입 영역들(IR)이 배치될 수 있다. 한 쌍의 혼합 영역들(MR)은 배출 영역(DR)을 사이에 두고 서로 이격될 수 있다. 한 쌍의 유입 영역들(IR)은 한 쌍의 혼합 영역들(MR)을 사이에 두고 유입 영역(DR)으로부터 각각 이격될 수 있다.

[164] 한 쌍의 유입 영역들(IR)과 한 쌍의 혼합 영역들(MR) 사이에 한 쌍의 정삼투 멤브레인들(110)이 각각 제공될 수 있다. 한 쌍의 혼합 영역들(MR)과 배출 영역(DR) 사이에 한 쌍의 투과증발 멤브레인들(120)이 각각 제공될 수 있다. 한 쌍의 유입 영역들(IR), 한 쌍의 혼합 영역들(MR), 배출 영역(DR), 한 쌍의 정삼투 멤브레인들(110), 및 한 쌍의 투과증발 멤브레인들(120)의 각각은 도 1을 참조하여 설명된 것들과 실질적으로 동일할 수 있다.

[165] 한 쌍의 유입 영역들(IR) 내에 유입액들(142)이 각각 제공될 수 있다. 예비 투과액들(PFL)은 정삼투 현상에 의해 유입액들(142)로부터 분리되어 한 쌍의 활성 영역들(MR)로 각각 이동할 수 있다. 예비 투과액들(PFL)은 한 쌍의 활성 영역들(MR)에서 정삼투 유도 용액들과 혼합되어, 혼합 용액들(144)을 생성할 수 있다. 최종 투과액들(FFL)은 투과증발 현상에 의해 혼합 용액들(144)로부터 분리되어, 배출 영역(DR)에서 증기(146)로 변환될 수 있다. 증기(146)는 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 것과 같이 다시 최종 투과액(FFL)으로 변환되어, 투과액 저장부(250)에 수용될 수 있다.

[166] 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액(144)으로부터 분리되는 양은 배출 영역(DR)의 진공도 및 혼합 용액(144)의 온도 중 적어도 하나에 의해 조절될 수 있으므로, 배출 영역(DR)의 진공도 및 혼합 용액(144)의 온도 중 적어도 하나가 제어되어, 혼합 용액(144) 내의 용질 농도를 조절할 수 있다. 증기(146)의 양은 혼합

용액(144)의 농도 및 배출 영역(DR)의 진공도 중 적어도 하나에 의해 조절될 수 있다. 혼합 용액(144) 내의 용질 농도는 혼합 용액(144)이 요구되는 삼투압을 갖도록 조절될 수 있다. 혼합 용액(144)의 삼투압을 일정하게 유지시킬 경우, 예비 투과액(PFL)의 정삼투 멤브레인(110)에 대한 투과 플럭스는 일정하게 유지될 수 있다.

- [167] 배출영역(DR)의 진공도는 절대압 1 Torr 내지 660 Torr인 것이 바람직하다. 진공도가 절대압 661 Torr 내지 759 Torr로 낮으면 혼합용액의 온도를 150 도(°C) 이상 과다하게 높여야 최종 투과액(FFL)을 증기로 배출할 수 있게 된다.
- [168] 예시적인 실시예들에서, 혼합 용액(144)의 온도는 혼합 용액 가열부(144h)에 의해 15 도(°C) 내지 150 도(°C)로 유지될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 150 도(°C) 이상인 경우, 멤브레인들의 선택이 제한될 수 있고, 에너지 소비가 증가될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 15 도(°C) 이하이면, 투과증발 현상이 원활히 발생되지 않을 수 있다.
- [169] 다른 예시적인 실시예들에서, 정삼투 멤브레인(110)과 투과증발 멤브레인(120)의 위치가 바뀔 수 있다. 이에 따라, 배출 영역(DR)과 유입 영역(IR)의 위치가 바뀔 수 있다.
- [170]
- [171] 도 12는 예시적인 실시예들에 따른 멤브레인 장치의 블록 구성도이다. 도 13은 도 12의 투과 챔버의 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 3, 도 4, 및 도 5를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [172] 도 12 및 도 13을 참조하면, 투과 챔버(17), 혼합 펌프(MRP), 혼합 용액 가열부(144h), 제어부(144c), 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220), 응축기(230), 진공 펌프(240), 투과액 저장부(250), 및 집액 챔버(300)를 포함하는 멤브레인 장치(8)가 제공될 수 있다. 혼합 펌프(MRP), 혼합 용액 가열부(144h), 제어부(144c), 유입액 공급부(210), 잔여물 처리부(220), 응축기(230), 진공 펌프(240), 투과액 저장부(250), 및 집액 챔버(300)는 도 3을 참조하여 설명된 것들과 실질적으로 동일할 수 있다.
- [173] 투과 챔버(17)는, 도 3을 참조하여 설명된 것과 달리, 한 쌍의 유입 영역들(IR), 한 쌍의 혼합 영역들(MR), 및 배출 영역(DR)을 포함할 수 있다. 한 쌍의 유입 영역들(IR)은 투과 챔버(17)의 가장 안쪽 및 가장 바깥쪽에 각각 제공될 수 있다. 배출 영역(DR)은 한 쌍의 유입 영역들(IR) 사이에 배치될 수 있다. 한 쌍의 혼합 영역들(MR)은 한 쌍의 유입 영역들(IR)과 배출 영역(DR) 사이에 각각 배치될 수 있다.
- [174] 한 쌍의 유입 영역들(IR)과 한 쌍의 혼합 영역들(MR) 사이에 한 쌍의 정삼투 멤브레인들(110)이 각각 제공될 수 있다. 한 쌍의 혼합 영역들(MR)과 배출 영역(DR) 사이에 한 쌍의 투과증발 멤브레인들(120)이 각각 제공될 수 있다. 한 쌍의 유입 영역들(IR), 한 쌍의 혼합 영역들(MR), 배출 영역(DR), 한 쌍의 정삼투 멤브레인들(110), 및 한 쌍의 투과증발 멤브레인들(120)의 각각은 도 1을

참조하여 설명된 것들과 실질적으로 동일할 수 있다.

- [175] 한 쌍의 유입 영역들(IR) 내에 유입액들(142)이 각각 제공될 수 있다. 예비 투과액들(PFL)은 정삼투 현상에 의해 유입액들(142)로부터 분리되어 한 쌍의 활성 영역들(MR)로 각각 이동할 수 있다. 예비 투과액들(PFL)은 한 쌍의 활성 영역들(MR)에서 정삼투 유도 용액들과 혼합되어, 혼합 용액들(144)을 생성할 수 있다. 최종 투과액들(FFL)은 투과증발 현상에 의해 혼합 용액들(144)로부터 분리되어, 배출 영역(DR)에서 증기(146)로 변환될 수 있다. 증기(146)는 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 것과 같이 다시 최종 투과액(FFL)으로 변환되어, 투과액 저장부(250)에 수용될 수 있다.
- [176] 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액(144)으로부터 분리되는 양은 배출 영역(DR)의 진공도 및 혼합 용액(144)의 온도 중 적어도 하나에 의해 조절될 수 있으므로, 배출 영역(DR)의 진공도 및 혼합 용액(144)의 온도 중 적어도 하나가 제어되어, 혼합 용액(144) 내의 용질 농도를 조절할 수 있다. 증기(146)의 양은 혼합 용액(144)의 농도 및 배출 영역(DR)의 진공도 중 적어도 하나에 의해 조절될 수 있다. 혼합 용액(144) 내의 용질 농도는 혼합 용액(144)이 요구되는 삼투압을 갖도록 조절될 수 있다. 혼합 용액(144)의 삼투압을 일정하게 유지시킬 경우, 예비 투과액(PFL)의 정삼투 멤브레인(110)에 대한 투과 플럭스는 일정하게 유지될 수 있다.
- [177] 배출영역(DR)의 진공도는 절대압 1 Torr 내지 660 Torr인 것이 바람직하다. 진공도가 절대압 661 Torr 내지 759 Torr로 낮으면 혼합용액의 온도를 150 도(°C) 이상 과도하게 높여야 최종 투과액(FFL)을 증기로 배출할 수 있게 된다.
- [178] 예시적인 실시예들에서, 혼합 용액(144)의 온도는 혼합 용액 가열부(144h)에 의해 15 도(°C) 내지 150 도(°C)로 유지될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 150 도(°C) 이상인 경우, 멤브레인들의 선택이 제한될 수 있고, 에너지 소비가 증가될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 15 도(°C) 이하이면, 투과증발 현상이 원활히 발생되지 않을 수 있다.
- [179] 다른 예시적인 실시예들에서, 정삼투 멤브레인(110)과 투과증발 멤브레인(120)의 위치가 바뀔 수 있다. 이에 따라, 배출 영역(DR)과 유입 영역(IR)의 위치가 바뀔 수 있다. 일반적으로, 정삼투 공정이 수행됨에 따라 정삼투 유도 용액의 농도가 낮아질 수 있다. 정삼투 유도 용액의 농도가 낮아질 경우, 정삼투 현상이 원활히 발생되지 못 할 수 있다. 본 개시에 따르면, 혼합 용액(144)에 예비 투과액(PFL)이 유입됨과 동시에 최종 투과액(FFL)이 혼합 용액(144)으로부터 분리되므로, 혼합 용액(144)의 농도가 일정하게 유지될 수 있다. 이에 따라, 정삼투 현상이 원활히 발생될 수 있다. 결과적으로, 정삼투 성능이 개선된 멤브레인 장치(8)가 제공될 수 있다.
- [180]
- [181] 도 14는 예시적인 실시예들에 따른 투과 챔버의 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 3 및 도 4를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지

않을 수 있다.

- [182] 도 14를 참조하면, 투과 챔버(18)는, 하우징(102), 복수의 정삼투 멤브레인들(110), 투과증발 멤브레인(120), 복수의 유입 영역들(IR), 혼합 영역(MR), 및 배출 영역(DR)을 포함할 수 있다. 하우징(102)은 도 3 및 도 4를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일할 수 있다.
- [183] 투과증발 멤브레인(120)은 하우징(102)의 내측면에 의해 정의되는 영역에 제공될 수 있다. 투과증발 멤브레인(120)은 튜브 형상 또는 할로우 파이버 형상을 가질 수 있다. 투과증발 멤브레인(120)의 외직경은 하우징(102)의 내직경보다 작을 수 있다. 투과증발 멤브레인(120)의 외측면과 하우징(102)의 내측면은 서로 마주할 수 있다.
- [184] 배출 영역(DR)은 투과증발 멤브레인(120)과 하우징(102) 사이에 제공될 수 있다. 즉, 배출 영역(DR)은 투과증발 멤브레인(120)의 외측면과 하우징(102)의 내측면에 의해 정의될 수 있다.
- [185] 복수의 정삼투 멤브레인들(110)은 투과증발 멤브레인(120)의 내측면에 의해 정의되는 영역에 제공될 수 있다.
- [186] 혼합 영역(MR)은 복수의 정삼투 멤브레인들(110)과 투과증발 멤브레인(120) 사이에 제공될 수 있다. 즉, 혼합 영역(MR)은 복수의 정삼투 멤브레인들(110)의 외측면들과 투과증발 멤브레인(120)의 내측면에 의해 정의될 수 있다.
- [187] 복수의 유입 영역들(IR)은 복수의 정삼투 멤브레인들(110)의 내측면들에 의해 각각 정의될 수 있다.
- [188] 복수의 유입 영역들(IR) 내에 유입액들(142)이 각각 제공될 수 있다. 예비 투과액들(PFL)은 정삼투 현상에 의해 유입액들(142)로부터 분리되어 활성 영역(MR)으로 이동할 수 있다. 예비 투과액들(PFL)은 활성 영역(MR)에서 정삼투 유도 용액과 혼합되어, 혼합 용액(144)을 생성할 수 있다.
- [189] 예시적인 실시예들에서, 혼합 용액(144)의 온도는 혼합 용액 가열부(144h)에 의해 15 도(°C) 내지 150 도(°C)로 유지될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 150 도(°C) 이상인 경우, 멤브레인들의 선택이 제한될 수 있고, 에너지 소비가 증가될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 15 도(°C) 이하이면, 투과증발 현상이 원활히 발생되지 않을 수 있다.
- [190] 최종 투과액들(FFL)은 투과증발 현상에 의해 혼합 용액들(144)로부터 분리되어, 배출 영역(DR)에서 증기(146)로 변환될 수 있다. 배출 영역(DR)은 진공 상태를 가질 수 있다. 배출영역(DR)의 진공도는 절대압 1 Torr 내지 660 Torr인 것이 바람직하다. 진공도가 절대압 661 Torr 내지 759 Torr로 낮으면 혼합용액의 온도를 150 도(°C) 이상 과다하게 높여야 최종 투과액(FFL)을 증기로 배출할 수 있게 된다.
- [191] 상기 개시에 따르면, 예비 투과액들(PFL)의 복수의 정삼투 멤브레인들(110)에 대한 투과 플릭스가 일정하게 유지되는 투과 챔버(18)가 제공될 수 있다.
- [192] 배출 영역(DR)의 진공도 및 혼합 용액(144)의 온도 중 적어도 하나가 제어되어,

혼합 용액(144) 내의 용질 농도를 조절할 수 있다. 증기(146)의 양은 혼합 용액(144)의 농도 및 배출 영역(DR)의 진공도 중 적어도 하나에 의해 조절될 수 있다.

[193]

[194] 도 15는 예시적인 실시예들에 따른 투과 챔버의 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 3 및 도 4를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

[195]

도 15를 참조하면, 투과 챔버(19)는, 하우징(102), 복수의 정삼투 멤브레인들(110), 한 쌍의 투과증발 멤브레인들(120), 복수의 유입 영역들(IR), 혼합 영역(MR), 및 한 쌍의 배출 영역들(DR)을 포함할 수 있다. 하우징(102)은 도 3 및 도 4를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일할 수 있다.

[196]

한 쌍의 투과증발 멤브레인들(120)은 하우징(102)의 내측면에 의해 정의되는 영역에 제공될 수 있다. 투과증발 멤브레인(120)은 튜브 형상 또는 할로우 파이버 형상을 가질 수 있다. 투과증발 멤브레인(120)의 외직경은 하우징(102)의 내직경보다 작을 수 있다. 투과증발 멤브레인(120)의 외측면과 하우징(102)의 내측면은 서로 마주할 수 있다.

[197]

배출 영역(DR)은 투과증발 멤브레인(120)과 하우징(102) 사이에 제공될 수 있다. 즉, 배출 영역(DR)은 투과증발 멤브레인(120)의 외측면과 하우징(102)의 내측면에 의해 정의될 수 있다.

[198]

복수의 정삼투 멤브레인들(110)은 튜브형상 혹은 할로우파이버 형상으로 투과증발 멤브레인(120)의 내측면에 의해 정의되는 영역에 제공될 수 있다.

[199]

혼합 영역(MR)은 복수의 정삼투 멤브레인들(110)과 투과증발 멤브레인(120) 사이에 제공될 수 있다. 즉, 혼합 영역(MR)은 복수의 정삼투 멤브레인들(110)의 외측면들과 투과증발 멤브레인(120)의 내측면에 의해 정의될 수 있다.

[200]

복수의 유입 영역들(IR)은 복수의 정삼투 멤브레인들(110)의 내측면들에 의해 각각 정의될 수 있다.

[201]

복수의 유입 영역들(IR) 내에 유입액들(142)이 각각 제공될 수 있다. 예비 투과액들(PFL)은 정삼투 현상에 의해 유입액들(142)로부터 분리되어 활성 영역(MR)으로 이동할 수 있다. 예비 투과액들(PFL)은 활성 영역(MR)에서 정삼투 유도 용액과 혼합되어, 혼합 용액(144)을 생성할 수 있다.

[202]

예시적인 실시예들에서, 혼합 용액(144)의 온도는 혼합 용액 가열부(144h)에 의해 15 도(°C) 내지 150 도(°C)로 유지될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 150 도(°C) 이상인 경우, 멤브레인들의 선택이 제한될 수 있고, 에너지 소비가 증가될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 15 도(°C) 이하이면, 투과증발 현상이 원활히 발생되지 않을 수 있다.

[203]

최종 투과액들(FFL)은 투과증발 현상에 의해 혼합 용액들(144)로부터 분리되어, 배출 영역(DR)에서 증기(146)로 변환될 수 있다. 배출영역(DR)은 진공 상태를 가질 수 있다. 배출영역(DR)의 진공도는 절대압 1 Torr 내지 660 Torr인

것이 바람직하다. 진공도가 절대압 661 Torr 내지 759 Torr로 낮으면 혼합용액의 온도를 150 도(°C) 이상 과다하게 높여야 최종 투과액(FFL)을 증기로 배출할 수 있게 된다.

- [204] 상기 개시에 따르면, 예비 투과액들(PFL)의 복수의 정삼투 멤브레인들(110)에 대한 투과 플럭스가 일정하게 유지되는 투과 챔버(18)가 제공될 수 있다.
- [205] 배출 영역(DR)의 진공도 및 혼합 용액(144)의 온도 중 적어도 하나가 제어되어, 혼합 용액(144) 내의 용질 농도를 조절할 수 있다. 증기(146)의 양은 혼합 용액(144)의 농도 및 배출 영역(DR)의 진공도 중 적어도 하나에 의해 조절될 수 있다.
- [206]
- [207] 도 16은 예시적인 실시예들에 따른 투과 챔버의 단면도이다. 설명의 간결함을 위해, 도 3 및 도 4를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.
- [208] 도 16을 참조하면, 투과 챔버(20)는, 하우징(102), 복수의 정삼투 멤브레인들(110), 복수의 투과증발 멤브레인들(120), 복수의 유입 영역들(IR), 혼합 영역(MR), 및 복수의 배출 영역들(DR)을 포함할 수 있다. 하우징(102)은 도 3 및 도 4를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일할 수 있다.
- [209] 복수의 정삼투 멤브레인들(110) 및 복수의 투과증발 멤브레인들(120)은 하우징(102)의 내측면에 의해 정의되는 영역에 제공될 수 있다. 복수의 정삼투 멤브레인들(110) 및 복수의 투과증발 멤브레인들(120)은 할로우파이퍼 혹은 튜브 형상을 가질 수 있다. 하우징(102)의 내측면에 의해 정의되는 영역 중, 복수의 정삼투 멤브레인들(110) 및 복수의 투과증발 멤브레인들(120) 외의 영역은 혼합 영역(MR)일 수 있다.
- [210] 복수의 유입 영역들(IR) 내에 유입액들(142)이 각각 제공될 수 있다. 예비 투과액들(PFL)은 정삼투 현상에 의해 유입액들(142)로부터 분리되어 활성 영역(MR)으로 이동할 수 있다. 예비 투과액들(PFL)은 활성 영역(MR)에서 정삼투 유도 용액과 혼합되어, 혼합 용액(144)을 생성할 수 있다. 혼합 용액(144)은 혼합 펌프(MRP)에 의해 순환될 수 있다. 다른 예시적인 실시예들에서, 가열 튜브 또는 가열판이 하우징(102) 내부에 설치되어, 혼합 용액(144)은 순환되지 않을 수 있다.
- [211] 예시적인 실시예들에서, 혼합 용액(144)의 온도는 혼합 용액 가열부(144h)에 의해 15 도(°C) 내지 150 도(°C)로 유지될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 150 도(°C) 이상인 경우, 멤브레인들의 선택이 제한될 수 있고, 에너지 소비가 증가될 수 있다. 혼합 용액(144)의 온도가 15 도(°C) 이하이면, 투과증발 현상이 원활히 발생되지 않을 수 있다.
- [212] 최종 투과액들(FFL)은 투과증발 현상에 의해 혼합 용액들(144)로부터 분리되어, 배출 영역(DR)에서 증기(146)로 변환될 수 있다. 배출 영역(DR)은 진공 상태를 가질 수 있다. 배출영역(DR)의 진공도는 절대압 1 Torr 내지 660

Torr인 것이 바람직하다. 진공도가 절대압 661 Torr 내지 759 Torr로 낮으면 혼합용액의 온도를 150 도(°C) 이상 과다하게 높여야 최종 투과액(FFL)을 증기로 배출할 수 있게 된다.

- [213] 상기 개시에 따르면, 예비 투과액들(PFL)의 복수의 정삼투 멤브레인들(110)에 대한 투과 플럭스가 일정하게 유지되는 투과 챔버(18)가 제공될 수 있다.
- [214] 다른 예시적인 실시예들에서, 투과증발 멤브레인(120) 대신 도 5를 참조하여 설명된 역삼투 멤브레인(130)이 제공될 수 있다. 배출 영역(DR)에 증기(146) 대신 투과 대상 물질이 제공될 수 있다. 혼합 용액(144)은 혼합 펌프(MRP)에 의해 순환될 수 있다. 다른 예시적인 실시예들에서, 정삼투압에 의해 혼합 용액(144)은 가압되거나 펌프등의 가압장치에 의해 가압될 수 있으므로, 순환되지 않을 수 있다.
- [215] 또한, 정삼투 막의 성능을 더욱 향상하기 위해 정삼투막과 정삼투막 사이에 정삼투 유도 용액으로서 제 1 혼합용액을 사용하고, 정삼투 막과 투과증발 막 혹은 정삼투막과 역삼투 막 사이에 제2 혼합용액을 이용하되 제1 혼합용액의 용질의 농도는 제2 혼합용액의 용질의 농도보다 낮게 할 수도 있다.
- [216] 배출 영역(DR)의 진공도 및 혼합 용액(144)의 온도 중 적어도 하나가 제어되어, 혼합 용액(144) 내의 용질 농도를 조절할 수 있다. 증기(146)의 양은 혼합 용액(144)의 농도 및 배출 영역(DR)의 진공도 중 적어도 하나에 의해 조절될 수 있다.
- [217]
- [218] 본 발명의 기술적 사상의 실시예들에 대한 이상의 설명은 본 발명의 기술적 사상의 설명을 위한 예시를 제공한다. 따라서 본 발명의 기술적 사상은 이상의 실시예들에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의하여 상기 실시예들을 조합하여 실시하는 등 여러 가지 많은 수정 및 변경이 가능함은 명백하다.
- [219]
- [220]