



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0117296
(43) 공개일자 2023년08월08일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 65/10 (2006.01) B01D 61/00 (2006.01)
B01D 65/08 (2006.01) C02F 1/44 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
B01D 65/10 (2022.08)
B01D 61/005 (2022.08)
- (21) 출원번호 10-2023-0095238(분할)
(22) 출원일자 2023년07월21일
심사청구일자 2023년07월21일
- (62) 원출원 특허 10-2020-0093807
원출원일자 2020년07월28일
심사청구일자 2020년07월28일
- (30) 우선권주장
1020190102904 2019년08월22일 대한민국(KR)
1020190120563 2019년09월30일 대한민국(KR)

- (71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
- (72) 발명자
양대륙
서울특별시 성북구 길음로9길 40, 111동 1903호
장윤혁
서울특별시 동작구 상도로31길 19, 107동 1001호
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
정은열, 김태훈

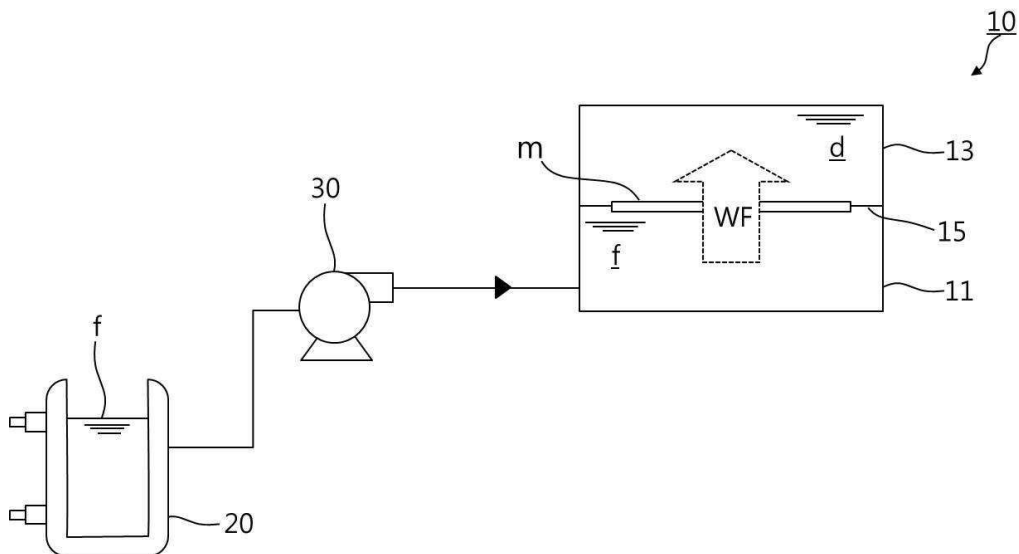
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템

(57) 요약

본 발명은 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템에 관한 것으로, 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템은 유입 용액(f)을 수용하는 유입 용액 수용부(11), 유입 용액(f)보다 높은 삼투압 농도를 가지는 유도 용액(d)을 수용하는 유도 용액 수용부(13), 및 유입 용액 수용부(11)와 유도 용액 수용부(13) 사이에 배치되는 성능 측정 대상인 반투과성 멤브레인(m)을 지지하는 홀더(15)를 포함하는 멤브레인 모듈(10), 유입 용액(f)을 저장하는 유입 용액 저장탱크(20), 및 멤브레인(m)을 투과하는 물 플럭스(water flux, WF)가 일정하게 고정되도록, 압력을 연속적으로 변화시켜, 물 플럭스(WF)에 대응되는 고정된 유량으로, 유입 용액 저장탱크(20) 내의 유입 용액(f)을 유입 용액 수용부(11)에 공급하는 유입 용액 공급펌프(30)를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B01D 65/08 (2022.08)

C02F 1/445 (2013.01)

(72) 발명자

박기호

서울특별시 동대문구 체기로5가길 5, 501호

장지웅

부산광역시 해운대구 좌동순환로217번길 8, 504동
2002호

명세서

청구범위

청구항 1

유입 용액을 수용하는 유입 용액 수용부, 상기 유입 용액보다 높은 삼투압 농도를 가지는 유도 용액을 수용하는 유도 용액 수용부, 및 상기 유입 용액 수용부와 상기 유도 용액 수용부 사이에 배치되는 성능 측정 대상인 반투과성 멤브레인을 지지하는 홀더를 포함하는 멤브레인 모듈;

상기 유입 용액을 저장하는 유입 용액 저장탱크; 및

상기 멤브레인을 투과하는 물 플럭스(water flux)가 일정하게 유지되도록 설정된 소정의 유량으로, 상기 유입 용액 저장탱크 내의 상기 유입 용액을 상기 유입 용액 수용부에 공급하는 유입 용액 공급펌프;를 포함하고,

하기 [수학식]에 따라 멤브레인 및 용액 물질 전달 성능을 측정하는 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정 시스템.

[수학식]

$$S = \frac{D}{J_w} \ln \left(\frac{AJ_w \pi_{D,b} \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right) + BJ_w \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right) - AB\Delta P \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right)}{(J_w)^2 + BJ_w - AJ_w \Delta P - AB\Delta P + AJ_w \pi_{F,m}} \right)$$

$$D = \frac{SJ_w}{\ln \left(\frac{AJ_w \pi_{D,b} \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right) + BJ_w \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right) - AB\Delta P \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right)}{(J_w)^2 + BJ_w - AJ_w \Delta P - AB\Delta P + AJ_w \pi_{F,m}} \right)}$$

$$k_D = \frac{J_w}{\ln \left(\frac{AJ_w \pi_{D,b} \exp(-J_w K) + BJ_w \exp(-J_w K) - AB\Delta P \exp(-J_w K)}{(J_w)^2 + BJ_w - AJ_w \Delta P - AB\Delta P + AJ_w \pi_{F,m}} \right)}$$

$$R_{ECP} = \frac{(J_w)^2 + BJ_w - AJ_w \Delta P - AB\Delta P + AJ_w \pi_{F,m}}{AJ_w \pi_{D,b} \exp(-J_w K) + BJ_w \exp(-J_w K) - AB\Delta P \exp(-J_w K)}$$

$$R_{ICP} = \frac{(J_w)^2 + BJ_w - AJ_w \Delta P - AB\Delta P + AJ_w \pi_{F,m}}{AJ_w \pi_{D,b} \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right) + BJ_w \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right) - AB\Delta P \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right)}$$

(여기서, S는 멤브레인의 구조 파라미터(structure parameter), D는 물질 확산 계수, J_w 는 물 플럭스, A는 멤브레인의 수투과도, $\pi_{D,b}$ 는 유도 용액의 삼투압, k_D 는 용액 내 물질 전달 계수, B는 멤브레인의 용질 투과도, ΔP 는 유입 용액 공급펌프에서 발생하는 가압 압력 크기, $\pi_{F,m}$ 는 유입 용액의 멤브레인 표면에서의 삼투압, K는 멤브레인 내부의 물질 전달 저항(=S/D)을, R_{ECP} 는 외부 농도 분극의 크기 비율(= $\exp(-J_w/k_D)$), R_{ICP} 는 내부 농도 분극의 크기 비율(= $\exp(-J_w \cdot K)$)임.)

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 유입 용액을 공급하기 위한 상기 유입 용액 공급펌프의 압력을 측정하는 공급펌프 압력계;를 더 포함하는 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 유입 용액 공급펌프는, 고성능 액체크로마토그래피(high-performance liquid chromatography, HPLC) 펌프 인 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 유입 용액, 및 상기 유도 용액은, 10 ~ 40℃의 범위에서 온도가 유지되는 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 유도 용액을 저장하는 유도 용액 저장탱크; 및

상기 유도 용액 저장탱크 내의 상기 유도 용액이 상기 유도 용액 수용부를 통과하여 순환되도록, 상기 유도 용액을 순환시키는 유도 용액 순환펌프;를 더 포함하는 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

순환되는 상기 유도 용액의 유량은, 상기 물 플럭스의 4배 이상인 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템.

청구항 7

청구항 5에 있어서,

순환되는 유도 용액의 유량을 측정하는 유량계; 및

순환되는 유도 용액의 압력을 측정하는 유도 용액 압력계;를 더 포함하는 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 유입 용액 수용부는,

상기 유입 용액이 유입되는 유입라인;

상기 유입 용액이 배출되는 배출라인; 및

상기 배출라인을 개폐하는 밸브;를 더 포함하는 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템.

청구항 9

청구항 5에 있어서,

상기 물 플럭스에 의해 감소되는 상기 유도 용액의 농도가 소정의 범위 내로 유지되도록, 순환되는 상기 유도 용액의 농도보다 높은 고농도 유도 용액을 상기 유도 용액 저장탱크에 투입하는 고농도 유도 용액 첨가펌프;를 더 포함하는 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템.

청구항 10

청구항 1에 있어서,

상기 유입 용액을 샘플링할 수 있도록, 상기 유입 용액 수용부의 내부와 소통되는 샘플링 포트;를 더 포함하는 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 정삼투식 멤브레인에서 나타나는 멤브레인 파라미터와 물질 전달 관련 변수들을 측정할 수 있는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 정삼투식 수처리 공정은 반투과성 멤브레인을 사이에 두고 농도가 다른 두 용액을 위치시켰을 때, 농도 차이로 인해 물이 이동하는 자발적인 삼투 현상을 활용한 것으로써, 해수담수화, 폐수 처리, dewatering과 같은 수처리 공정뿐만 아니라 비료 생산이나 식료품 생산 공정에도 응용 가능한 방법이다. 정삼투식 수처리 공정에 대해서는 하기 선행기술문헌의 특허문헌에 개시되어 있다.

[0004] 일반적으로 정삼투식 공정에 사용되는 멤브레인은 두꺼운 다공성 지지층 상에 얇은 선택층이 결합된 비대칭 구조를 가진다. 이러한 비대칭 멤브레인을 사용하여 정삼투식 공정이 실제로 운용되는 경우에, 멤브레인을 가로지르는 물의 투과로 인해서 막의 표면과 다공성 지지층 내부 각각에서 농도 분극(concentration polarization, CP)이 일어난다. 막 표면에서의 농도 분극을 외부 농도 분극(external concentration polarization, ECP)이라고 하고, 다공성 지지층에서의 농도 분극을 내부 농도 분극(internal concentration polarization, ICP)이라고 하는데, 이러한 농도 분극은 본래 두 용액의 농도 차이로 인한 삼투압 구배보다 더 작은 삼투압 구배를 형성하므로 실질적인 삼투압 손실을 야기한다. 따라서 농도 분극 현상을 줄이기 위한 전제로서 농도 분극 및 멤브레인 내부의 표면 농도에 대한 정확한 측정이 필요하다. 그러나 선택층의 표면이나 지지층에서의 농도 측정은 거의 불가능하기 때문에 농도 분극을 정확하게 측정하는 것은 매우 어렵다. 따라서 종래에는 농도 분극을 직접 측정하는 대신 이론적 모델을 사용해 농도 분극 정도를 추정하는 방법을 사용했다. 그러나 이론적 모델을 사용하는 경우 모델의 정확성에 의존해야 하는 문제점이 있고 계산이 복잡하며 특정 영역에서는 잘 맞지 않는 경우가 발생한다.

[0005] 이에 종래 농도 분극 추정 방법의 문제점을 해결하기 위한 방안이 절실히 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) KR 10-1919466 B1

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 일 측면은 넓은 농도 범위에서 농도 분극의 정도, 정삼투 멤브레인의 structure parameter, 표면에서의 물질 전달 계수, 유도 용액의 확산 계수와 정삼투 멤브레인의 reverse salt flux를 단일 실험을 통해 연속적으로 측정할 수 있는 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템은 유입 용액을 수용하는 유입 용액 수용부, 상기 유입 용액보다 높은 삼투압 농도를 가지는 유도 용액을 수용하는 유도 용액 수용부, 및 상기 유입 용액 수용부와 상기 유도 용액 수용부 사이에 배치되는 성능 측정 대상인 반투과성 멤브레인을 지지하는 홀더를 포함하는 멤브레인 모듈; 상기 유입 용액을 저장하는 유입 용액 저장탱크; 및 상기 멤브레인을 통과하는 물 플럭스(water flux)가 일정하게 고정되도록, 상기 물 플럭스에 대응되는 고정된 유량으로, 상기 유입 용액 저장탱크 내의 상기 유입 용액을 상기 유입 용액 수용부에 공급하는 유입 용액 공급펌프;를 포함한다.

[0011] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템에 있어서, 상기 유입 용액을 공급하기 위한 상기 유입 용액 공급펌프의 압력을 측정하는 공급펌프 압력계;를 더 포함할 수 있다.

[0012] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템에 있어서, 상기 유입 용액 공급펌프는, 고성능 액체크로마토그래피(high-performance liquid chromatography, HPLC) 펌프일 수 있다.

[0013] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템에 있어서, 상기 유입 용액, 및 상기 유도 용액은, 10 ~ 40℃의 범위에서 온도가 유지될 수 있다.

[0014] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템에 있어서, 상기 유도 용액을 저장하는 유도 용액 저장탱크; 및 상기 유도 용액 저장탱크 내의 상기 유도 용액이 상기 유도 용액 수용부를 통과하여 순환되도록, 상기 유도 용액을 순환시키는 유도 용액 순환펌프;를 더 포함할 수 있다.

[0015] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템에 있어서, 순환되는 상기 유도 용액의 유량은, 상기 물 플럭스의 4배 이상일 수 있다.

[0016] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템에 있어서, 순환되는 유도 용액의 유량을 측정하는 유량계; 및 순환되는 유도 용액의 압력을 측정하는 유도 용액 압력계;를 더 포함할 수 있다.

[0017] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템에 있어서, 상기 유입 용액 수용부는, 상기 유입 용액이 유입되는 유입라인; 상기 유입 용액이 배출되는 배출라인; 및 상기 배출라인을 개폐하는 밸브;를 더 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템에 있어서, 상기 물 플럭스에 의해 감소되는 상기 유도 용액의 농도가 소정의 범위 내로 유지되도록, 순환되는 상기 유도 용액의 농도보다 높은 고농도 유도 용액을 상기 유도 용액 저장탱크에 투입하는 고농도 유도 용액 첨가펌프;를 더 포함할 수 있다.

[0019] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템에 있어서, 상기 유입 용액을 샘플링할 수 있도록, 상기 유입 용액 수용부의 내부와 소통되는 샘플링 포트;를 더 포함할 수 있다.

[0021] 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다.

[0022] 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니 되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

발명의 효과

[0024] 본 발명에 따르면, 멤브레인 내부에서 일어나는 물질 전달에 관련된 여러 가지 변수들(외부 및 내부 농도 분극 정도, 정삼투 멤브레인의 structure parameter, 물질 전달 계수, 물질 확산 계수, reverse salt flux 등)을 높은 정확도로 넓은 농도 범위에서 연속적으로 측정할 수 있고, 물 플럭스를 고정함으로써 물 플럭스와 표면 농도 간의 복잡성을 단순화하여 측정의 불확도를 감소시킬 수 있다.

[0025] 또한, 물질 전달 관련한 여러 변수들을 단일 장치를 활용해 종합적으로 측정 및 분석할 수 있고, 이를 통해 측정에 소요되는 시간 및 비용을 절약할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템의 구성도이다.

도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템의 구성도이다.

도 3은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템의 구성도이다.

도 4는 Na_2SO_4 용액을 유도 용액으로 활용한 실험예에서 측정한 멤브레인 structure parameter(S)와 내부 농도 분극의 크기(R_{ICP})를 나타내는 그래프이다.

도 5는 MgSO_4 용액을 유도 용액으로 활용한 실험예에서 측정한 멤브레인 structure parameter(S)와 내부 농도 분극의 크기(R_{ICP})를 나타내는 그래프이다.

도 6은 Na_2SO_4 용액을 유도 용액으로 활용한 실험예에서 측정한 물질 전달 계수(k_D)와 외부 농도 분극의 크기(R_{ECP})를 나타내는 그래프이다.

도 7은 MgSO_4 용액을 유도 용액으로 활용한 실험예에서 측정한 물질 전달 계수(k_D)와 외부 농도 분극의 크기(R_{ECP})를 나타내는 그래프이다.

도 8은 Na_2SO_4 및 MgSO_4 용액 각각을 유도 용액으로 활용한 실시예에서 측정한 물질 확산 계수(D)를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되어지는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시예들로부터 더욱 명백해질 것이다. 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다. 이하, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0029] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 상세히 설명하기로 한다.

[0031] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템의 구성도이다.

[0032] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템은 유입 용액(f)을 수용하는 유입 용액 수용부(11), 유입 용액(f)보다 높은 삼투압 농도를 가지는 유도 용액(d)을 수용하

는 유도 용액 수용부(13), 및 유입 용액 수용부(11)와 유도 용액 수용부(13) 사이에 배치되는 성능 측정 대상인 반투과성 멤브레인(m)을 지지하는 홀더(15)를 포함하는 멤브레인 모듈(10), 유입 용액(f)을 저장하는 유입 용액 저장탱크(20), 및 멤브레인(m)을 투과하는 물 플럭스(water flux, WF)가 일정하게 고정되도록, 물 플럭스(WF)에 대응되는 고정된 유량으로, 유입 용액 저장탱크(20) 내의 유입 용액(f)을 유입 용액 수용부(11)에 공급하는 유입 용액 공급펌프(30)를 포함한다.

[0034] 본 발명은 정삼투 멤브레인의 성능을 측정하는 실험 장치에 관한 것이다. 정삼투 멤브레인은 물은 투과시키지만 용해되어 있는 용질(이온 및 분자)은 거의 투과시키지 않는 성질을 가지는 반투과 멤브레인으로서, 이를 고농도 용액과 저농도 용액 사이에 설치하면 저농도 용액의 용매가 고농도 용액으로 이동하여 농도 평형을 이루는 삼투 현상을 일으킨다. 정삼투 멤브레인의 구조를 살펴보면, 다공성 지지층 상에 두께가 얇은 선택층(활성층)이 결합된 비대칭 구조로 형성된다.

[0035] 이러한 반투과성 멤브레인에 의한 자발적인 삼투 현상은 정삼투식 수처리 공정 등에 활용되는데, 실제 공정에서는 멤브레인을 가로지르는 물의 투과로 인해서 막의 표면과 다공성 지지층 내부에서 농도 분극(concentration polarization, CP)이 일어난다. 이때, 막 표면에서의 농도 분극을 외부 농도 분극(external concentration polarization, ECP)이라고 하고, 다공성 지지층에서의 농도 분극을 내부 농도 분극(internal concentration polarization, ICP)이라고 한다.

[0036] 이러한 농도 분극은 두 용액의 농도 차이로 인한 이론적인 삼투압 구배보다 더 작은 삼투압 차를 야기한다. 따라서, 멤브레인의 성능을 평가하기 위해서는 농도 분극 및 멤브레인 내부의 표면 농도에 대한 정확한 측정이 필요하다. 하지만, 선택층의 표면이나 지지층에서의 농도 측정이 거의 불가능하기 때문에 농도 분극을 정확하게 측정하는 데는 한계가 있다.

[0037] 이에 종래에는 농도 분극을 직접 측정하는 대신에 이론적 모델을 사용해 농도 분극 정도를 추정하였지만, 이 경우 모델의 정확성에 의존적이고 계산이 복잡하며 특정 영역에서는 정확도가 떨어지는 문제가 발생하였다. 이러한 복잡성이 나타나는 원인은 물 플럭스와 표면 농도가 상호 복잡하게 연관되어 있기 때문이다. 따라서, 상기 복잡성을 해소하기 위해서는 물 플럭스와 표면 농도 간의 복잡성을 단순화시킬 필요가 있다. 종래 방법에서는 저농도 용액이나 고농도 용액의 농도만 변화시켰기 때문에, 물 플럭스와 표면 농도가 동시에 변하므로, 정확한 멤브레인의 거동을 판단하기 어려웠고 모델의 정확성에 의존할 수밖에 없었다.

[0038] 만약 물 플럭스를 일정하게 고정하면서 저농도 용액이나 고농도 용액의 농도만 변화시킬 수 있으면, 물 플럭스의 변화로 인해 표면 농도에서 나타나는 불확도가 해소되므로, 보다 정확하게 멤브레인의 거동을 추정하는 방법으로 활용될 수 있다. 이에 본 발명에서는 물 플럭스를 일정하게 고정하면서 고농도의 유도 용액의 농도를 변화시키고, 이를 활용해서 멤브레인 내부의 거동이나 물질 전달 계수, 멤브레인의 structure parameter, reverse salt flux, 유도 용액의 확산 계수를 측정할 수 있는 다목적 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템을 안출하였다. 즉, 본 발명에 따르면, 농도 분극 현상을 간접적으로 측정할 수 있을 뿐만 아니라 농도 분극 현상과 관련된 여러 가지 파라미터들도 함께 측정하는 것이 가능하다. 또한, 종래의 물질 확산 계수 측정은 단일 농도에서 주로 측정되었기 때문에, 넓은 농도 범위를 측정하기 위해서는 몇 개의 농도에서 측정한 값과 보간법(interpolation)을 활용할 수밖에 없었으나, 본 발명에 의하면 넓은 농도 범위 내에서 연속적으로 측정할 수 있으므로 보다 정확하게, 그리고 더 효율적으로 물질 확산 계수를 측정할 수 있다.

[0039] 구체적으로, 본 발명에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템은, 멤브레인 모듈(10), 유입 용액 저장탱크(20), 및 유입 용액 공급펌프(30)를 포함한다.

[0041] 여기서, 멤브레인 모듈(10)은, 유입 용액 수용부(11), 유도 용액 수용부(13), 및 홀더(15)를 구비한다. 유입 용액 수용부(11)는 내부에 유입 용액(feed solution, f)을 수용하고, 유도 용액 수용부(13)는 내부에 유도 용액(draw solution, d)을 수용하도록 형성된다. 이러한 유입 용액 수용부(11)와 유도 용액 수용부(13)는 통로를 통해 서로 소통 가능한데, 그 통로에 성능 측정 대상인 반투과성 멤브레인(m) 배치된다. 이때, 홀더(15)가 그 멤브레인(m)을 지지한다. 여기서, 유도 용액(d)은 유입 용액(f)보다 높은 삼투압 농도를 가진다. 이러한 유입 용액(f)의 일례로는 순수한 물이나 이온이 제거된 탈이온수(deionized water)가 사용될 수 있다. 이 경우에, 농도가 지속적으로 쌓이면서 나타나는 불확도를 제거하고, 유입 용액 수용부(11)에서는 용액의 흐름이 크지 않으므로 이로 인한 외부 농도 분극 현상을 제거할 수 있다. 유입 용액(f)은 물에 유도 용질(염)이 용해된 용액이 사

용될 수 있다. 따라서, 상대적으로 저농도의 유도 용액(d)과 고농도의 유입 용액(f)의 농도 차이로 인해, 유도 용액(d) 내의 물이 멤브레인(m)을 투과하여 유입 용액(f) 쪽으로 이동하는 삼투 현상이 일어난다. 여기서, 유입 용액(f)은 유입 용액 저장탱크(20)로부터 공급될 수 있다.

[0043] 유입 용액 저장탱크(20)는 상기 유입 용액(f)을 저장하는 수조 형태로 형성된다. 이때, 유입 용액(f)의 온도가 일정하게 유지될 수 있도록, 온도 조절식으로 유입 용액 저장탱크(20)가 구현될 수 있다. 일례로, 자켓(jacket)과 항온 수조를 연결해서 유입 용액 저장탱크(20)를 구현함으로써, 온도제어장치를 통해 유입 용액 저장탱크(20)의 온도를 조절할 수 있다. 유입 용액 저장탱크(20)에 저장된 유입 용액(f)은 유입 용액 공급펌프(30)를 통해 유입 용액 수용부(11)로 공급된다.

[0045] 유입 용액 공급펌프(30)는 배관에 의해 유입 용액 저장탱크(20), 및 유입 용액 수용부(11)와 연결된다. 유입 용액 공급펌프(30)는 유량 설정이 가능한데, 압력을 상승시킴으로써 설정된 유량을 달성한다. 따라서, 소정의 압력으로 유입 용액 공급펌프(30)가 작동하면, 유입 용액 저장탱크(20) 내의 유입 용액(f), 즉 물이 일정한 유량으로 유입 용액 수용부(11)로 공급된다. 이때, 유입 용액 수용부(11)가 폐쇄되어 있으므로, 유입된 물은 모두 멤브레인(m)을 투과해서 유도 용액 수용부(13)로 이동하게 된다. 결국, 멤브레인(m)을 가로지르는 물의 투과, 즉 물 플럭스(WF)가 생기는데, 이때 물 플럭스(WF)는 유입 용액 공급펌프(30)에서 가해지는 압력 에너지와, 유도 용액(d)과 유입 용액(f) 사이에서 나타나는 삼투압 구배의 2가지 구동 에너지를 통해 발생하게 된다. 여기서, 유입 용액(f)이 외측으로 배출되지 않도록 유입 용액 수용부(11)가 폐쇄되어 있기 때문에, 유입 용액 공급펌프(30)에서 설정된 유량이 멤브레인(m) 내부에서 나타나는 물 플럭스(WF)가 된다. 이렇게 유압 조절을 통해 물 플럭스(WF)를 일정하게 고정시키는 유입 용액 공급펌프(30)로서, 고성능 액체크로마토그래피(high-performance liquid chromatography, HPLC) 펌프가 사용될 수 있다. 다만, 반드시 HPLC 펌프에 한정되는 것은 아니고, 원하는 유량을 맞춰서 압력을 자동적으로 조절해주는 펌프라면 특별한 제한 없이 사용할 수 있다.

[0047] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템의 구성도이다.

[0048] 도 2를 참고로, 본 발명의 다른 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템은, 유도 용액 저장탱크(50), 및 유도 용액 순환펌프(60)를 더 포함할 수 있다.

[0049] 여기서, 유도 용액 저장탱크(50)는, 유도 용액(d)을 저장할 수 있도록 수조 형태로 형성된다. 또한, 전술한 유입 용액 저장탱크(20)와 동일하게, 자켓과 항온 수조를 연결해 온도제어장치에 의해 온도 조절이 가능하게 구현될 수 있다. 이 경우, 유입 용액 저장탱크(20), 및 유도 용액 저장탱크(50)는 온도 조절을 통해, 유입 용액(f), 및 유도 용액(d)의 온도가 10 ~ 40℃의 범위에서 유지되도록 할 수 있다. 바람직하게는, 상기 범위에서 유입 용액(f) 및 유도 용액(d)의 온도를 동일하게 제어한다. 이는 멤브레인 모듈(10) 내에서, 멤브레인(m)을 사이에 두고 유입 용액(f)과 유도 용액(d)이 배치되기 때문에, 온도차로 인해 발생할 수 있는 멤브레인(m) 특성 변화를 방지하기 위한 것이다.

[0050] 한편, 유도 용액 저장탱크(50)에 저장된 유도 용액(d)은 유도 용액 수용부(13)를 통과하여 순환된다. 즉, 유도 용액 저장탱크(50) 내의 유도 용액(d)은 유도 용액 수용부(13)로 유입되었다가 다시 유도 용액 저장탱크(50)로 이동한다. 이때, 유도 용액(d)이 흐르는 통로는 배관에 의해 마련된다.

[0051] 유도 용액 순환펌프(60)는, 상기와 같이 유도 용액(d)을 순환시키는 펌프이다. 이때, 유도 용액 순환펌프(60)의 유량 제어를 통해, 외부 농도 분극 현상을 되도록 줄일 수 있게끔 순환되는 유량을 충분히 빠르게 설정할 수 있다. 이 경우 순환되는 유도 용액(d)의 유량은 물 플럭스(WF)의 4배 이상으로 설정하는 것이 바람직하다. 다만, 순환되는 유도 용액(d)의 유량 설정은 유도 용액(d) 내의 용질을 용매에 잘 용해시켜 유도 용액(d) 내의 농도를 균일하게 유지하기 위한 것이므로, 그 유량이 반드시 물 플럭스(WF)의 4배 이상으로만 설정되어야 하는 것은 아니다.

[0053] 또한, 순환되는 유도 용액(d)의 유량을 측정하는 유량계(70), 및 압력을 측정하는 유도 용액 압력계(80)가, 유도 용액(d)을 순환시키는 배관에 설치될 수 있다. 이때, 유도 용액 압력계(80)는 멤브레인 모듈로 유입되기 전의 압력과 이를 통과한 후의 압력을 측정할 수 있도록 적어도 2개 이상 배치될 수 있다. 이렇게 측정된 유도 용

액(d)의 압력과 유량은 멤브레인(m) 성능 평가를 위한 변수 측정 시 필요한 계산에 활용될 수 있다.

- [0055] 또한, 유입 용액 공급펌프(30)와 유입 용액 수용부(11)를 연결하는 배관에는 공급펌프 압력계(40)가 설치될 수 있다. 공급펌프 압력계(40)는 유입 용액(f)을 공급하는 유입 용액 공급펌프(30)의 압력을 측정한다.
- [0056] 전술한 바와 같이, 물 플럭스(WF)가 발생한 경우에, 물이 멤브레인(m)을 투과하여 유도 용액 수용부(13)로 이동하므로, 유도 용액(d)의 농도가 계속해서 감소하게 되고, 이로 인해 삼투압 구배도 계속해서 작아진다. 그러나 물 플럭스(WF)의 고정을 위해, 유입 용액 공급펌프(30)의 유량이 고정되어 있으므로, 유입 용액 공급펌프(30)에서 밀어내는 압력의 크기는 계속해서 증가해야 한다. 이를 이용해서 유도 용액(d)의 농도 변화에 따라 유입 용액 공급펌프(30)에서 압력의 크기가 어떻게 변하는지 공급펌프 압력계(40)를 통해 측정한 후, 향후 변수 계산에 필요한 실험 데이터로 활용한다.
- [0057] 한편, 물 플럭스(WF)로 인해서 유도 용액(d)의 질량이 계속해서 증가하게 되는데, 저울 등을 이용해서, 유도 용액 저장탱크(50) 및 유입 용액 저장탱크(20)의 무게를 측정하여, 유입 용액 공급펌프(30)에서 설정된 유량이 정확하게 유도 용액(d) 쪽으로 발생하는 물 플럭스(WF)와 동일한지 확인할 수 있다.
- [0059] 또한, 유입 용액 수용부(11)는, 유입라인(11a), 배출라인(11b), 및 밸브(11c)를 포함할 수 있다. 유입라인(11a)은 유입 용액 공급펌프(30)와 연결된 배관과 연결되고, 배출라인(11b)은 유입 용액 수용부(11) 내에 수용되는 유입 용액(f)을 배출할 수 있도록 마련된다. 여기서, 밸브(11c)가 배출라인(11b)을 개폐하는데, 물 플럭스(WF)를 발생시키는 경우에는 배출라인(11b)을 폐쇄고, 유입 용액(f)의 배출이 필요한 경우에는 배출라인(11b)을 개방하도록 작동된다.
- [0061] 도 3은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템의 구성도이다.
- [0062] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 멤브레인 및 용액 내 물질 전달 성능 측정시스템은, 고농도 유도 용액 첨가펌프(90)를 더 포함할 수 있다.
- [0063] 전술한 바와 같이, 멤브레인(m)을 투과하여 유도 용액(d)으로 이동하는 물 플럭스(WF)로 인해 유도 용액(d)의 농도가 감소하게 되는데, 유도 용액(d)의 농도 또한 고정된 상태에서 물 플럭스(WF)를 고정함으로써, reverse salt flux를 추정할 수 있다. 여기서, 유도 용액(d)의 농도를 고정하기 위한 수단으로서, 고농도 유도 용액 첨가펌프(90)가 사용된다. 고농도 유도 용액 첨가펌프(90)는 고농도 유도 용액을 유도 용액 저장탱크(50)에 투입한다. 이때, 고농도 유도 용액은 순환되는 유도 용액(d)의 농도보다 상대적으로 높은 농도를 가지는 유도 용액으로서, 물 플럭스(WF)에 의해 감소되는 유도 용액(d)의 농도를 소정의 범위 내로 유지시키는 역할을 한다. 이렇게 순환되는 유도 용액(d)의 농도를 고정하는 고농도 유도 용액 첨가펌프(90)는 시린지 펌프(syringe pump)일 수 있다. 여기서, 유도 용액 저장탱크(50) 내의 유도 용액(d)과, 첨가되는 고농도 유도 용액이 잘 혼합되도록, 교반기(도시되지 않음)가 유도 용액 저장탱크(50) 내에 설치될 수 있다.
- [0065] 또한, reverse salt flux를 측정하기 위해서, 샘플링 포트(100)가 포함될 수 있다. 샘플링 포트(100)는 유입 용액 수용부(11) 내의 유입 용액(f)을 샘플링할 수 있도록, 유입 용액 수용부(11) 내부와 소통된다. 따라서, 샘플링 포트(100)를 통해, 소량의 유입 용액(f)을 빼내서, 농도 변화를 측정함으로써 reverse salt flux를 측정할 수 있다. 샘플링 포트(100)는 유입 용액 수용부(11)의 배출라인(11b)에 연결되는 것으로 도시되었으나, 그 위치가 반드시 이에 고정되는 것은 아니다. 바람직하게는, 유입 용액 수용부(11) 내부 중앙에서 유입 용액(f)을 빼낼 수 있도록, 형성되는 것이 적합하다. 왜냐하면, 유입 용액 수용부(11) 내부 중앙의 유입 용액(f)을 샘플링하여 농도를 측정할 때 보다 높은 정밀도가 갖기 때문이다.
- [0067] 물 플럭스(WF)가 고정된 전술한 실시예들에서 측정된 유입 용액 공급펌프(30)의 압력 크기, 유도 용액(d)의 농도 변화 값 등을 이용해서 원하는 멤브레인(m) 내부의 물질 전달에 관련된 변수를 측정하는데 활용한다. 변수를 추정할 때는 solution-diffusion model을 통해 얻어낸 수식을 이용하는데, 각 변수를 추정할 때 필요한 수학적은 아래와 같다.

[0069] [수학식]

$$S = \frac{D}{J_w} \ln \left(\frac{AJ_w \pi_{D,b} \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right) + BJ_w \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right) - AB\Delta P \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right)}{(J_w)^2 + BJ_w - AJ_w \Delta P - AB\Delta P + AJ_w \pi_{F,m}} \right)$$

$$D = \frac{SJ_w}{\ln \left(\frac{AJ_w \pi_{D,b} \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right) + BJ_w \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right) - AB\Delta P \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right)}{(J_w)^2 + BJ_w - AJ_w \Delta P - AB\Delta P + AJ_w \pi_{F,m}} \right)}$$

$$k_D = \frac{J_w}{\ln \left(\frac{AJ_w \pi_{D,b} \exp(-J_w K) + BJ_w \exp(-J_w K) - AB\Delta P \exp(-J_w K)}{(J_w)^2 + BJ_w - AJ_w \Delta P - AB\Delta P + AJ_w \pi_{F,m}} \right)}$$

$$R_{ECP} = \frac{(J_w)^2 + BJ_w - AJ_w \Delta P - AB\Delta P + AJ_w \pi_{F,m}}{AJ_w \pi_{D,b} \exp(-J_w K) + BJ_w \exp(-J_w K) - AB\Delta P \exp(-J_w K)}$$

$$R_{ICP} = \frac{(J_w)^2 + BJ_w - AJ_w \Delta P - AB\Delta P + AJ_w \pi_{F,m}}{AJ_w \pi_{D,b} \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right) + BJ_w \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right) - AB\Delta P \exp\left(-\frac{J_w}{k_D}\right)}$$

[0070]

[0072] 여기서, S는 멤브레인 structure parameter를, D는 물질 확산 계수를, J_w 는 물 플럭스를, A는 멤브레인 수투과도를, $\pi_{D,b}$ 는 유도 용액의 삼투압을, k_D 는 용액 내 물질 전달 계수를, B는 멤브레인 용질 투과도를, ΔP 는 유입 용액 공급펌프에서 발생하는 가압 압력 크기를, $\pi_{F,m}$ 는 유입 용액의 멤브레인 표면에서의 삼투압(본 발명에서는 농도가 없으므로 0)을, K는 멤브레인 내부의 물질 전달 저항(S/D로 계산)을, R_{ECP} 는 외부 농도 분극의 크기 비율($=\exp(-J_w/k_D)$)을, R_{ICP} 는 내부 농도 분극의 크기 비율($=\exp(-J_w \cdot K)$)을 나타낸다.

[0073] 상기 수학식을 활용할 경우 본 발명에서 얻어진 자료 및 멤브레인 정보를 통해서 원하는 멤브레인 내 물질 전달에 관련된 변수를 간단한 계산을 통해서 얻는 것이 가능하다.

[0075] 종합적으로, 본 발명에 따르면, 고정된 물 플럭스를 통한 측정의 불확도를 감소시킬 수 있다. 본 발명의 가장 큰 특징은 고정된 물 플럭스를 구현할 수 있다는 점이다. 이로 인해, 물 플럭스와 표면 농도 사이의 연관 관계로 인한 불확도를 줄일 수 있다. 종래 방법에서는 물 플럭스와 표면 농도 간의 연관 관계를 이론적인 모델로 해석한 후 이를 바탕으로 표면 농도와 물 플럭스를 유도 용액 및 유입 용액의 농도를 통해 간접적으로 추정하는 것이었다면 본 발명에서는 이를 좀 더 명확하게 측정하는 것이 가능하다.

[0076] 또한, 멤브레인 내 물질 전달에 관련된 변수들(물질 전달 계수, 멤브레인 structure parameter, 물질 확산 계수, 외부 및 내부 농도 분극 정도, reverse salt flux)을 다양하게 측정할 수 있다. 본 발명을 활용할 경우 멤브레인 내부에서 일어나는 물질 전달에 관련된 여러 가지 변수들을 측정할 수 있다. 단일 장치를 활용해서 다양한 물질 전달의 변수를 측정할 수 있는 다목적 실험 장치 및 방법이 존재하지 않았기 때문에 본 발명을 활용할 경우 멤브레인 내에서 일어나는 물질 전달에 관련된 변수들을 종합적으로 측정 및 분석하고, 또한 더욱 저렴

한 비용으로 확인하는 것이 가능하다.

[0077] 나아가, 넓은 범위의 값을 단일 실험을 통해 연속적으로 측정 가능하다. 본 발명에 따른 장치는 고정된 물 플럭스를 실험 내내 유지하는 것이 가능하므로 유도 용액의 농도 변화가 일어나도 유입 압력을 변화시킴으로써 이를 지속적으로 보정하고 그로 인해 물 플럭스가 계속 일정한 값으로 유지되게 된다. 이러한 특징을 활용해서 유도 용액의 농도 변화에 따라서 멤브레인 내 물질 전달에 관련된 변수들의 변화를 연속적으로 측정하는 것이 가능하다. 특히 물질 전달 계수나 물질 확산 계수를 측정하는 방식 중에서는 이러한 연속식 측정 방식이 없으므로 이 방법을 활용할 경우 측정에 필요한 시간이나 비용을 절약할 수 있다는 장점이 있다.

[0079] 이하에서는 구체적인 실험예를 통해 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.

[0081] 1. 실험 설계 및 과정

[0082] 도 2와 같이, 일반적인 PAFO(pressure assisted forward osmosis)의 구성과 동일하게 시스템을 구성했다. feed side에서는 DI water를 유입 용액으로 사용하고, draw side에서는 DI water에 유도 용질을 용해시켜 제조한 유도 용액(Na_2SO_4 용액, MgSO_4 용액)을 사용했다. feed side의 출구를 닫은 상태에서, HPLC 펌프(Series III, Scientific Systems Inc., USA)를 사용해서 물 플럭스를 일정하게 고정하였다. feed side에서 압력 게이지(SBP0007BLG-FC, Sensys, Korea)를 사용하여 HPLC 펌프에 의해 조정되는 압력을 연속적으로 기록하였다. 이때, 15개의 데이터 포인트(data point)를 갖는 이동평균 필터(moving average filter)를 사용해 압력 신호의 노이즈를 제거하였다. draw side에는 마그네틱 펌프를 사용해 유도 용액을 순환시켰고, 멤브레인 모듈의 입구 및 출구 지점에 압력 게이지를 설치하여 멤브레인 유입 전의 실제 압력과 멤브레인 채널 내부에서의 압력 강하를 확인했다. 유량계(AGM-006SI, AUTOFLOW Corp., Korea)를 사용하여 순환되는 유도 용액의 유량을 측정하였다. feed side와 draw side에서 각각 저울(WTC 2000, RADWAG, 폴란드)을 사용하여 HPLC 펌프에 의한 유량이 실제 물 플럭스와 동일한지 확인했고, 항온조(RW-0525G, JeioTech, Korea)를 사용하여 두 용액의 온도를 일정하게 유지했다.

[0083] 여기서, 도 3과 같이, 시린지 펌프(PHD 2000, Harvard Apparatus, USA)를 이용해 고농도 유도 용액을 유도 용액 탱크에 소량씩 투입하면서, 물 플럭스로 인해 감소되는 유도 용액의 농도를 실험 내내 일정하게 유지했다.

[0084] 본 실험에서는 고농도 및 저농도로 2개의 농도 영역을 선택하여, 각각의 유도 용액으로 실험을 진행했다. Na_2SO_4 용액을 유도 용액으로 사용한 경우, 저농도에서는 1.02 ml/min으로 물 플럭스를 고정했고, 고농도에서는 1.12 ml/min으로 물 플럭스를 고정했다. MgSO_4 용액을 유도 용액으로 사용한 경우에서 저농도 및 고농도 모두에서 물 플럭스를 0.915 ml/min로 고정했다.

[0085] 멤브레인 내부의 물질 전달에 관련된 변수 추정은 진술한 수학적식을 이용했다.

[0087] 2. 결과

[0088] 2.1. 멤브레인 structure parameter 및 ICP 추정 비교

[0089] 도 4는 Na_2SO_4 용액을 유도 용액으로 활용한 실험예에서 측정한 멤브레인 structure parameter(S)와 내부 농도 분극의 크기(R_{ICP})를 나타내는 그래프이고, 도 5는 MgSO_4 용액을 유도 용액으로 활용한 실험예에서 측정한 멤브레인 structure parameter(S)와 내부 농도 분극의 크기(R_{ICP})를 나타내는 그래프이다.

[0090] 도 4 및 도 5에서는 본 발명을 통해 얻은 멤브레인 structure parameter(S)와 내부 농도 분극의 크기(R_{ICP})를 멤브레인 스펙과 종래 방법을 통해 계산한 R_{ICP} 를 비교해서 나타냈다. 여기서, 도 4 및 도 5의 (a)는 저농도 범위에서 Na_2SO_4 용액 및 MgSO_4 용액 각각을 유도 용액으로 활용했을 때의 멤브레인 structure parameter를, (b)는 저농도 범위에서 Na_2SO_4 용액 및 MgSO_4 용액 각각을 유도 용액으로 활용했을 때의 R_{ICP} 를, (c)는 고농도 범위에서 Na_2SO_4 용액 및 MgSO_4 용액 각각을 유도 용액으로 활용했을 때의 멤브레인 structure parameter를, (d)는 고농도

범위에서 Na_2SO_4 용액 및 MgSO_4 용액 각각을 유도 용액으로 활용했을 때의 R_{ICP} 를 각각 나타낸다.

- [0091] 도 4 내지 도 5를 참고로, 각각의 유도 용액을 활용해 측정된 멤브레인 structure parameter는 제조사에서 제공한 멤브레인 스펙에 매우 일치한다. 특히, 저농도 및 고농도에서, 유도 용액의 종류에 상관없이 매우 정확하게 멤브레인 structure parameter가 측정되었다. 이를 통해 본 발명에 따르면 넓은 농도 범위에서 연속적으로 멤브레인 structure parameter의 측정이 가능함을 알 수 있다.
- [0092] 또한, 본 발명에 따라 추정된 내부 농도 분극의 크기도 종래 방법을 통해 계산한 값과 일치하는 결과를 나타냈다.
- [0094] 2.2. 물질 전달 계수 및 ECP 추정 비교
- [0095] 도 6은 Na_2SO_4 용액을 유도 용액으로 활용한 실험예에서 측정한 물질 전달 계수(k_D)와 외부 농도 분극의 크기(R_{ECP})를 나타내는 그래프이고, 도 7은 MgSO_4 용액을 유도 용액으로 활용한 실험예에서 측정한 물질 전달 계수(k_D)와 외부 농도 분극의 크기(R_{ECP})를 나타내는 그래프이다.
- [0096] 도 6 및 도 7에서는 본 발명을 통해 얻은 물질 전달 계수(k_D)와 외부 농도 분극의 크기(R_{ECP})를 종래 방법을 통해 계산한 값과 비교해서 나타냈다. 여기서, 도 6 및 도 7의 (a)는 저농도 범위에서의 k_D 를, (b)는 저농도 범위에서의 R_{ECP} 를, (c)는 고농도 범위에서 k_D 를, (d)는 고농도 범위에서의 R_{ECP} 를 각각 나타낸다.
- [0097] 그 결과를 살펴보면, 저농도에서부터 고농도에 이르는 넓은 범위에서, 유도 용액의 종류와는 무관하게, 본 발명을 통해 얻은 물질 전달 계수 및 외부 농도 분극의 크기가 종래 방법을 통해 계산한 값과 매우 잘 매칭된다. 물질 전달 계수 추정은 종래 방법과 비교하여 $\pm 10\%$ 미만의 오차를 보였고, 외부 농도 분극의 크기에서는 5% 미만의 오차가 나타났는데, 이는 허용 가능한 오차 범위이므로, 본 발명에 따라 물질 전달 계수 및 외부 농도 분극의 크기를 측정할 수 있음을 알 수 있다.
- [0099] 2.3. 물질 확산 계수 추정 비교
- [0100] 도 8은 Na_2SO_4 및 MgSO_4 용액 각각을 유도 용액으로 활용한 실시예에서 측정한 물질 확산 계수(D)를 나타내는 그래프이다.
- [0101] 도 8에서는 본 발명을 통해 물질 확산 계수(D)를 추정하고, 종래의 문헌값과 비교하여 나타냈다. 여기서, 도 8의 (a)는 저농도 범위에서 Na_2SO_4 용액을 유도 용액으로 활용했을 때의 물질 확산 계수(D)를, (b)는 고농도 범위에서 Na_2SO_4 용액을 유도 용액으로 활용했을 때의 물질 확산 계수(D)를, (c)는 저농도 범위에서 MgSO_4 용액을 유도 용액으로 활용했을 때의 물질 확산 계수(D)를, (d)는 고농도 범위에서 MgSO_4 용액을 유도 용액으로 활용했을 때의 물질 확산 계수(D)를 각각 나타낸다.
- [0102] 본 발명을 통해 얻은 물질 확산 계수와 기존 문헌값을 비교하면, Na_2SO_4 용액의 경우에는 3.12% 미만, MgSO_4 용액의 경우에는 4.60% 미만의 오차가 보였는데, 이는 허용 오차로서 그 결과를 통해 본 발명에 따라 물질 확산 계수 측정이 가능함을 알 수 있다.
- [0104] 이상 본 발명을 구체적인 실시예를 통하여 상세히 설명하였으나, 이는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함이 명백하다.
- [0105] 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속한 것으로 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 특허청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

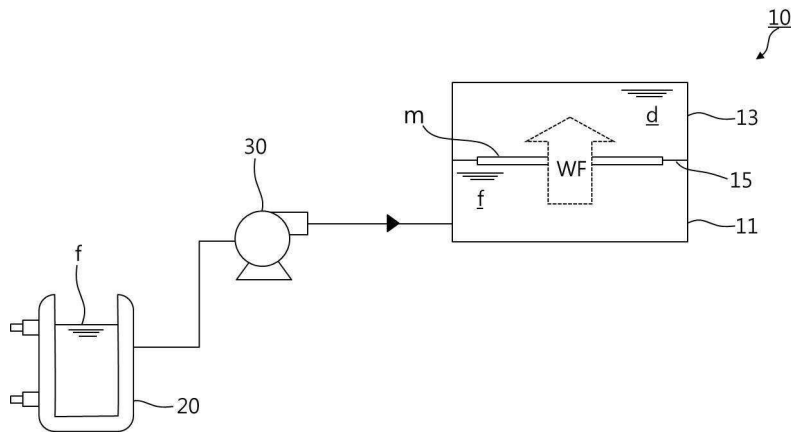
부호의 설명

[0107]

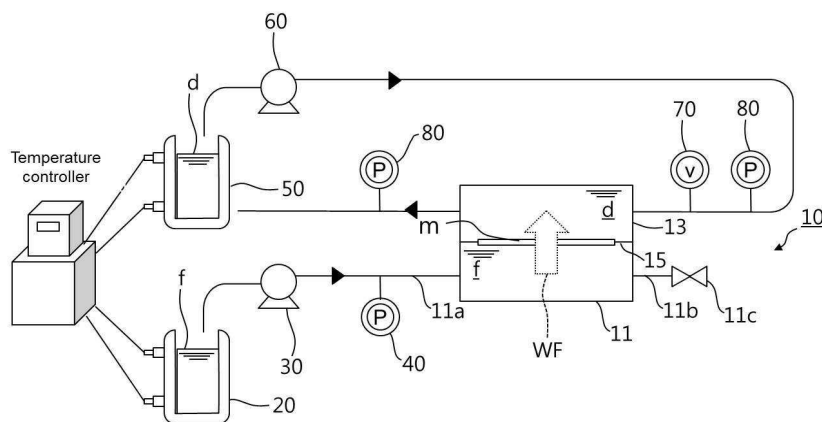
f: 유입 용액 d: 유도 용액
 m: 멤브레인 WF: 물 플럭스
 10: 멤브레인 모듈 11: 유입 용액 수용부
 11a: 유입라인 11b: 배출라인
 11c: 밸브 13: 유도 용액 수용부
 15: 홀더 20: 유입 용액 저장탱크
 30: 유입 용액 공급펌프 40: 공급펌프 압력계
 50: 유도 용액 저장탱크 60: 유도 용액 순환펌프
 70: 유량계 80: 유도 용액 압력계
 90: 고농도 유도 용액 첨가펌프 100: 샘플링 포트

도면

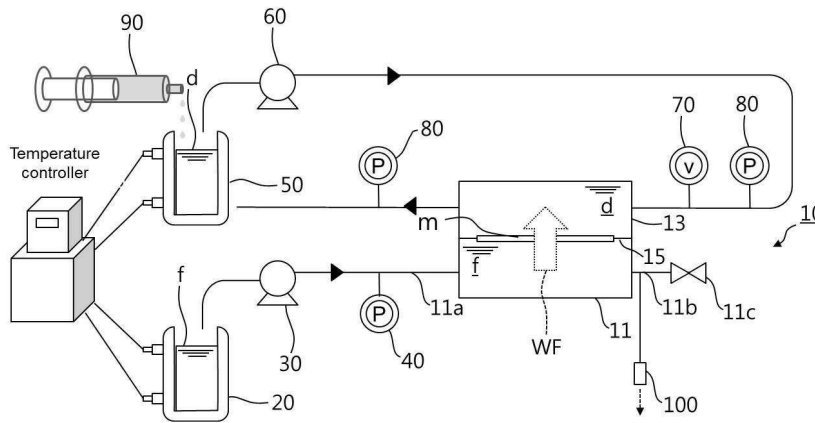
도면1



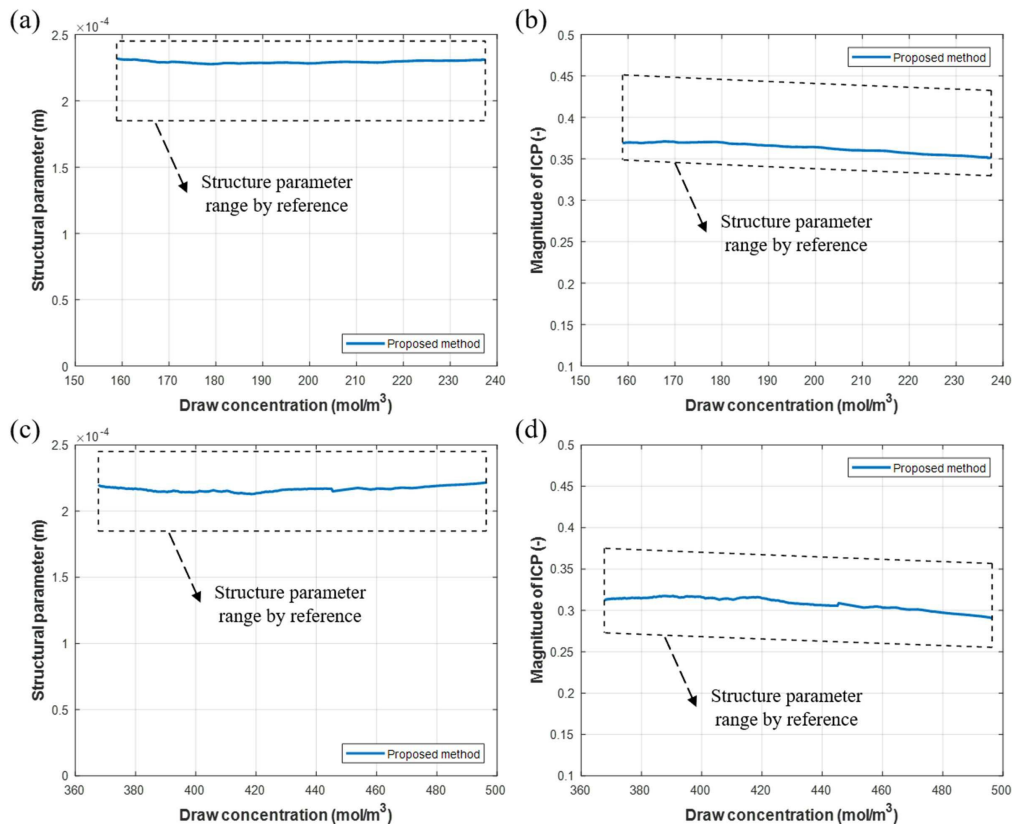
도면2



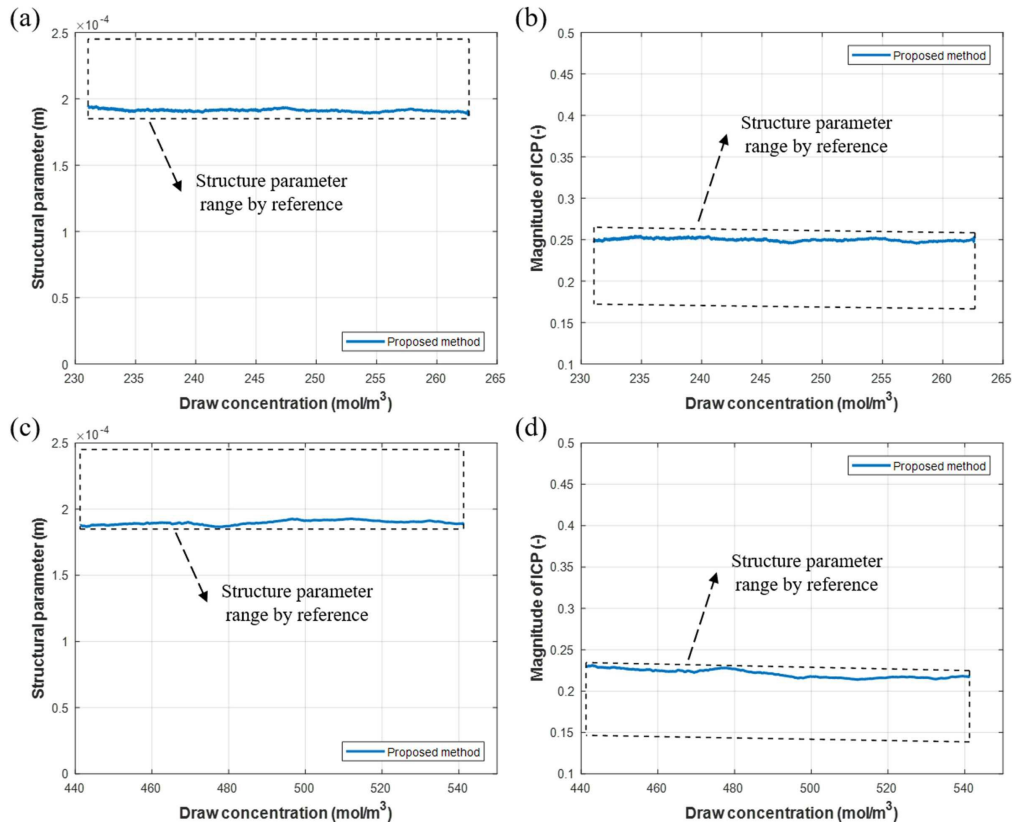
도면3



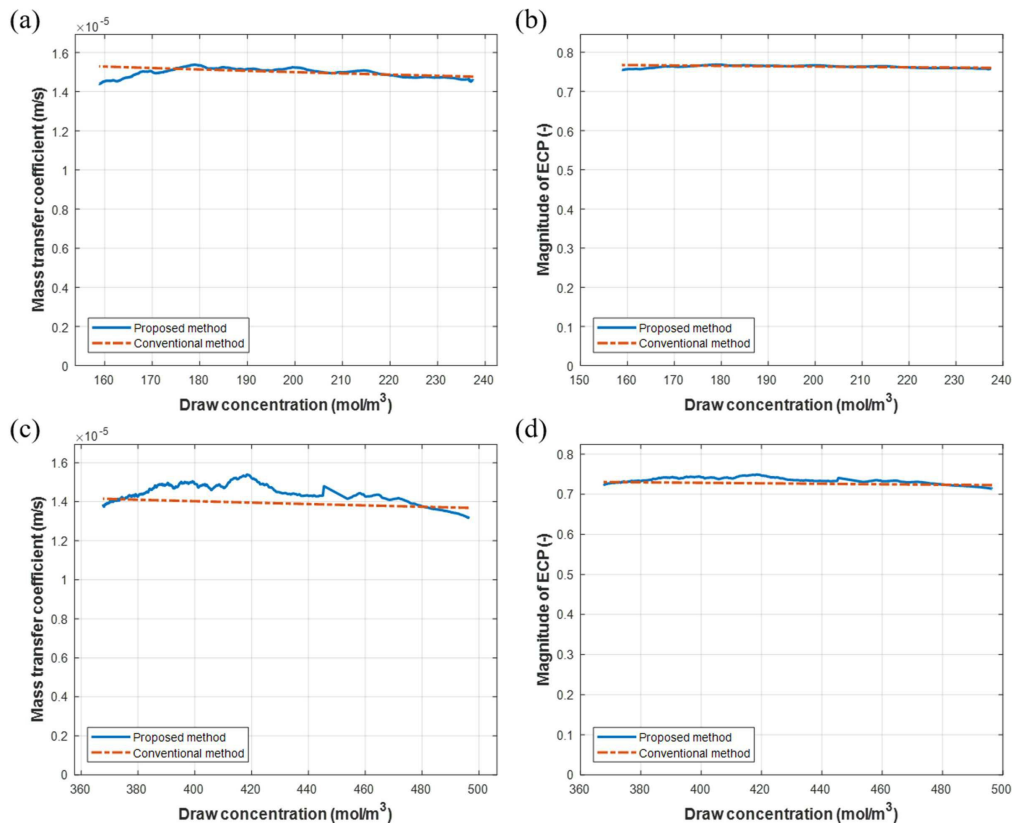
도면4



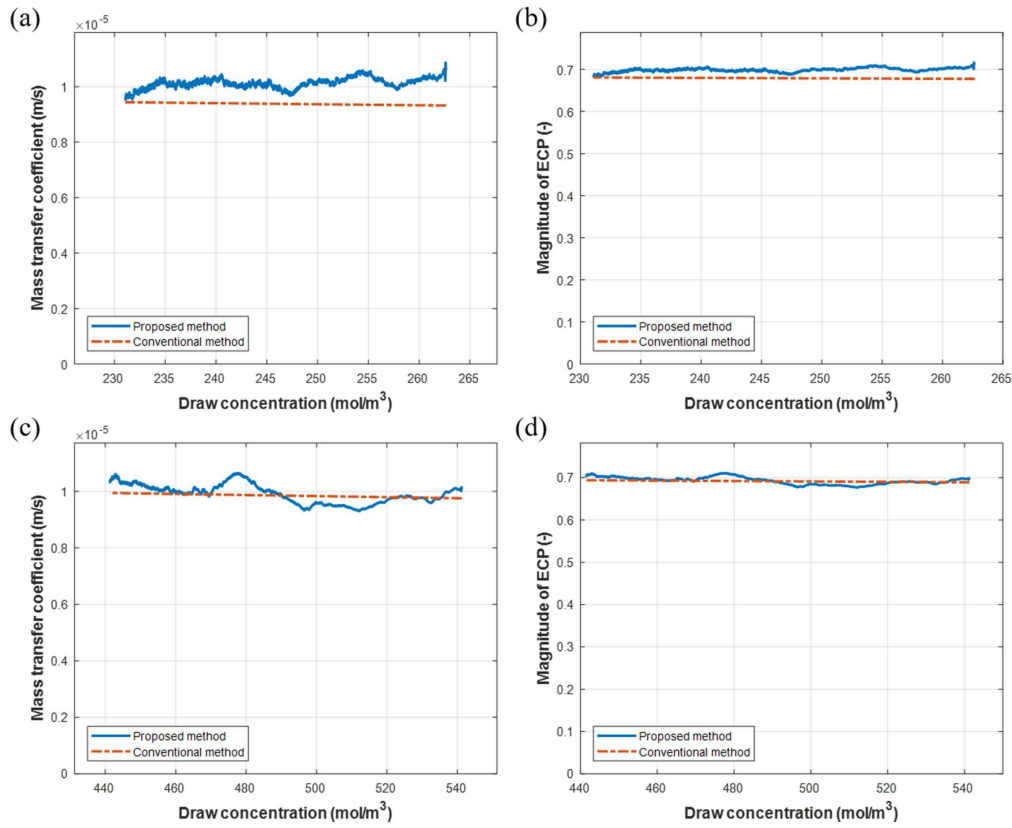
도면5



도면6



도면7



도면8

