



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년06월11일  
(11) 등록번호 10-1272868  
(24) 등록일자 2013년06월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B01D 61/02 (2006.01) C12P 1/00 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2011-0108815  
(22) 출원일자 2011년10월24일  
심사청구일자 2011년10월24일  
(65) 공개번호 10-2012-0050897  
(43) 공개일자 2012년05월21일  
(30) 우선권주장  
1020100112241 2010년11월11일 대한민국(KR)  
(56) 선행기술조사문헌  
WO2009155596 A2\*  
US20060144789 A1  
US20100224476 A1  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
한국과학기술원  
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)  
(72) 발명자  
장호남  
대전광역시 유성구 구성동 한국과학기술원  
최진달래  
대전광역시 유성구 구성동 한국과학기술원 에너지  
환경연구센터 (N28) 3105호  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
이처영

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 김민조

(54) 발명의 명칭 정삼투압을 이용한 저농도 발효액의 농축 방법

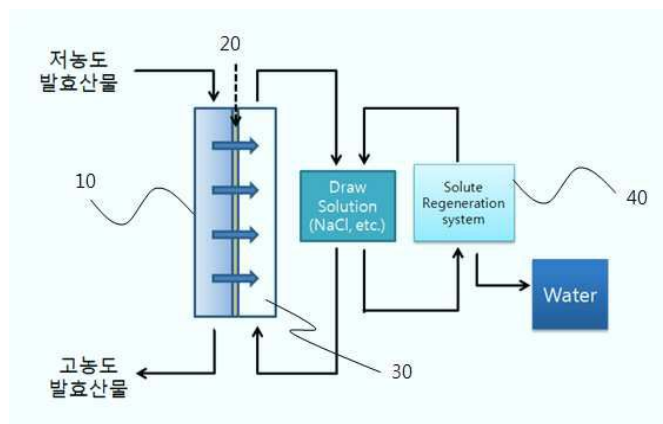
(57) 요약

본 발명은 발효액의 농축방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 정삼투압을 이용한 저농도 발효액의 고농도 농축방법에 관한 것이다.

본 발명에 따른 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법은 정삼투압막으로 구획되어 있는 피드 챔버 및 드로우 챔버를 포함하는 농축장치의 피드 챔버 및 드로우 챔버에 각각 발효액 및 삼투압 유발액(osmolyte)을 투입한 다음, 정삼투압 반응을 수행함으로써 피드 챔버의 발효액을 농축시키는 것을 특징으로 한다.

저농도 발효액을 역삼투압을 이용하거나 추출용매를 사용하여 농축시킬 경우, 에너지가 많이 소비되거나 추출용매의 가격이 비싸기 때문에 경제적으로 타당하지 않으나, 본 발명에 따른 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법은 발효액의 농축을 최대화하면서, 에너지 소모 및 운영비용을 최소화할 수 있으므로, 신기술의 산업화에 기여할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

**이상엽**

대전광역시 유성구 엑스포로 448, 212동 702호 (전민동, 엑스포아파트)

**이정욱**

대전광역시 유성구 대학로76번길 29, 와이즈빌 211호 (궁동)

**박선원**

대전광역시 유성구 어은로 57, 135동 1203호 (어은동, 한빛아파트)

**김우현**

울산광역시 남구 신정1동 우주가든 206호

**김태우**

경기도 부천시 소사구 범안로 130-27, 501동 1106호 (범박동, 현대홈타운)

**정권수**

광주광역시 서구 죽봉대로22번길 17-32 (농성동)

**박권우**

전라남도 목포시 삼학동 삼학타운아파트 101동 1109호

**공완지**

부산광역시 금정구 구서2동 롯데캐슬골드아파트 609동 1903호

**임성갑**

대전광역시 유성구 구성동 한국과학기술원 외국인 교수 아파트 C604호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 N01110680

부처명 교육과학기술부

연구사업명 글로벌 프론티어연구개발사업(차세대 바이오매스 연구)

연구과제명 효율적인 바이오매스 전환을 위한 전처리와 당화 분리 기술 개발과 시스템 모사를 통한 전

체 공정 디자인과 최적화

주관기관 (재)차세대 바이오매스 연구단

---

연구기간 2011.08.22 ~ 2012.08.31

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

정삼투압막으로 구획되어 있는 피드 챔버 및 드로우 챔버가 다단계로 구성되어 있는 농축장치의 피드 챔버 및 드로우 챔버에 각각 발효액 및 삼투압 유발액(osmolyte)을 투입한 다음, 정삼투압 반응을 수행함으로써 피드 챔버의 발효액을 농축시키는 것을 특징으로 하는 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법.

### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 정삼투압막은 피드 챔버의 발효액 중 물 또는 발효농축 대상물 보다 저분자 물질만 통과시켜 드로우 챔버로 이송시키는 것을 특징으로 하는 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법.

### 청구항 3

제1항에 있어서, 상기 발효액은 미생물, 미생물의 1차산물, 미생물의 2차산물, 미생물의 체외 분비 단백질, 미생물의 생물변환물(biotransformation), 식물세포, 동물세포 및 이들의 혼합물로 구성된 군에서 선택되는 물질을 포함하는 것을 특징으로 하는 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법.

### 청구항 4

제1항에 있어서, 상기 삼투압 유발액(osmolyte)은 NaCl 함유액, 암모니아 카바메이트 함유액, 고삼투압 폐용액 및  $MgCl_2$  함유액으로 구성된 군에서 선택되는 것을 특징으로 하는 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법.

### 청구항 5

제1항에 있어서, 상기 정삼투압 반응은 회분식, 연속식 및 압력식으로 구성된 군에서 선택되는 방법으로 수행되는 것을 특징으로 하는 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법.

### 청구항 6

삭제

### 청구항 7

제5항에 있어서, 상기 회분식은  $\Delta P$ (수두압력차)과  $\Delta \pi$ (삼투압차)가 동일해질 때까지, 상기 연속식은  $\Delta P$ (수두압력차)=0,  $\Delta \pi$ (삼투압차)=0 되는 평형상태까지, 상기 압력식은  $\Delta P_{ex}$ (외부압력차)과  $\Delta \pi$ (삼투압차)가 동일해질 때까지 수행되는 것을 특징으로 하는 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법.

### 청구항 8

삭제

### 청구항 9

제1항에 있어서, 상기 발효액의 pH는 2~13, 온도는 물이 액체 상태를 유지하는 온도 인 것을 특징으로 하는 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법.

**청구항 10**

제1항에 있어서, 상기 삼투압 유발액(osmolyte)은 피드 챔버와 드로우 챔버사이에 효율적인 삼투압차를 유지하도록 점진적으로 투여하는 것을 특징으로 하는 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법.

**청구항 11**

제1항에 있어서, 정삼투압 반응 수행 후, 드로우 챔버의 삼투압 유발액(osmolyte)은 용질 재생 시스템으로 이송되어 재생된 후, 다시 사용되는 것을 특징으로 하는 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법.

**명세서****기술분야**

[0001] 본 발명은 발효액의 농축방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 정삼투압을 이용한 저농도 발효액의 고농도 농축방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 인류의 생활을 풍족하게 시켜주는 각종 생산물들은 주로 미생물의 산업적인 발효를 통하여 생산된다. 이들 생산물로는 (a) 미생물 균체(단세포 단백질, 빵효모, 유산균, 대장균 및 이들 균체에 포함된 체내 축적 단백질/비단백질(폴리하이드록시 부티르산, 바이오 지질 등)), (b) 1차 산물(에탄올, 부탄올, 구연산, 유산, 초산, 숙신산, 각종 아미노산, 각종 비타민), (c) 2차산물(항생제), (d) 각종 체외 분비단백질(아밀라제, 셀룰라제 등의 효소, 인슐린, 인터페론, 단일군 항체 등 단백질), (e) 각종 생물 변환물(biotransformation)(스테로이드 등) 등이 있다.

[0003] 발효공정에 가장 중요한 인자는 생산물의 농도와 생산성이다. 발효공정에서, 포도당, 당밀(수크로즈) 등의 탄소원, 질소원, 비타민 및 미량의 무기물질을 포함하는 영양액은 생산 미생물이 있는 생물반응기에 투입되어 회분식(batch), 유가배양식(fed-batch), 연속식(continuous), 고농도 미생물 연속방법(high cell density continuous) 등으로 최대한 고농도가 되도록 발효된다.

[0004] 현재 산업계에서 가장 많이 활용하고 있는 발효산물 고농도 생산법은 유가배양식이다. 이는 초기에 회분식으로 운전하다가 고농도 농축 영양액을 미생물이 기질제한(substrate inhibition)을 받지 않도록 유도하면서 공급함으로써 생산물의 농도를 극대화 하는 방법이다. 일반적으로 생산물의 농도는 생산물 자체가 미생물의 생리작용을 억제함으로써 궁극적으로 한계에 달하게 된다. 예를 들어, 에탄올의 경우는 90g/L, 유산의 경우는 180g/L의 농도로 생산되지만, 포도당을 원료로 하는 초산과 같은 유기산은 약 30g/L의 저농도로 생산된다. 여기서, 농도가 90g/L이면 90g이 생산물이며, 910g이 물이다. 또 농도가 180g/L이면 820g, 30g/L이면 970g이 물인 것을 의미한다.

[0005] 생산물 1g당 제거해야하는 물의 양은 에탄올의 경우 10.1g/g-ethanol, 유산의 경우는 4.5g/g-유산, 초산의 경우는 32.3g/g-초산이 된다. 30°C에서 물 1g을 증발/증류방법으로 제거하는데 필요한 열량은 629cal이다. 발효 생산물 kg당 제거해야 하는 물의 양을 kwh로 표시하면 유산, 에탄올, 초산 1kg당 3.2kwh, 7.3kwh, 23.5kwh가 된다. 그러나 열은 여러 번 반복적으로 사용할 수 있으므로 4번 사용하면 0.8, 1.8, 5.8kwh가 된다. 현재 해수담수화공정에서 1m<sup>3</sup>을 생산하는데 소요되는 에너지는 25kwh로 알려져 있다. 물 1톤을 30°C에서 100°C의 수증기로 증발시키는 에너지는 2.629x10<sup>9</sup>이며 1kwh가 3.6x10<sup>6</sup>J이므로 에너지는 730kwh이다. 효율적인 증류공정으로 25kwh가 시용된다면 열역학 제1법칙에 의해 에너지는 보존되므로 열을 29회 정도 사용하는 효율을 보여주고 있다. 이러한 효율적인 공정은 거대한 시설투자를 필요로 하지만, 생산물의 농도가 높을수록 생물반응기의 생산성도 높아지고, 단위 생산물 무게당 물 제거비용이 적게 드는 장점이 있다.

- [0006] 1958년 Loeb-Sourirajan에 의해 비대칭성 역삼투막이 개발됨에 따라 역삼투압법이 1960년 해수담수화에 처음 사용된 데 비해, 정삼투압법은 농도차를 이용하여 에너지를 생산하는 방법으로 이 또한 1976년 Loeb-Sourirajan에 의해 처음 제안되었다 (Loeb, S, Loeb-Sourirajan Membrane, How it Came About Synthetic Membranes, ACS Symposium Series 153, ch1, pp1-9, 1981; Loeb, S., J. Membr. Sci 1, 49, 1976). 역삼투압과 정삼투압법에 막을 통한 물의 흐름은 다음과 같이 표시된다.
- [0007]  $J_v = A (\Delta \pi - \Delta P)$  ----- (1)
- [0008] 여기서  $J_v$ : 단위 막 면적당 물 투과량 ( $m^3/(h \cdot m^2 \cdot atm)$ ),  $A$ : 막면적 ( $m^2$ ),  $\Delta \pi$ : 삼투압차 ( $atm$ ),  $\Delta P$ : 수두압력차 ( $atm$ ) 이다.
- [0009]  $\Delta P > \Delta \pi$  이면 역삼투압(reverse osmosis, RO),  $\Delta \pi > \Delta P$  이면 정삼투압(forward osmosis, FO)이 된다. 정삼투압 공정의 구성은 피드 챔버(feed chamber)에 농축대상시료를 충전하고, 드로우 챔버(draw chamber)에 삼투압이 높은 NaCl 또는 사용 후 재생이 용이한 암모니아 카바메이트(ammonium carbamate) 등이 충전 된다. 역삼투압법과 다른 점은 해수담수화의 경우 좌측방에 압력이 걸리고, 우측방에서 NaCl이 배제된 물을 바로 얻을 수 있다는 점이다. 정삼투압법으로 해수담수화를 수행하는 방법은 다음과 같다. 우측방에 좌측방보다 삼투압이 더 높은 용액, 예를 들면 암모니아 카바메이트를 넣어 두 방간의 삼투압 차이로 순수한 물이 좌측에서 우측으로 넘어 오게 한 다음, 암모니아 카바메이트를 회수하고, 순수한 물을 활용한다 (McCutcheon JR, McGuinnis RL, Elimelech RL, Desalination 174, 1-11, 2005).
- [0010] 발효액의 농축공정은 좌측방의 시료를 정삼투압법으로 농축하는 것으로 우측방에 NaCl과 같은 고삼투압 물질을 사용할 수 있다. 정삼투압법에서 우측방을 농축하는 예는 슬릿지 침출수(leachate) 농축 (York, R.J. et al, '99 Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia, Italy, 1999), 과일 주스 농축 (Beauty, E.J., Lampi K.A., Food Technology, 44,121, 1999) 등이 있으나 발효액을 농축한 예는 없었다.
- [0011] 발효액에는 분자량이 에탄올, 초산과 같이 수십에서 단백질과 같이 수만에 이르는 다양한 산물이 있다. 정삼투압(FO)에 사용되는 막으로는 물만 통과시키는 막이 사용되고 있으나, 발효생산물을 농축하는 경우는 nanofiltration(NF), ultrafiltration(UF), microfiltration(MF)용 막도 사용할 수 있다. 단 우측 드로우 챔버에서 좌측 피드 챔버로 넘어가지 않으면서 상당한 삼투압을 낼 수 있는 물질을 찾거나 제조하면 되기 때문이다. 이렇게 되면 단백질 농축의 경우처럼 단백질 보다 분자량이 작은 물질들을 좌측에서 우측으로 물과 함께 보내어 정제를 할 수도 있게 된다.
- [0012] 현재 이러한 발효물질들을 농축 정제하기 위하여 증류(distillation), 용매 추출(solvent extraction), 침전 등이 이용되고 있으나 이들 방법에 이용되는 에너지, 용매, 추출화합물 등이 너무 고가여서 상기 방법으로 저농도 발효생산물을 농축하는 것은 경제성이 없었다.
- [0013] 이에, 본 발명자들은 상기 문제점을 해결하기 위하여 예의 노력한 결과, 정삼투압막으로 구획되어 있는 피드 챔버 및 드로우 챔버를 포함하는 농축장치의 피드 챔버 및 드로우 챔버에 각각 발효액 및 삼투압 유발액(osmolyte)을 투입한 다음, 정삼투압 반응을 수행함으로써 피드 챔버의 발효액을 농축시킬 경우, 발효액의 농축을 최대화하면서 에너지 소모 및 운영비용을 최소화할 수 있다는 사실을 확인하고, 본 발명을 완성하게 되었다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0014] 본 발명의 목적은 다양한 종류의 발효액 농축을 최대화하면서, 에너지 및 운영비용을 최소화할 수 있는 발효액의 농축 방법을 제공하는데 있다.

### 과제의 해결 수단

- [0015] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 정삼투압막으로 구획되어 있는 피드 챔버 및 드로우 챔버를 포함하는 농축장치의 피드 챔버 및 드로우 챔버에 각각 발효액 및 삼투압 유발액(osmolyte)을 투입한 다음, 정삼투압 반

응을 수행함으로써 피드 챔버의 발효액을 농축시키는 것을 특징으로 하는 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법을 제공한다.

[0016] 본 발명에 있어서, 상기 정삼투압막은 피드 챔버의 발효액 중 물 또는 농축대상 물질보다 분자량이 낮은 저분자 물질만 통과시켜 드로우 챔버로 이송시키는 것을 특징으로 한다.

[0017] 본 발명에 있어서, 상기 발효액은 미생물, 미생물의 1차산물, 미생물의 2차산물, 미생물의 체외 분비 단백질, 미생물의 생물변환물(biotransformation), 식물세포, 동물세포 및 이들의 혼합물로 구성된 군에서 선택되는 물질을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0018] 본 발명에 있어서, 상기 삼투압 유발액(osmolyte)은 NaCl 함유액, 암모니아 카바메이트 함유액, 고삼투압 폐용액 및  $MgCl_2$  함유액으로 구성된 군에서 선택되는 것을 특징으로 한다.

[0019] 삭제

[0020] 본 발명에 있어서, 상기 회분식은  $\Delta P$ (수두압력차)과  $\Delta \pi$ (삼투압차)가 동일해질 때까지, 상기 연속식은  $\Delta P$ (수두압력차)=0,  $\Delta \pi$ (삼투압차)=0 되는 평형상태까지, 상기 압력식은  $\Delta P_{ex}$ (외부압력차)과  $\Delta \pi$ (삼투압차)가 동일해질 때까지 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0021] 본 발명에 있어서, 상기 피드 챔버 및 드로우 챔버는 다단계로 구성되어 있는 것을 특징으로 한다.

[0022] 본 발명에 있어서, 상기 발효액의 pH는 2~13, 온도는 물이 액체상태를 유지하는 약 0~100°C 이지만, 이 온도는 알콜 등 화합물이 섞이거나 압력이 가해질 경우 달라질 수 있다. 상기 삼투압 유발액(osmolyte)은 드로우 챔버에 점진적으로 투입되는 것을 특징으로 한다.

[0023] 본 발명에 있어서, 정삼투압 반응 수행 후, 드로우 챔버의 삼투압 유발액(osmolyte)은 용질 재생 시스템으로 이송되어 재생된 후, 다시 사용되는 것을 특징으로 한다.

## 발명의 효과

[0024] 저농도 발효액을 역삼투압을 이용하거나 추출용매를 사용하여 농축시킬 경우, 에너지가 많이 소비되거나 추출용매의 가격이 비싸기 때문에 경제적으로 타당하지 않으나, 본 발명에 따른 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법은 발효액의 농축을 최대화하면서, 에너지 소모 및 운영비용을 최소화할 수 있으므로, 신기술의 산업화에 기여할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법을 도식화한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 농축 정도를 도식화한 도면이다 (제1 평형상태).

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 농축 정도를 도식화한 도면이다 (제2 평형상태).

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 농축 정도를 도식화한 도면이다 (제3 평형상태).

도 5는 삼투압 공정 동안의 용액 농도와 용액 부피의 변화를 도식화한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 다단계 운영에 대한 설명도이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 본 발명에서는 해수 담수화에서 정삼투압법에 소요되는 에너지가 재래식의 역삼투압, 각종 증류법 등에 소요되는 전기에너지의 10~20%에 불과하다는 점을 바탕으로, 정삼투압법으로 다양한 종류의 발효 생산물을 농축하면 경제성이 좋을 것이라고 예측하였다.

[0027] 또한, 본 발명에서는 상기 예측을 바탕으로 경제적인 정삼투압법 운영을 위하여 얼마나 많이, 얼마나 빨리 농축

이 가능한지에 대한 합리적인 논거가 확립될 경우, 정삼투압법은 산업화에 유리하게 이용될 수 있을 것으로 예측하였다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에서는 초산을 함유하는 발효액을 정삼투압막으로 구획된 피드 챔버 및 드로우 챔버를 포함하는 농축장치의 피드 챔버에 투입하고, NaCl을 드로우 챔버에 투입한 후, 정삼투압 반응을 수행하였다. 그 결과, 피드 챔버에서 초산이 농축되는 것을 확인할 수 있었다.

[0029] 따라서, 본 발명은 일 관점에서, 정삼투압막으로 구획되어 있는 피드 챔버 및 드로우 챔버를 포함하는 농축장치의 피드 챔버 및 드로우 챔버에 각각 발효액 및 삼투압 유발액(osmolyte)을 투입한 다음, 정삼투압 반응을 수행함으로써 피드 챔버의 발효액을 농축시키는 것을 특징으로 하는 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법에 관한 것이다.

[0030] 농축시간은 정삼투압의 특성과 막의 면적에 의해 결정되므로 증공사막 등을 활용하면 막모듈의 면적을 늘려 농축시간을 획기적으로 줄일 수 있어 경제성을 확보할 수 있다.

[0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법을 도식화한 도면이다.

[0032] 도 1에 도시된 바와 같이 상기 정삼투압막(20)은 피드 챔버(10)의 발효액 중 물 또는 농축대상물질보다 저분자 물질만 통과시켜 드로우 챔버(30)로 이송시키는 것을 특징으로 한다. 즉, 상기 정삼투압막(20)은 발효액중 물 또는 저분자 물질은 통과시키되 농축발효 대상물이나 삼투압 유발액은 통과시키지 않는 것을 이용한다. 농축대상 발효물질의 분자량이 1000 이하인 경우는 역삼투압막 (물만 통과), Nanofiltration막 (NaCl만 통과)을 사용하며 분자량이 수천~수만에 이르는 단백질의 경우는 한외여과 (ultrafiltration, 통과물질: 수백~수천 분자량 물질)막을 활용할 수 있다.

[0033] 본 발명에 있어서, 상기 발효액은 미생물, 미생물의 1차 산물, 미생물의 2차 산물, 미생물의 체외 분비 단백질, 미생물의 생물변환물(biotransformation) 동물세포, 식물세포 등을 예시할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.

[0034] 즉, 본 발명에 따른 정삼투압을 이용한 발효액의 농축 방법은 발효 산물이 아니더라도 상기 발효액과 유사한 분자량 및 특성을 가지며, 생산물의 농도가 낮고 물을 제거하는 것이 유리한 경우 이용될 수 있다.

[0035] 상기 미생물은 발효에 관여하는 미생물이면 제한없이 사용이 가능하며, 박테리아(E.coli), 효모(S.cerevisiae), 동물세포(CHO), 식물세포 등을 예시할 수 있다.

[0036] 상기 미생물의 1차 산물로는 유기산(초산, 프로피온산, 부틸산, 유산, 구연산, 유산, 숙신산 등), 알코올(에탄올, 부탄올 등), 핵산, 아미노산(라이신, 트립토판 등), 비타민, 다당류 등을 예시할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0037] 상기 미생물의 2차 산물로는 항생제(페니실린 등), 효소저해제, 생리활성물질(타코솔 등)을, 상기 미생물의 체외 분비 단백질로는 아밀라제, 셀룰라제 등의 효소, 인슐린, 인터페론, 단일군 항체 등을, 상기 미생물의 생물변환물(biotransformation)은 미생물 또는 효소를 활용하여 생산된 물질로서, 스테로이드 등을 예시할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0038] 본 발명에 있어서, 상기 삼투압 유발액(osmolyte)은 NaCl 함유액, 암모니아 카바메이트 함유액, 고삼투압 폐용액 및  $MgCl_2$  등 저분자 고삼투액 유발물질로 구성된 군에서 선택되는 것을 특징으로 한다. 상기 고삼투압 폐용액은 해수담수화 농축액으로 10% 정도의 농축해수를 사용할 수 있다.

[0039] 상기 암모니아 카바메이트의 경우, 초기에 높은 삼투압(2M)을 가지며, 상변환 없이 재생되는 장점이 있으며, 소듐 클로라이드(NaCl)는 쉽게 구할 수 있고, 해수의 농도 3% (26기압)이므로 여기에서 시작하여 필요한 농도까지 가장 경제적인 재생방법으로 재생할 수 있다. 경제적인 재생방법인 저품위 폐열원의 예로는, 공기를 이용하여 물을 증발시키는 방법, 태양열을 이용하여 농축하는 방법 등이 있다.

[0040] 본 발명에 있어서, 상기 정삼투압 반응은 그 효과를 극대화하기 위하여 회분식, 연속식 및 압력식으로 구성된 군에서 선택되는 방법으로 수행될 수 있다.

- [0041] 삭제
- [0042] 본 발명에 있어서, 상기 회분식은  $\Delta P$ (수두압력차)과  $\Delta \pi$ (삼투압차)가 동일해질 때까지, 상기 연속식은  $\Delta P$ (수두압력차)=0,  $\Delta \pi$ (삼투압차)=0 되는 평형상태까지, 상기 압력식은  $\Delta P_{ex}$ (외부압력차)과  $\Delta \pi$ (삼투압차)가 동일해질 때까지 수행되는 것을 특징으로 한다.
- [0043] 도면을 참조하여 이를 더욱 상세히 설명하면 다음과 같다. 도 2~4는 본 발명의 일 실시예에 따른 농축 정도를 도식화한 도면으로서, 각각 제1 평형상태, 제2 평형상태, 제3 평형상태를 나타낸다.
- [0044] 회분식 운전에서, 피드 챔버(feed chamber)와 드로우 챔버(draw chamber) 용액사이에 평행이 있는 것은 다음과 같은 이론에서 예측된다. 즉, 정삼투(forward osmosis) 초기에는 피드 챔버와 드로우 챔버 사이에 수두압력 차이가 없어  $\Delta P=0$ 이고,  $\Delta \pi=\Delta \pi_0$ 가 존재한다. 그러나 정삼투(FO)가 진행됨에 따라 피드 챔버에서 물이 드로우 챔버로 움직임에 따라 피드 챔버의 농도는 진해지며 삼투압도 증가한다. 한편 드로우 챔버에서는 수면이 올라가면서 즉, 드로우 챔버의 수면이 피드 챔버보다 높아지면서  $\Delta P$ 가 증가하기 시작한다. 이  $\Delta P$ 는 피드 챔버에서 드로우 챔버로 물이 움직이는 것( $J_v$ )을 방해한다. 또한 드로우 챔버의  $\Delta \pi$ 도 줄어들기 시작하여 오랜 시간이 지나면 양측 챔버를 오고 가는 물의 유량(flux)이 같아지는 평형에 도달한다(도 2 참조).
- [0045] 또한, 연속식 운전에서, 피드 챔버(feed chamber)와 드로우 챔버(draw chamber) 용액사이에 평행이 있는 것은 다음과 같은 이론에서 예측된다.
- [0046] 드로우 챔버에서  $\Delta P$ 가 발생하지 않도록 양 챔버의 수면을 같게 만든다. 이렇게 되면 처음부터 줄어들었지만  $\Delta \pi$ 로 인하여 추가로 정삼투(FO)가 일어난다.  $\Delta P=0$ ,  $\Delta \pi=0$ 가 되는 상태에서 제2의 평형상태가 이루어진다. 물론 피드 챔버에서는 제1의 평형상태보다 더 높은 농축이 이루어 질 것이다 (도 3 참조)
- [0047] 또한, 압력식 운전에서, 피드 챔버(feed chamber)와 드로우 챔버(draw chamber) 용액사이에 평행이 있는 것은 다음과 같은 이론에서 예측된다.
- [0048] 즉, 드로우 챔버에 진공을 적용하거나 피드 챔버에 압력을 가하여 외부적인 요인으로 외부압력차( $\Delta P_{ex}$ )가 발생하도록 한다. 이렇게 되면 처음부터 줄어들었지만  $\Delta \pi$ 로 인하여 추가로 정삼투(FO)가 일어나고,  $\Delta P_{ex}=\Delta \pi$ 가 되는 상태에서 제3의 평형상태가 이루어진다. 물론 피드 챔버에서는 제2의 평형상태보다 더 높은 농축이 이루어 질 것이다 (도 4 참조).
- [0049] 도 5는 삼투압 공정 동안의 용액 농도와 용액 부피의 변화를 도식화한 도면이다. 횡축(Y)은 용액의 양(%), 종축(X)은 농축시간을 나타낸다. 용액에서 물만 50%제거하면 용액의 농도는 100%(X) 때 보다 2배(2X)가 되고 남은 용액(50%)에서 또 50%를 제거하면 25%가 남으며 이때의 농도는 100%일 때의 4배(4X)가 된다.
- [0050] 한편, 본 발명에서는 상기 정삼투압 반응을 다단계로 수행할 경우, 드로우 챔버의 삼투압을 더욱 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 예측하였다.
- [0051] 도 6에 도시된 바와 같이, n개의 unit을 정삼투 향류(FO counter-current)로 수행할 경우, 낮은 농도의 draw solution(=삼투압 유발액)은 저농도의 1단계 발효액을 농축하고, 높은 농도의 draw solution은 고농도의 발효액을 농축하는데 사용할 수 있으므로, 보다 효율적이고, 경제적으로 발효액을 농축할 수 있다.
- [0052] 따라서, 본 발명에 있어서, 상기 피드 챔버 및 드로우 챔버는 다단계로 구성되어 있는 것을 특징으로 한다 (도면 6참조). 이와 같이 다단계로 구성할 경우, 한 단계에서 오랜 시간을 두고 발효액을 농축하는 것보다 드로우 챔버의 고삼투압 용액을 훨씬 효과적으로 사용할 수 있다.
- [0053] 본 발명에서는 feed solution(발효액)의 pH 또는 온도 특성을 바꾸거나 드로우 챔버에 삼투압 유발액을 점진적으로 투입할 경우, 보다 효율적으로 발효액을 농축시킬 수 있을 것으로 예측하고, 이를 확인하고자 하였다.
- [0054] 본 발명에 있어서, 상기 발효액의 pH는 2~13, 온도는 물이 액체를 유지하는 온도 (통상 0~100°C) 혹은 그 이상이나 이하가 될 수 있다. 예를 들면 다른 용질/용매와 혼합물인 경우는 위의 온도를 벗어날 수 있다. 상기 삼투압 유발액(osmolyte)은 드로우 챔버에 피드 챔버와 드로우 챔버의 삼투압차가 너무 큰 것은 정 삼투압의 효율을

심하게 떨어뜨리므로 점진적으로 투여하는 것을 특징으로 한다.

[0055] 본 발명에 있어서, 정삼투압 반응 수행 후, 드로우 챔버의 삼투압 유발액(osmolyte)은 용질 재생 시스템(40)으로 이송되어 재생된 후, 다시 사용되는 것을 특징으로 한다.

[0056] 상기 용질 재생 시스템(40)은 draw solution에서 삼투압 유발물질을 분리하기 위한 것으로서, 태양열, 폐열 등의 에너지를 활용할 수 있다.

[0057] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 예시하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되는 것으로 해석되지 않는 것은 당업계에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 자명할 것이다.

#### [0058] 실시예 1: 숙신산의 농축

[0059] 정삼투압을 이용하여 숙신산을 농축하는 실험을 수행하였다. Feed solution에 사용된 숙신산은 실제 Fed-batch 발효 공정으로부터 나온 발효산물로, Cellulose triacetate 재질의 정삼투압막 (HTI, USA)으로 구성된 정삼투압 반응기를 이용하였다. Draw solution은 30wt% NaCl을 사용하였다 (피드 용액 300mL, 드로우 용액 300mL). 실험에 사용된 숙신산 용액의 pH는 암모니아수를 이용하여 8~9로 조절하였다.

표 1

| Time (hr) | 숙신산 용액<br>부피(mL) | 숙신산 농도<br>(g/L) | 숙신산 pH | 배출수<br>부피 | 배출수<br>유량(mL/hr) | Rejection<br>ratio (%) | Remarks |
|-----------|------------------|-----------------|--------|-----------|------------------|------------------------|---------|
| 0         | 300              | 67.42           | 8.82   | 0         | 0                | 0                      | 시작      |
| 16.5      | 195              | 100.97          | 8.83   | 105       | 6.36             | 149.75                 |         |
| 28.5      | 164              | 124.24          | 8.84   | 35        | 1.23             | 184.27                 |         |
| 40.5      | 144              | 147.62          | 8.41   | 17        | 0.41             | 218.95                 |         |
| 88        | 129              | 153.82          | 8.33   | 15        | 0.17             | 228.14                 |         |

[0061] 그 결과, 표 1에 나타난 바와 같이, 정삼투압 공정을 이용하여 숙신산 용액으로부터 물을 제거하여 잔류물상의 숙신산 농도를 증가시킬 수 있었다. 숙신산의 농도는 67.42에서 153.82g/L로 두 배 이상 농축이 가능하였다.

#### [0062] 실시예 2: 유기산(Total Volatile Fatty Acid)의 농축 방법

[0063] 정삼투압을 이용하여 유기산을 농축하는 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 유기산은 일반적으로 산(acid) 발효 공정에서 얻어지는 비율인 초산:프로피온산:낙산=6:1:3의 부피비로 구성되어 있다. Cellulose triacetate 재질의 정삼투압막 (HTI, USA)으로 구성된 정삼투압 반응기를 이용하여 실험을 진행하였다. Draw solution은 30wt% NaCl을 사용하였다 (피드용액 300mL, 드로우 용액 300mL). 실험에 사용된 유기산 용액의 pH는 암모니아수를 이용하여 9로 조절하였다.

표 2

| Time<br>(hr) | 유기산<br>용액 부피 (mL) | 유기산농도<br>(g/L) | 피드용액 pH | 배출수 부<br>피 (mL) | 배출수<br>유량(mL/hr) | Rejection<br>ratio (%) | Remarks |
|--------------|-------------------|----------------|---------|-----------------|------------------|------------------------|---------|
| 0            | 300               | 93             | 9.46    | 0               | 0                | 0                      | 시작      |
| 4            | 276               | 102.29         | 9.34    | 24              | 6.00             | 110.00                 |         |
| 17           | 228               | 120.83         | 9.22    | 48              | 2.82             | 129.94                 |         |
| 29           | 199               | 129.61         | 9.14    | 29              | 1.00             | 139.38                 |         |
| 46           | 181               | 147.75         | 9.02    | 18              | 0.39             | 158.88                 |         |

[0065] 표 2에 나타난 바와 같이, 정삼투압 공정을 이용하여 유기산이 포함된 용액으로부터 물을 제거하여 잔류물상의 유기산 농도를 증가시킬 수 있었다. 유기산의 농도는 실험 시작 46시간 이후 93g/L에서 147g/L로 1.58배 이상

농축이 가능하였다.

### [0066] 실시예 3: 미세조류의 농축 방법

[0067] 정삼투압을 이용하여 미세조류를 농축하는 실험을 수행하였다. 미세조류(*Nannochloropsis oculata*, UTEX, USA)는 F/2 media와 빛, CO<sub>2</sub>의 공급으로 2주일간 26℃에서 성장시킨 후 feed solution으로 사용하였다. Cellulose triacetate 재질의 정삼투압막 (HTI, USA)으로 구성된 정삼투압 반응기를 이용하여 실험을 진행하였다. Draw solution은 20wt% NaCl을 사용하였다 (피드용액 350mL, 드로우 용액 350mL).

[0068] 미세조류의 광학밀도(농도)는 자외선 및 가시광선 분광분석법을 이용하여 680nm에서 측정하였다.

표 3

| Time (hr) | 미세조류 용액 부피(mL) | 미세조류 농도 (g/L) | 배출수 부피(mL) | 배출수 유량(mL/hr) | Rejection ratio (%) | Remarks |
|-----------|----------------|---------------|------------|---------------|---------------------|---------|
| 0         | 350            | 0.705         | 0          | 0             | 0                   | 시작      |
| 10        | 280            | 0.820         | 70         | 7.05          | 116.6               |         |

[0070] 표 3에 나타난 바와 같이, 정삼투압 공정을 이용하여 미세조류를 포함한 용액에서 물을 제거하는 방법으로 잔류 물상의 미세조류 농도를 증가시킬 수 있었다. 실험 시작 10시간 이후 미세조류의 농도는 1.16배 이상 농축이 가능하였다.

### [0071] 실시예 4: 단백질의 농축

[0072] 정삼투압을 이용하여 단백질을 농축하는 실험을 수행하였다. Feed solution에 사용된 단백질은 달걀에서 추출된 62~88%의 알부민으로 초기 농도는 1g/L 이었다. Cellulose triacetate 재질의 정삼투압막 (HTI, USA)으로 구성된 정삼투압 반응기를 이용하여 실험을 진행하였다. Draw solution은 30wt% NaCl을 사용하였다 (피드 용액 300mL, 드로우 용액 300mL).

표 4

| Time (hr) | 단백질용액 부피 (mL) | 단백질 농도 (g/L) | 배출수 부피(mL) | 배출수 유량(mL/hr) | Rejection ratio (%) | Remarks |
|-----------|---------------|--------------|------------|---------------|---------------------|---------|
| 0         | 300           | 1            | 0          | 0             | 0                   | 시작      |
| 4         | 282.15        | 1.07         | 17.85      | 4.46          | 107                 |         |
| 8         | 269.25        | 1.11         | 30.75      | 3.84          | 111.4               |         |
| 12        | 259.95        | 1.15         | 40.05      | 3.34          | 115.4               |         |

[0074] 그 결과, 표 4에 나타난 바와 같이, 정삼투압 공정을 이용하여 단백질 용액으로부터 물을 제거하여 잔류물상의 알부민 농도를 증가시킬 수 있었다. 실험 시작 12시간 이후 알부민 농도는 1g/L에서 1.15g/L로 1.15 배 이상 농축이 가능하였다.

### [0075] 실시예 5: 아미노산의 농축

[0076] 정삼투압을 이용하여 아미노산을 농축하는 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 아미노산은 대표적인 수용성 아미노산인 L-Tyrosine을 사용하였다. Cellulose triacetate 재질의 정삼투압막 (HTI, USA)으로 구성된 정삼투압 반응기를 이용하여 실험을 진행하였다. Draw solution은 30wt% NaCl을 사용하였다 (피드 용액 300mL, 드로우 용액 300mL).

표 5

[0077]

| Time (hr) | L-Tyrosine 용액 부피(mL) | L-Tyrosine 농도(g/L) | 배출수 부피(mL) | 배출수 유량(mL/hr) | Rejection ratio (%) | Remarks |
|-----------|----------------------|--------------------|------------|---------------|---------------------|---------|
| 0         | 300                  | 0.69               | 0          | 0             | 0                   | 시작      |
| 3         | 255.56               | 0.81               | 44.44      | 14.81         | 117.4               |         |

[0078]

표 5에 나타난 바와 같이, 정삼투압 공정을 이용하여 L-Tyrosine이 포함된 용액을 농축한 결과, 실험시작 3시간 이후 L-Tyrosine의 농도가 0.69g/L에서 0.81g/L로 약 1.17배 이상 농축이 가능하였다.

[0079]

#### 실시예 6: 당의 농축

[0080]

정삼투압을 이용하여 당을 농축하는 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 당은 다당류인 설탕(sucrose)을 사용하였다. Cellulose triacetate 재질의 정삼투압막 (HTI, USA)으로 구성된 정삼투압 반응기를 이용하여 실험을 진행하였다. Draw solution은 30wt% NaCl을 사용하였다 (피드 용액 300mL, 드로우 용액 300mL).

표 6

[0081]

| Time (min) | 설탕 용액 부피(mL) | 설탕 농도(g/L) | 배출수 부피(mL) | 배출수 유량(mL/hr) | Rejection ratio (%) | Remarks |
|------------|--------------|------------|------------|---------------|---------------------|---------|
| 0          | 300          | 302.2      | 0          | 0             | 0                   | 시작      |
| 100        | 193          | 469.7      | 107        | 64.2          | 155.4               |         |

[0082]

표 6에 나타난 바와 같이, 정삼투압 공정을 이용하여 설탕이 포함된 용액을 농축한 결과, 100분 이후 설탕의 농도가 302.2g/L에서 469.7g/L로 약 1.5배 이상 농축이 가능하였다.

[0083]

#### 실시예 7: 나란흐름(co-current) 연결과 맞흐름(counter-current) 연결 비교

[0084]

다단계 반응기의 효율은 도 6의 맞흐름(counter-current) 연결이 많이 이용되지만, 나란흐름 연결과 맞흐름 연결의 분리기 수에 따른 효율을 다음과 같이 검증하였다.

[0085]

실시예 2에서 이용한 유기산(VFA)을 하기 표 7과 같이 분리기수를 달리하여 나란흐름 연결 및 맞흐름 연결시킨 후 농축시켰다.

[0086]

삼투압이 20bar인 것을 가정하여 유입수(유기산)를 4배 농축하는 경우 최종 유출수의 삼투압은 80bar가 되며, 드로우 챔버에서 유입수는 200bar 유출수는 114bar가 된다.

[0087]

정삼투압 농축방법은 피드 챔버에서 드로우 챔버로 물만 이동하므로 피드 챔버의 산물(VFA)는 점점 농축이 되고 (삼투압 증가) 드로우 챔버의 삼투압 유발물질(NaCl)은 점점 묽어진다 (삼투압 감소). 결과적으로 두 챔버간의 압력차도 줄어들어 농축효율이 감소한다. 공정간의 효율비교는 발효액을 4배로 농축하는 데 필요한 막 면적으로 표시할 수 있다(표 7).

표 7

[0088]

| 분리기수 | 맞흐름 연결면적 | 나란흐름(병류) 연결면적 | 면적 비교: 1000 units                                                                                                                      |
|------|----------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | 29.2     | 29.2          | 분리기수 : 1<br>$\text{압력차: } 200/1.75 - 20/0.25 = 114.3 - 80 = 34.3 \text{ bar}$<br>$\text{요구면적} = 1000/34.3 = 29.15 \text{ units(area)}$ |
| 2    | 13.8     | 19.0          |                                                                                                                                        |
| 3    | 11.5     | 15.8          |                                                                                                                                        |
| 4    | 10.7     | 14.2          |                                                                                                                                        |

[0089]

계산에 사용된 공정인자는 피드챔버 유입수(혼합유기산) 농도:  $c_{fi}=35\text{g/L}$  (삼투압: 20 bar) 피드 챔버 유출수 농도:  $c_{fo}=140\text{g/L}$  (80bar); 드로우 챔버 유입수(NaCl) 삼투압,  $\pi_{di}=200\text{bar}$ , 유출수 삼투압  $\pi_{do}$ :  $200/(1+\text{정}$

삼투압으로 이동된 물의 양)이다. 궁극적으로 4배로 농축되기 위해서는 피드 챔버의 용매(물) 75%가 드로우 챔버로 이동하며 이때 피드 챔버 유출수의 유량( $q_{fo}$ )은 피드챔버 유입수량( $q_{fi}$ )의 25%이며, 드로우 챔버의 최종유량은 175%가 된다.

[0090] 계산 예;  $q_{fi}=1.0\text{L/h}$ ,  $q_{fo}=0.25\text{L/h}$  ( $\pi_{fo}=80\text{bar}$ ),  $q_{di}=1.0\text{L/h}$ ,  $q_{do}=1.75\text{L/h}$  ( $\pi_{do}=114.3\text{ bar}$ ). 피드챔버와 드로우챔버의 삼투압차= $114.3-80=34.3\text{ bar}$ . 따라서 1단계 시스템의 필요 막면적= $1000(\text{units, 임의 단위})/[114.3-80]=29.2\text{ area units}$ .

[0091] 표 7에 나타난바와 같이, 다단계 정삼투압 농축 시스템에 있어서, 일단계 보다는 다단계 정삼투압 농축장치 시스템이 효율이 높고 병렬(나란 흐름, co-current) 연결보다는 맞흐름 연결이 (counter-current) 더 경제적인다는 사실을 확인할 수 있었다. 즉 동일한 농축시스템에서 더 적은 막 면적이 필요하였다.

[0092] 추가적으로 드로우 챔버에 NaCl 이외에 암모니아 카바메이트, 혹은 상기 삼투압차외에 외부 압력식 운전( $\Delta P$ ), pH, 온도에 따른 영향의 실시예가 바람직하나 막 공정의 특성상 이미 잘 알려져 있으므로 자명한 일이라 하겠다.

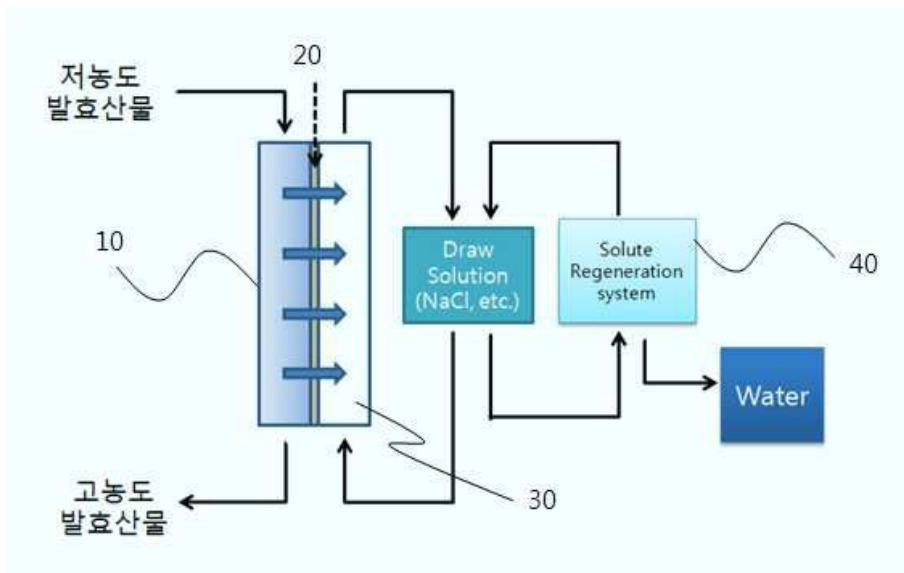
[0093] 이상으로 본 발명 내용의 특정한 부분을 상세히 기술하였는바, 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 이러한 구체적 기술은 단지 바람직한 실시태양일 뿐이며, 이에 의해 본 발명의 범위가 제한되는 것이 아닌 점은 명백할 것이다. 따라서, 본 발명의 실질적인 범위는 첨부된 청구항들과 그것들의 등가물에 의하여 정의된다고 할 것이다.

## 부호의 설명

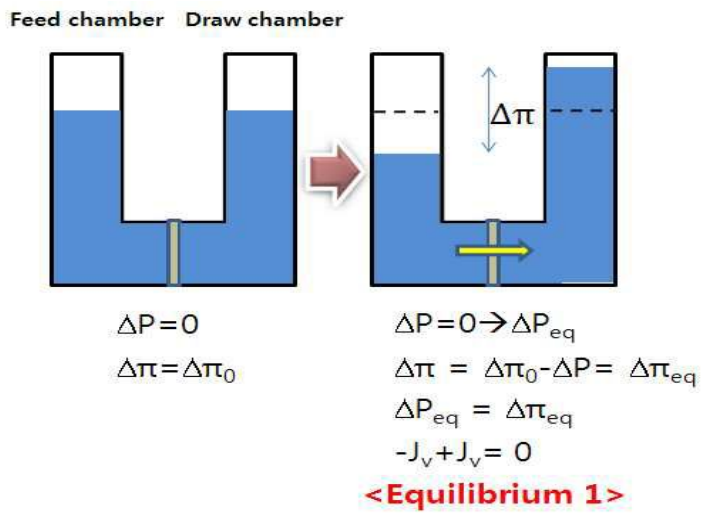
|        |            |               |
|--------|------------|---------------|
| [0094] | 10: 피드 챔버  | 20: 정삼투압막     |
|        | 30: 드로우 챔버 | 40: 용질 재생 시스템 |

## 도면

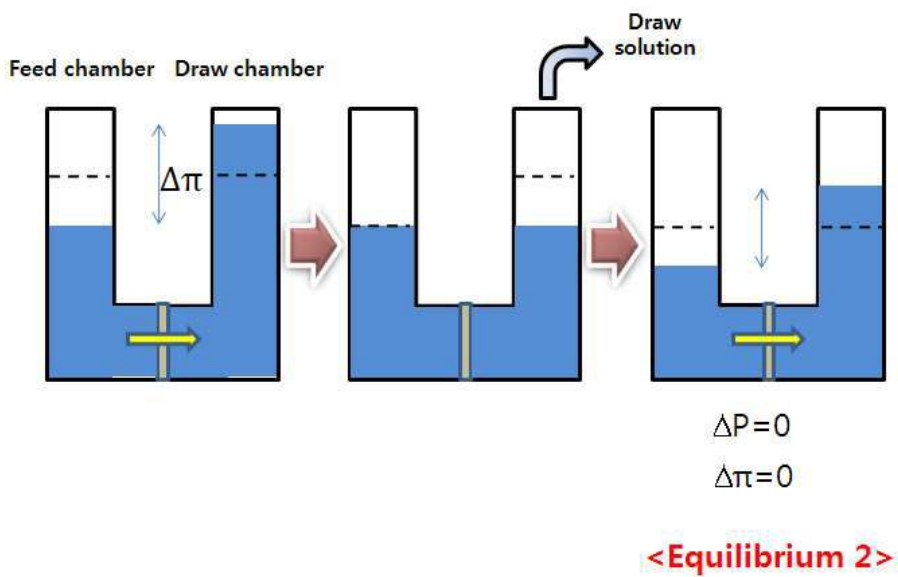
### 도면1



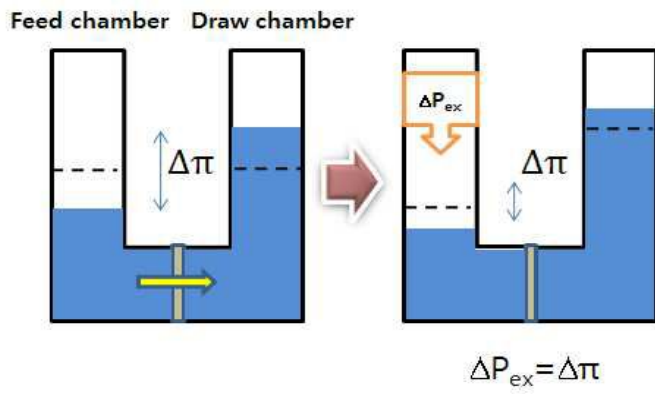
도면2



도면3

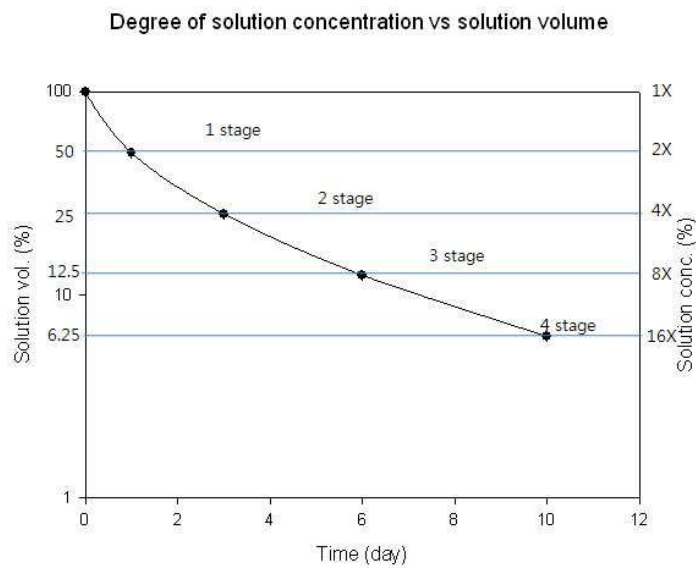


도면4



<Equilibrium 3>

도면5



도면6

