



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2014년10월15일  
 (11) 등록번호 10-1450213  
 (24) 등록일자 2014년10월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 B01D 65/10 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2014-0030928  
 (22) 출원일자 2014년03월17일  
 심사청구일자 2014년03월17일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 Journal of Membrane Science, 2006, Vol.281,  
 pp.316-324  
 US6017459 A  
 US20020134716 A1  
 KR1020130098025 A

(73) 특허권자  
 한국기계연구원  
 대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)  
 (72) 발명자  
 김유창  
 대전광역시 서구 청사로 70, 108동 702호 (월평동, 누리아파트)  
 박상진  
 대전광역시 유성구 대덕대로541번길 68, 102동 504호 (도룡동, 현대아파트)  
 박인섭  
 대전 유성구 노은동 노은서로 108-13  
 (74) 대리인  
 팬코리아특허법인

전체 청구항 수 : 총 13 항

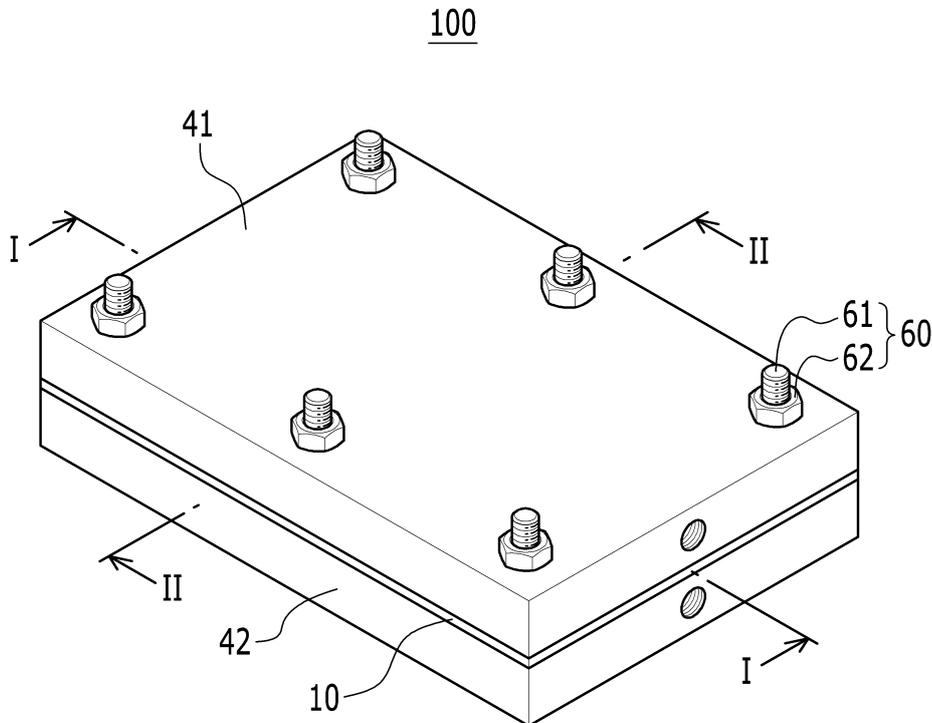
심사관 : 김민조

(54) 발명의 명칭 **교차흐름 멤브레인 테스트 셀 및 이를 구비한 멤브레인 테스트 장치**

**(57) 요약**

반투과성 멤브레인의 성능 및 특성 평가를 위한 교차흐름 멤브레인 테스트 셀 및 이를 구비한 멤브레인 테스트 장치를 제공한다. 교차흐름 멤브레인 테스트 셀은 피드 용액 채널을 형성하는 제1 바디와, 드로우 용액 채널을 형성하는 제2 바디와, 피드 용액 채널과 드로우 용액 채널을 각각 둘러싸는 복수의 실링부재를 포함한다. 드로우 용액 채널의 입구 및 출구 부분은 피드 용액 채널의 입구 및 출구 부분과 어긋나게 위치하여 반투과성 멤브레인의 변형을 방지한다.

**대표도** - 도1a



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 CT1320  
 부처명 국토교통부  
 연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원  
 연구사업명 국토교통부-국가연구개발사업  
 연구과제명 PRO공정 최적화를 위한 PRO막/모듈의 성능평가기술 개발 (1/5)  
 기 여 율 4/5  
 주관기관 지에스건설  
 연구기간 2013.06.20 ~ 2014.06.14

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 CT1350  
 부처명 국토교통부  
 연구관리전문기관 한국건설교통기술평가원  
 연구사업명 국토교통부-국가연구개발사업  
 연구과제명 RO/MD 농축수 적용 PRO공정 설계기술 개발 (1/5)  
 기 여 율 1/5  
 주관기관 한국건설기술연구원  
 연구기간 2013.06.20 ~ 2014.06.14

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

반투과성 멤브레인의 일면과 접하며 피드 용액 채널을 형성하는 제1 바디;  
 상기 반투과성 멤브레인의 반대면과 접하며 드로우 용액 채널을 형성하는 제2 바디; 및  
 상기 피드 용액 채널과 상기 드로우 용액 채널을 각각 둘러싸는 복수의 실링부재를 포함하고,  
 상기 드로우 용액 채널의 입구 및 출구 부분은 상기 피드 용액 채널의 입구 및 출구 부분과 어긋나게 위치하는 교차흐름 멤브레인 테스트 셀.

**청구항 2**

제1항에 있어서,  
 상기 피드 용액 채널과 상기 드로우 용액 채널은 제1 방향을 따라 길게 형성되고, 상기 제1 방향에 따른 양단이 각자의 인렛 및 아웃렛에 연결되어 상기 입구 및 출구 부분이 되는 교차흐름 멤브레인 테스트 셀.

**청구항 3**

제2항에 있어서,  
 상기 드로우 용액 채널의 길이는 상기 피드 용액 채널의 길이보다 작고,  
 상기 드로우 용액 채널의 입구 및 출구 부분은 상기 피드 용액 채널의 입구 및 출구 부분으로부터 상기 교차흐름 멤브레인 테스트 셀의 중앙을 향해 이격되어 위치하는 교차흐름 멤브레인 테스트 셀.

**청구항 4**

제3항에 있어서,  
 상기 피드 용액 채널의 폭은 상기 드로우 용액 채널의 폭과 같거나 상기 드로우 용액 채널의 폭보다 큰 교차흐름 멤브레인 테스트 셀.

**청구항 5**

제3항에 있어서,  
 상기 복수의 실링부재는 상기 피드 용액 채널을 둘러싸는 제1 실링부재와, 상기 드로우 용액 채널을 둘러싸는 제2 실링부재를 포함하며,  
 상기 제2 실링부재는 상기 피드 용액 채널의 입구 및 출구 부분의 안쪽에 위치하는 교차흐름 멤브레인 테스트 셀.

**청구항 6**

제1항에 있어서,  
 상기 피드 용액 채널은 제1 방향을 따라 길게 형성되고, 상기 제1 방향에 따른 양단이 제1 인렛 및 제1 아웃렛에 연결되어 상기 입구 및 출구 부분이 되며,  
 상기 드로우 용액 채널은 상기 제1 방향과 교차하는 제2 방향을 따라 길게 형성되고, 상기 제2 방향에 따른 양단이 제2 인렛 및 제2 아웃렛에 연결되어 상기 입구 및 출구 부분이 되는 교차흐름 멤브레인 테스트 셀.

**청구항 7**

제6항에 있어서,  
 상기 피드 용액 채널의 입구 및 출구 부분은 상기 드로우 용액 채널과 중첩되지 않고 상기 드로우 용액 채널과 이격되어 위치하는 교차흐름 멤브레인 테스트 셀.

**청구항 8**

제1항에 있어서,  
 상기 피드 용액 채널에 삽입되는 제1 스페이서; 및  
 상기 드로우 용액 채널에 삽입되는 제2 스페이서를 더 포함하며,  
 상기 제1 스페이서는 상기 제2 스페이서보다 조밀한 구조로 형성되는 교차흐름 멤브레인 테스트 셀.

**청구항 9**

제8항에 있어서,  
 상기 제1 스페이서는 트리코트 직물 부재로 형성되고, 제2 스페이서는 그물 타입 부재로 형성되는 교차흐름 멤브레인 테스트 셀.

**청구항 10**

제1항에 있어서,  
 상기 제1 바디와 상기 제2 바디에 압력을 가하여 상기 제1 바디와 상기 제2 바디 사이에 상기 반투과성 멤브레인을 강하게 밀착 고정시키는 가압 부재를 더 포함하는 교차흐름 멤브레인 테스트 셀.

**청구항 11**

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,  
 상기 피드 용액은 저농도 및 저압의 용액이고, 상기 드로우 용액은 고농도 및 고압의 용액이며,  
 상기 교차흐름 멤브레인 테스트 셀은 상기 반투과성 멤브레인의 압력지연삼투(PRO, Pressure Retarded Osmosis) 성능 및 특성 평가용인 교차흐름 멤브레인 테스트 셀.

**청구항 12**

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 따른 교차흐름 멤브레인 테스트 셀;  
 상기 교차흐름 멤브레인 테스트 셀의 피드 용액 채널로 저농도 및 저압의 피드 용액을 순환시키는 피드 용액 순환부; 및  
 상기 교차흐름 멤브레인 테스트 셀의 드로우 용액 채널로 고농도 및 고압의 드로우 용액을 순환시키는 드로우 용액 순환부  
 를 포함하는 교차흐름 멤브레인 테스트 장치.

**청구항 13**

제12항에 있어서,  
 상기 피드 용액 순환부는 저압 펌프가 설치된 피드 용액 공급관을 포함하고,  
 상기 드로우 용액 순환부는 저압 펌프가 설치된 제1 공급관과 고압 펌프가 설치된 제2 공급관이 병렬로 연결된 드로우 용액 공급관을 포함하며,  
 정삼투 실험과 역삼투 실험 및 압력지연삼투 실험이 가능한 교차흐름 테스트 장치.

**명세서**

**기술분야**

본 발명은 교차흐름 멤브레인 테스트 셀에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 반투과성 멤브레인의 성능 및 특성 평가를 위한 교차흐름 멤브레인 테스트 셀 및 이를 구비한 멤브레인 테스트 장치에 관한 것이다.

**배경기술**

[0001]

- [0002] 압력지연삼투(PRO, Pressure Retarded Osmosis)(이하, 'PRO'라 한다) 기술은 두 용액의 염분농도 차이(또는 삼투압 차이)를 이용한 발전 기술로서, 저농도의 피드 용액(feed solution, 처리할 대상 용액)과 고농도의 드로우 용액(draw solution) 사이에 반투과성 멤브레인을 배치하여 피드 용액에서 물을 얻는 정삼투(FO, Forward Osmosis)식 수처리 공정의 기본 원리와 맥락을 같이 하지만, 드로우 용액 측에 삼투압 차이보다 작은 압력을 가하여 에너지 변환을 하는 것이 특징이다.
- [0003] 통상의 PRO 공정은 피드 용액으로 담수를 이용하고, 드로우 용액으로 해수를 이용한다. PRO 공정에서 전처리 과정을 거친 피드 용액의 용매(물)는 삼투압 차에 의해 반투과성 멤브레인을 통과해 가압된 드로우 용액으로 이동하며, 이때 드로우 용액 측의 증가된 유량과 압력을 이용하여 터빈을 회전시켜 에너지를 생산한다. 즉 반투과성 멤브레인에서는 두 용액 사이의 염분구배(화학적) 에너지가 수력학적(운동) 에너지로 변환되고, 터빈에서는 수력학적 에너지가 전기 에너지로 변환된다. 이론적으로 두 용액의 압력 차이가 삼투압 차이의 절반일 때 반투과성 멤브레인에서 가장 큰 전력밀도를 얻을 수 있다.
- [0004] PRO 발전이 상업적으로 실현 가능하려면  $5 \text{ W/m}^2$  이상의 전력밀도를 구현해야 하며, 최근 대부분의 PRO 연구는 전력밀도를 높이기 위한 반투과성 멤브레인 개발에 초점이 맞추어져 있다. PRO 공정에 사용되는 반투과성 멤브레인은 수 투과도를 높이기 위해 박막과 다공성 시트로 구성된 복합막의 형태로 제작되고, PRO 공정에 필요한 수압(바닷물과 강물을 이용하는 경우 대략 12 내지 13 bar 내외)에 견디는 내구성을 가져야 한다.
- [0005] 그러나 PRO 공정에 적용이 가능한 수원(水源)은 바닷물과 강물에 한정되지 않으며, 해수담수화 플랜트에서 배출되는 농축수(대략 65,000 내지 70,000 mg/L) 또는 염분농도가 바닷물보다 훨씬 큰 사해나 솔트레이크 등의 고염수(100,000 mg/L) 등이 드로우 용액으로 적용될 수 있다. 농축수 또는 고염수 등이 드로우 용액으로 고려될 경우 반투과성 멤브레인에 가할 수 있는 수압은 상당히 높아진다.
- [0006] 교차흐름 멤브레인 테스트 셀은 PRO 실험(두 용액 사이의 압력 차이를 삼투압 차이보다 작게 운전)과 정삼투 실험(두 용액 사이의 압력 차이가 없게 운전) 시 제작된 반투과성 멤브레인의 수 플럭스(water flux, 단위 면적당 투과된 유량)를 측정하거나, 역삼투(Reverse Osmosis, RO) 실험(두 용액 사이의 압력 차이를 삼투압 차이보다 크게 운전) 시 제작된 반투과성 멤브레인의 수 투과도와 염 투과도 등을 실험실 스케일에서 측정하기 위한 것이다. PRO 실험과 정삼투 실험에서는 일정 크기로 절단된 반투과성 멤브레인의 일측에 피드 용액을 흘리고, 반대 측에 드로우 용액을 흘리며, 역삼투 실험에서는 드로우 용액이 사용되지 않고 피드 용액만 사용한다.
- [0007] 반투과성 멤브레인의 성능 및 특성을 평가하기 위한 통상의 교차흐름 멤브레인 테스트 셀에서는 피드 용액 채널의 입구 및 출구 부분에 압력이 가해질 때 반투과성 멤브레인이 쉽게 변형되며, 변형을 방지하기 위해 입구 및 출구의 크기를 줄이거나, 입구 및 출구의 모양을 슬릿 slit)과 같은 모양으로 변형하거나, 입구 및 출구에 다공성 판을 삽입하는 등 여러 노력이 있어왔다. 그러나 입구 및 출구를 변형하여도 여전히 고압에서 반투과성 멤브레인이 변형되고, 다공성 판에 의해 피드 용액의 유동에 큰 저항이 발생하는 등 여러 문제가 보고되고 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0008] 본 발명은 반투과성 멤브레인의 성능 및 특성 평가를 위한 교차흐름 멤브레인 테스트 셀에 있어서, 평가를 위해 반투과성 멤브레인에 가해지는 높은 압력(PRO 실험 시 두 용액 간의 삼투압 차이보다 낮은 압력, RO 실험 시 두 용액 간의 삼투압 차이보다 높은 압력)에서도 반투과성 멤브레인이 변형되거나 파손되지 않도록 함으로써 반투과성 멤브레인의 성능 및 특성 평가를 원활하게 수행할 수 있는 교차흐름 멤브레인 테스트 셀 및 이를 구비한 멤브레인 테스트 장치를 제공하고자 한다.

**과제의 해결 수단**

- [0009] 본 발명의 일 실시예에 따른 교차흐름 멤브레인 테스트 셀은, 반투과성 멤브레인의 일면과 접하며 피드 용액 채널을 형성하는 제1 바디와, 반투과성 멤브레인의 반대면과 접하며 드로우 용액 채널을 형성하는 제2 바디와, 피드 용액 채널과 드로우 용액 채널을 각각 둘러싸는 복수의 실링부재를 포함한다. 드로우 용액 채널의 입구 및 출구 부분은 피드 용액 채널의 입구 및 출구 부분과 어긋나게 위치한다.
- [0010] 피드 용액 채널과 드로우 용액 채널은 제1 방향을 따라 길게 형성될 수 있고, 제1 방향에 따른 양단이 각자의 인렛 및 아웃렛에 연결되어 입구 및 출구 부분이 될 수 있다.

- [0011] 드로우 용액 채널의 길이는 피드 용액 채널의 길이보다 작을 수 있고, 드로우 용액 채널의 입구 및 출구 부분은 피드 용액 채널의 입구 및 출구 부분으로부터 교차흐름 멤브레인 테스트 셀의 중앙을 향해 이격되어 위치할 수 있다. 피드 용액 채널의 폭은 드로우 용액 채널의 폭과 같거나 드로우 용액 채널의 폭보다 클 수 있다.
- [0012] 복수의 실링부재는 피드 용액 채널을 둘러싸는 제1 실링부재와, 드로우 용액 채널을 둘러싸는 제2 실링부재를 포함할 수 있으며, 제2 실링부재는 피드 용액 채널의 입구 및 출구 부분의 안쪽에 위치할 수 있다.
- [0013] 다른 한편으로, 피드 용액 채널은 제1 방향을 따라 길게 형성될 수 있고, 제1 방향에 따른 양단이 제1 인렛 및 제1 아웃렛에 연결되어 입구 및 출구 부분이 될 수 있다. 드로우 용액 채널은 제1 방향과 교차하는 제2 방향을 따라 길게 형성될 수 있고, 제2 방향에 따른 양단이 제2 인렛 및 제2 아웃렛에 연결되어 입구 및 출구 부분이 될 수 있다. 피드 용액 채널의 입구 및 출구 부분은 드로우 용액 채널과 중첩되지 않고 드로우 용액 채널과 이격되어 위치할 수 있다.
- [0014] 교차흐름 멤브레인 테스트 셀은 피드 용액 채널에 삽입되는 제1 스페이서와, 드로우 용액 채널에 삽입되는 제2 스페이서를 더 포함할 수 있다. 제1 스페이서는 제2 스페이서보다 조밀한 구조로 형성될 수 있다. 제1 스페이서는 트리코트 직물 부재로 형성될 수 있고, 제2 스페이서는 그물 타입 부재로 형성될 수 있다.
- [0015] 교차흐름 멤브레인 테스트 셀은 제1 바디와 제2 바디에 압력을 가하여 제1 바디와 제2 바디 사이에 반투과성 멤브레인을 강하게 밀착 고정시키는 가압 부재를 더 포함할 수 있다.
- [0016] 피드 용액은 저농도 및 저압의 용액이고, 드로우 용액은 고농도 및 고압의 용액이며, 교차흐름 멤브레인 테스트 셀은 반투과성 멤브레인의 압력지연삼투(PRO, Pressure Retarded Osmosis) 성능 및 특성 평가용일 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 교차흐름 멤브레인 테스트 장치는 전술한 교차흐름 멤브레인 테스트 셀과, 교차흐름 멤브레인 테스트 셀의 피드 용액 채널로 저농도 및 저압의 피드 용액을 순환시키는 피드 용액 순환부와, 교차흐름 멤브레인 테스트 셀의 드로우 용액 채널로 고농도 및 고압의 드로우 용액을 순환시키는 드로우 용액 순환부를 포함할 수 있다.
- [0018] 피드 용액 순환부는 저압 펌프가 설치된 피드 용액 공급관을 포함할 수 있고, 드로우 용액 순환부는 저압 펌프가 설치된 제1 공급관과 고압 펌프가 설치된 제2 공급관이 병렬로 연결된 드로우 용액 공급관을 포함할 수 있다. 교차흐름 멤브레인 테스트 장치는 정삼투 실험과 역삼투 실험 및 압력지연삼투 실험에 이용될 수 있다.

**발명의 효과**

- [0019] 본 실시예들에 따르면, 드로우 용액의 압력을 최대 60bar 이상까지 높여도 반투과성 멤브레인의 변형이나 파손이 발생하지 않는다. 따라서 PRO 공정에 적용되는 압력 조건보다 높은 압력 조건에서도 반투과성 멤브레인의 PRO 성능(수 플럭스와 전력밀도)을 측정할 수 있으며, 반투과성 멤브레인의 특성인 수 투과도와 염 투과도 등을 역삼투(RO) 실험을 통해 용이하게 측정할 수 있어 반투과성 멤브레인의 성능 및 특성 평가를 원활하게 수행할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0020] 도 1a는 본 발명의 제1 실시예에 따른 교차흐름 멤브레인 테스트 셀의 사시도이다.
- 도 1b는 도 1a에 도시한 교차흐름 멤브레인 테스트 셀 중 제1 및 제2 바디의 분해 사시도이다.
- 도 2는 도 1b에 도시한 피드 용액 채널과 드로우 용액 채널 및 실링부재의 평면도이다.
- 도 3a와 도 3b는 각각 도 1의 I-I 선과 II-II 선을 기준으로 절개한 교차흐름 멤브레인 테스트 셀의 단면도이다.
- 도 4는 트리코 직물 부재로 구성된 제1 스페이서의 확대 사진이다.
- 도 5는 그물 타입 부재로 구성된 제2 스페이서의 확대 사진이다.
- 도 6a는 피드 용액 채널과 드로우 용액 채널이 같은 크기로 형성된 비교예의 테스트 셀을 나타낸 단면도이다.
- 도 6b는 도 6a의 C 부분을 나타낸 확대 단면도이다.
- 도 7은 본 발명의 제2 실시예에 따른 교차흐름 멤브레인 테스트 셀 중 피드 용액 채널과 드로우 용액 채널 및 실링부재의 평면도이다.

도 8a와 도 8b는 각각 도 7의 III-III선과 IV-IV선을 기준으로 절개한 테스트 셀의 단면도이다.

도 9는 본 발명의 제3 실시예에 따른 교차흐름 멤브레인 테스트 셀 중 피드 용액 채널과 드로우 용액 채널 및 실링부재의 평면도이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 교차흐름 멤브레인 테스트 장치의 구성도이다.

도 11은 도 10의 교차흐름 멤브레인 테스트 장치를 이용한 반투과성 멤브레인의 수 투과도 및 염 투과도 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

도 12는 도 10의 교차흐름 멤브레인 테스트 장치를 이용한 반투과성 멤브레인의 압력지연삼투 성능 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

도 13은 도 10의 교차흐름 멤브레인 테스트 장치를 이용한 실제 실험 후 반투과성 멤브레인을 촬영한 사진이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0021] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.
- [0022] 도 1a는 본 발명의 제1 실시예에 따른 교차흐름 멤브레인 테스트 셀(이하, '테스트 셀'이라 한다)의 사시도이고, 도 1b는 도 1a에 도시한 테스트 셀 중 제1 및 제2 바디의 분해 사시도이다. 도 2는 도 1b에 도시한 피드 용액 채널과 드로우 용액 채널 및 실링부재의 평면도이고, 도 3a와 도 3b는 각각 도 1의 I-I 선과 II-II 선을 기준으로 절개한 테스트 셀의 단면도이다.
- [0023] 도 1a 내지 도 3b를 참고하면, 제1 실시예의 테스트 셀(100)은 반투과성 멤브레인(10)의 일면과 접하며 피드 용액 채널(20)을 형성하는 제1 바디(41)와, 반투과성 멤브레인(10)의 반대면과 접하며 드로우 용액 채널(30)을 형성하는 제2 바디(42)와, 제1 및 제2 바디(41, 42)에 각각 투입된 피드 용액과 드로우 용액의 누설을 방지하는 실링부재(51, 52)를 포함한다.
- [0024] 또한, 테스트 셀(100)은 제1 바디(41)와 제2 바디(42)에 압력을 가하여 제1 바디(41)와 제2 바디(42) 사이에 반투과성 멤브레인(10)을 강하게 밀착 고정시키는 가압부재(60)를 더 포함할 수 있다.
- [0025] 제1 실시예의 테스트 셀(100)은 반투과성 멤브레인(10)의 압력지연삼투(PRO) 성능(수 플럭와 전력밀도) 및 특성(수 투과도 및 염 투과도 등) 평가를 위한 테스트 셀일 수 있다. 그러나 본 실시예의 테스트 셀(100)은 전술한 용도에 한정되지 않으며, 다른 삼투 공정(정삼투 공정 및 역삼투 공정)에 사용되는 반투과성 멤브레인(10)의 성능 및 특성 평가에도 용이하게 이용될 수 있다.
- [0026] 제1 및 제2 바디(41, 42)는 대략적인 직육면체 형상으로서 금속이나 엔지니어링 플라스틱 등으로 제작될 수 있다. 제1 및 제2 바디(41, 42)는 반투과성 멤브레인(10)과 접하는 평평한 내면을 가지며, 실험에 사용될 반투과성 멤브레인(10)은 제1 및 제2 바디(41, 42)의 내면과 같은 크기로 절단될 수 있다.
- [0027] 제1 바디(41)는 내면 중앙에 오목한 피드 용액 채널(20)을 형성한다. 피드 용액 채널(20)은 제1 방향에 따른 길이와 제2 방향에 따른 폭을 갖는 대략적인 직육면체 형상으로 이루어지며, 길이 방향(제1 방향)에 따른 양단이 수직 개구(25)를 통해 제1 인렛(21)과 제1 아웃렛(22)에 각각 연결된다. 피드 용액은 저농도 용액으로서 제1 인렛(21)을 통해 피드 용액 채널(20)에 투입되어 반투과성 멤브레인(10)과 접촉한다.
- [0028] 제2 바디(42)는 내면 중앙에 오목한 드로우 용액 채널(30)을 형성한다. 드로우 용액 채널(30) 또한 제1 방향에 따른 길이와 제2 방향에 따른 폭을 갖는 대략적인 직육면체 형상으로 이루어지고, 길이 방향(제1 방향)에 따른 양단이 수직 개구(35)를 통해 제2 인렛(31)과 제2 아웃렛(32)에 각각 연결된다. 드로우 용액은 고농도 용액으로서 제2 인렛(31)을 통해 드로우 용액 채널(30)에 투입되어 반투과성 멤브레인(10)과 접촉한다.
- [0029] 제1 인렛(21)은 제2 인렛(31)과 같은 측에 위치하고, 제1 아웃렛(22)은 제2 아웃렛(32)과 같은 측에 위치한다. 따라서 반투과성 멤브레인(10)의 테스트 과정에서 피드 용액과 드로우 용액은 반투과성 멤브레인(10)의 양측에서 서로 같은 방향으로 흐르게 된다. 반투과성 멤브레인(10)이 PRO 공정용인 경우, 테스트 과정에서 드로우 용액의 압력은 피드 용액의 압력보다 높으며 그 압력 차는 두 용액의 삼투압 차이보다는 낮게 운전한다.
- [0030] 테스트 셀(100)은 피드 용액 채널(20)에 삽입되는 제1 스페이서(26)와, 드로우 용액 채널(30)에 삽입되는 제2 스페이서(36)를 포함한다. 제1 스페이서(26)와 제2 스페이서(36)는 각각 피드 용액 채널(20) 및 드로우 용액 채널(30)의 길이 방향을 따라 배치되어 테스트 셀(100)의 길이 방향을 따라 위치한다.

널(30)과 같은 면적으로 형성될 수 있다. 피드 용액 채널(20)과 드로우 용액 채널(30) 각각의 깊이는 제1 스페이서(26) 및 제2 스페이서(36) 각각의 두께에 따라 변할 수 있다. 다른 한편으로, 피드 용액 채널(20) 및 드로우 용액 채널(30)의 깊이를 고려하여 제1 및 제2 스페이서(26, 36)를 여러장 채울 수도 있다.

- [0031] 제1 및 제2 스페이서(26, 36)는 반투과성 멤브레인(10)을 지지하는 기능을 하며, 이와 더불어 드로우 용액 측에 압력이 가해질 경우 반투과성 멤브레인(10)이 피드 용액 채널(20)의 벽에 들러붙지 않도록 하여 피드 용액의 흐름이 방해되지 않도록 한다. 즉, 스페이서(26, 36)의 내부 기공을 통해 용액이 흐르며, 피드 용액과 드로우 용액이 흐를 때 난류를 생성하여 반투과성 멤브레인(10)의 표면농도와 벌크농도(bulk concentration, 반투과성 멤브레인의 표면에서 멀리 떨어져 있는 부분의 농도) 사이의 분극 현상을 줄여 삼투압 차이를 유지하는 기능을 한다.
- [0032] 제1 스페이서(26)는 촘촘하게 직조된 트리코트 직물 부재로 구성될 수 있다. 도 4에 트리코트 직물 부재로 구성된 제1 스페이서의 확대 사진을 나타내었다. 제2 스페이서(36)는 제1 스페이서(26)보다 성긴 그물(net) 타입의 부재로 구성될 수 있다. 도 5에 그물 타입 부재로 구성된 제2 스페이서의 확대 사진을 나타내었다.
- [0033] 반투과성 멤브레인(10)의 테스트 과정에서 드로우 용액에는 소정의 압력이 가해지므로 제1 스페이서(26)는 조밀한 구조로 형성되어야 반투과성 멤브레인(10)을 변형시키지 않는다. 제1 및 제2 스페이서(26, 36)는 도 4 및 도 5에 도시한 예시로 한정되지 않으며, 다른 형태의 기공을 가지는 다양한 부재로 구성될 수 있다.
- [0034] 도 3a와 도 3b를 참고하면, 반투과성 멤브레인(10)을 사이에 두고 위치하는 피드 용액 채널(20)과 드로우 용액 채널(30)은 비대칭 형상으로서, 드로우 용액 채널(30)이 피드 용액 채널(20)보다 작게 형성된다. 제1 실시예에서 드로우 용액 채널(30)은 피드 용액 채널(20)과 같은 폭을 가지나(도 3b), 피드 용액 채널(20)보다 작은 길이로 형성된다(도 3a).
- [0035] 드로우 용액 채널(30)은 폭 방향을 따라 피드 용액 채널(20)과 중첩되고, 길이 방향을 따라 그 전체가 피드 용액 채널(20)과 중첩된다. 따라서 길이 방향에 따른 드로우 용액 채널(30)의 양측 단부는 길이 방향에 따른 피드 용액 채널(20)의 양측 단부로부터 테스트 셀(100)의 중앙을 향해 이격되어 위치한다. 즉 드로우 용액 채널(30)의 입구 및 출구 부분은 피드 용액 채널(20)의 입구 및 출구 부분과 어긋나게 위치한다. 여기서, 입구 및 출구 부분은 인렛 및 아웃렛과 각각 연결되는 부분을 의미한다.
- [0036] 실링부재(51, 52)는 제1 바디(41)의 내면에서 피드 용액 채널(20)을 둘러싸는 제1 실링부재(51)와, 제2 바디(42)의 내면에서 드로우 용액 채널(30)을 둘러싸는 제2 실링부재(52)를 포함한다. 제1 및 제2 실링부재(51, 52)는 고무 소재의 오-링이며, 반투과성 멤브레인(10)에 밀착되어 피드 용액과 드로우 용액의 누설을 방지한다.
- [0037] 드로우 용액 채널(30)에는 가압된 드로우 용액이 투입되므로 제2 실링부재(52)는 드로우 용액 채널(30)에 가깝게 위치하고, 드로우 용액 채널(30)의 둘레 방향을 따라 두 겹의 제2 실링부재(52)가 배치되어 밀폐 기능을 강화시킬 수 있다. 이때 제2 실링부재(52)는 피드 용액 채널(20)의 입구 및 출구 부분보다 안쪽에 위치하여 피드 용액 채널(20)의 입구 및 출구 부분에서 제2 실링부재(52)에 의한 반투과성 멤브레인(10)의 변형이 생기지 않도록 한다.
- [0038] 피드 용액은 압력이 크게 가해지지 않기 때문에 제1 실링부재(51)는 피드 용액 채널(20)로부터 비교적 멀리 배치되어 피드 용액 채널(20) 및 두 겹의 제2 실링부재(52)를 모두 둘러싸도록 배치될 수 있다. 물론 도 2와 다르게 제1 실링부재(51)는 피드 용액 채널(20)과 폭 방향을 따라 가깝게 위치하여 밀폐 기능을 강화시킬 수도 있다. 제1 및 제2 실링부재(51, 52)의 위치와 개수는 도시한 예로 한정되지 않는다.
- [0039] 제1 및 제2 바디(41, 42)와 반투과성 멤브레인(10)은 가압부재(60)에 의해 일체로 조립될 수 있다. 가압부재(60)는 일단이 제2 바디(42)에 고정되고 제2 바디(42)와 제1 바디(41)를 관통하는 복수의 볼트(61)와, 제1 바디(41)의 외측에서 복수의 볼트(61)에 각각 체결되는 복수의 너트(62)를 포함할 수 있다. 너트(62)의 조임 정도에 따라 제1 및 제2 바디(41, 42)의 가압 정도를 조절한다.
- [0040] 볼트(61)의 일단은 제1 바디(41)에 고정될 수 있고, 너트(62)는 제2 바디(42)의 외측에서 볼트(61)에 체결될 수도 있다. 가압부재(60)는 볼트-너트 조립체 이외의 다른 기계적 구성으로 이루어질 수도 있다.
- [0041] 도 3a를 참고하면, 테스트 과정에서 제1 인렛(21)을 통해 피드 용액 채널(20)로 피드 용액이 투입되고, 제2 인렛(31)을 통해 드로우 용액 채널(30)로 가압된 드로우 용액이 투입된다. 투입된 피드 용액의 용매(물)는 삼투압 차에 의해 반투과성 멤브레인(10)을 통과해 드로우 용액으로 이동하게 되며, 드로우 용액의 압력을 점진적으로 증가시키면서 반투과성 멤브레인(10)의 수 플럭스(water flux, 단위 면적당 투과된 유량)를 측정한다.

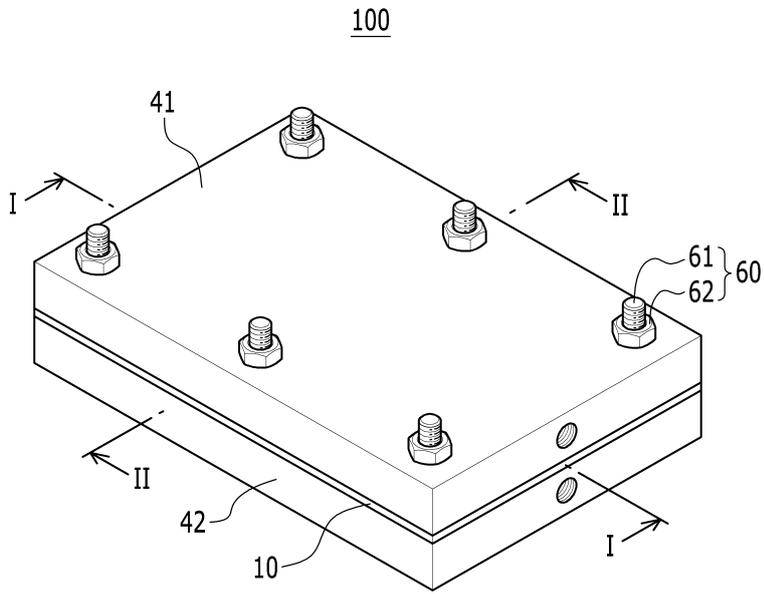
- [0042] 전술한 테스트 과정에서 높은 압력의 드로우 용액은 드로우 용액 채널(30)과 피드 용액 채널(20)이 마주하는 부분에서 반투과성 멤브레인(10)을 강하게 밀게 된다. 도 3a에서 드로우 용액이 반투과성 멤브레인(10)을 미는 방향을 흰색 화살표로 도시하였다.
- [0043] 제1 실시예의 테스트 셀(100)에서 드로우 용액 채널(30)의 길이는 피드 용액 채널(20)의 길이보다 작으므로, 드로우 용액 채널(30)의 입구 부분과 출구 부분에서 반투과성 멤브레인(10)은 제1 스페이서(26)와 제1 바디(41)에 의해 견고하게 지지된다. 따라서 반투과성 멤브레인(10)은 드로우 용액이 가하는 강한 압력 조건에서도 변형되거나 찢어지지 않는다.
- [0044] 도 6a는 피드 용액 채널과 드로우 용액 채널이 같은 길이로 형성된 비교예의 테스트 셀을 나타낸 단면도이고, 도 6b는 도 6a의 C 부분을 나타낸 확대 단면도이다. 편의상 제1 실시예의 테스트 셀과 같은 부재에 대해서는 같은 도면 부호를 사용한다.
- [0045] 도 6a와 도 6b를 참고하면, 비교예의 테스트 셀(110)에서 제1 인렛(21)과 제2 인렛(31)은 같은 지점에서 피드 용액 채널(20) 및 드로우 용액 채널(30)에 각각 연결되고, 제1 아웃렛(22)과 제2 아웃렛(32) 또한 같은 지점에서 피드 용액 채널(20) 및 드로우 용액 채널(30)에 각각 연결된다.
- [0046] 반투과성 멤브레인(10)에 강한 압력이 미치는 드로우 용액 채널(30)의 입구 부분과 출구 부분 각각에서 반투과성 멤브레인(10)은 제1 스페이서(26)에 의해서만 지지된다. 제1 스페이서(26) 자체로는 강한 압력을 지지할 수 없고, 제1 스페이서(26)도 압력에 의해 쉽게 변형된다.
- [0047] 따라서 비교예의 테스트 셀(110)에서는 드로우 용액의 압력에 의해 드로우 용액 채널(30)의 입구 부분과 출구 부분에서 반투과성 멤브레인(10)이 쉽게 변형 및 파손되며, 특히 PRO 공정에 적용되는 수압보다 낮은 조건에서도 반투과성 멤브레인(10)이 쉽게 변형 및 파손되는 결과를 보이고 있다.
- [0048] 그러나 도 3a에 도시한 바와 같이, 제1 실시예의 테스트 셀(100)에서는 드로우 용액 채널(30)의 입구 부분과 출구 부분에서 반투과성 멤브레인(10)이 제1 바디(41)에 의해 견고하게 지지되므로, 드로우 용액의 압력을 PRO 공정에 적용되는 수압보다 높게 설정하여도 반투과성 멤브레인(10)이 변형되거나 파손되지 않는다. 그 결과 다양한 압력 조건에서 반투과성 멤브레인(10)의 수 플럭스를 원활하게 측정할 수 있다.
- [0049] 도 7은 본 발명의 제2 실시예에 따른 테스트 셀 중 피드 용액 채널과 드로우 용액 채널 및 실링부재의 평면도이고, 도 8a와 도 8b는 각각 도 7의 III-III선과 IV-IV선을 기준으로 절개한 테스트 셀의 단면도이다.
- [0050] 도 7 내지 도 8b를 참고하면, 제2 실시예의 테스트 셀(200)은 피드 용액 채널(201)과 드로우 용액 채널(301)이 서로 교차하는 방향을 따라 길게 형성되는 것을 제외하고 전술한 제1 실시예와 유사한 구성으로 이루어진다. 제1 실시예와 같은 부재에 대해서는 같은 도면 부호를 사용 하며, 아래에서는 제1 실시예와 다른 구성에 대해 주로 설명한다.
- [0051] 피드 용액 채널(201)은 제1 방향을 따라 길게 형성되고, 제1 방향에 따른 양단이 수직 개구(25)를 통해 제1 인렛(21) 및 제1 아웃렛(22)에 각각 연결되어 입구 및 출구 부분을 이룬다. 드로우 용액 채널(301)은 제1 방향과 교차하는(예를 들어 직교하는) 제2 방향을 따라 길게 형성되고, 제2 방향에 따른 양단이 수직 개구(35)를 통해 제2 인렛(31) 및 제2 아웃렛(32)에 각각 연결되어 입구 및 출구 부분을 이룬다.
- [0052] 이때 드로우 용액 채널(301)의 입구 및 출구 부분은 피드 용액 채널(201)과 중첩되지 않으며, 피드 용액 채널(201)의 외측에 대응하여 위치한다. 즉 드로우 용액 채널(301)의 입구 및 출구 부분은 피드 용액 채널(201)로부터 테스트 셀(200)의 외측을 향해 이격되어 위치한다. 따라서 드로우 용액 채널(301)의 입구 및 출구 부분은 피드 용액 채널(201)의 입구 및 출구 부분과 서로 직교하는 상태로 어긋나게 위치한다.
- [0053] 피드 용액 채널(201)과 드로우 용액 채널(301)은 같은 길이와 같은 폭을 가질 수 있으며, 두 채널(201, 301)이 서로 직교하도록 구성됨에 따라 테스트 과정에서 피드 용액과 드로우 용액은 서로 교차하는 방향으로 흐른다. 두 채널(201, 301)이 서로 마주하는 교차 부분에서 피드 용액의 용매(물)는 반투과성 멤브레인(10)을 통과해 가압된 드로우 용액으로 이동하고, 드로우 용액의 압력을 점진적으로 증가시키면서 반투과성 멤브레인(10)의 수 플럭스를 측정하게 된다.
- [0054] 제2 실시예에서는 드로우 용액 채널(301)과 피드 용액 채널(201)이 같은 크기를 가지면서도 길이 방향을 서로 교차시킴에 따라 두 채널(201, 301)의 입구 및 출구 부분을 서로 어긋나게 배치하여 반투과성 멤브레인(10)이 변형되거나 찢어지는 것을 방지할 수 있다.

- [0055] 도 9는 본 발명의 제3 실시예에 따른 테스트 셀 중 피드 용액 채널과 드로우 용액 채널 및 실링부재의 평면도이다.
- [0056] 도 9를 참고하면, 제3 실시예의 테스트 셀(300)은 피드 용액 채널(202)의 폭이 드로우 용액 채널(302)의 폭보다 큰 것을 제외하고 전술한 제1 실시예와 같은 구성으로 이루어진다. 제1 실시예와 같은 부재에 대해서는 같은 도면 부호를 사용하며, 아래에서는 제1 실시예와 다른 구성에 대해 주로 설명한다.
- [0057] 피드 용액 채널(202)은 폭과 길이 모두에서 드로우 용액 채널(302)보다 크게 형성되며, 드로우 용액 채널(302)은 그 전체가 피드 용액 채널(202)과 중첩된다. 드로우 용액 채널(302)을 둘러싸는 제2 실링부재(52) 또한 피드 용액 채널(202)과 중첩되고, 제1 실링부재(51)는 피드 용액 채널(202)을 둘러싼다.
- [0058] 제3 실시예의 테스트 셀(300)은 피드 용액의 유량을 증가시키는데 효과적이므로, 제3 실시예의 테스트 셀(300)을 이용하면 피드 용액의 유량을 변화시키면서 반투과성 멤브레인(10)의 특성 실험을 진행할 수 있다.
- [0059] 전술한 제1 실시예 및 제3 실시예에서 삼투압 작용이 일어나는 반투과성 멤브레인(10)의 유효 면적은 두 용액이 반투과성 멤브레인(10)을 통해 접하고 있는 드로우 용액 채널(30, 302)의 면적과 동일하며, 제2 실시예에서 반투과성 멤브레인(10)의 유효 면적은 피드 용액 채널(201)과 드로우 용액 채널(301)이 교차하는(겹치는) 부분의 면적과 동일하다. 전술한 세가지 실시예 모두에서 드로우 용액 채널(30, 301, 302)의 입/출구 부분에서 반투과성 멤브레인(10)은 단단한 제1 바디(41)와 삽입된 제1 스페이서(26)에 의해 견고하게 지지되므로 큰 힘을 받더라도 변형이나 파손이 발생하지 않는다.
- [0060] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 교차흐름 멤브레인 테스트 장치(이하, '테스트 장치'라 한다)의 구성도이다.
- [0061] 도 10을 참고하면, 본 실시예의 테스트 장치(400)는 전술한 제1 실시예 내지 제3 실시예 중 어느 하나의 테스트 셀(100,200,300)과, 테스트 셀(100,200,300)의 피드 용액 채널로 피드 용액을 순환시키는 피드 용액 순환부(70)와, 테스트 셀(100,200,300)의 드로우 용액 채널로 드로우 용액을 순환시키는 드로우 용액 순환부(80)를 포함한다.
- [0062] 피드 용액 순환부(70)는 피드 용액 탱크(71)와, 피드 용액 탱크(71)와 테스트 셀(100,200,300)의 제1 인렛을 연결하는 피드 용액 공급관(72)과, 테스트 셀(100,200,300)의 제1 아웃렛과 피드 용액 탱크(71)를 연결하는 피드 용액 배출관(73)을 포함한다. 피드 용액 공급관(72)에는 저압 펌프(74)와 압력 게이지(75)가 설치될 수 있고, 피드 용액 배출관(73)에는 유량계(76)가 설치될 수 있다.
- [0063] 드로우 용액 순환부(80)는 드로우 용액 탱크(81)와, 드로우 용액 탱크(81)와 테스트 셀(100,200,300)의 제2 인렛을 연결하는 드로우 용액 공급관(82)과, 테스트 셀(100,200,300)의 제2 아웃렛과 드로우 용액 탱크(81)를 연결하는 드로우 용액 배출관(83)을 포함한다.
- [0064] 저압 펌프(831)가 설치된 제1 공급관(821)과 고압 펌프(832)가 설치된 제2 공급관(822)이 병렬로 연결되어 드로우 용액 공급관(82)을 구성하며, 제1 공급관(821)과 제2 공급관(822) 각각에 압력계(84)와 볼 밸브(851)가 설치될 수 있다. 저압 펌프(831)를 설치함에 따라 피드 용액과 드로우 용액 간에 압력 차이가 없는 정삼투(F0) 조건에서의 실험도 가능하다. 제2 공급관(822)에 회수관이 연결되고, 회수관에 니들 밸브(852)가 설치될 수 있다. 드로우 용액 배출관(83) 상에 볼 밸브(853)와 배압 밸브(854)가 병렬로 설치될 수 있고, 유량계(86)도 설치될 수 있다.
- [0065] 드로우 용액 탱크(81)에 온도 조절기(87)가 연결 설치되어 드로우 용액의 온도를 제어하며, 피드 용액 공급관(72)이 드로우 용액 탱크(81)를 경유하여 피드 용액의 온도를 드로우 용액의 온도에 맞출 수 있다. 테스트 장치(400)의 모든 기계 부품들은 제어부(90)와 전기적으로 연결되어 제어부(90)의 출력 신호에 의해 작동한다.
- [0066] 전술한 구성의 테스트 장치(400)에서는 피드 용액과 드로우 용액 간의 압력 차이가 없는 정삼투(F0) 실험과, 피드 용액과 드로우 용액 간의 압력 차이가 삼투압 차이보다 큰 역삼투(R0) 실험과, 피드 용액과 드로우 용액 간의 압력 차이가 삼투압 차이보다 작은 압력지연삼투(PRO) 실험이 모두 가능하다. 정삼투 실험의 경우 두 용액을 순환시키기 위해 두 개의 저압 펌프(74, 831)를 사용하며, PRO 실험의 경우 저압 펌프(74)와 고압 펌프(832)를 사용하여 운전한다. 역삼투 실험의 경우 피드 용액 채널에는 순수를 사용하여 순환시키고 드로우 용액 채널에는 순수 또는 일정한 농도의 염화나트륨 용액을 고압 펌프(832)를 사용하여 운전한다.
- [0067] 도 11은 도 10의 테스트 장치를 이용한 반투과성 멤브레인의 수 투과도 및 염 투과도 실험 결과를 나타낸 그래

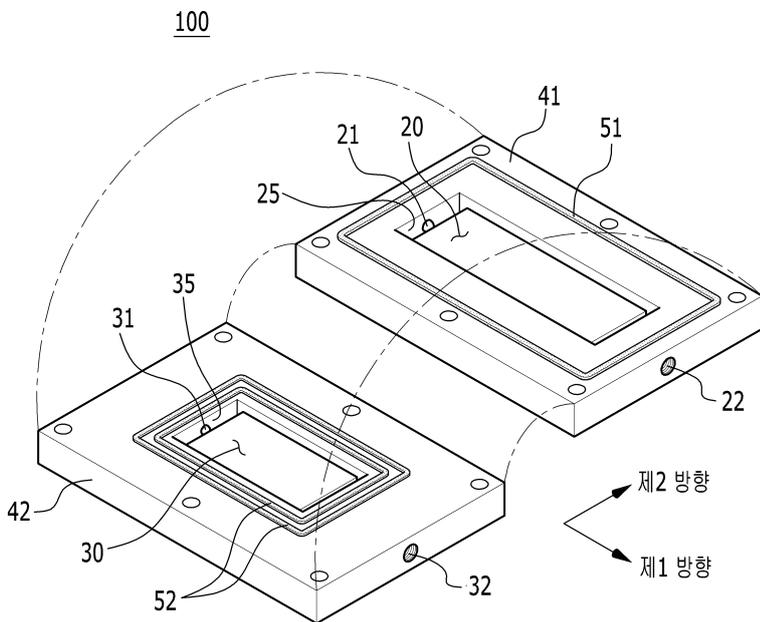


도면

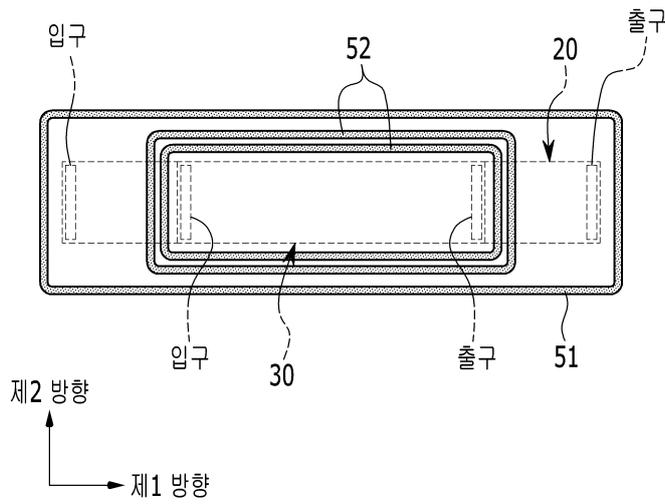
도면1a



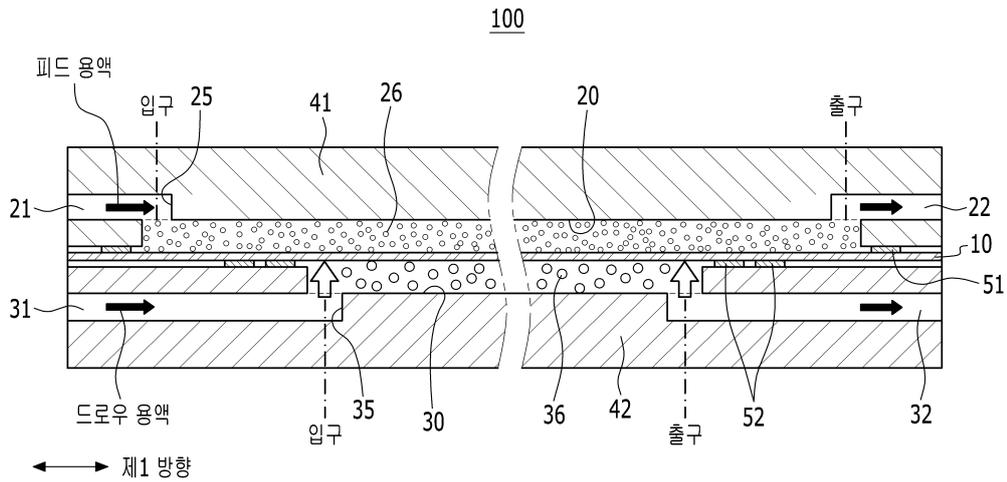
도면1b



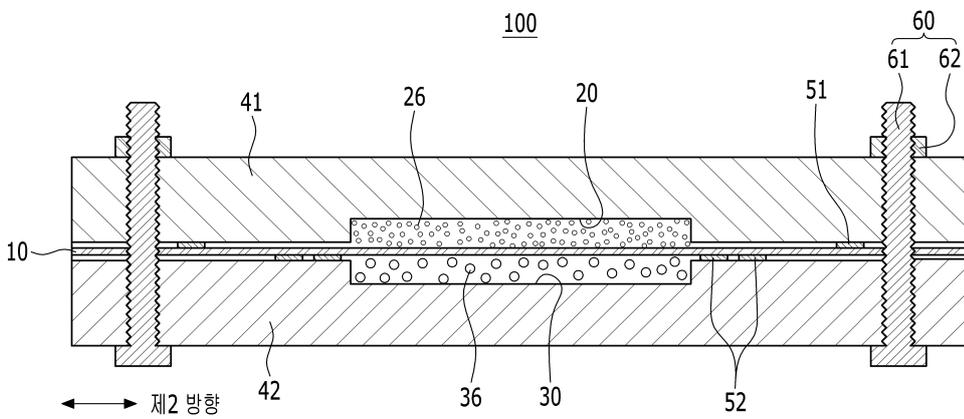
도면2



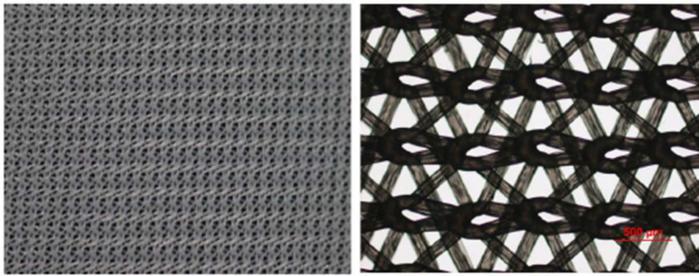
도면3a



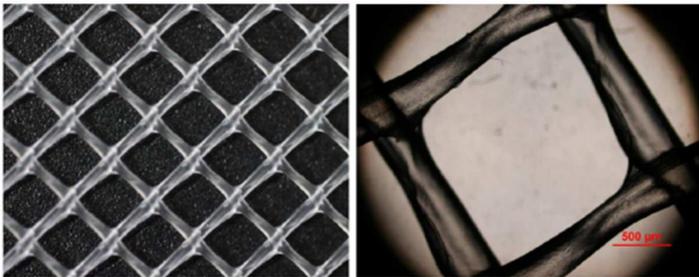
도면3b



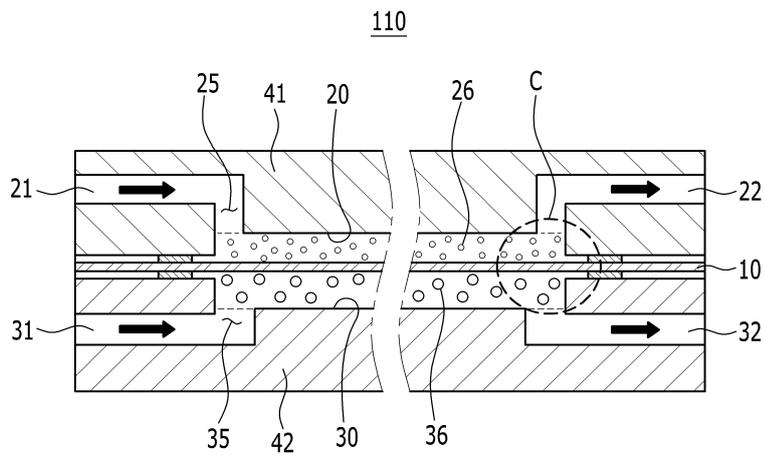
도면4



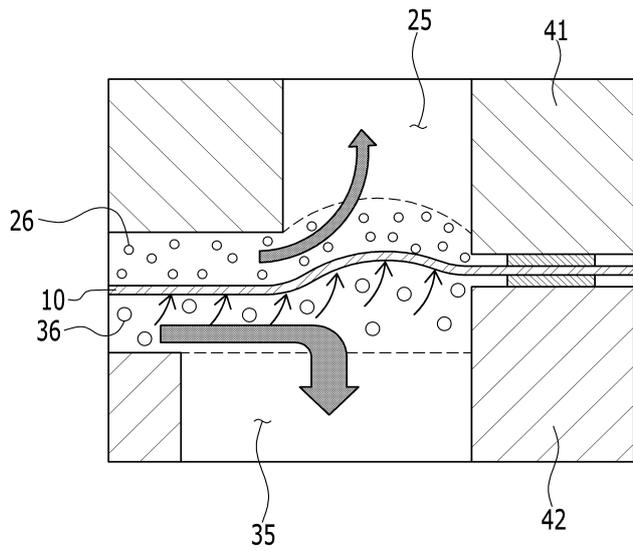
도면5



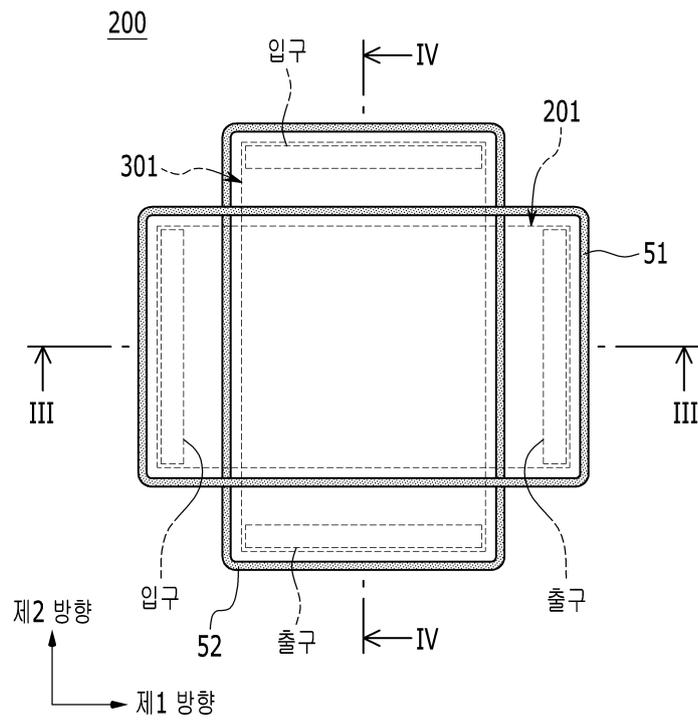
도면6a



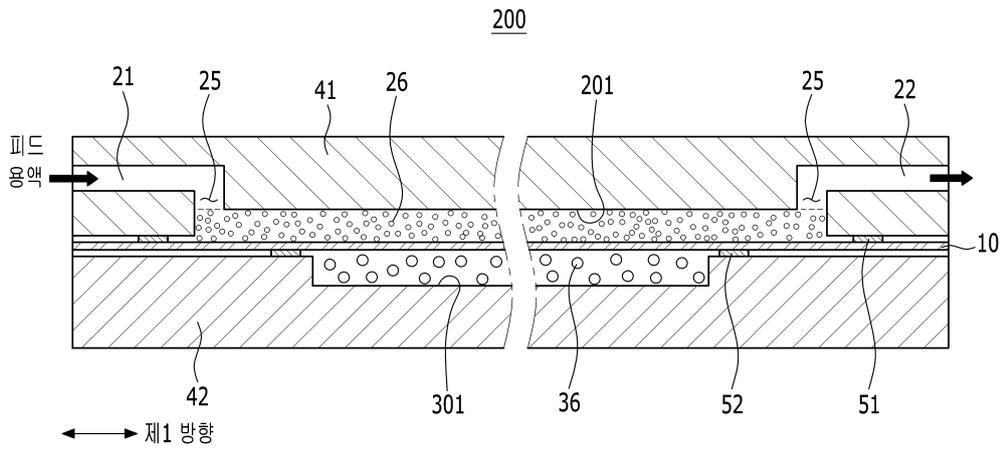
도면6b



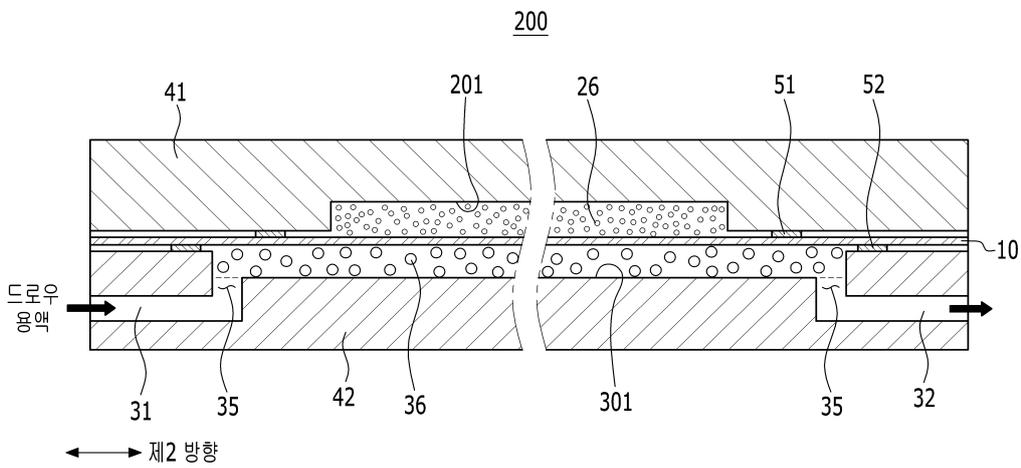
도면7



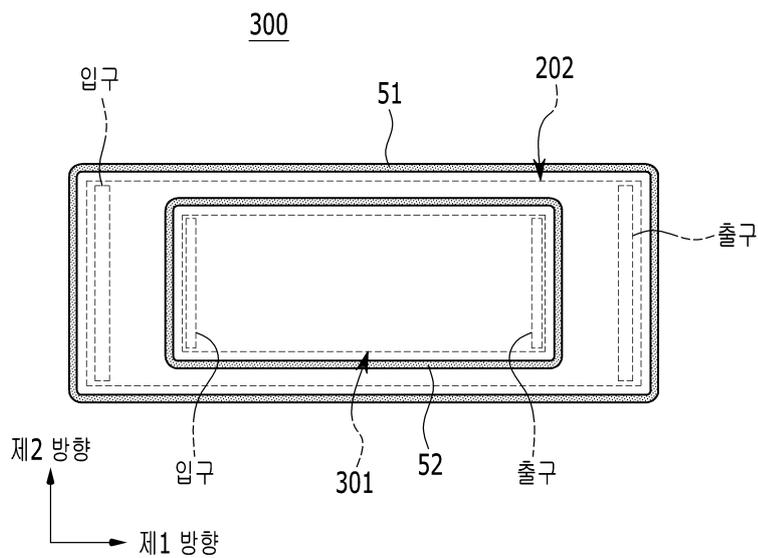
도면8a



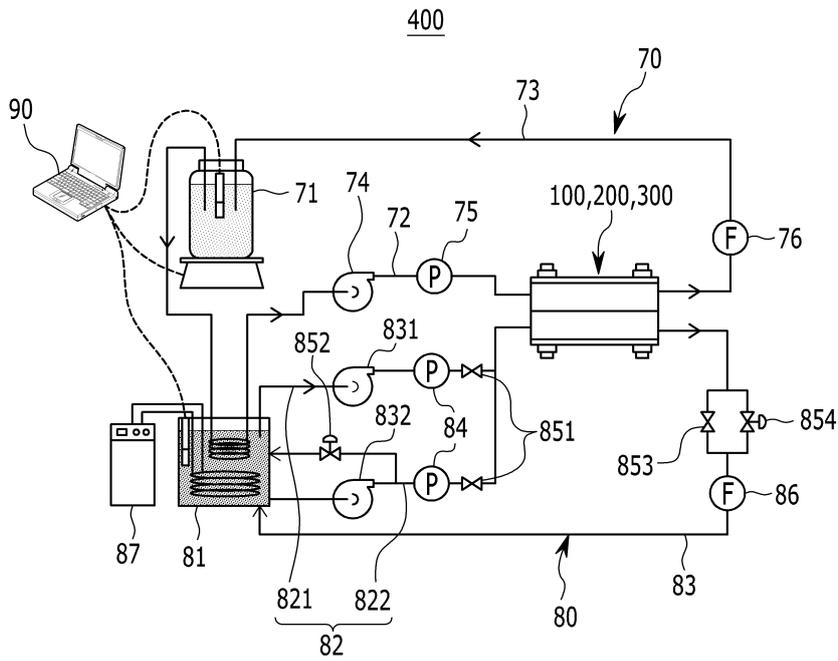
도면8b



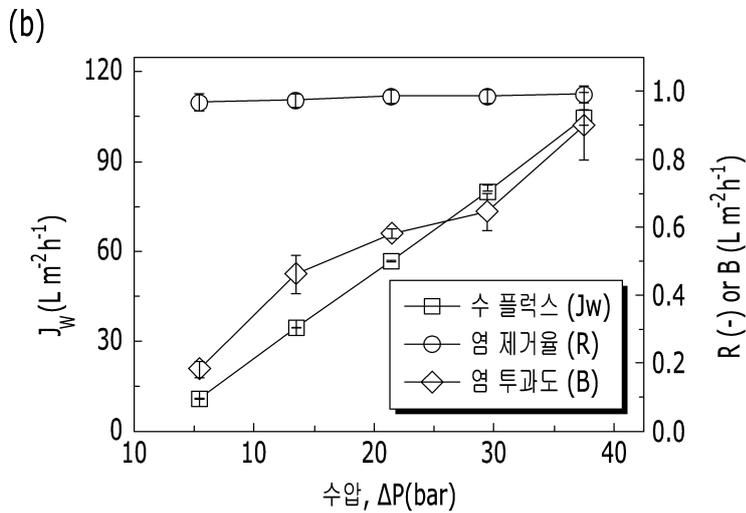
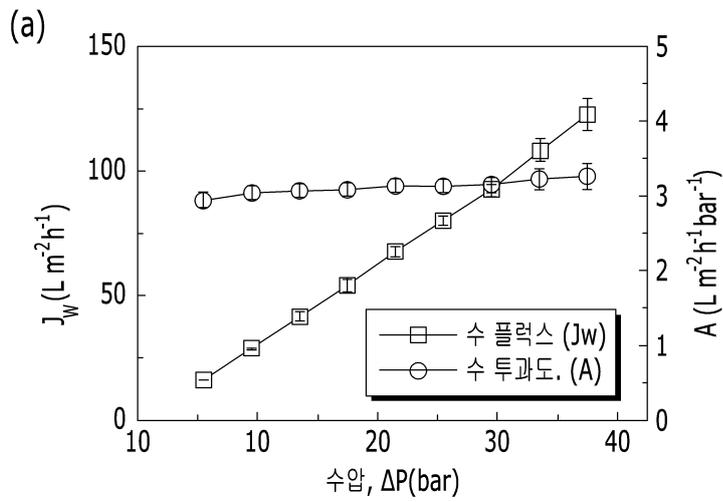
도면9



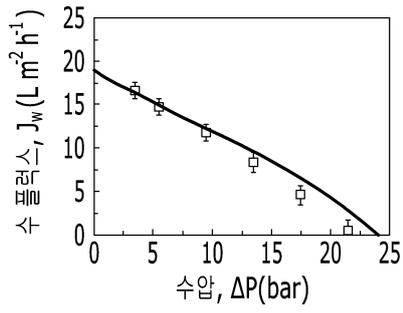
도면10



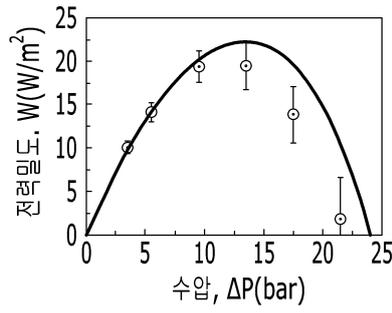
도면11



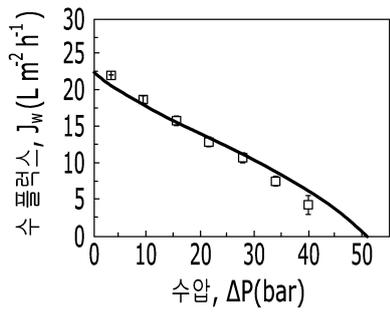
도면12



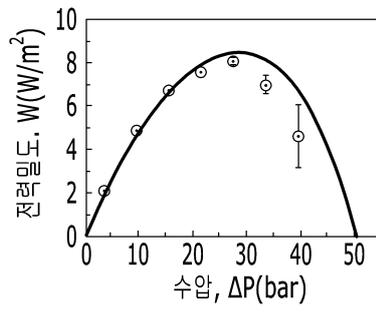
(a)



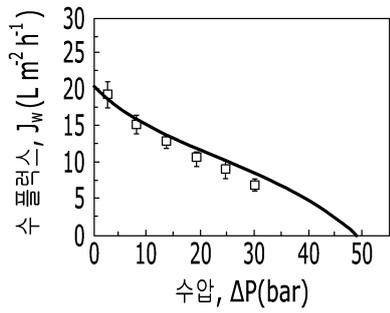
(b)



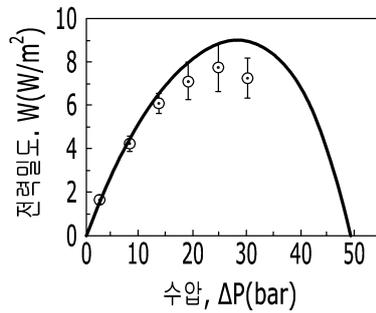
(c)



(d)

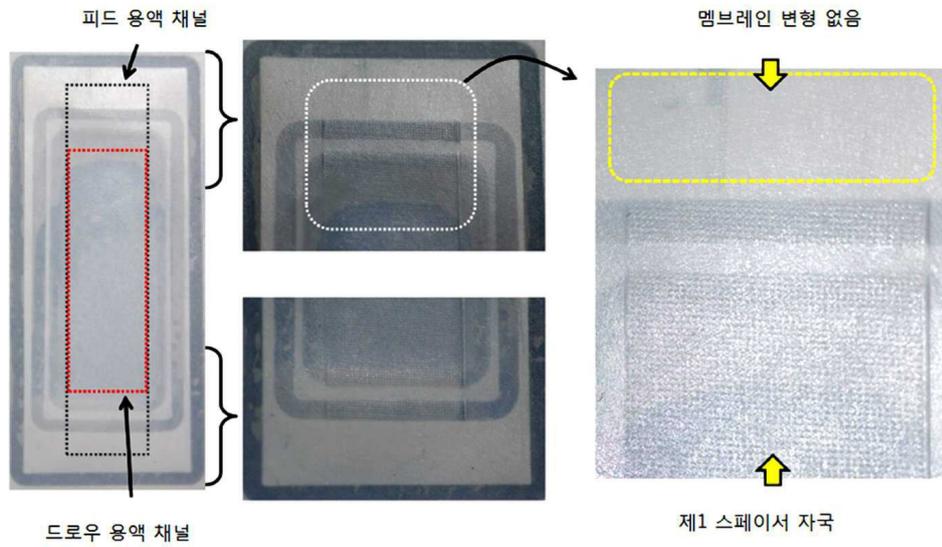


(e)



(f)

도면13



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 제13항

【변경전】

교차흐름 테스트 장치

【변경후】

교차흐름 멤브레인 테스트 장치

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 제13항

【변경전】

저압 펌프가

【변경후】

저압 펌프가