

명세서

발명의 명칭: 해수담수화 압력지연삼투 기술을 이용한 복합 담수화 시스템

기술분야

- [1] 본 발명은 해수담수화 압력지연삼투 기술을 이용한 복합 담수화 시스템에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 먹는 물 또는 공업용수 등의 수요가 지속적으로 늘어나면서, 해수담수화 기술의 중요성이 증대되고 있다. 또한, 지속적인 인구 증가 및 관련 산업의 성장 등의 이유로 경제적으로 실현 가능하고 규모가 큰 해수담수화 기술은 특히 중요하다.
- [3] 멤브레인 기반의 담수화 공정은 열적 담수화 공정에 비하여 에너지 소모가 적기는 하지만 여전히 에너지 소모가 높은 수준이고, 친환경적이고 경제적으로 실현 가능한 담수화 공정을 위해서는 에너지 소모율이 지금보다 더 낮아질 필요가 있다.
- [4] 이에, 에너지 소모량이 적은 담수화 방법으로, 정삼투 및 압력지연삼투(Pressure-retarded Osmosis, PRO) 공정에서 발생하는 유체 에너지를 적용한 기술을 포함하는 몇 가지 방법들이 개발되어 왔다. 정삼투 기술은 이론적으로 에너지 소모가 작은 메커니즘을 갖지만, 이를 실제로 담수화 공정에 적용한 사례는 찾아볼 수가 없다.
- [5] 정삼투 기술을 담수화 공정에 적용하는 데 있어서 연속적이고 실용적인 공정을 위해서는 유도 용액으로부터 물을 분리하는 기술 및 유도 용액의 회수 기술이 중요하지만, 이러한 기술들은 아직까지 많은 문제점들이 있다.
- [6] 한편, 압력지연삼투 공정 기술은 에너지를 회수하거나 생산할 수 있는 기술로서 각광받고 있다(예를 들어, Statkraft Osmotic Power Pilot Plant, Norway). 그러나, 압력지연삼투 공정 기술의 상업화를 위해서는 최대 에너지 회수 혹은 생성을 위한 혁신적인 기술 개발이 요구되는 실정이다.
- [7] 삼투 프로세스의 구동력은 반투과막에 마주하는 두 개의 수용액 사이의 삼투압력의 차이이다. 수용액의 삼투압은 반트 호프(Van't Hoff) 관계식에 의해 계산될 수 있다.
- [8] $\pi = \theta \cdot v \cdot c \cdot R \cdot T$.
- [9] 여기서, v 는 용질의 담수화 동안 발생된 이온의 개수이고, θ 는 삼투 계수이며, c 는 모든 용질의 농도(moles/l)이고, R 은 보편 기체 상수(0.083145 l.bar/moles.K)이며, T 는 절대 온도(K)이다.
- [10] 삼투압 차이에 의해 반투과막을 통과하는 유수량은 다음 식으로서 주어진다.
- $$J_w = A(\pi_{D,b} - \pi_{F,b})$$

- [11] 여기서, J_w 는 반투과막을 통과하는 유수량이고, A 는 반투과막의 순수 투과성능 계수이며, $\pi_{D,b}$ 및 $\pi_{F,b}$ 는 각각 추출 및 공급 시의 벌크 삼투압이다. (McCutcheon and Elimelech, 2007 참조)
- [12] 압력지연삼투는 두 개의 수용액의 염도 차이에 대한 혼합의 깁스 자유 에너지(Gibbs free energy of mixing)를 이용하여 에너지(파워)를 발생하거나 회수하기 위해 사용된다.
- [13] $-\Delta G_{mix} = RT\{[\sum x_i \ln(\gamma_i x_i)]_M - \theta_A[\sum x_i \ln(\gamma_i x_i)]_A - \theta_B[\sum x_i \ln(\gamma_i x_i)]_B\}$
- [14] 여기서, x_i 는 용액내의 시약(species) i 의 몰분율이고, R 은 기체 상수이며, T 는 온도이고, γ 는 시약의 활동도 계수이다. (Sandler, S. I., 1999, Chemical Engineering Thermodynamics, 3rd ed.; Wiley 참조)
- [15] 압력지연삼투 시스템에 있어서, 일정한 유체압이 고염도 수용액에 가해지며, 저염도 수용액으로부터 계속해서 물이 침투하는 반면, 두 용액의 삼투압 차이는 인가된 유체압보다 더 높다. 고염도 수용액의 압력은 용액의 체적 플럭스가 증가하는 동안에 혼합 깁스 자유 에너지로부터 발생하는 추가 에너지에 의해 보존된다.
- [16] Yip 및 Elimelech (2012)에 의하면, 일정한 압력 압력지연삼투 공정에서 뽑아낼 수 있는 최고 에너지는 해수 및 강물이 추출 및 공급 용액으로 각각 사용될 때, 0.75 kWh/m^3 이다. 그러므로, 압력 및 체적의 관점에서 볼 때, 추출된 혼합 깁스 자유 에너지는 프로세스를 위한 에너지를 발생하거나 압력을 회수하는데 사용될 수 있을 것이다.
- [17] 압력지연삼투 공정 에너지 생산 방식에 있어서, 수용액의 압력 및 체적 플럭스를 이용하여 전력을 생산하기 위해 수차 터빈이 이용될 수 있다. 이 때 최신 펄톤(Pelton) 터빈의 효율이 92%에 이를 수 있다 하더라도, 평균 효율은 일반적으로 90% 정도 수준이며, 제너레이터 등 발전시설을 포함한 전체 효율은 약 80%에 이를 것이다.
- [18] 최근에 역삼투(Reverse Osmosis, RO) 해수담수화 공정에서는 고염도 역삼투막 농축수의 압력을 해수 원수로 전달하여 회수할 수 있는 압력교환장치(pressure exchanger)를 활용한 압력지연삼투 공정 기술이 개발되었다. 압력지연삼투 공정으로부터 발생하는 삼투에너지를 그대로 회수하여 기존의 해수담수화 공정에 적용함으로써 해수담수화에 필요한 에너지 소모량을 크게 줄일 수 있다.
- [19] 역삼투 해수담수화 및 압력지연삼투 공정에 적용이 가능한 등가압력교환장치들(isobaric pressure exchangers)은 효율이 최대 97%에 이른다. 따라서, 이러한 압력교환장치를 활용한 압력 회수 및 전달이 가능한 압력지연삼투 공정을 접목한 해수담수화 복합 공정은 발생된 삼투에너지를 수차 터빈을 통해 전력으로 생산하는 방식보다는 에너지 회수 효율이 높고, 공정 설비 또한 간소화 할 수 있기 때문이다.
- [20] 아울러, 해수담수화 농축수의 염농도가 높아질수록 압력지연삼투 공정 에너지 회수량은 커지며, 고염도 농축수와 삼투에너지를 발생시킬 수 있도록 저염도

하수처리장 방류수 및 하수재이용 시설의 배출수를 사용할 수 있다. 이에, 압력지연삼투 공정을 접목한 해수담수화 및 하수처리 또는 하수재이용 복합 담수화 시설이 요구되고 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [21] 본 발명의 실시예는 하수처리장 방류수를 추가로 처리하는 하수재이용 기수 역삼투(Brackish Water Reverse Osmosis, BWRO) 공정에서 발생한 폐수(배출수)를 역삼투 해수담수화 농축수와 함께 압력지연삼투 공정 원수로 사용하여, 해수 및 기수 역삼투 폐수에 대한 복합적인 수처리가 가능한 압력지연삼투 기술을 이용한 복합 담수화 시스템을 제공하고자 한다.

기술적 해결방법

- [22] 본 발명의 일 측면에 따른 해수담수화 압력지연삼투 기술을 이용한 복합 담수화 시스템은, 해수를 사전 여과 처리하는 전처리 설비; 상기 전처리 설비에서 해수를 공급받아 압력을 높이는 제1 압력교환장치; 상기 제1 압력교환장치에서 공급받은 해수 중 적어도 일부를 공급받아 압력을 높이는 제2 압력교환장치; 상기 제1 압력교환장치에서 공급받은 해수 중 나머지 일부를 가압하는 제1 압력조절장치; 상기 제2 압력교환장치에서 공급받은 해수를 가압하는 제2 압력조절장치; 상기 제1 압력조절장치 및 상기 제2 압력조절장치에서 공급받은 해수를 해수담수화 역삼투막을 통해 염분이 여과된 생성수를 생산하고, 염분이 여과되지 않은 해수역삼투 농축수를 상기 제2 압력교환장치로 전달하는 해수역삼투 설비; 하수처리장 방류수를 공급받아 기수담수화 역삼투막을 통해 여과하고, 여과되지 않은 기수역삼투 농축수를 배출하는 기수역삼투 설비; 및 상기 제2 압력교환장치에서 공급받은 해수역삼투 농축수와 상기 기수역삼투 설비에서 공급받은 기수역삼투 농축수에 대해서, 압력 지연 삼투 공정을 수행하여 여과된 압력지연삼투 생산수를 상기 제1 압력교환장치에 공급하는 압력지연삼투 설비를 포함할 수 있다.
- [23] 또한, 상기 제1 압력교환장치에 공급되는 상기 압력지연삼투 생산수의 유량과, 상기 제1 압력교환장치로 공급되는 상기 해수의 유량은, 서로 동일하게 유지되도록 제어될 수 있다.
- [24] 또한, 상기 제1 압력교환장치에서 압력지연삼투 생산수를 공급받고, 공급받은 상기 압력지연삼투 생산수를 역삼투막을 통해 염분을 여과하여 생성수를 생산하는 역삼투 설비를 더 포함할 수 있다.
- [25] 또한, 상기 제1 압력교환장치의 입구측으로 공급되는 상기 압력지연삼투 생산수의 적어도 일부를 상기 제1 압력교환장치의 출구측으로 안내하는 제1 바이패스관을 더 포함할 수 있다.
- [26] 또한, 상기 압력지연삼투 설비에서 배출되는 상기 압력지연삼투 농축수의 적어도 일부를 상기 제1 압력교환장치로 안내하는 제2 바이패스관을 더 포함할

수 있다.

- [27] 또한, 상기 전처리 설비에서 배출되는 상기 해수의 적어도 일부를 상기 해수역삼투 설비로 안내하는 제3 바이패스관을 더 포함할 수 있다.
- [28] 또한, 상기 제1 압력교환장치에서 배출되는 상기 압력지연삼투 생산수의 적어도 일부를 상기 전처리 설비로 안내하는 제4 바이패스관을 더 포함할 수 있다.
- [29] 또한, 상기 압력지연삼투 설비에서 배출되는 상기 압력지연삼투 농축수는, 상기 전처리 설비로 공급될 수 있다.

발명의 효과

- [30] 본 발명의 실시예에 따르면, 해수의 담수화처리가 이루어지는 압력지연삼투와 같은 삼투 프로세스에 하수처리장 방류수를 처리하는 하수재이용 기수역삼투 공정에서 발생한 기수역삼투 폐수를 적용함으로써, 해수 및 하수처리장 방류수에 대한 복합적인 담수화처리가 가능하다는 효과가 있다.
- [31] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 압력지연삼투(PRO) 설비에 해수역삼투(SWRO) 및 기수역삼투(BWRO)를 연결하여, 해수담수화 및 기수담수화 과정에서 회수되는 에너지의 회수 효율을 극대화할 수 있다는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [32] 도 1은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [33] 도 2는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [34] 도 3은 본 발명의 제 3 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [35] 도 4는 본 발명의 제 4 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [36] 도 5는 본 발명의 제 5 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [37] 도 6은 본 발명의 제 6 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [38] 도 7은 본 발명의 제 7 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [39] 도 8은 본 발명의 제 8 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [40] 이하에서는 본 발명의 사상을 구현하기 위한 구체적인 실시예에 대하여 도면을 참조하여 상세히 설명하도록 한다.
- [41] 아울러 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다.
- [42] 또한, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '연결', '지지', '접속', '공급', '전달', '접촉'된다고 언급된 때에는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결, 지지, 접속, 공급, 전달, 접촉될 수도 있지만 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [43] 본 명세서에서 사용된 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된

것으로 본 발명을 한정하려는 의도로 사용된 것은 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다.

- [44] 또한, 본 명세서에서 상측, 하측, 측면 등의 표현은 도면에 도시를 기준으로 설명한 것이며 해당 대상의 방향이 변경되면 다르게 표현될 수 있음을 미리 밝혀둔다. 마찬가지로 이유로 첨부 도면에 있어서 일부 구성요소는 과장되거나 생략되거나 또는 개략적으로 도시되었으며, 각 구성요소의 크기는 실제 크기를 전적으로 반영하는 것이 아니다.
- [45] 또한, 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 해당 구성요소들은 이와 같은 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 이 용어들은 하나의 구성요소들을 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [46] 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.
- [47] 이하, 도 1 내지 도 8을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 해수담수화 압력지연삼투 기술을 이용한 복합 담수화 시스템의 구체적인 구성에 대하여 설명한다.
- [48] 도 1은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [49] 도 1을 참조하면, 본 발명의 제 1 실시예에 따른 복합 담수화 시스템(1)은, 해수(Seawater) 및 하수처리장 방류수(Treated WWTE)를 공급받아서 담수화 처리를 통해 담수로 전환하는 공정을 수행한다.
- [50] 이를 구현하기 위해, 해수담수화 시스템(1)은 전처리 설비(100), 제 1 압력교환장치(200), 제 2 압력교환장치(300), 해수역삼투(Sea Water Reverse Osmosis, SWRO) 설비(400), 기수역삼투(Brackish Water Reverse Osmosis, BWRO) 설비(500), 역삼투(Reverse Osmosis, RO) 설비(600) 및 압력지연삼투(Pressure-retarded Osmosis, PRO) 설비(900)를 포함할 수 있다.
- [51] 전처리 설비(100)는 가압부상(Dissolved Air Flotation, DAF) 장치(110) 및 해수 한외여과(Ultrafiltration, UF) 장치(120)를 통해 해수의 담수화를 위한 사전 여과 처리(전처리)할 수 있다. DAF 장치(110)는 원수 중의 조류나 가벼운 비중의 입자를 분리하여 제거하는 처리 공정을 수행하는 설비일 수 있다. 해수 UF 장치(120)는 한외여과 방식의 막 분리 공정을 수행하는 설비일 수 있다. 해수 UF 장치(120)는 반투막을 이용하여 용액내의 물질의 크기에 따라 분리하는 방법으로 원수를 여과하여 1차적으로 불순물을 제거하는 공정을 수행한다. DAF 공정과 UF 공정은 당 업계에서 주지의 기술 상식에 해당하므로, 상세한 공정 설명은 생략하기로 한다.
- [52] 사전 처리를 통해 조류 등의 불순물이 제거된 해수는, 제1 압력교환장치(200)에 유입되어 압력을 전달받아 가압될 수 있다. 제1 압력교환장치(200)에 의해 가압된 해수는, 멀티웨이 밸브에 의해 분리되어, 제 2 압력교환장치(300)로

유입되거나, 제1 압력조절장치(810), 가령, 고압펌프로 유입될 수 있다. 제2 압력교환장치(300)에서 가압된 해수는 제2 압력조절장치(820), 가령, 부스터 펌프에 의해 한층 더 가압될 수 있다.

- [53] 제1 압력교환장치(200)는 두 액체의 흐름이 서로 섞이지 않도록 하면서, 압력이 큰 측의 액체 흐름에서부터 압력이 작은 측의 액체 흐름으로 압력을 전달하는 장치를 말한다. 이러한 압력교환장치의 일 예가 공개특허공보 제2014-0092836호에 개시되므로, 이에 대한 자세한 설명은 생략하기로 한다.
- [54] 제1 압력교환장치(200)에 의해 가압된 해수 중 일부는, 제1 압력조절장치(810: 고압펌프)를 통해 송압된 후 SWRO 설비(400)로 유입될 수 있다. 제1 압력교환장치(200)에 의해 가압된 해수 중 나머지 일부는, 제2 압력교환장치(300) 및 제2 압력조절장치(820: 부스터 펌프)를 통해 송압된 후 SWRO 설비(400)로 유입될 수 있다.
- [55] SWRO 설비(400)는 역삼투법에 의해 해수를 담수화하는 설비로 이해될 수 있다. SWRO 설비(400)는 삼투압 이상의 물리적인 압력을 가함으로써, 유입된 해수 중 염분 등의 용질은 거의 투과시키지 않고 물만 투과가 가능한 해수담수화 역삼투막을 포함한다. 예컨대, SWRO 설비(400)는 해수담수화 역삼투막을 통해 생산한 생성수를 생산할 수 있다.
- [56] SWRO 설비(400)를 거쳐서 담수화된 생성수는, 저염도의 음용 가능한 상태로 외부로 배출되므로, 별도로 마련되는 후처리 과정을 거쳐서 음용, 관개 또는 산업용과 같은 다른 용도로 활용될 수 있다.
- [57] SWRO 설비(400)는 해수담수화 역삼투막을 통해 여과되지 않은 SWRO 농축수를 제2 압력교환장치(300)로 전달할 수 있다.
- [58] 제2 압력교환장치(300)는 SWRO 설비(400)로부터 전달받은 SWRO 농축수의 압력을 이용하여, 제1 압력교환장치(200)에서 공급받은 해수에 전달하면서, SWRO 농축수를 감압시킬 수 있다. 감압된 SWRO 농축수는 부스터 펌프 등의 제3 압력조절장치(830)에서 소정 압력으로 가압될 수 있다. 제3 압력조절장치(830)에 의해 가압된 SWRO 농축수는 염도가 높은 유도 용액으로서, PRO 설비(900)로 투입될 수 있다.
- [59] 한편, BWRO 설비(500)는 방류수 UF 장치(510)로부터 하수처리장 방류수를 공급받을 수 있다. 방류수 UF 장치(510)에서는 하수처리장 방류수의 담수화를 위한 전처리가 이루어질 수 있다. 방류수 UF 장치(510)를 통해 전처리된 하수처리장 방류수는, 고압 펌프와 같은 제4 압력조절장치(840)에 의해 가압되어 BWRO 설비(500)에 공급될 수 있다.
- [60] BWRO 설비(500)는 전처리 과정을 거친 하수처리장 방류수를 기수담수화 역삼투막을 통해 여과할 수 있다. BWRO 설비(500)에서 여과된 하수처리장 방류수는, UV 장치(520)를 거쳐 살균된 후, 저염도의 음용 가능한 상태의 생성수로 배출될 수 있다. BWRO 설비(500)에서 여과되지 않은 BWRO 농축수는, 공급 용액으로서 PRO 설비(900)에 제공될 수 있다.

- [61] PRO 설비(900)는 제 2 압력교환장치(300)에서 공급받은 SWRO 농축수(유도 용액)와, BWRO 설비(500)에서 공급받은 BWRO 농축수(공급 용액)에 대해서, 압력 지연 삼투 공정을 수행할 수 있다. 예컨대, PRO 설비(900)에서는 PRO 막을 사이에 두고 서로 만나고, 유도 용액과 공급 용액 사이의 염도차에 의해 공급 용액으로부터 유도 용액으로 물이 유출되어 유도 용액의 체적 흐름율이 증가될 수 있다.
- [62] 이에 따라, PRO 설비(900) 내의 PRO 막을 통해 BWRO 농축수로부터 빠져나가는 추출수는 염도가 매우 낮으며, SWRO 농축수와 혼합되면서 두 용액 사이의 염도차에 의해 혼합 겹스 자유 에너지가 생성되며, 이렇게 생성된 혼합 겹스 자유 에너지에 의해 SWRO 농축수의 압력이 유지된다.
- [63] PRO 설비(900)로부터 배출되는 PRO 생산수는 SWRO 농축수에 비하여 체적 흐름율은 증가하는 반면에 상대적으로 압력은 유지된다. PRO 생산수는 PRO 설비(900)로부터 배출된 후 제1 압력교환장치(200)로 유입되며, 전처리 설비(100)로부터 공급된 해수로 압력을 전달하여 해수를 가압하게 된다. 해수로 압력을 전달한 후 PRO 생산수는 압력이 낮아지게 되고, 제1 압력교환장치(200)에서 배출된 후 별도의 처리 또는 프로세스를 거칠 수 있다.
- [64] 한편, BWRO 농축수가 PRO 설비(900)에서 압력 지연 삼투 공정을 거치면서 추출수를 잃고 농축된 기수(brackish water)는 PRO 농축수로서 외부의 저장 탱크 등으로 수송되어 저장되거나, 별도의 후처리 또는 프로세스를 거쳐 활용될 수 있다.
- [65] 한편, 상술한 제 1 실시예의 경우, 제 1 압력교환장치(200)에서 배출된 PRO 생산수는 시스템의 외부로 배출되므로, 시스템 전체에서 회수되는 생성수의 회수율이 악화될 수 있다. 이러한 제 1 실시예의 문제점을 개선하기 위해, 후술하는 제 2 실시예가 제안될 수 있다.
- [66] 도 2는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [67] 도 2를 참조하면, 본 발명의 제 2 실시예에 따른 복합 담수화 시스템(1)은 전처리 설비(100), 제 1 압력교환장치(200), 제 2 압력교환장치(300), SWRO 설비(400), BWRO 설비(500), RO 설비(600) 및 PRO 설비(900)를 포함할 수 있다. 이 제 2 실시예는 제 1 실시예와 비교하였을 때, 제 1 압력교환장치(200)에서 배출되는 PRO 생산수를 RO 설비(600)를 통해 여과되는 점에서 차이가 있으므로, 차이점을 위주로 설명하며, 동일한 설명 및 도면부호는 원용하겠다.
- [68] RO 설비(600)는 제 1 압력교환장치(200)로부터 PRO 생산수를 공급받을 수 있다. 이때, PRO 생산수는 제 3 압력교환장치(610) 및 제 5 압력조절장치(850)를 통해 가압될 수 있다. 제 3 압력교환장치(610) 및 제 5 압력조절장치(850)는 제 1 실시예에서 설명한 압력교환장치 및 압력조절장치와 대응되는 구성으로 이해될 수 있다.
- [69] RO 설비(600)는 공급받은 PRO 생산수를 역삼투막을 통해 염분을 여과하여 생성수를 생산할 수 있다. RO 설비(600)는 역삼투막을 통해 여과되지 않은 RO

농축수를 제 3 압력교환장치(610)로 전달할 수 있다.

- [70] 이와 같이, 제 2 실시예에서는, 제 1 압력교환장치(200)에서 배출되는 PRO 생산수를 RO 설비(600)를 통해 다시 여과함으로써, 시스템에서 회수되는 생성수의 회수율을 향상시킬 수 있고, 제 1 압력교환장치(200)에서 시스템의 외부로 배출되는 PRO 생산수의 방류량을 감소시킬 수 있다.
- [71] 앞서 설명한 제 1 실시예 및 제 2 실시예의 경우, PRO 설비(900)의 운영시간이 증가함에 따라, PRO 설비(900)의 여과 성능이 저하될 수 있고, 이로 인해, PRO 설비(900)에서 배출되는 PRO 생산수의 유량이 감소되므로, PRO 설비(900)에서 제 1 압력교환장치(200)로 공급되는 PRO 생산수의 유량과, 전처리 설비(100)에서 제 1 압력교환장치(200)로 공급되는 해수의 유량이 사이에 차이가 발생할 수 있다. 다시 말해, 제 1 압력교환장치(200)에 공급되는 유입 용액(Feed Solution) 및 유도 용액(Draw Solution) 간의 유량비에 변화가 야기될 수 있다.
- [72] 이 제 1 실시예 및 제 2 실시예의 문제점을 개선하기 위해, 후술하는 제 3 실시예 내지 제 8 실시예가 제안될 수 있다. 후술하는 제 3 실시예 내지 제 8 실시예는 제 1 실시예 및 제 2 실시예와 비교하였을 때, 바이패스관을 통해 유량을 제어함으로써, 제 1 압력교환장치(200)에 공급되는 유입 용액(Feed Solution) 및 유도 용액(Draw Solution) 간의 유량비를 일정하게 유지할 수 있다는 점에서 차이가 있으므로, 차이점을 위주로 설명하며, 동일한 설명 및 도면부호는 원용하겠다.
- [73] 도 3은 본 발명의 제 3 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [74] 도 3을 참조하면, 본 발명의 제 3 실시예에 따른 복합 담수화 시스템(1)에서는, 제1 압력교환장치(200)의 입구측 배관(711)과, 제 1 압력교환장치(200)의 출구측 배관(712)이 제1 바이패스관(710)을 통해 연결될 수 있다.
- [75] 예컨대, 제1 압력교환장치(200)에 공급되는 PRO 생산수의 유량이 전처리 설비(100)에 유입되는 해수의 유량보다 많은 경우, 제 1 바이패스관(710)은 제 1 압력교환장치(200)의 입구측으로 공급되는 PRO 생산수의 적어도 일부를 제 1 압력교환장치(200)의 출구측으로 바이패스함으로써, 제1 압력교환장치(200)에 공급되는 PRO 생산수의 유량과, 제1 압력교환장치(200)로 공급되는 해수의 유량을 서로 동일하게 유지시킬 수 있다.
- [76] 일 예로, PRO 설비(900)에서 제1 압력교환장치(200)에 공급되는 PRO 생산수의 유량이 $488 \text{ m}^3/\text{day}$ 이고, 전처리 설비(100)에서 제1 압력교환장치(200)로 공급되는 해수의 유량이 $444 \text{ m}^3/\text{day}$ 인 경우, 제1 바이패스관(710)은 $488 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 PRO 생산수 유량 중에서, $44 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 PRO 생산수 유량을 제1 압력교환장치(200)의 출구측 배관(712)으로 안내할 수 있다.
- [77] 이와 같이, 제1 압력교환장치(200)에 공급되는 PRO 생산수의 유량이 전처리 설비(100)에 유입되는 해수의 유량의 유량보다 많은 때, 제3 실시예에서는 제1 바이패스관(710)을 이용하여, PRO 설비(900)에서 제1 압력교환장치(200)로 공급되는 PRO 생산수의 유량과, 전처리 설비(100)에서 제1 압력교환장치(200)로

공급되는 해수의 유량을 동일하게 유지함으로써, 제1 압력교환장치(200)의 에너지 변화 효율을 증가시키고, 본 발명의 에너지 회수 효율을 극대화할 수 있다.

- [78] 도 4는 본 발명의 제4 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [79] 도 4를 참조하면, 본 발명의 제4 실시예에 따른 복합 담수화 시스템(1)에서는, 제1 압력교환장치(200)의 입구측 배관(711)과, PRO 설비(900)의 출구측 배관(721)이 제2 바이패스관(720)을 통해 연결될 수 있다.
- [80] 예컨대, 제4 실시예에서, 제2 바이패스관(720)은 PRO 설비(900)에서 배출되는 PRO 농축수 중에서 일부를 제1 압력교환장치(200)의 입구측 배관(711)으로 바이패스함으로써, 제1 압력교환장치(200)에 공급되는 PRO 생산수의 유량과, 제1 압력교환장치(200)로 공급되는 해수의 유량을 서로 동일하게 유지시킬 수 있다.
- [81] 일 예로, PRO 설비(900)에서 배출되는 PRO 농축수가 $73 \text{ m}^3/\text{day}$ 이고, PRO 설비(900)에서 제1 압력교환장치(200)로 공급되는 PRO 생산수가 $416 \text{ m}^3/\text{day}$ 이며, 제1 압력교환장치(200)로 공급되는 해수의 유량이 $444 \text{ m}^3/\text{day}$ 인 경우, 제2 바이패스관(720)은 $73 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 PRO 농축수 유량 중에서, $28 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 PRO 농축수 유량을 제1 압력교환장치(200)의 출구측 배관(712)으로 안내할 수 있다.
- [82] 이와 같이, 제4 실시예에서는 제2 바이패스관(720)을 이용하여, PRO 설비(900)에서 제1 압력교환장치(200)로 공급되는 PRO 생산수의 유량과, 전처리 설비(100)에서 제1 압력교환장치(200)로 공급되는 해수의 유량을 동일하게 유지할 수 있다.
- [83] 도 5는 본 발명의 제5 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [84] 도 5를 참조하면, 본 발명의 제5 실시예에 따른 복합 담수화 시스템(1)에서는, 전처리 설비(100)의 출구측 배관(731)과, SWRO 설비(400)의 입구측 배관(732)이 제3 바이패스관(730)을 통해 연결될 수 있다. 제3 바이패스관(730)에는 제6 압력조절장치(870), 가령, 부스터 펌프가 구비될 수 있다.
- [85] 예컨대, 제5 실시예에서, 제3 바이패스관(730)은 전처리 설비(100)에서 처리한 해수 중에서 일부를 SWRO 설비(400)의 입구측으로 바이패스 후, 제6 압력조절장치(870: 부스터 펌프) 및 제1 압력조절장치(810: 고압 펌프)를 통해 가압함으로써, 제1 압력교환장치(200)에 공급되는 PRO 생산수의 유량과, 제1 압력교환장치(200)로 공급되는 해수의 유량을 서로 동일하게 유지시킬 수 있다.
- [86] 일 예로, PRO 설비(900)에서 제1 압력교환장치(200)에 공급되는 PRO 생산수의 유량이 $416 \text{ m}^3/\text{day}$ 이고, 전처리 설비(100)에서 배출되는 해수의 유량이 $444 \text{ m}^3/\text{day}$ 인 경우, 제3 바이패스관(730)은 $444 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 해수 유량 중에서, $28 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 해수 유량을 SWRO 설비(400)의 입구측 배관(732)으로 안내할 수 있다.
- [87] 이와 같이, 제5 실시예에서는 제3 바이패스관(730)을 이용하여, PRO 설비(900)에서 제1 압력교환장치(200)로 공급되는 PRO 생산수의 유량과, 전처리 설비(100)에서 제1 압력교환장치(200)로 공급되는 해수의 유량을 동일하게

유지할 수 있다.

- [88] 도 6은 본 발명의 제6 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [89] 도 6을 참조하면, 본 발명의 제6 실시예에 따른 복합 담수화 시스템(1)에서는, 전처리 설비(100)의 출구측 배관(731)과, SWRO 설비(400)의 입구측 배관(732)이 제3 바이패스관(730)을 통해 연결될 수 있고, 제1 압력교환장치(200)의 출구측 배관(712)이 전처리 설비(100)에 연결될 수 있다. 제 3 바이패스관(730)에는 제6 압력조절장치(870)이 구비될 수 있다.
- [90] 예컨대, 제1 압력교환장치(200) 출구측에서 배출되는 PRO 생산수 모두를 전처리 설비(100)로 공급함으로써, 해수의 취수량과 농축수 방류량을 현저히 줄일 수 있다. 제3 바이패스관(730)은 전처리 설비(100)에서 처리한 혼합수를 SWRO 설비(400) 입구측으로 바이패스 후 가압함으로써, 제1 압력교환장치(200)에 공급되는 PRO 생산수의 유량과, 제1 압력교환장치(200)로 공급되는 해수의 유량을 서로 동일하게 유지시킬 수 있다.
- [91] 일 예로, 전처리 설비(100) 출구측 유량이 $444 \text{ m}^3/\text{day}$ 인 경우 제1 압력교환장치(200)의 출구측에서 배출되는 PRO 생산수의 모든 유량($416 \text{ m}^3/\text{day}$)은 전처리 설비(100)로 유입될 수 있고, 이로 인해, 해수는 $28 \text{ m}^3/\text{day}$ 만큼만 취수가 가능하고, 방류되는 농축수는 $416 \text{ m}^3/\text{day}$ 만큼 감소될 수 있다. 전처리 설비(100)에서 배출되는 해수의 유량($444 \text{ m}^3/\text{day}$)중에서, $28 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 해수 유량은 제 3 바이패스관(730)을 통해 SWRO 설비(400)의 입구측 배관(732)으로 안내할 수 있다.
- [92] 이와 같이, 제1 압력교환장치(200) 출구측에서 배출되는 PRO 생산수 모두를 전처리설비(100)으로 공급함으로써, 해수의 취수량을 감소시킬 수 있고, 방류되는 농축수 또한 감소할 수 있다.
- [93] 도 7은 본 발명의 제7 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [94] 도 7을 참조하면, 본 발명의 제7 실시예에 따른 복합 담수화 시스템(1)에서는, PRO 설비(900)의 출구측 배관(721)이 전처리 설비(100)에 연결될 수 있다.
- [95] 예컨대, 전처리 설비(100) 출구측 유량이 $444 \text{ m}^3/\text{day}$ 인 경우 PRO 설비(900)의 출구측에서 배출되는 PRO 농축수의 모든 유량($73 \text{ m}^3/\text{day}$)는 전처리 설비(100)로 유입될 수 있고, 이로 인해, 해수는 $404 \text{ m}^3/\text{day}$ 만큼만 취수가 가능하고 방류되는 농축수는 $73 \text{ m}^3/\text{day}$ 만큼 감소한다. 또한, 혼합수는 해수보다 총용존고용물(Total Dissolved Solide, TDS)가 낮아지므로, 전체 공정의 에너지 사용량이 감소하게 된다.
- [96] 일 예로, 전처리 설비(100)의 출구측 유량이 $444 \text{ m}^3/\text{day}$ 인 경우 PRO 설비(900)의 출구측에서 배출되는 PRO 농축수의 모든 유량($73 \text{ m}^3/\text{day}$)는 전처리 설비(100)로 유입될 수 있고, 이로 인해, 해수는 $404 \text{ m}^3/\text{day}$ 만큼만 취수가 가능하고 방류되는 농축수는 $416 \text{ m}^3/\text{day}$ 만큼 감소한다.
- [97] 도 8은 본 발명의 제8 실시예에 따른 복합 담수화 시스템을 도시한 블록도이다.
- [98] 도 8을 참조하면, 본 발명의 제8 실시예에 따른 복합 담수화 시스템(1)에서는,

PRO 설비(900)의 출구측 배관(721)이 전처리 설비(100)에 연결될 수 있고, 제 1 압력교환장치(200)의 출구측 배관(712)과 전처리 설비(100)가 제 4 바이패스관(740)을 통해 서로 연결될 수 있으며, 전처리 설비(100)의 출구측 배관(731)과 SWRO 설비(400)의 입구측 배관(732)이 제 3 바이패스관(730)을 통해 연결될 수 있다.

- [99] 예컨대, 제8 실시예에서는 PRO 설비(900)의 출구측에서 배출되는 PRO 농축수의 모든 유량을 전처리 설비(100)로 안내할 수 있고, 제4 바이패스관(740)은 제 1 압력교환장치(200)의 출구측에서 배출되는 PRO 생산수 중에서 일부를 전처리 설비(100)로 바이패스할 수 있다.
- [100] 또한, 제 3 바이패스관(730)은 전처리 설비(100)에서 배출되는 해수 중에서 일부를 SWRO 설비(400)의 입구측으로 바이패스 후 가압함으로써, 제1 압력교환장치(200)에 공급되는 PRO 생산수의 유량과, 제1 압력교환장치(200)로 공급되는 해수의 유량을 서로 동일하게 유지시킬 수 있다.
- [101] 일 예로, 전처리 설비(100) 출구측 유량이 $444 \text{ m}^3/\text{day}$ 인 경우, PRO 설비(900)의 출구측에서 배출되는 PRO 농축수의 모든 유량($73 \text{ m}^3/\text{day}$)은 전처리 설비(100)로 안내될 수 있고, 제4 바이패스관(740)을 통해 제 1 압력교환장치(200)의 출구측에서 배출되는 PRO 생산수 중에서 일부 유량($220 \text{ m}^3/\text{day}$)은 전처리 설비(100)로 안내될 수 있으며, 이로 인해, 해수는 $151 \text{ m}^3/\text{day}$ 만큼만 취수가 가능하고 방류되는 농축수는 $493 \text{ m}^3/\text{day}$ 만큼 감소한다.
- [102] 또한, 전처리 설비(100)에서 배출되는 해수의 유량($444 \text{ m}^3/\text{day}$)중에서, $28 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 해수 유량은 제3 바이패스관(730)을 통해 SWRO 설비(400)의 입구측 배관(732)으로 안내될 수 있다.
- [103] 이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 예를 들어 당업자는 각 구성요소의 재질, 크기 등을 적용 분야에 따라 변경하거나, 실시형태들을 조합 또는 치환하여 본 발명의 실시예에 명확하게 개시되지 않은 형태로 실시할 수 있으나, 이 역시 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예는 모든 면에서 예시적인 것으로 한정적인 것으로 이해해서는 안되며, 이러한 변형된 실시예는 본 발명의 특허청구범위에 기재된 기술사상에 포함된다고 하여야 할 것이다.