(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0058644
(43) 공개일자 2024년05월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/06 (2024.01) *C02F 1/04* (2023.01)
F25B 15/06 (2006.01) *G06Q 10/04* (2023.01)
C02F 103/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/06 (2024.01)
C02F 1/043 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0139574
(22) 출원일자 2022년10월26일
심사청구일자 2022년10월26일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
유창규
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 공과대학(서천동)
타예라니 참치 아미르 사만
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 공과대학 275호(서천동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
두호특허법인

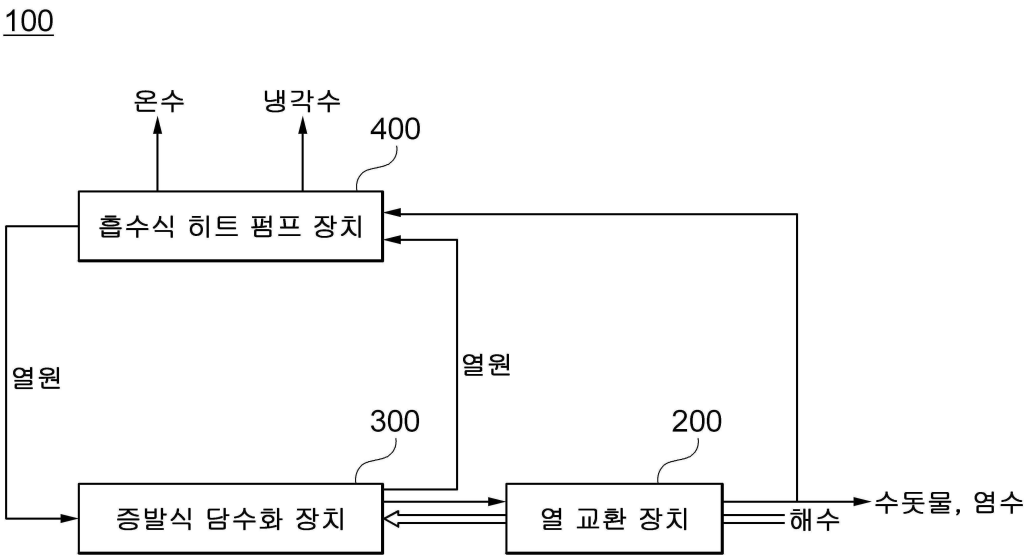
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 **흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법 및 이를 수행하기 위한 장치**

(57) 요 약

흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법 및 이를 수행하기 위한 장치가 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법 및 이를 수행하기 위한 장치는, 하나 이상의 프로세서들, 및 상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 메모리를 구비한 컴퓨팅 장치에서 수행되는 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법으로서, 상기 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하되,상기 모델링된 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템은 경제적 분석, 엑서지(exergy) 분석 및 다중-목적 최적 알고리즘 (multi-objective optimization algorithm)을 이용하여 최적화하는, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
F25B 15/06 (2013.01)
G06Q 10/04 (2023.01)
C02F 2103/08 (2013.01)
Y02A 20/124 (2020.08)
(72) 발명자
이페이 푸야
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 공과대학 275호(서천동)
우태용
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 공과대학 275호(서천동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711162575
과제번호 2021R1A2C2007838
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 DeepAI 기반 하폐수처리장 스마트워터 자율운전 & 자율설계 원천기술 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 경희대학교(국제캠퍼스)
연구기간 2022.03.01 ~ 2023.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711168724
과제번호 2019H1D3A1A02071051
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 인재활용확산지원
연구과제명 인공지능기반 수소생산 및 저장기술 최적기술을 이용한 다양한 신재생에너지의 스마트 그리드 시스템 연구
기 여 율 1/2
과제수행기관명 경희대학교(국제캠퍼스)
연구기간 2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

하나 이상의 프로세서들, 및

상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 메모리를 구비한 컴퓨팅 장치에서 수행되는 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법으로서,

열 교환 장치에서, 유입되는 해수가 기 설정된 온도로 가열되는 단계;

증발식 담수화 장치에서, 흡수식 히트 펌프 장치로부터 생산된 열원 및 상기 가열된 해수가 유입되는 단계;

상기 증발식 담수화 장치에서, 상기 가열된 해수를 상기 열원으로 이용하여 증발시켜 고온 증기가 생성되고, 상기 생성된 고온 증기를 응축시켜 담수가 생산되는 단계;

상기 열 교환 장치에서, 상기 증발식 담수화 장치로부터 생산된 담수를 기 설정된 온도로 냉각시킨 후, 외부로 배출되는 단계; 및

상기 흡수식 히트 펌프 장치에서, 상기 증발식 담수화 장치로부터 생성된 상기 고온 증기 중 일부가 유입되고, 상기 열 교환 장치로부터 냉각된 담수 중 일부가 유입되어 온수, 냉각수 및 상기 열원이 생산되는 단계를 포함하도록 상기 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하되,

상기 모델링된 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템은,

경제적 분석, 엑서지(exergy) 분석 및 다중-목적 최적 알고리즘 (multi-objective optimization algorithm)을 이용하여 최적화하는, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 모델링된 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템은,

경제적 비용 및 총 엑서지는 최소화하고, 생산 효율을 최대화하도록 상기 경제적 분석, 상기 엑서지 분석 및 상기 다중-목적 최적 알고리즘을 이용하여 하기 수학식 24에 의하여 최적화되는, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법.

[수학식 24]

$$minimize\ f_1(v_1 \dots v_n) = ExW^i_{MODE\,I}$$

$$minimize\ f_2(v_1 \dots v_n) = WEx^i_{MODE\,I}$$

$$minimize\ f_3(v_1 \dots v_n) = WW^i_{MODE\,I}$$

$$minimize\ f_4(v_1 \dots v_n) = ExEx^i_{MODE\,I}$$

$$minimize\ f_5(v_1 \dots v_n) = PR^i_{MODE\,I}$$

$$minimize\ f_6(v_1 \dots v_n) = \eta^i_{II,MODE\,I}$$

$$minimize\ f_7(v_1 \ldots v_n) = TPC^i_{MODE\,I}$$

$$minimize\ f_8(v_1 \ldots v_n) = TEC^i_{MODE\,I}$$

$$minimize\ f_9(v_1 \ldots v_n) = TAC^i_{MODE\,I}$$

$$with\ v[1..n] = [N, \Delta T_{MED}, T_0, \varepsilon_{S1}, \varepsilon_{S2}, T_{37}, T_5, T_{12}, T_{24}, T_{36}, T_1, \dot{m}_{37}]$$

$$for\ i = DCHM - CHD, SCHM - CHD$$

$$for\ j = MODE\ I, MODE\ II, MODE\ III, MODE\ IV$$

(여기서, i는 증기 압축기 종류(단일 증기 압축기 또는 이중 증기 압축기)이고, j는 작동 모드(추운 환경, 더운 환경, 건조한 환경, 일반 환경)이고, $ExW, WEx, WW, ExEx, PR, \eta_{\Pi}, TPC, TEC, TAC$ 는 각각 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율, 물 생산을 위한 전체 물 비율, 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율, 엑서지 생산을 위한 엑서지 회수율, 성능비(입력 에너지에 대한 증류수 잠열 및 증발기 열의 비율), 엑서지 효율, 총 제품 비용, 총 제품 엑서지 비용, 연간 총 비용이고, $v[1..n]$ 은 입력 변수이고, 입력 변수인 $N, \Delta T_{MED}, T_0, \varepsilon_{S1}, \varepsilon_{S2}, T_{37}, T_5, T_{12}, T_{24}, T_{36}, T_1, \dot{m}_{37}$ 은 각각 MED의 수, MED 간의 온도 차, MED 증기의 온도, 제1 용액 열 교환기의 효율성, 제2 용액 열 교환기의 효율성, 외부 증기의 온도, 고압 탈착기의 온도, 가열된 물의 온도, 증발기의 온도, 증발기에 대한 입력 흐름의 온도, 흡수기의 온도, 외부 증기의 질량 유속)

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 다중-목적 최적 알고리즘은, NSGA-III(non-dominant sorting genetic algorithm-III)인, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 연간 총 비용, 상기 총 제품 비용 및 상기 총 제품 엑서지 비용은 각각 하기 수학식 11, 하기 수학식 17 및 하기 수학식 18에 의해 정의되는, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법.

[수학식 11]

$$TAC = CRF(i', Y) \cdot \sum C_{NPV}$$

(여기서, CRF 는 자본 회수 계수(capital recovery factor), i' 는 실질 이자율, Y는 총 수명 주기의 년수,

C_{NPV}
는 비용의 순 현재 가치(net present value))

[수학식 17]

$$TPC = \frac{TAC}{(\dot{m}_{water}^{Tap} + \dot{m}_{water}^{hot} + \dot{m}_{water}^{chill\square\square}) \cdot (pf \cdot \frac{year}{sec})}$$

[수학식 18]

$$TEC = \frac{TAC}{(\dot{E}x_{water}^{Tap} + \dot{E}x_{water}^{hot} + \dot{E}x_{Pr,Evap}) \cdot (pf \cdot \frac{year}{sec})}$$

(여기서, 위 첨자 Tap, hot 및 chilled는 각각 생성된 수돗물, 온수 및 냉각수의 흐름을 의미)

청구항 5

청구항 2에 있어서,

상기 성능비, 상기 엑서지 효율, 상기 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율, 상기 물 생산을 위한 전체 물 비율, 상기 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율 및 상기 엑서지 생산을 위한 엑서지 회수율은 각각 하기 수학식 16, 하기 수학식 19, 하기 수학식 20, 하기 수학식 21, 하기 수학식 22 및 하기 수학식 23에 의해 정의되는, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법.

[수학식 16]

$$PR = \frac{(1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{m}_{12} \cdot \acute{h}_{12} + \dot{m}_{44} \cdot \acute{h}_{44} + \dot{Q}_{Evap}}{\dot{Q}_{D1} + \dot{W}_{total} + \dot{Q}_{deficit}^{MED} + \dot{m}_{Feed} \cdot \acute{h}_{Feed}}$$

(여기서, $\dot{m}_{12}$ 는 증발된 온수의 질량 유속이고, $\dot{m}_{44}$ 는 전체 수돗물의 질량 유속이고, $\acute{h}_{12}$ 는 온수의 비 엔탈피이고, $\acute{h}_{44}$ 는 대기압에서의 수돗물의 비 엔탈피이고, $\dot{Q}_{deficit}^{MED}$ 는 증발식 담수화 장치로의 증기 열 전달율)

[수학식 19]

$$\eta_{\Pi} = \frac{\dot{E}x_{Pr,tot}}{\dot{E}x_{Fu,tot}}$$

(여기서, η_{Π} 는 엑서지 효율이고, $\dot{E}x_{D,tot}$ 는 전체 파괴된 엑서지 량이고, i는 구성 요소이고, tot는 엑서지의 총합이고, N은 전체 구성 요소의 수)

[수학식 20]

$$ExW = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\sum \dot{m}_{Pr}} = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\dot{m}_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{m}_{12} + \dot{m}_{36}}$$

[수학식 21]

$$WEx = \frac{\dot{m}_{Brine} + \dot{m}_{Cooling}}{\dot{E}x_{Pr,tot}} = \frac{\dot{m}_{45} + \dot{m}_{26}}{\dot{E}x_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{E}x_{12} + |\dot{E}x_{36} - \dot{E}x_{35}|}$$

[수학식 22]

$$WW = \frac{\dot{m}_{Brine} + \dot{m}_{Cooling}}{\sum \dot{m}_{Pr}} = \frac{\dot{m}_{45} + \dot{m}_{26}}{\dot{m}_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{m}_{12} + \dot{m}_{36}}$$

[수학식 23]

$$ExEx = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\dot{E}x_{Pr,tot}} = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\dot{E}x_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{E}x_{12} + |\dot{E}x_{36} - \dot{E}x_{35}|}$$

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 흡수식 히트 펌프 장치(Absorption heat pump)는, 증발기(Evaporator), 흡수기(Absorber), 고압 탈착기(High-pressure desorber), 저압 탈착기(Low-pressure desorber), 2개의 용액 열 교환기(Solution heat exchangers), 제1 펌프(Pump), 제1 증기 압축기(Vapor compressors) 및 5개의 밸브로 구성되어 폐쇄 순환을 통하여 상기 고온 증기, 상기 담수 및 냉매를 이용하여 상기 온수, 상기 냉각수 및 상기 열원이 생산하는, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 냉매는, 리튬브로마이드 수용액(LiBr-Water)인, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 모델링된 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템은,

환경에 따라 4가지의 모드로 작동하되, 제1 모드(MODE Ⅰ)는 온수 및 수돗물을 생산하고, 제2 모드(MODE Ⅱ)는 냉각수 및 수돗물을 생산하며, 제3 모드(MODE Ⅲ)는 수돗물만 생산하며, 제4 모드(MODE Ⅳ)는 기 설정된 비율로 온수, 냉각수 및 수돗물을 생산하는, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법.

청구항 9

하나 이상의 프로세서들;

메모리; 및

하나 이상의 프로그램들을 포함하고,

상기 하나 이상의 프로그램들은 상기 메모리에 저장되고, 상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되도록 구성

되며,

상기 하나 이상의 프로그램들은,

열 교환 장치에서, 유입되는 해수가 기 설정된 온도로 가열하기 위한 명령;

증발식 담수화 장치에서, 흡수식 히트 펌프 장치로부터 생산된 열원 및 상기 가열된 해수가 유입되고, 상기 가열된 해수를 상기 열원으로 이용하여 증발시켜 고온 증기를 생성하고, 상기 생성된 고온 증기를 응축시켜 담수를 생산 하기 위한 명령;

상기 열 교환 장치에서, 상기 증발식 담수화 장치로부터 생산된 담수를 기 설정된 온도로 냉각시킨 후, 외부로 배출하기 위한 명령; 및

상기 흡수식 히트 펌프 장치에서, 상기 증발식 담수화 장치로부터 생성된 상기 고온 증기 중 일부가 유입되고, 상기 열 교환 장치로부터 냉각된 담수 중 일부가 유입되어 온수, 냉각수 및 상기 열원을 생산하기 위한 명령을 포함하도록 상기 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하되,

상기 모델링된 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템은,

경제적 분석, 엑서지(exergy) 분석 및 다중-목적 최적 알고리즘 (multi-objective optimization algorithm)을 이용하여 최적화하는, 컴퓨팅 장치.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 모델링된 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템은,

경제적 비용 및 총 엑서지는 최소화하고, 생산 효율을 최대화하도록 상기 경제적 분석, 상기 엑서지 분석 및 상기 다중-목적 최적 알고리즘을 이용하여 하기 수학식 24에 의하여 최적화되는, 컴퓨팅 장치.

[수학식 24]

$$minimize\ f_1(v_1 \dots v_n) = ExW^i_{MODE\ I}$$

$$minimize\ f_2(v_1 \dots v_n) = WEx^i_{MODE\ I}$$

$$minimize\ f_3(v_1 \dots v_n) = WW^i_{MODE\ I}$$

$$minimize\ f_4(v_1 \dots v_n) = ExEx^i_{MODE\ I}$$

$$minimize\ f_5(v_1 \dots v_n) = PR^i_{MODE\ I}$$

$$minimize\ f_6(v_1 \dots v_n) = \eta^i_{II,MODE\ I}$$

$$minimize\ f_7(v_1 \dots v_n) = TPC^i_{MODE\ I}$$

$$minimize\ f_8(v_1 \dots v_n) = TEC^i_{MODE\ I}$$

$$minimize\ f_9(v_1 \dots v_n) = TA\ \square^i_{MODE\ I}$$

$$with\ v[1..n] = [N, \Delta T_{MED}, T_0, \varepsilon_{S1}, \varepsilon_{S2}, T_{37}, T_5, T_{12}, T_{24}, T_{36}, T_1, \dot{m}_{37}]$$

$$\text{for i} = \text{DCHM} - \text{CHD}, \text{SCHM} - \text{CHD}$$

$$\text{for j} = \text{MODE I}, \text{MODE II}, \text{MODE III}, \text{MODE IV}$$

(여기서, i는 증기 압축기 종류(단일 증기 압축기 또는 이중 증기 압축기)이고, j는 작동 모드(추운 환경, 더운 환경, 건조한 환경, 일반 환경)이고, $ExW, WEx, WW, ExEx, PR, \eta_{\Pi}, TPC, TEC, TAC$ 는 각각 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율, 물 생산을 위한 전체 물 비율, 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율, 엑서지 생산을 위한 엑서지 회수율, 성능비(입력 에너지에 대한 증류수 잠열 및 증발기 열의 비율), 엑서지 효율, 총 제품 비용, 총 제품 엑서지 비용, 연간 총 비용이고, $v[1..n]$ 은 입력 변수이고, 입력 변수인 $N, \Delta T_{MED}, T_0, \varepsilon_{S1}, \varepsilon_{S2}, T_{37}, T_5, T_{12}, T_{24}, T_{36}, T_1, \dot{m}_{37}$ 은 각각 MED의 수, MED 간의 온도 차, MED 증기의 온도, 제1 용액 열 교환기의 효율성, 제2 용액 열 교환기의 효율성, 외부 증기의 온도, 고압 탈착기의 온도, 가열된 물의 온도, 증발기의 온도, 증발기에 대한 입력 흐름의 온도, 흡수기의 온도, 외부 증기의 질량 유속)

청구항 11

청구항 9에 있어서,

상기 다중-목적 최적 알고리즘은, NSGA-III(non-dominant sorting genetic algorithm-III)인, 컴퓨팅 장치.

청구항 12

청구항 10에 있어서,

상기 연간 총 비용, 상기 총 제품 비용 및 상기 총 제품 엑서지 비용은 각각 하기 수학식 11, 하기 수학식 17 및 하기 수학식 18에 의해 정의되는, 컴퓨팅 장치.

[수학식 11]

$$TAC = CRF(i', Y) \cdot \sum C_{NPV}$$

(여기서, CRF 는 자본 회수 계수(capital recovery factor), i' 는 실질 이자율, Y는 총 수명 주기의 년수, C_{NPV} 는 비용의 순 현재 가치(net present value))

[수학식 17]

$$TPC = \frac{TAC}{(\dot{m}_{water}^{Tap} + \dot{m}_{water}^{hot} + \dot{m}_{water}^{chilled}) \cdot (pf \cdot \frac{year}{sec})}$$

[수학식 18]

$$TEC = \frac{TAC}{(\dot{E}x_{water}^{Tap} + \dot{E}x_{water}^{hot} + \dot{E}x_{Pr,Evap}) \cdot (pf \cdot \frac{year}{sec})}$$

(여기서, 위 첨자 Tap, hot 및 chilled는 각각 생성된 수돗물, 온수 및 냉각수의 흐름을 의미)

청구항 13

청구항 10에 있어서,

상기 성능비, 상기 엑서지 효율, 상기 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율, 상기 물 생산을 위한 전체 물 비율, 상기 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율 및 상기 엑서지 생산을 위한 엑서지 회수율은 각각 하기 수학식 16, 하기 수학식 19, 하기 수학식 20, 하기 수학식 21, 하기 수학식 22 및 하기 수학식 23에 의해 정의되는, 컴퓨팅 장치.

[수학식 16]

$$PR = \frac{(1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{m}_{12} \cdot \acute{h}_{12} + \dot{m}_{44} \cdot \acute{h}_{44} + \dot{Q}_{Evap}}{\dot{Q}_{D1} + \dot{W}_{total} + \dot{Q}_{deficit}^{MED} + \dot{m}_{Feed} \cdot \acute{h}_{Feed}}$$

(여기서, $\dot{m}_{12}$ 는 증발된 온수의 질량 유속이고, $\dot{m}_{44}$ 는 전체 수돗물의 질량 유속이고, $\acute{h}_{12}$ 는 온수의 비 엔탈피이고, $\acute{h}_{44}$ 는 대기압에서의 수돗물의 비 엔탈피이고, $\dot{Q}_{deficit}^{MED}$ 는 증발식 담수화 장치로의 증기 열 전달율)

[수학식 19]

$$\eta_{\Pi} = \frac{\dot{E}x_{Pr,tot}}{\dot{E}x_{Fu,tot}}$$

(여기서, η_{Π} 는 엑서지 효율이고, $\dot{E}x_{D,tot}$ 는 전체 파괴된 엑서지 량이고, i는 구성 요소이고, tot는 엑서지의 총 합이고, N은 전체 구성 요소의 수)

[수학식 20]

$$ExW = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\sum \dot{m}_{Pr}} = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\dot{m}_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{m}_{12} + \dot{m}_{36}}$$

[수학식 21]

$$WEx = \frac{\dot{m}_{Brine} + \dot{m}_{Cooling}}{\dot{E}x_{Pr,tot}} = \frac{\dot{m}_{45} + \dot{m}_{26}}{\dot{E}x_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{E}x_{12} + |\dot{E}x_{36} - \dot{E}x_{35}|}$$

[수학식 22]

$$WW = \frac{\dot{m}_{Brine} + \dot{m}_{Cooling}}{\sum \dot{m}_{Pr}} = \frac{\dot{m}_{45} + \dot{m}_{26}}{\dot{m}_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{m}_{12} + \dot{m}_{36}}$$

[수학식 23]

$$ExEx = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\dot{E}x_{Pr,tot}} = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\dot{E}x_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{E}x_{12} + |\dot{E}x_{36} - \dot{E}x_{35}|}$$

청구항 14

청구항 9에 있어서,

상기 흡수식 히트 펌프 장치(Absorption heat pump)는, 증발기(Evaporator), 흡수기(Absorber), 고압 탈착기(High-pressure desorber), 저압 탈착기(Low-pressure desorber), 2개의 용액 열 교환기(Solution heat exchangers), 제1 펌프(Pump), 제1 증기 압축기(Vapor compressors) 및 5개의 밸브로 구성되어 폐쇄 순환을 통하여 상기 고온 증기, 상기 담수 및 냉매를 이용하여 상기 온수, 상기 냉각수 및 상기 열원이 생산하는, 컴퓨팅 장치.

청구항 15

청구항 14에 있어서,

상기 냉매는, 리튬브로마이드 수용액(LiBr-Water)인, 컴퓨팅 장치.

청구항 16

청구항 9에 있어서,

상기 모델링된 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템은,

환경에 따라 4가지의 모드로 작동하되, 제1 모드(MODE Ⅰ)는 온수 및 수돗물을 생산하고, 제2 모드(MODE Ⅱ)는 냉각수 및 수돗물을 생산하며, 제3 모드(MODE Ⅲ)는 수돗물만 생산하며, 제4 모드(MODE Ⅳ)는 기 설정된 비율로 온수, 냉각수 및 수돗물을 생산하는, 컴퓨팅 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 실시예들은 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법과 관련된다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로 해수로부터 담수를 분리하는 공정은 에너지원에 따라 크게 열에너지, 기계/전기에너지, 재생에너지 시스템으로 구분되며, 담수 제조 방식에 따라서는 다단증류법(Multi stage flash, MSF), 다중효용 증발법(Multi-Effect Evaporation, MED), 역삼투압공정(Reverse osmosis, RO)이 존재하며, 근래에 들어서는 잠열로 인한 에너지 손실이 큰 열에너지 기반의 담수화 공정보다는 막 분리를 이용하여 담수를 얻어내는 방법이 연구되고 있다.

[0003] 이중 다중효용 증발법의 다단 담수기는, 배출되는 배열을 재이용하도록 설계됨으로써, 증기 소비를 줄이고, 가열에너지를 줄일 수 있도록 한 것인데, 담수기의 규모에 따라 다단의 담수기를 만들게 될 경우, 각 단의 수가 많아짐에 따른 담수 생산량의 증대에 비해, 시동성과 효율대비 경제성에는 문제가 있었다.

[0004] 막 분리를 이용한 해수담수화 공정은 위에서 언급한 역삼투압공정(RO), 열에너지 기반의 증류법의 특성과 막 분리법의 특성이 혼합된 막 증류법(Membrane distillation, MD), 정삼투압 공정(Forward osmosis, FO)의 방법 등

이 있다.

[0005] 하지만 역삼투압 공정의 단점으로는 분리를 위해 삼투압보다 큰 고압이 필요하며, 이를 위해 에너지 수준이 높은 전기에너지를 사용한다는 것이다. 이에 따라 역삼투압이 아닌 삼투압을 이용하는 정삼투압 공정이 고안되었다.

[0006] 해수담수화를 위한 정삼투압 공정은 해수와 해수보다 높은 농도의 유도용액 사이의 농도차이에 의해 운용되며, 해수의 물이 유도용액(draw solution)으로 흘러 해수의 농도는 높아지고 유도용액의 농도는 낮아지게된다. 이 낮은 농도의 유도용액은 또다시 분리과정을 거쳐 유도용액과 담수로 나눠진다. 따라서 정삼투압 공정은 2개의 부분공정으로 이루어져 있으며, 해수와 유도용액이 만나는 공정을 막 공정(membrane process)이라 하며, 유도용액과 담수를 생산하는 공정을 유도용액 회수공정(draw solution recovery system)이라고 한다.

[0007] 유도용액 회수공정으로 사용되는 방법은 주로 다단증류법, 역삼투압공정, 증류탑을 사용하는 방법과 더불어, VMD(vacuum membrane distillation, VMD)을 사용한 방법이 있다.

[0008] 막 증류법은 열에너지를 사용한다는 점에서 다단증류법이나, 증류탑을 사용하는 공정과 다르지 않지만, 증기압의 압력 차이에 의한 분리가 일어난다는 관점에서 보았을 때, 액체의 온도를 끓는점까지 올리지 않아도 된다는 장점이 있다. 이것은 곧 낮은 온도에서 조업이 가능하다는 것을 의미하며, 태양, 지열, 재생에너지 등 다양한 열원의 사용이 가능하다는 것을 의미한다.

[0009] 이에, 이들의 방법들을 다양하게 효율적으로 사용하는 해수 담수화장치의 개발이 대두되고 있는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1587123호 (2016.01.14.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명의 실시예들은 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 하나 이상의 프로세서들, 및 상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 메모리를 구비한 컴퓨팅 장치에서 수행되는 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법으로서, 열 교환 장치에서 유입되는 해수가 기 설정된 온도로 가열되는 단계, 증발식 담수화 장치에서 흡수식 히트 펌프 장치로부터 생산된 열원 및 상기 가열된 해수가 유입되는 단계, 상기 증발식 담수화 장치에서 상기 가열된 해수를 상기 열원으로 이용하여 증발시켜 고온 증기가 생성되고, 상기 생성된 고온 증기를 응축시켜 담수가 생산되는 단계, 상기 열 교환 장치에서 상기 증발식 담수화 장치로부터 생산된 담수를 기 설정된 온도로 냉각시킨 후, 외부로 배출되는 단계, 상기 흡수식 히트 펌프 장치에서 상기 증발식 담수화 장치로부터 생성된 상기 고온 증기 중 일부가 유입되고, 상기 열 교환 장치로부터 냉각된 담수 중 일부가 유입되어 온수, 냉각수 및 상기 열원이 생산되는 단계를 포함하도록 상기 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하되, 상기 모델링된 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템은 경제적 분석, 엑서지(exergy) 분석 및 다중-목적 최적 알고리즘 (multi-objective optimization algorithm)을 이용하여 최적화하는, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화하는 방법이 제공된다.

[0013] 상기 모델링된 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템은 경제적 비용 및 총 엑서지는 최소화하고, 생산 효율을 최대화하도록 상기 경제적 분석, 상기 엑서지 분석 및 상기 다중-목적 최적 알고리즘을 이용하여 하기 수학식 24에 의하여 최적화될 수 있다.

[0014] [수학식 24]

$$minimize\ f_1(v_1 \ldots v_n) = ExW^i_{MODE\ I}$$

[0015]

$$minimize\ f_2(v_1 \ldots v_n) = WEx^i_{MODE\ I}$$

[0016]

$$minimize\ f_3(v_1 \ldots v_n) = WW^i_{MODE\ I}$$

[0017]

$$minimize\ f_4(v_1 \ldots v_n) = ExEx^i_{MODE\ I}$$

[0018]

$$minimize\ f_5(v_1 \ldots v_n) = PR^i_{MODE\ I}$$

[0019]

$$minimize\ f_6(v_1 \ldots v_n) = \eta^i_{II,MODE\ I}$$

[0020]

$$minimize\ f_7(v_1 \ldots v_n) = TPC^i_{MODE\ I}$$

[0021]

$$minimize\ f_8(v_1 \ldots v_n) = TEC^i_{MODE\ I}$$

[0022]

$$minimize\ f_9(v_1 \ldots v_n) = TAC^i_{MODE\ I}$$

[0023]

$$with\ v[1..n] = [N, \Delta T_{MED}, T_0, \varepsilon_{S1}, \varepsilon_{S2}, T_{37}, T_5, T_{12}, T_{24}, T_{36}, T_1, \dot{m}_{37}]$$

[0024]

$$\text{for i} = \text{DCHM} - \text{CHD}, \text{SCHM} - \text{CHD}$$

[0025]

$$\text{for j} = \text{MODE I}, \text{MODE II}, \text{MODE III}, \text{MODE IV}$$

[0026]

[0027] (여기서, i는 증기 압축기 종류(단일 증기 압축기 또는 이중 증기 압축기)이고, j는 작동 모드(추운 환경, 더운 환경, 건조한 환경, 일반 환경)이고, $ExW, WEx, WW, ExEx, PR, \eta_{\Pi}, TPC, TEC, TAC$ 는 각각 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율, 물 생산을 위한 전체 물 비율, 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율, 엑서지 생산을 위한 엑서지 회수율, 성능비(입력 에너지에 대한 증류수 잠열 및 증발기 열의 비율), 엑서지 효율, 총 제품 비용, 총 제품 엑서지 비용, 연간 총 비용이고, $v[1..n]$ 은 입력 변수이고, 입력 변수인 $N, \Delta T_{MED}, T_0, \varepsilon_{S1}, \varepsilon_{S2}, T_{37}, T_5, T_{12}, T_{24}, T_{36}, T_1, \dot{m}_{37}$ 은 각각 MED의 수, MED 간의 온도 차, MED 증기의 온도, 제1 용액 열 교환기의 효율성, 제2 용액 열 교환기의 효율성, 외부 증기의 온도, 고압 탈착기의 온도, 가열된 물의 온도, 증발기의 온도, 증발기에 대한 입력 흐름의 온도, 흡수기의 온도, 외부 증기의 질량 유속)

[0028] 상기 다중-목적 최적 알고리즘은, NSGA-III(non-dominant sorting genetic algorithm-III)일 수 있다.

[0029] 상기 연간 총 비용, 상기 총 제품 비용 및 상기 총 제품 엑서지 비용은 각각 하기 수학식 11, 하기 수학식 17 및 하기 수학식 18에 의해 정의될 수 있다.

[0030] [수학식 11]

$$TAC = CRF(i', Y) \cdot \sum C_{NPV}$$

[0031]

[0032] (여기서, CRF는 자본 회수 계수(capital recovery factor), i'는 실질 이자율, Y는 총 수명 주기의 년수, C_{NPV}는 비용의 순 현재 가치(net present value))

[0033] [수학식 17]

$$TPC = \frac{TAC}{(\dot{m}_{water}^{Tap} + \dot{m}_{water}^{hot} + \dot{m}_{water}^{chilled}) \cdot (pf \cdot \frac{year}{sec})}$$

[0034]

[0035] [수학식 18]

$$TEC = \frac{TAC}{(\dot{E}x_{water}^{Tap} + \dot{E}x_{water}^{hot} + \dot{E}x_{Pr,Evap}) \cdot (pf \cdot \frac{year}{sec})}$$

[0036]

[0037] (여기서, 위 첨자 Tap, hot 및 chilled는 각각 생성된 수돗물, 온수 및 냉각수의 흐름을 의미)

[0038] 상기 성능비, 상기 엑서지 효율, 상기 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율, 상기 물 생산을 위한 전체 물 비율, 상기 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율 및 상기 엑서지 생산을 위한 엑서지 회수율은 각각 하기 수학식 16, 하기 수학식 19, 하기 수학식 20, 하기 수학식 21, 하기 수학식 22 및 하기 수학식 23에 의해 정의될 수 있다.

[0039] [수학식 16]

$$PR = \frac{(1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{m}_{12} \cdot \acute{h}_{12} + \dot{m}_{44} \cdot \acute{h}_{44} + \dot{Q}_{Evap}}{\dot{Q}_{D1} + \dot{W}_{total} + \dot{Q}_{deficit}^{MED} + \dot{m}_{Feed} \cdot \acute{h}_{Feed}}$$

[0040]

[0041] (여기서, $\dot{m}_{12}$는 증발된 온수의 질량 유속이고, $\dot{m}_{44}$는 전체 수돗물의 질량 유속이고, $\acute{h}_{12}$는 온수의 비 엔탈피이고, $\acute{h}_{44}$는 대기압에서의 수돗물의 비 엔탈피이고, $\dot{Q}_{deficit}^{MED}$는 증발식 담수화 장치로의 증기 열 전달율)

[0042] [수학식 19]

$$\eta_{\Pi} = \frac{\dot{E}x_{Pr,tot}}{\dot{E}x_{Fu,tot}}$$

[0043]

[0044] (여기서, η_{Π}는 엑서지 효율이고, $\dot{E}x_{D,tot}$는 전체 파괴된 엑서지 량이고, i는 구성 요소이고, tot는 엑서지의 총합이고, N은 전체 구성 요소의 수)

[0045] [수학식 20]

$$ExW = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\sum \dot{m}_{Pr}} = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\dot{m}_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{m}_{12} + \dot{m}_{36}}$$

[0046]

[0047] [수학식 21]

$$WEx = \frac{\dot{m}_{Brine} + \dot{m}_{Cooling}}{\dot{E}x_{Pr,tot}} = \frac{\dot{m}_{45} + \dot{m}_{26}}{\dot{E}x_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{E}x_{12} + |\dot{E}x_{36} - \dot{E}x_{35}|}$$

[0048]

[0049] [수학식 22]

$$WW = \frac{\dot{m}_{Brine} + \dot{m}_{Cooling}}{\sum \dot{m}_{Pr}} = \frac{\dot{m}_{45} + \dot{m}_{26}}{\dot{m}_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{m}_{12} + \dot{m}_{36}}$$

[0050]

[0051] [수학식 23]

$$ExEx = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\dot{E}x_{Pr,tot}} = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\dot{E}x_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{E}x_{12} + |\dot{E}x_{36} - \dot{E}x_{35}|}$$

[0052]

[0053] 상기 흡수식 히트 펌프 장치(Absorption heat pump)는 증발기(Evaporator), 흡수기(Absorber), 고압 탈착기(High-pressure desorber), 저압 탈착기(Low-pressure desorber), 2개의 용액 열 교환기(Solution heat exchangers), 제1 펌프(Pump), 제1 증기 압축기(Vapor compressors) 및 5개의 밸브로 구성되어 폐쇄 순환을 통하여 상기 고온 증기, 상기 담수 및 냉매를 이용하여 상기 온수, 상기 냉각수 및 상기 열원이 생산할 수 있다.

[0054] 상기 냉매는 리튬브로마이드 수용액(LiBr-Water)일 수 있다.

[0055] 상기 모델링된 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템은 환경에 따라 4가지의 모드로 작동하되, 제1 모드(MODE Ⅰ)는 온수 및 수돗물을 생산하고, 제2 모드(MODE Ⅱ)는 냉각수 및 수돗물을 생산하며, 제3 모드(MODE Ⅲ)는 수돗물만 생산하며, 제4 모드(MODE Ⅳ)는 기 설정된 비율로 온수, 냉각수 및 수돗물을 생산할 수 있다.

발명의 효과

[0056] 본 발명의 실시예들에 따르면, 증발식 담수화 시스템과 흡수식 히트펌프를 통합하여 해수로부터 담수(수돗물, 냉각수, 온수)를 생산할 수 있고, 담수 생산 회수율을 최적화할 수 있는 효과가 있다.

[0057] 또한, 본 발명의 실시예들에 따르면, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템에 있어서 경제적 분석, 열 역학적 분석 및 엑서지 분석을 통하여 비용 효율, 엑서지 효율 및 담수 생산 효율을 최적화함으로써, 담수화 시스템의 생산성 및 효율성을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0058] 도 1는 예시적인 실시예들에서 사용되기에 적합한 컴퓨팅 장치를 포함하는 컴퓨팅 환경을 예시하여 설명하기 위한 블록도

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 개념도

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 공정도

도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 공정도

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템에 있어서 설계 파라미터를 최적화하는 과정을 나타내는 흐름도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0059] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 구체적인 실시형태를 설명하기로 한다. 이하의 상세한 설명은 본 명세서에서 기술된 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 제공된다. 그러나 이는 예시에 불과하며 본 발명은 이에 제한되지 않는다.

[0060] 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서, 본 발명과 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 그리고, 후술되는 용어들은

본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 상세한 설명에서 사용되는 용어는 단지 본 발명의 실시예들을 기술하기 위한 것이며, 결코 제한적이어서는 안 된다. 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 단수 형태의 표현은 복수 형태의 의미를 포함한다. 본 설명에서, "포함" 또는 "구비"와 같은 표현은 어떤 특성들, 숫자들, 단계들, 동작들, 요소들, 이들의 일부 또는 조합을 가리키기 위한 것이며, 기술된 것 이외에 하나 또는 그 이상의 다른 특성, 숫자, 단계, 동작, 요소, 이들의 일부 또는 조합의 존재 또는 가능성을 배제하도록 해석되어서는 안된다.

[0061] 도 1는 예시적인 실시예들에서 사용되기에 적합한 컴퓨팅 장치를 포함하는 컴퓨팅 환경(10)을 예시하여 설명하기 위한 블록도이다. 도시된 실시예에서, 각 컴포넌트들은 이하에 기술된 것 이외에 상이한 기능 및 능력을 가질 수 있고, 이하에 기술되는 것 이외에도 추가적인 컴포넌트를 포함할 수 있다.

[0062] 도시된 컴퓨팅 환경(10)은 컴퓨팅 장치(12)를 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨팅 장치(12)는 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템을 모델링하고 최적화를 수행하기 위한 장치일 수 있다.

[0063] 컴퓨팅 장치(12)는 적어도 하나의 프로세서(14), 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16) 및 통신 버스(18)를 포함한다. 프로세서(14)는 컴퓨팅 장치(12)로 하여금 앞서 언급된 예시적인 실시예에 따라 동작하도록 할 수 있다. 예컨대, 프로세서(14)는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)에 저장된 하나 이상의 프로그램들을 실행할 수 있다. 상기 하나 이상의 프로그램들은 하나 이상의 컴퓨터 실행 가능 명령어를 포함할 수 있으며, 상기 컴퓨터 실행 가능 명령어는 프로세서(14)에 의해 실행되는 경우 컴퓨팅 장치(12)로 하여금 예시적인 실시예에 따른 동작들을 수행하도록 구성될 수 있다.

[0064] 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)는 컴퓨터 실행 가능 명령어 내지 프로그램 코드, 프로그램 데이터 및/또는 다른 적합한 형태의 정보를 저장하도록 구성된다. 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)에 저장된 프로그램(20)은 프로세서(14)에 의해 실행 가능한 명령어의 집합을 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)는 메모리(랜덤 액세스 메모리와 같은 휘발성 메모리, 비휘발성 메모리, 또는 이들의 적절한 조합), 하나 이상의 자기 디스크 저장 디바이스들, 광학 디스크 저장 디바이스들, 플래시 메모리 디바이스들, 그 밖에 컴퓨팅 장치(12)에 의해 액세스되고 원하는 정보를 저장할 수 있는 다른 형태의 저장 매체, 또는 이들의 적합한 조합일 수 있다.

[0065] 통신 버스(18)는 프로세서(14), 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)를 포함하여 컴퓨팅 장치(12)의 다른 다양한 컴포넌트들을 상호 연결한다.

[0066] 컴퓨팅 장치(12)는 또한 하나 이상의 입출력 장치(24)를 위한 인터페이스를 제공하는 하나 이상의 입출력 인터페이스(22) 및 하나 이상의 네트워크 통신 인터페이스(26)를 포함할 수 있다. 입출력 인터페이스(22) 및 네트워크 통신 인터페이스(26)는 통신 버스(18)에 연결된다. 입출력 장치(24)는 입출력 인터페이스(22)를 통해 컴퓨팅 장치(12)의 다른 컴포넌트들에 연결될 수 있다. 예시적인 입출력 장치(24)는 포인팅 장치(마우스 또는 트랙패드 등), 키보드, 터치 입력 장치(터치패드 또는 터치스크린 등), 음성 또는 소리 입력 장치, 다양한 종류의 센서 장치 및/또는 촬영 장치와 같은 입력 장치, 및/또는 디스플레이 장치, 프린터, 스피커 및/또는 네트워크 카드와 같은 출력 장치를 포함할 수 있다. 예시적인 입출력 장치(24)는 컴퓨팅 장치(12)를 구성하는 일 컴포넌트로서 컴퓨팅 장치(12)의 내부에 포함될 수도 있고, 컴퓨팅 장치(12)와는 구별되는 별개의 장치로 컴퓨팅 장치(12)와 연결될 수도 있다.

[0067] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 개념도이다.

[0068] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템(100)은 열 교환 장치(200), 증발식 담수화 장치(300) 및 흡수식 히트 펌프 장치(400)를 포함할 수 있다.

[0069] 열 교환 장치(200)는 유입되는 해수를 기 설정된 온도로 가열한 후 증발식 담수화 장치(300)로 제공할 수 있다. 또한, 열 교환 장치(200)는 증발식 담수화 장치(300)에서 배출되는 담수 및 염수를 기 설정된 온도로 냉각한 후, 외부로 수돗물(담수) 및 염수를 배출할 수 있다. 이 때, 기 설정된 온도로 냉각된 담수 중 일부는 흡수식 히트 펌프 장치에 유입되어 냉매로 사용될 수 있다.

[0070] 증발식 담수화 장치(300)는 열 교환 장치로부터 가열된 해수가 유입될 수 있으며, 흡수식 히트 펌프 장치(400)로부터 열원이 공급될 수 있다. 또한, 증발식 담수화 장치(300)는 고온 해수를 공급된 열원을 이용하여 증발시켜 고온 증기를 생성하고, 생성된 고온 증기를 응축시켜 담수를 생산하여 외부로 배출할 수 있다. 이 때, 고온 증기로 생성되지 못한 나머지 고온 해수는 염수로서 외부로 배출된다. 또한, 생성된 고온 증기 중 일부는 흡수

식 히트 펌프 장치(400)로 유입된다.

[0071] 흡수식 히트 펌프 장치(400)는 열 교환 장치(200)에서 배출되는 담수 중 일부가 유입될 수 있으며, 증발식 담수화 장치(300)로부터 생성된 고온 증기 중 일부가 열원으로 유입될 수 있다. 또한, 흡수식 히트 펌프 장치(400)는 유입된 담수 및 고온 증기를 이용하여 온수 및 냉수를 생산하여 외부로 배출할 수 있다. 이 과정에서 온수를 생산하기 위한 열원 중 일부는 증발식 담수화 장치(300)로 유입될 수 있다.

[0072] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 공정도이다. 이하에서, 도 3을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 공정 흐름을 설명한다. 도 3에서 파란색 선은 물의 흐름을 나타내며, 빨간색 선은 열의 흐름을 나타내며, 검은색 선은 용액의 흐름을 나타낸다.

[0073] 도 3을 참조하면, 열 교환 장치(heat exchangers;SH)(200)는 증발식 담수화 장치(300)에서 생산된 담수를 기 설정된 온도로 냉각된 수돗물로 배출하기 위한 제1 열 교환 장치(SH1)(210) 및 증발식 담수화 장치(300)에서 생산된 담수를 기 설정된 온도로 냉각된 염수로 배출하기 위한 제2 열 교환 장치(SH2)(220)를 포함할 수 있다. 제1 열 교환 장치(210) 및 제2 열 교환 장치(220)는 각각 유입되는 해수를 동일한 온도로 배출하도록 기 설정된 온도로 가열한 후 증발식 담수화 장치(300)로 제공할 수 있다. 이 때, 흡수식 히트 펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템(100)은 대기압 이하의 압력 한계에서 작동하므로 제1 열 교환 장치(210) 및 제2 열 교환 장치(220)에서 배출되는 수돗물 및 염수를 외부로 배출하기 위한 제2 펌프(Pump;P2)(230) 및 제3 펌프(Pump;P3)(240)를 포함할 수 있다.

[0074] 증발식 담수화 장치(300)는 혼합기(Mixer;M1)(301) 및 다수의 다중 효용 증발 장치(Multiple-effect evaporation desalination;MED)(310, 320, 330, 340, 350, 360)를 포함할 수 있다.

[0075] 혼합기(301)는 흡수식 히트 펌프 장치(400)로부터 생성된 고온 증기(저압 탈착기(Low-pressure desorber;D2)(440)로부터 생성된 고온 증기 및 증기 압축기(Vapor compressors;VC)(480)로부터 생성된 고온 증기) 및 제1 다중 효용 증발부(311)에서 생산된 응축수의 일부가 유입되어 혼합될 수 있다. 이 때, 증발식 담수화 장치(300)의 구동 증기 온도 및 질량 유속은 14의 흐름에 의해 제어될 수 있으며, 혼합기(301)에서는 증발식 담수화 장치(300)의 설계 조건을 만족시키도록 고온 증기 및 응축수가 혼합(0의 흐름)될 수 있다. 한편, 흡수식 히트 펌프 장치(400)에서 생산된 온수의 일부가 유입(42의 흐름)되어 혼합될 수 있다.

[0076] 제1 다중 효용 증발 장치(310)는 제1 효용 증발기(Evaporation effects;E1)(311), 제1 가열기(heater;H1)(312) 및 제1 플래쉬 챔버(Flashing chamber;F1)(313)를 포함할 수 있다.

[0077] 제1 효용 증발기(311)는 열 교환 장치(200)에서 배출된 중온 해수가 제1 가열기(312)에 의해 가열되어 유입되고, 혼합기(301)에서 혼합된 고온 증기가 유입될 수 있다. 제1 효용 증발기(311)는 유입된 고온 증기를 열원으로 사용하여 유입된 고온 해수를 증발시키고, 발생된 증기를 응축시켜 응축수를 생산할 수 있다. 이 때, 발생된 증기 중 일부는 다음 효용 증발부(제2 효용 증발부(321))로 유입될 수 있다. 제1 효용 증발부(311)에서 생산된 응축수는 제1 플래쉬 챔버(313)로 유입될 수 있다.

[0078] 제1 플래쉬 챔버(313)는 응축수를 감압 증발시켜 고온증기를 발생시키고, 다음 효용 증발부(제2 효용 증발부(321))로 공급할 수 있다. 이 때, 제1 플래쉬 챔버(313)는 증발되지 않은 응축수를 다음 플래쉬 챔버(제2 플래쉬 챔버(323))로 공급할 수 있다.

[0079] 제2 다중 효용 증발 장치(320) 내지 제5 다중 효용 증발 장치(350)는 상기 제1 효용 증발 장치(310)와 동일하게 구성되어 작동될 수 있다.

[0080] 제6 다중 효용 증발 장치(360)는 제6 효용 증발기(361) 및 제6 플래쉬 챔버(362)를 포함할 수 있다.

[0081] 제6 효용 증발기(361)는 이전 플래쉬 챔버(353)로부터 유입된 고온 증기를 열원으로 사용하여 유입된 고온 해수를 증발시키고, 발생된 증기를 응축시켜 응축수를 생성할 수 있다. 이 때, 발생된 증기 중 일부는 흡수식 히트 펌프 장치(400)로 유입될 수 있다. 제6 효용 증발부(361)에서 생산된 응축수는 제6 플래쉬 챔버(362)로 유입될 수 있다. 한편, 제6 효용 증발기(361)에서 증발되지 않은 고온 해수는 제2 열 교환 장치(220)로 배출될 수 있다.

[0082] 제6 플래쉬 챔버(362)는 응축수를 감압 증발시켜 고온 증기를 발생시키고, 흡수식 히트 펌프 장치(400)로 공급할 수 있다. 이 때, 제6 플래쉬 챔버(362)는 증발되지 않은 응축수를 제1 열 교환 장치 장치(210)로 배출될 수

있다.

[0083] 흡수식 히트 펌프 장치(Absorption heat pump;ABHP)(400)는 증발기(Evaporator;Evap)(410), 흡수기(Absorber;Abs)(420), 고압 탈착기(High-pressure desorber;D1)(430), 저압 탈착기(Low-pressure desorber)(440), 2개의 용액 열 교환기(Solution heat exchangers;S1, S2), 제1 펌프(Pump;P1)(470), 제1 증기 압축기(Vapor compressors;Vc1) 및 5개의 밸브(491, 492, 493, 494, 495)를 포함할 수 있다.

[0084] 증발기(410)에서는 증발식 담수화 시스템(300)에서 유입된 냉매(수돗물)를 냉매-흡수제 혼합물(리튬브로마이드/물(Li-Br/Water) 혼합액)을 이용하여 증발시켜 고온 증기를 생성하고, 생성된 고온 증기는 흡수기(420)로 유입될 수 있다. 이 과정에서 물의 증발 잠열에 의하여 증발기를 순환하는 냉수가 냉각되어 냉각수를 생산할 수 있다. 냉매-흡수제 혼합물은 증발식 담수화 장치(300)에서 유입되는 고온 증기 및 증발기(410)에서 유입되는 고온 증기에 의하여 흡수기(420)에서 리튬브로마이드 농도가 희석된 용액으로 배출될 수 있다. 한편, 증발식 담수화 장치(300)에서 유입되는 고온 증기는 제5 밸브(Three-way valve;TV)(495)에 의하여 일부가 증기 압축기(480)로 유입될 수 있으며, 증기 압축기(480)를 통과한 고온 증기는 증발식 담수화 장치(300)로 유입될 수 있다. 희석된 용액은 저온 용액 열 교환기(450), 고온 용액 열 교환기(460), 고압 탈착기(430) 및 저압 탈착기(440)를 순환하면서 고온 증기를 발생시킨 후, 원래의 농도가 되어 흡수기(420)로 돌아오게 된다. 이 때, 고압 탈착기(430)에서 생성된 고온 증기는 저압 탈착기(440)를 통과하여 온수로 생성될 수 있으며, 희석된 용액에 의해 생성된 고온 증기는 증발식 담수화 장치(300)로 유입될 수 있다.

[0085] 한편, 도 4와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 흡수식 히트 펌프 장치(100)는 제2 증기 압축기(481) 및 제6 밸브(496)를 더 포함할 수 있다. 이 경우, 제2 증기 압축기(481)는 제6 밸브(496)를 통하여 유입된 담수를 증발기(420)의 열을 이용하여 증발시켜 고온 증기를 발생시킬 수 있으며, 생성된 고온 증기는 제1 증기 압축기(480)에서 생성된 고온 증기와 혼합되어 증발식 담수화 장치(300)로 유입될 수 있다.

[0086] 한편, 본 발명의 이리 실시예에 따른 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템(100)은 환경에 따라 4가지의 모드로 작동될 수 있다. 제1 모드(mode Ⅰ)는 추운 환경(Cold)에서 적용될 수 있으며, 제1 모드는 냉각수를 생산하지 않을 수 있다. 또한, 제2 모드(mode Ⅱ)는 더운 환경(Hot)에서 적용될 수 있으며, 제2 모드는 온수를 생산하지 않을 수 있다. 또한, 제3 모드(mode Ⅲ)는 건조한 환경(Dry)에서 적용될 수 있으며, 제3 모드는 생산되는 담수를 최대화하기 위하여 냉각수 및 온수를 생산하지 않을 수 있다. 또한, 제4 모드(mode Ⅳ)는 일반 작동 환경(General)에서 적용될 수 있으며, 제어 조건에 따라 일정 비율로 온수, 냉각수 및 수돗물을 생산할 수 있다. 이러한 모드에 따른 열역학적 변화 및 제어 조건은 하기 표 1에 따라 제어될 수 있다.

[0087] [표 1]

[0088]

Mode	환경	생산물			흐름 제어		
		냉각수	온수	수돗물	제1 밸브 (23 흐름)	제5 밸브 (39 흐름)	제2 밸브 (42 흐름)
Ⅰ	Cold	-	V	V	비활성	활성	비활성
Ⅱ	Hot	V	-	V	활성	비활성	활성
Ⅲ	Dry	-	-	V	비활성	활성	활성
Ⅳ	General	V	V	V	활성	비활성	비활성

[0089] 즉, 제1 제어 밸브(491), 제2 제어 밸브(492) 및 제 5 밸브(495)를 제어하여 각각의 제어 모드를 설정할 수 있다.

[0090] 이에, 본 발명의 일 실시예에 따른 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템(100)은 증발식 담수화 시스템(300)과 흡수식 히트 펌프(400)를 통합하여 해수로부터 담수(수돗물, 냉각수, 온수)를 생산할 수 있고, 담수 생산 회수율을 최적화할 수 있는 효과가 있다.

[0091] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템에 있어서 설계 파라미터를 최적화하는 과정을 나타내는 흐름도이다. 도시된 흐름도에서는 상기 방법을 복수 개의 단계로 나누어 기재하였으나, 적어도 일부의 단계들은 순서를 바꾸어 수행되거나, 다른 단계와 결합되어 함께 수행되거나, 생략되거나,

세부 단계들로 나뉘어 수행되거나, 또는 도시되지 않은 하나 이상의 단계가 부가되어 수행될 수 있다.

[0092] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템과 관련된 열 역학적 모델링에 있어서, 하기와 같이 가정할 수 있다. 시스템은 정상 상태 조건에서 작동되었다. 또한, 각 구성 요소 및 파이프의 압력 및 열 손실, 위치 에너지 및 운동 에너지는 무시되었으며, 시스템 내 모든 가스는 이상 기체로 취급된다.

[0093] 단계 502에서, 컴퓨팅 장치(12)는 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템(100)의 열 역학적 모델링을 수행한다. 이 때, 열 역학적 모델링은 질량 보존 법칙 및 열역학 제1 법칙을 기반으로 모델링하는 경우, 질량 및 농도 균형 방정식은 하기 수학식 1과 같이 정의될 수 있다.

[0094] [수학식 1]

$$\sum \dot{m}_{in} - \sum \dot{m}_{out} = 0$$

[0095]

$$\sum \dot{m}_{in} \cdot X_{in} - \sum \dot{m}_{out} \cdot X_{out} = 0$$

[0096]

[0097] 여기서, $\dot{m}$ 은 질량 유속이고 X는 화학 종류별 농도(예를 들어, 리튬브로마이드, 염도 등)이고, 아래첨자 in 및 out은 유입 및 유출이다.

[0098] 또한, 에너지 보존은 일과 열 전달을 고려하여 하기 수학식 2와 같이 정의될 수 있다.

[0099] [수학식 2]

$$\sum \dot{Q}_{in} + \sum \dot{W}_{in} + \sum \dot{m}_{in} \cdot \mathrm{h}_{in} = \sum \dot{Q}_{out} + \sum \dot{W}_{out} + \sum \dot{m}_{out} \cdot \mathrm{h}_{out}$$

[0100]

[0101] 여기서, h는 비 엔탈피(specific enthalpy)이고, $\dot{Q}$ 는 열 전달율이고, $\dot{W}$ 는 전력이다.

[0102] 펌프, 밸브 및 압축기를 제외한 모든 구성 요소에서는 가열 및 냉각이 이루어지므로, 열 교환기로서 모델링될 수 있는 바, 하기 수학식 3과 같이 정의될 수 있다.

[0103] [수학식 3]

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{out} - T_{in})$$

[0104]

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot LMTD$$

[0105]

$$LMTD = \frac{(T_{in}^{Hot} - T_{in}^{Cold}) - (T_{out}^{Hot} - T_{out}^{Cold})}{\ln(\frac{T_{in}^{Hot} - T_{in}^{Cold}}{T_{out}^{Hot} - T_{out}^{Cold}})}$$

[0106]

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{act}}{\dot{Q}_{max}}$$

[0107]

[0108] 여기서, ε 는 열 교환기의 효과(effectiveness)이고, U는 전체 열 전달 계수이고, A는 열 전달 영역이고, LMTM 은 로그 평균 오차(log-mean temperature difference)이고, C_p 는 일정 압력에서의 비열 용량이고, T는 온도이

고, 윗첨자 Hot 및 Cold는 열 교환기의 뜨거운 부분과 차가운 부분을 나타내고, 아래 첨자 act 및 max는 각각 실제(actual)와 최대(maximum)를 나타낸다.

[0109] 또한, 엔트로피 균형 방정식(entropy balance equation)은 하기 수학식 4와 같이 정의될 수 있다.

[0110] [수학식 4]

$$\sum\left(\frac{\dot{Q}}{T}\right)_{in}+\sum \dot{m}_{in}\cdot s_{in}+\dot{S}_{gen}=\sum\left(\frac{\dot{Q}}{T}\right)_{out}+\sum \dot{m}_{out}\cdot s_{out}$$

[0111]

[0112] 여기서, $\frac{\dot{Q}}{T}$ 는 엔트로피 전달율이고, s는 엔트로피이고, $\dot{S}_{gen}$ 은 엔트로피 생성율이다.

[0113] 한편, 각 구성요소의 균형 및 손실 방정식은 하기 표 2와 같다.

[0114] [표 2]

구성 요소	에너지 균형 방정식
Abs	$\dot{m}_{10}\cdot \mathrm{h}_{10}+\dot{m}_{40}\cdot \mathrm{h}_{40}-\dot{m}_{1}\cdot \mathrm{h}_{1}=\dot{m}_{26}\cdot(\mathrm{h}_{27}-\mathrm{h}_{26})$
S1	$\dot{m}_{2}\cdot(\mathrm{h}_{3}-\mathrm{h}_{2})=\varepsilon_{S1}\cdot \dot{c}_{p,min}^{S1}\cdot(\mathrm{T}_{8}-T_{2})$
S2	$\dot{m}_{3}\cdot(\mathrm{h}_{4}-\mathrm{h}_{3})=\varepsilon_{S2}\cdot \dot{c}_{p,min}^{S2}\cdot(\mathrm{T}_{5}-T_{3})$
D1	$\dot{m}_{5}\cdot \mathrm{h}_{5}+\dot{m}_{11}\cdot \mathrm{h}_{11}-\dot{m}_{4}\cdot \mathrm{h}_{4}=\dot{m}_{37}\cdot C_{p}\cdot(\mathrm{T}_{37}-T_{38})$
D2	$\dot{m}_{11}\cdot(\mathrm{h}_{11}-\mathrm{h}_{12})=\dot{m}_{8}\cdot \mathrm{h}_{8}+\dot{m}_{13}\cdot \mathrm{h}_{13}-\dot{m}_{7}\cdot \mathrm{h}_{7}$
Evap	$\dot{m}_{23}\cdot(\mathrm{h}_{24}-\mathrm{h}_{23})=\dot{m}_{35}\cdot C_{p}\cdot(\mathrm{T}_{35}-T_{36})$
SH1	$\dot{m}_{18}\cdot(\mathrm{h}_{18}-\mathrm{h}_{19})=\varepsilon_{SH1}\cdot \dot{c}_{p,min}^{SH1}\cdot(\mathrm{T}_{18}-T_{32})$
SH2	$\dot{m}_{28}\cdot(\mathrm{h}_{28}-\mathrm{h}_{29})=\varepsilon_{SH2}\cdot \dot{c}_{p,min}^{SH2}\cdot(\mathrm{T}_{28}-T_{30})$
VC1	$\dot{W}_{VC1}=\dot{m}_{41}\cdot(\mathrm{h}_{41}-\mathrm{h}_{16}),\eta_{comp}=\frac{\hat{\mathrm{h}}_{41}-\mathrm{h}_{16}}{\mathrm{h}_{41}-\mathrm{h}_{16}}$
VC2	$\dot{W}_{VC2}=\dot{m}_{43}\cdot(\mathrm{h}_{43}-\mathrm{h}_{27}),\eta_{comp}=\frac{\hat{\mathrm{h}}_{43}-\mathrm{h}_{27}}{\mathrm{h}_{43}-\mathrm{h}_{27}}$
P1	$\dot{W}_{pump1}=\frac{\dot{m}_{1}\cdot V_{1}\cdot(p_{\mathrm{h}}-p_{l})}{\eta_{pump}},\mathrm{h}_{2}=\mathrm{h}_{1}+\frac{\dot{W}_{pump1}\cdot\eta_{pump}}{\dot{m}_{1}}$
P2	$\dot{W}_{pump2}=\frac{\dot{m}_{20}\cdot V_{20}\cdot(p_{a}-p_{20})}{\eta_{pump}},\mathrm{h}_{44}=\mathrm{h}_{20}+\frac{\dot{W}_{pump2}\cdot\eta_{pump}}{\dot{m}_{20}}$
P3	$\dot{W}_{pump3}=\frac{\dot{m}_{29}\cdot V_{29}\cdot(p_{a}-p_{29})}{\eta_{pump}},\mathrm{h}_{45}=\mathrm{h}_{29}+\frac{\dot{W}_{pump3}\cdot\eta_{pump}}{\dot{m}_{29}}$

[0115]

[0116] 여기서, h는 비엔탈피이고, $\dot{c}_{p,min}^{S1}$ 는 제1 용액 열 교환기에서의 열 용량 비율이고, $\dot{c}_{p,min}^{S2}$ 는 제2 용액 열 교환기에서의 열 용량 비율이고, p는 유체의 압력이고, $\dot{c}_{p,min}^{SH1}$ 는 제1 열 교환기에서의 열 용량 비율이고, $\dot{c}_{p,min}^{SH2}$ 는 제2 열 교환기에서의 열 용량 비율이고, η 은 엔트로피 효율이고, comp는 압축기이고, $\hat{\mathrm{h}}$ 는 특정 엔탈피이고, V_1 은 용액의 특정 용량이고, V_{20} 은 물의 특정 용량이고, V_{29} 은 해수의 특정 용량이다.

[0117] 단계 504에서, 컴퓨팅 장치(12)는 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 엑서지 분석를 수행한다.

[0118] 각 구성 요소의 엑서지 분석을 수행하여 엑서지 파괴율을 산출할 수 있다. 이 때 사용된 엑서지율 균형 방정식은 하기 수학식 5와 같다.

[0119] [수학식 5]

$$\sum \dot{W}_{in} + \sum \left(\left(1 - \frac{T_a}{T}\right) \cdot \dot{Q}\right)_{in} + \sum \dot{E}x_{in} = \sum \dot{W}_{out} + \sum \left(\left(1 - \frac{T_a}{T}\right) \cdot \dot{Q}\right)_{out} + \sum \dot{E}x_{out} + \dot{E}x_D$$

[0120]

$\dot{E}x_D$

[0121] 여기서, 는 파괴된 엑서지이고, a는 죽은 상태(dead state)이다.

[0122] 총 파괴되는 엑서지 량은 모든 구성 요소의 파괴되는 엑서지 량의 합이다. 이 때, 구성 요소 K에 대하여 하기 수학식 6과 같이 정의할 수 있다.

[0123] [수학식 6]

$$\dot{E}x_{Fu,k} = \dot{E}x_{Pr,k} + \dot{E}x_{L,k} + \dot{E}x_{D,k}$$

[0124]

[0125] 여기서, 아래 첨자 Fu, Pr, L은 각각 구성성분 연료의 엑서지, 생성물의 엑서지, 손실 엑서지이다.

[0126] 한편, 엑서지 분석은 열역학 제2 법칙에 따라 손실되거나 파괴되는 엑서지의 량, 위치 및 종류를 산출하는 분석법으로서, 엑서지는 하기 수학식 7과 같이 물리적 및 화학적 엑서지의 합으로 계산된다. 이 때, 물리적 엑서지 및 화학적 엑서지는 수학식 8및 수학식 9와 같이 산출될 수 있다.

[0127] [수학식 7]

$$\dot{E}x_k = \dot{E}x_{Ph,k} + \dot{E}x_{Ch,k}$$

[0128]

[0129] [수학식 8]

$$\dot{E}x_{Ph} = \dot{m} \cdot (\acute{h} - \acute{h}_a - T_a \cdot (s - s_a))$$

[0130]

[0131] [수학식 9]

$$\dot{E}x_{Ch} = \dot{m} \frac{X_{Ch}}{M_{Ch}} \cdot ex^a_{Ch}$$

[0132]

ex^a_{Ch} M_{Ch}

[0133] 여기서, 는 표준 화학 엑서지이고, 는 구성 성분의 몰 질량이다. 이 때, 리튬 혼합물의 화학 엑서지는 하기 수학식 10과 같이 산출될 수 있다.

[0134] [수학식 10]

$$\dot{E}x_{LiBr/H2O} = \dot{m} \cdot \left(\left(\frac{X}{M_{LiBr}}\right) \cdot ex^a_{LiBr} + \left(\frac{(1-X)}{M_{H2O}}\right) \cdot ex^a_{H2O}\right)$$

[0135]

[0137] 단계 506에서, 컴퓨팅 장치(12)는 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 경제적 분석를 수행한다.

[0138] 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 연간 총 비용(total annual cost; TAC)을 산출하기 위하여 경제적 분석을 수행할 수 있다. 각 구성 요소는 전체 시스템의 일부로서 개별적으로 모델링 되었으며, 예비 크기, 시스템 구성 요소 유형 및 할인 접근 방식을 사용하여 고정 통화를 통하여 순 현재 가치를 연간 비용으로 산출할 수 있다. 이에, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 연간 총 비용(TAC)은 시스템의 수명 동안의 비용의 순 현재 가치(net present value;NPV)에 자본 회수 계수(capital recovery factor;CRF)를 곱하여 산출될 수 있는 바, 하기 수학식 11과 같이 산출될 수 있다.

[0139] [수학식 11]

$$TAC = CRF(i',Y) \cdot \sum C_{NPV}$$

[0140]

$$CRF\left(i',Y\right) = \frac{i' \cdot (1+i')^r}{(1+i')^r - 1}$$

[0141]

$$i' = \frac{i_d - j}{1+j}$$

[0142]

[0143] 여기서, C는 비용 변수이고, Y는 시스템의 총 수명 주기의 년수이고, i' 는 실질 이자율이고, i_d 는 할인율이고, j는 인플레이션율이다.

[0144] 각 구성 요소의 비용 방정식 및 초기 비용, 운영 비용 및 간접 비용에 대한 현재 가치 방정식은 표 3(흡수식 히트 펌프) 및 표 4(증발식 담수화 장치)와 같다.

[0145] [표 3]

구성 요소	초기 비용 방정식	운영 비용 방정식
Abs	$C_{I,1} = 16500 \cdot (\frac{A_1}{A_R})^{0.6}$	$C_{R,1} = 0.06 \cdot C_{I,1}$
S1 and S2	$C_{I,k} = 12000 \cdot \left(\frac{A_k}{A_R}\right)^{0.6}, for\ k = 2,3$	$C_{R,k} = 0.06 \cdot C_{I,k}, for\ k = 2,3$
D1	$C_{I,4} = 17500 \cdot (\frac{A_4}{A_R})^{0.6}$	$C_{R,4} = 0.06 \cdot C_{I,4} + \dot{Q}_{D1} \cdot G_{steam} \cdot (\mathrm{yr/sec}) \cdot \mathrm{Y}$
D2	$C_{I,5} = 17500 \cdot \left(\frac{A_5^D}{A_R}\right)^{0.6} + 8000 \cdot \left(\frac{A_5^{Cd}}{A_R}\right)^{0.6}$	$C_{R,5} = 1050 \cdot \left(\frac{A_5^D}{A_R}\right)^{0.6} + 2000 \cdot \left(\frac{A_5^{Cd}}{A_R}\right)^{0.6}$
Evap	$C_{I,6} = 16000 \cdot (\frac{A_6}{A_R})^{0.6}$	$C_{R,6} = 0.06 \cdot C_{I,6}$
SH1 and SH2	$C_{I,k} = 12000 \cdot \left(\frac{A_k}{A_R}\right)^{0.6}, for\ k = 7,8$	$C_{R,k} = 0.06 \cdot C_{I,k}, for\ k = 7,8$
VC1 and VC2	$C_{I,k} = 7364 \cdot \dot{m}_{out} \cdot \left(\frac{P_k^{out}}{P_k^{in}}\right) \cdot \left(\frac{\eta_{comp}}{1-\eta_{comp}}\right), for\ k = 10,11$	$C_{R,k} = 0.25 \cdot C_{I,k} + \dot{W}_k \cdot C_{Elec} \cdot \left(\frac{\mathrm{yr}}{\mathrm{sec}}\right) \cdot \mathrm{Y}, for\ k = 10-11$
P1, P2 and P3	$308.9 \cdot \dot{W}_k^{0.45}, for\ k = 12-14$	$C_{R,k} = 0.25 \cdot C_{I,k} + \dot{W}_k \cdot C_{Elec} \cdot \left(\frac{\mathrm{yr}}{\mathrm{sec}}\right) \cdot \mathrm{Y}, for\ k = 12-14$
Valves	$C_{I,k} = 300, for\ k = 15-20$	$C_{R,k} = 0.06 \cdot C_{I,k}, for\ k = 15-20$

[0146]

[0147] [표 4]

비용	요소	방정식
초기 비용	지역 비용	$C_{Area} = 140 \cdot A_9$
	장비 비용	$C_{Equi} = 4 \cdot C_{Area}$
	현장 비용	$C_{Site} = 0.2 \cdot C_{Equi}$
	운송 비용	$C_{Tran} = 0.05 \cdot (C_{Area} + C_{Equi} + C_{Site})$
	건축 비용	$C_{Buil} = 0.15 \cdot C_{Equi}$
	기술자 비용	$C_{Engi} = 0.1 \cdot C_{Equi}$
	비상 비용	$C_{Cont} = 0.1 \cdot (C_{Area} + C_{Equi} + C_{Site})$
운영 비용	인건 비용	$C_{Labor} = 0.1 \cdot (\dot{m}_{18} + \dot{m}_{17}) \cdot (\frac{sec}{yr}) \cdot Y$
	화학 물질 비용	$C_{C\&M} = 0.04 \cdot (\dot{m}_{18} + \dot{m}_{17}) \cdot (\frac{sec}{yr}) \cdot Y$
간접 비용	보험 비용	$C_{Insu} = 0.005 \cdot C_{Area} \cdot Y$

[0148]

[0149] 또한, 엑서지 흐름에 따른 비용은 연간 비용 흐름이 시스템의 수명 동안 모든 해에 동일하게 발생하는 경우, 시

스템의 각 흐름에 대한 동일한 현재 비용을 제공할 수 있는 바, 구성 요소 K에 대한 균형 방정식은 하기 수학식 12와 같다.

[0150] [수학식 12]

$$\sum \dot{C}_{Q,k} + \sum \dot{C}_{in,k} + \dot{Z}_k = \sum \dot{C}_{W,k} + \sum \dot{C}_{out,k}$$

[0151]

$$\dot{C}_k = c_k \cdot \dot{E}x_k$$

[0152]

$$\dot{Z}_k = \dot{Z}_k^I + \dot{Z}_k^R$$

[0153]

$\dot{C}$ $\dot{Z}_k^I$ $\dot{Z}_k^R$

[0154] 여기서, 는 엑서지 비용율이고, c는 단위 비용이고, 는 구성 요소 k의 초기 비용이고, 은 구성 요소 k의 운영 및 유지보수 비용이다.

[0155] 이 때, 구성 요소 k에 대한 파괴된 엑시지의 비용율은 하기 수학식 13과 같다.

[0156] [수학식 13]

$$\dot{C}_{D,k} = c_{Fu,k} \cdot \dot{E}x_{D,k}$$

[0157]

[0158] 수학식 13은 연료 비용 및 제품 엑서지 측면에서 하기 수학식 14와 같이 나타낼 수 있다.

[0159] [수학식 14]

$$\dot{C}_{Fu,k} - \dot{C}_{L,k} + \dot{Z}_k = \dot{C}_{Pr,k}$$

[0160]

[0161] 한편, 구성 요소 k의 상대 비용 차이 및 엑서지 비용은 하기 수학식 15를 이용하여 산출할 수 있다.

[0162] [수학식 15]

$$r_k = (c_{pr,k} - c_{Fu,k})/c_{Fu,k}$$

[0163]

$$f_k = \dot{Z}_k/(\dot{Z}_k + \dot{C}_{D,k} + \dot{C}_{L,k})$$

[0164]

[0165] 이 때, 각 구성 요소의 비용 균형 및 보조 방정식은 하기 표 5와 같다.

[0166] [표 5]

구성 요소	비용 균형 방정식	보조 방정식
Abs	$\dot{C}_9 + \dot{C}_{40} + \dot{C}_{25} + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_{16} + \dot{Z}_{19} = \dot{C}_1 + \dot{C}_{27}$	$\frac{c_9+c_{40}}{\dot{E}x_9+\dot{E}x_{40}} = \frac{c_1}{\dot{E}x_1}$, $c_9 = c_{10}$
S1	$\dot{C}_8 + \dot{C}_2 + \dot{Z}_2 = \dot{C}_3 + \dot{C}_9$	$c_8 = c_9$
S2	$\dot{C}_5 + \dot{C}_3 + \dot{Z}_3 = \dot{C}_6 + \dot{C}_4$	$c_5 = c_6$
D1	$\dot{C}_4 + \dot{C}_{37} + \dot{Z}_4 = \dot{C}_{38} + \dot{C}_5 + \dot{C}_{11}$	$\frac{\dot{C}_5 - \dot{C}_4}{\dot{E}x_5 - \dot{E}x_4} = \frac{\dot{C}_{11} - \dot{C}_4}{\dot{E}x_1 - \dot{E}x_4}$
D2	$\dot{C}_{11} + \dot{C}_7 + \dot{Z}_5 + \dot{Z}_{15} = \dot{C}_{13} + \dot{C}_{12} + \dot{C}_8$	$\frac{\dot{C}_8 - \dot{C}_7}{\dot{E}x_8 - \dot{E}x_7} = \frac{\dot{C}_{13} - \dot{C}_7}{\dot{E}x_{13} - \dot{E}x_7}$, $c_6 = c_7, c_{11} = c_{12}$
Evap	$\dot{C}_{24} + \dot{C}_{35} + \dot{Z}_6 + \dot{Z}_{17} = \dot{C}_{36} + \dot{C}_{22}$	$c_{22} = c_{23}, c_{23} = c_{24}$
SH1	$\dot{C}_{18} + \dot{C}_{32} + \dot{Z}_7 = \dot{C}_{19} + \dot{C}_{33}$	$c_{18} = c_{19}$
SH2	$\dot{C}_{28} + \dot{C}_{30} + \dot{Z}_8 = \dot{C}_{29} + \dot{C}_{31}$	$c_{29} = c_{28}$
MED	$\dot{C}_0 + \dot{C}_{34} + \dot{Z}_9 = \dot{C}_{14} + \dot{C}_{17} + \dot{C}_{18} + \dot{C}_{28}$	$\frac{\dot{C}_0 - \dot{C}_{18}}{\dot{E}x_0 - \dot{E}x_{18}} = \frac{\dot{C}_{28} - \dot{C}_{34}}{\dot{E}x_{28} - \dot{E}x_{34}}$, $c_{14} = 0., c_{17} = 0.$
VC1	$\dot{C}_{16} + \dot{Z}_{10} = \dot{C}_{41}$	
VC2	$\dot{C}_{27} + \dot{Z}_{11} = \dot{C}_{43}$	
P1	$\dot{C}_1 + \dot{Z}_{12} = \dot{C}_2$	
P2	$\dot{C}_{20} + \dot{Z}_{13} = \dot{C}_{44}$	
P3	$\dot{C}_{29} + \dot{Z}_{14} = \dot{C}_{45}$	$c_{42} = c_{12}$
M1	$\dot{C}_{13} + \dot{C}_{14} + \dot{C}_{15} + (1 - CR) \cdot \dot{C}_{12} + \dot{Z}_{18} = \dot{C}_0$	

[0167]

[0168] 또한, 입력 에너지에 대한 증류수 잠열 및 증발기 열의 비율인 성능비(performance ratio;PR)는 하기 수학식 [16]을 이용하여 산출할 수 있다.

[0169] [수학식 16]

$$PR = \frac{(1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{m}_{12} \cdot \acute{h}_{12} + \dot{m}_{44} \cdot \acute{h}_{44} + \dot{Q}_{Evap}}{\dot{Q}_{D1} + \dot{W}_{total} + \dot{Q}^{MED}_{deficit} + \dot{m}_{Feed} \cdot \acute{h}_{Feed}}$$

[0170]

[0171] 여기서, $\dot{m}_{12}$는 증발된 온수의 질량 유속이고, $\dot{m}_{44}$는 전체 수돗물의 질량 유속이고, $\acute{h}_{12}$는 온수의 비 엔탈피이고, $\acute{h}_{44}$는 대기압에서의 수돗물의 비 엔탈피이고, $\dot{Q}^{MED}_{deficit}$는 증발식 담수화 장치로의 증기 열 전달율이다.

[0172] 또한, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 경제적 성능을 평가하기 위한 총 제품 비용(total product costs;TPC) 및 총 제품 엑서지 비용(total product exergy costs;TEC)은 하기 수학식 17 및 수학식 18과 같다.

[0173] [수학식 17]

$$TPC = \frac{TAC}{(\dot{m}_{water}^{Tap} + \dot{m}_{water}^{hot} + \dot{m}_{water}^{chilled}) \cdot (pf \cdot \frac{year}{sec})}$$

[0174]

[0175] [수학식 18]

$$TEC = \frac{TAC}{(\dot{E}x_{water}^{Tap} + \dot{E}x_{water}^{hot} + \dot{E}x_{Pr,Evap}) \cdot (pf \cdot \frac{year}{sec})}$$

[0176]

[0177] 여기서, 위 첨자 Tap, hot 및 chilled는 생성된 수돗물, 온수 및 냉각수의 흐름을 의미한다.

[0178] 또한, 엑서지 효율 및 전체 파괴된 엑서지 량은 하기 수학식 19와 같다.

[0179] [수학식 19]

$$\eta_{\Pi} = \frac{\dot{E}x_{Pr,tot}}{\dot{E}x_{Fu,tot}}$$

[0180]

$$\dot{E}x_{D,tot} = \sum_{i}^{N} \dot{E}x_{Di}$$

[0181]

[0182] 여기서, η_{Π}는 엑서지 효율이고, $\dot{E}x_{D,tot}$는 전체 파괴된 엑서지 량이고, i는 구성 요소이고, tot는 엑서지의 총합이고, N은 전체 구성 요소의 수이다.

[0183] 한편, 다양한 작동 모드에서 시스템을 평가하기 위한 물-엑서지 넥서스 기반 평가 기준을 사용하는 바, 하기 수학식 20 내지 수학식 23와 같이 정의될 수 있다.

[0184] [수학식 20]

$$ExW = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\sum \dot{m}_{Pr}} = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\dot{m}_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{m}_{12} + \dot{m}_{36}}$$

[0185]

[0186] [수학식 21]

$$WEx = \frac{\dot{m}_{Brine} + \dot{m}_{Cooling}}{\dot{E}x_{Pr,tot}} = \frac{\dot{m}_{45} + \dot{m}_{26}}{\dot{E}x_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{E}x_{12} + |\dot{E}x_{36} - \dot{E}x_{35}|}$$

[0187]

[0188] [수학식 22]

$$WW = \frac{\dot{m}_{Brine} + \dot{m}_{Cooling}}{\sum \dot{m}_{Pr}} = \frac{\dot{m}_{45} + \dot{m}_{26}}{\dot{m}_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{m}_{12} + \dot{m}_{36}}$$

[0189]

[0190] [수학식 23]

$$ExEx = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\dot{E}x_{Pr,tot}} = \frac{\dot{E}x_{D,tot} + \dot{E}x_{L,tot}}{\dot{E}x_{44} + (1 - CR_{42,12}) \cdot \dot{E}x_{12} + |\dot{E}x_{36} - \dot{E}x_{35}|}$$

[0191]

[0192] 여기서, ExW 는 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율이고, WEx 는 물 생산을 위한 전체 물 비율이고, WW 는 엑서지 생산을 위한 전체 물 회수율이고, $ExEx$ 는 엑서지 생산을 위한 엑서지 회수율이다.

[0193] 단계 508에서, 컴퓨팅 장치(12)는 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 설계 파라미터 최적화를 수행한다.

[0194] 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 최적화된 설계 파라미터를 도출하기 위하여, 다중-목적 최적 알고리즘(multi-objective optimization algorithm)의 일 종류인 NSGA-III(non-dominant sorting genetic algorithm-III)가 사용되는 바, 이는 상기 시스템이 경제적 및 엑서지 분석법을 비선형 모델이고, 상기 시스템의 경제적 및 열 역학적 성능이 동시에 고려되어야 하기 때문이다. NSGA-III는 다른 다중-목적 최적 알고리즘에 비하여 보다 양호한 전산 효율 및 모집단 내 해법의 다양성을 나타내기 때문에 목적 함수의 전역 최적 값(global optimum value)을 찾기 위한 최적화 방법으로 널리 이용되고 있다. 여기서, 다중-목적 최적 알고리즘은 주어진 제한조건을 만족시키면서 복수의 목적함수를 최소화 또는 최대화시키도록 설계 파라미터를 조절함으로써 설계하고자 하는 시스템의 성능을 향상시키는 기술이다.

[0195] 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 경제적 및 열 역학적 성능을 최적화하기 위하여 12개의 시스템 제약 조건(입력 변수) 및 알고리즘의 실행 가능성 변수를 고려하여 모델링된 시스템의 경제적 비용 및 총 엑서지는 최소화하고, 생산 효율을 최대화하도록 하기 수학식 24와 같이 다중-목적 최적 알고리즘 기반의 다중-목적 최적화 방법을 사용할 수 있다. 이 때, 12개의 입력 변수 중 처음 세 개는 증발식 담수화 장치의 크기를 결정하고, 다음 두 개의 변수는 용액 열 교환기의 유형을 정의하며, 나머지 변수는 시스템의 온도 한계와 필요한 고온 증기를 결정한다.

[0196] [수학식 24]

$$minimize\ f_1(v_1 \ldots v_n) = ExW^i_{MODE\,I}$$

[0197]

$$minimize\ f_2(v_1 \ldots v_n) = WEx^i_{MODE\,I}$$

[0198]

$$minimize\ f_3(v_1 \ldots v_n) = WW^i_{MODE\,I}$$

[0199]

$$minimize\ f_4(v_1 \ldots v_n) = ExEx^i_{MODE\,I}$$

[0200]

$$maximize\ f_5(v_1 \ldots v_n) = PR^i_{MODE\,I}$$

[0201]

$$maximize\ f_6(v_1 \ldots v_n) = \eta^i_{II,MODE\,I}$$

[0202]

$$minimize\ f_7(v_1 \ldots v_n) = TPC^i_{MODE\,I}$$

[0203]

$$minimize\ f_8(v_1 \ldots v_n) = TEC^i_{MODE\,I}$$

[0204]

$$minimize\ f_9(v_1 \ldots v_n) = TAC^i_{MODE\,I}$$

[0205]

$$with\ v[1..n] = [N, \Delta T_{MED}, T_0, \varepsilon_{S1}, \varepsilon_{S2}, T_{37}, T_5, T_{12}, T_{24}, T_{36}, T_1, \dot{m}_{37}]$$

[0206]

$$\text{subject to } \{v \in argmaxall_{v1\ldots vn}\left[ExW^{i}_{j,Base} - ExW^{i}_{j}, WEx^{i}_{j,Base} - WEx^{i}_{j}, WW^{i}_{j,Base} - WW^{i}_{j}, ExEx^{i}_{j,Base} - ExEx^{i}_{j}, PR^{i}_{j} - PR^{i}_{j,Base}, \eta^{i}_{\mathrm{II},j} - \eta^{i}_{\mathrm{II},j,Base}, TPC^{i}_{j,Base} - TPC^{i}_{j}, TEC^{i}_{j,Base} - TEC^{i}_{j}, TAC^{i}_{j,Base} - TAC^{i}_{j}\right]^{T}, \quad v_k > 0\ \forall v_k \in \mathrm{v}, \quad \mathrm{v} \in \mathrm{FS}$$

[0207]

$$\text{for i} = \text{DCHM} - \text{CHD}, \text{SCHM} - \text{CHD}$$

[0208]

$$\text{for j} = \text{MODE I}, \text{MODE II}, \text{MODE III}, \text{MODE IV}$$

[0209]

[0210] 여기서, i는 증기 압축기 종류(단일 증기 압축기 또는 이중 증기 압축기)이고, j는 작동 모드(추운 환경, 더운 환경, 건조한 환경, 일반 환경)이고, $ExW, WEx, WW, ExEx, PR, \eta_{\Pi}, TPC, TEC, TAC$ 는 각각 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율, 물 생산을 위한 전체 물 비율, 물 생산에 대한 전체 엑서지 비율, 엑서지 생산을 위한 엑서지 회수율, 성능비(입력 에너지에 대한 증류수 잠열 및 증발기 열의 비율), 엑서지 효율, 총 제품 비용, 총 제품 엑서지 비용, 연간 총 비용이고, $N, \Delta T_{MED}, T_0, \varepsilon_{S1}, \varepsilon_{S2}, T_{37}, T_5, T_{12}, T_{24}, T_{36}, T_1, \dot{m}_{37}$ 은 각각 MED의 수, MED 간의 온도 차, MED 증기의 온도, 제1 용액 열 교환기의 효율성, 제2 용액 열 교환기의 효율성, 외부 증기의 온도, 고압 탈착기의 온도, 가열된 물의 온도, 증발기의 온도, 증발기에 대한 입력 흐름의 온도, 흡수기의 온도, 외부 증기의 질량 유속이다.

[0211] 따라서, 본 발명의 실시예들에 따르면, 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템에 있어서 경제적 분석, 열 역학적 분석 및 엑서지 분석을 통하여 비용 효율, 엑서지 효율 및 담수 생산 효율을 최적화함으로써, 담수화 시스템의 생산성 및 효율성을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

[0212] 이상에서 본 발명의 대표적인 실시예들을 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

[0213] 10: 컴퓨팅 환경

12: 컴퓨팅 장치

14: 프로세서

16: 컴퓨터 판독 가능 저장 매체

18: 통신 버스

20: 프로그램

22: 입출력 인터페이스

24: 입출력 장치

26: 네트워크 통신 인터페이스

100 : 흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템

200 : 열 교환 장치

210 : 제1 열 교환 장치

220 : 제2 열 교환 장치

230 : 제2 펌프

240 : 제3 펌프

300 : 증발식 담수화 장치

301 : 혼합기

310 : 제1 다중 효용 증발 장치

311 : 제1 효용 증발기

312 : 제1 가열기

313 : 제1 플래쉬 챔버

320 : 제2 다중 효용 증발 장치

321 : 제2 효용 증발기

322 : 제2 가열기

323 : 제2 플래쉬 챔버

330 : 제3 다중 효용 증발 장치

331 : 제3 효용 증발기

332 : 제3 가열기

333 : 제3 플래쉬 챔버

340 : 제4 다중 효용 증발 장치

341 : 제4 효용 증발기

342 : 제4 가열기

343 : 제4 플래쉬 챔버

350 : 제5 다중 효용 증발 장치

351 : 제5 효용 증발기

352 : 제5 가열기

353 : 제5 플래쉬 챔버

360 : 제6 다중 효용 증발 장치

361 : 제6 효용 증발기

362 : 제6 플래쉬 챔버

400 : 흡수식 히트 펌프 장치

410 : 증발기

420 : 흡수기

430 : 고압 탈착기

440 : 저압 탈착기

450, 460 : 용액 열 교환기

470 : 제1 펌프

480 : 제1 증기 압축기

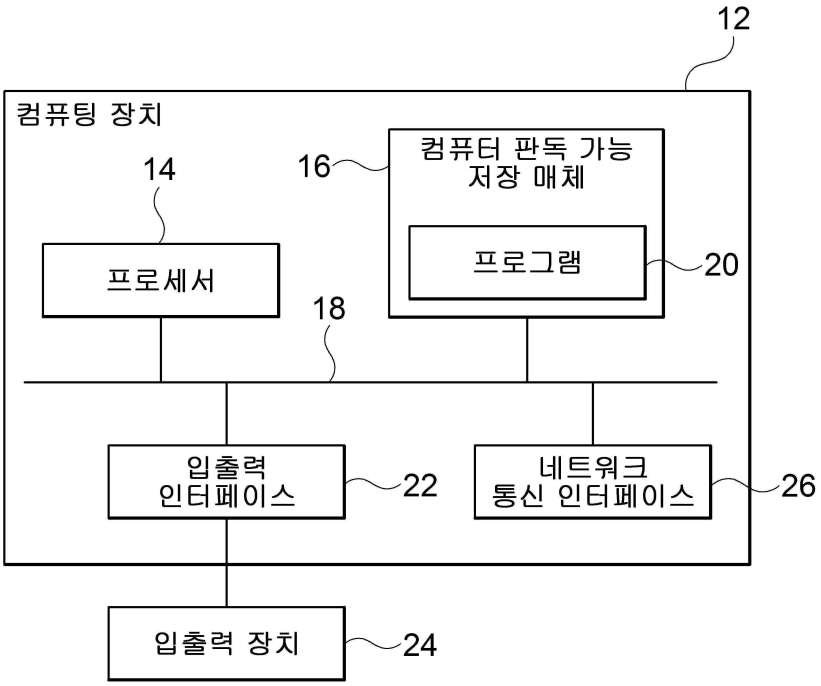
481 : 제2 증기 압축기

491, 492, 493, 494, 495, 496 : 밸브

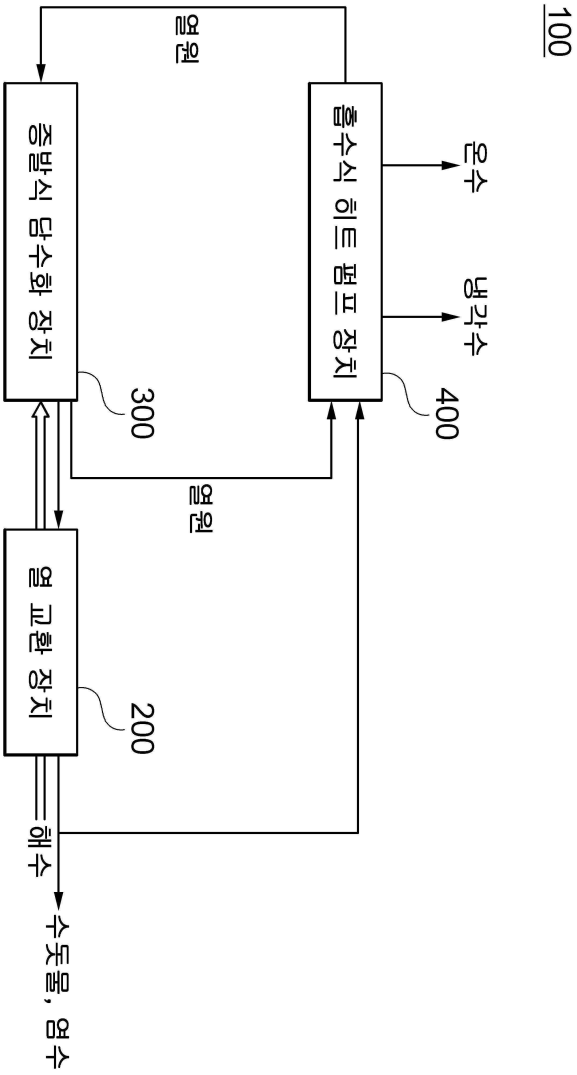
도면

도면1

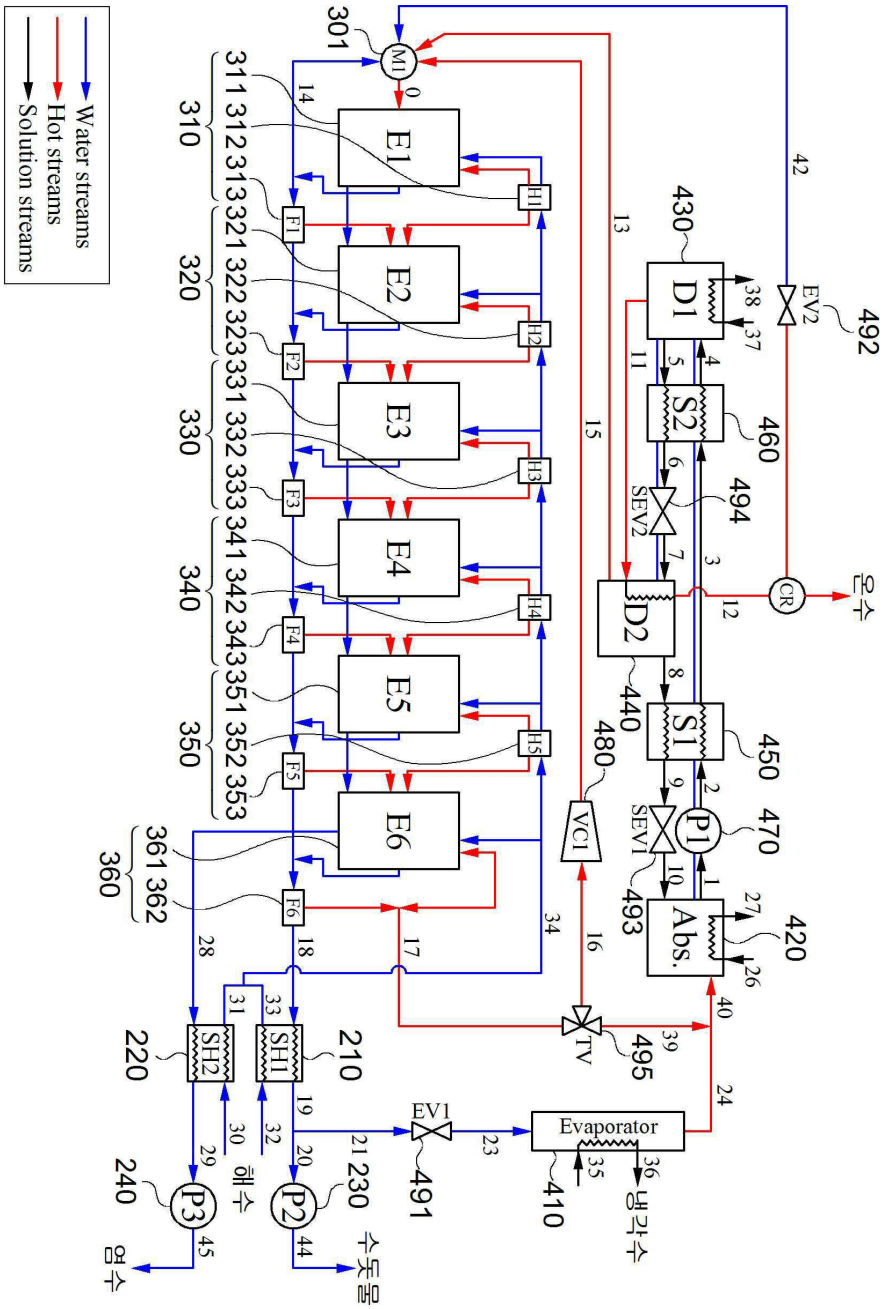
10



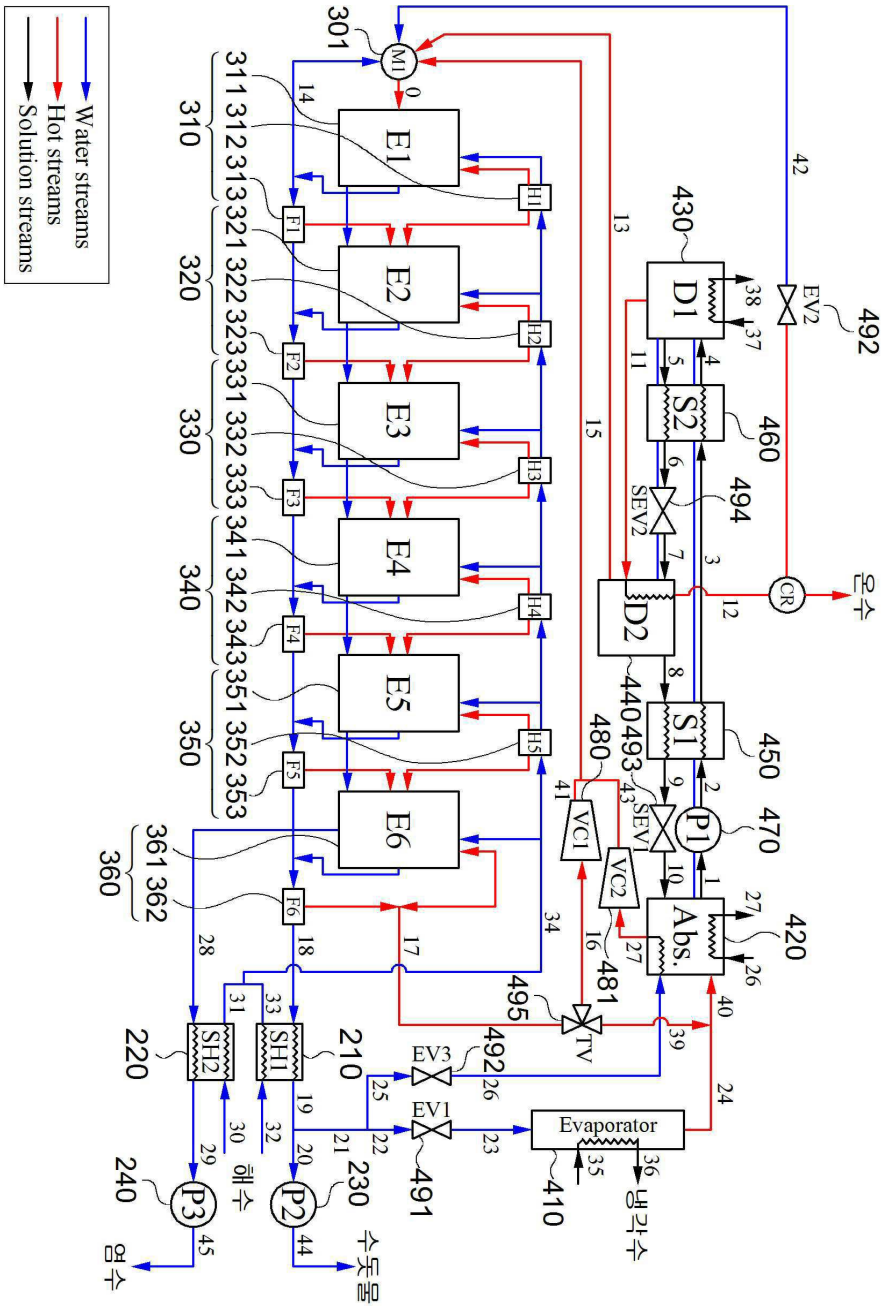
도면2


100
열원
증발식 담수화 장치
흡수식 히트 펌프 장치
온수
냉각수
300
400
열원
열 교환 장치
200
해수
수돗물, 염수

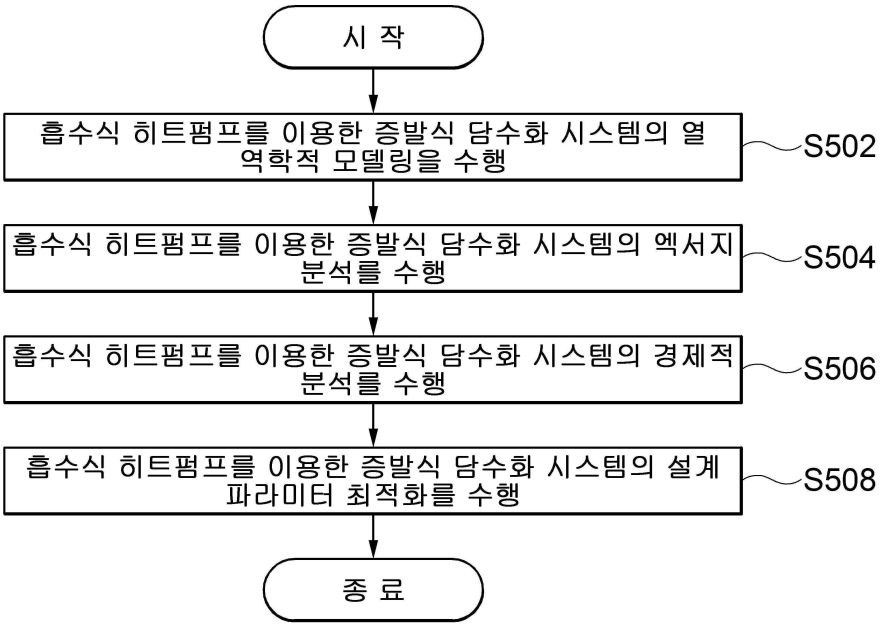
도면3


Water streams
Hot streams
Solution streams
M1
E1
E2
E3
E4
E5
E6
D1
D2
S1
S2
Abs.
P1
P2
P3
SH1
SH2
EV1
EV2
SEV1
SEV2
TV
VC1
CR
Evaporator
H1
H2
H3
H4
H5
F1
F2
F3
F4
F5
F6
301
310
311 312 313
320
321 322 323
330
331 332 333
340
341 342 343
350
351 352 353
360
361 362
210
220
230
240
430
460
494
440
480
450
470
493
420
492
495
491
410
온수
해수
염수
수돗물
냉각수

도면4


Water streams
Hot streams
Solution streams
M1
E1
E2
E3
E4
E5
E6
D1
D2
S1
S2
Abs.
P1
P2
P3
CR
SH1
SH2
EV1
EV2
EV3
SEV1
SEV2
TV
VC1
VC2
Evaporator
온수
해수
염수
수돗물
냉각수

도면5


시 작
흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 열역학적 모델링을 수행
S502
흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 엑서지 분석를 수행
S504
흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 경제적 분석를 수행
S506
흡수식 히트펌프를 이용한 증발식 담수화 시스템의 설계 파라미터 최적화를 수행
S508
종 료