



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0117402
(43) 공개일자 2023년08월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F02C 6/14 (2006.01) F02C 1/10 (2006.01)
F28D 20/00 (2018.01)
(52) CPC특허분류
F02C 6/14 (2013.01)
F02C 1/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-7022516
(22) 출원일자(국제) 2021년12월09일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2023년07월03일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/062675
(87) 국제공개번호 WO 2022/125816
국제공개일자 2022년06월16일
(30) 우선권주장
63/123,266 2020년12월09일 미국(US)
17/546,963 2021년12월09일 미국(US)

(71) 출원인
수퍼크리티컬 스토리지 컴퍼니, 인크.
미국 44308 오하이오 서밋 카운티 애크론 워터 스트리트 365
(72) 발명자
헬드 티모시
미국 44333 오하이오 아크론 빅 스프루스 드라이브 4150
(74) 대리인
김태홍, 김진희

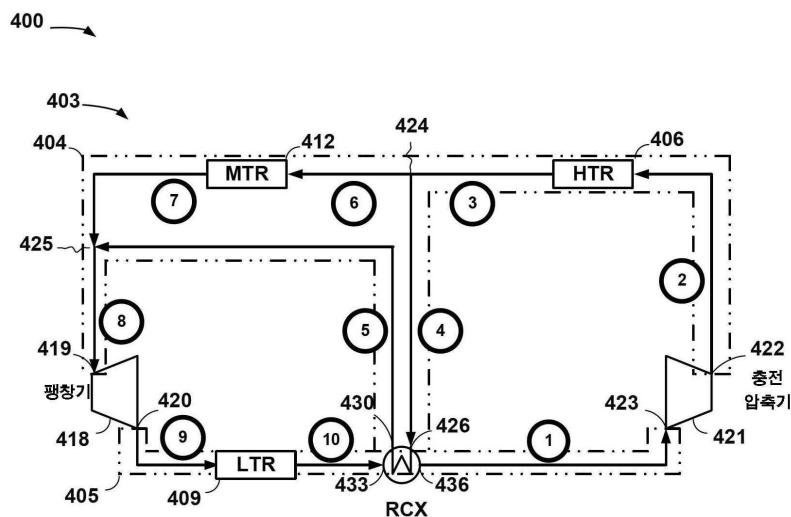
전체 청구항 수 : 총 32 항

(54) 발명의 명칭 3 저장조 전기 열 에너지 저장 시스템

(57) 요약

펌핑형 열 에너지 저장("PTES") 시스템을 동작시키기 위한 방법은, 질량 유량 및 비열 용량을 갖는 작동 유체를 작동 유체 회로를 통해 순환시키는 단계 및 작동 유체가 작동 유체 회로를 통해 순환할 때 환열기의 고압 측과 환열기의 저압 측 상에서의 작동 유체의 질량과 비열 용량의 곱을 밸런싱하는 단계를 포함한다. PTES 시스템은 작동 유체 회로에서의 바이패스를 포함하며, 바이패스에 의해 작동 유체의 제1 부분이 환열기의 고압 측을 바이패스하면서 작동 유체의 제2 부분이 환열기의 고압 측을 통해 순환한다.

대표도 - 도4a



(52) CPC특허분류

F28D 20/00 (2018.05)

Y02E 60/14 (2020.08)

명세서

청구범위

청구항 1

펌핑형 열 에너지 저장("PTES", pumped thermal energy storage) 시스템을 동작시키기 위한 방법에 있어서,
작동 유체 회로를 통해 작동 유체를 순환시키는 단계 - 상기 작동 유체는 질량 유량 및 비열 용량(specific heat capacity)을 가짐 - ; 및

상기 작동 유체가 상기 작동 유체 회로를 통해 순환할 때 환열기(recuperator)의 고압 측과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 공급 밸런싱(balancing)하는 단계

를 포함하는, PTES 시스템을 동작시키기 위한 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 작동 유체가 상기 작동 유체 회로를 통해 순환할 때 상기 환열기의 고압 측과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 공급 밸런싱하는 단계는:

상기 작동 유체를 상기 환열기의 고압 측 상에서 제1 부분 및 제2 부분으로 분할하는 단계;

상기 환열기의 고압 측 주위에서 상기 제1 부분을 바이패스(bypass)시키는 단계;

상기 바이패스 동안 상기 제1 부분을 냉각시키는 단계;

상기 제2 부분을 환열기를 통해 순환시키는 단계; 및

상기 제2 부분이 상기 환열기를 빠져나간 후 상기 냉각된 제1 부분을 상기 제2 부분과 결합하는 단계

를 포함하는 것인, 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 바이패스 동안 상기 제1 부분을 냉각시키는 단계는:

상기 바이패스를 통해 상기 작동 유체를 순환시키는 단계; 및

상기 작동 유체와 중간 온도 열 저장조 사이에 열을 전달하는 단계

를 포함하고,

상기 전달하는 단계는:

충전 단계에서, 상기 작동 유체로부터 중온 열 저장조로 열을 전달하는 단계; 및

생성 단계에서, 중온 열 저장조로부터 상기 작동 유체로 열을 전달하는 단계

를 포함하는 것인, 방법.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 작동 유체의 제1 부분은 상기 작동 유체 부분의 대략 40%를 포함하고, 상기 제2 부분은 상기 작동 유체 부분의 대략 60%를 포함하는 것인, 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 작동 유체 회로를 통해 상기 작동 유체를 순환시키는 단계는 이산화탄소(CO₂)를 순환시키는 단계를 포함하고,

상기 작동 유체의 제1 부분은 상기 작동 유체 부분의 대략 40%를 포함하고,

상기 제2 부분은 상기 작동 유체 부분의 대략 60%를 포함하는 것인, 방법.

청구항 6

청구항 2에 있어서,

상기 작동 유체 회로를 통해 상기 작동 유체를 순환시키는 단계는 이산화탄소(CO₂)를 순환시키는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 환열기의 고압 측과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 곱을 밸런싱하는 단계는:

충전 단계에서:

환열기의 고압 측을 통해 이산화탄소(CO₂)로 구성된 작동 유체의 대략 60%를 순환시키는 단계와,

상기 환열기의 저압 측을 통해 CO₂로 구성된 작동 유체의 100%를 순환시키는 단계; 및

생성 단계에서:

환열기의 고압 측을 통해 CO₂로 구성된 작동 유체의 대략 60%를 순환시키는 단계와,

상기 환열기의 저압 측을 통해 CO₂로 구성된 작동 유체의 100%를 순환시키는 단계

를 포함하는 것인, 방법.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 작동 유체가 상기 작동 유체 회로를 통해 순환할 때 상기 환열기의 고압 측과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 곱을 밸런싱하는 단계는, 상기 환열기의 고압 측 상에서의 질량 유량을 감소시키는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 환열기의 고압 측 상에서의 상기 작동 유체의 상기 제2 부분과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 결합된 부분 사이에 열을 교환하는 단계

를 더 포함하는, 방법.

청구항 10

펌핑형 열 에너지 저장("PTES") 시스템에 있어서,

중간 온도 열 저장조; 및

작동 유체 회로

를 포함하고,

상기 작동 유체 회로는:

고압 측과 저압 측을 갖는 환열기 - 작동 유체가 상기 작동 유체 회로를 통해 순환할 때 상기 고압 측과 상기 저압 측 상에서 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 곱이 밸런싱됨 -

를 포함하는 것인, PTES 시스템.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 작동 유체는 이산화탄소(CO_2)인 것인, 시스템.

청구항 12

청구항 10에 있어서,

상기 작동 유체 회로는 바이패스를 포함하며, 상기 바이패스에 의해 상기 작동 유체의 제1 부분이 상기 환열기의 고압 측을 바이패스하면서 상기 작동 유체의 제2 부분이 상기 환열기의 고압 측을 통해 순환하는 것인, 시스템.

청구항 13

청구항 10에 있어서,

상기 바이패스는 상기 제1 부분과 상기 중간 온도 열 저장조 사이의 열 전달을 포함하고,

상기 작동 유체 회로는:

상기 작동 유체를 상기 제1 부분과 상기 제2 부분으로 분할하는, 상기 환열기의 고압 측 상에서의 분할부(split) - 상기 제1 부분은 상기 제2 부분보다 작으며, 상기 제2 부분은 상기 환열기의 고압 측으로부터 상기 환열기를 통해 순환함 - ; 및

상기 제2 부분이 상기 환열기를 빠져나가면 상기 제1 부분이 상기 제2 부분과 결합하는, 상기 환열기의 고압 측 상에서의 결합 포인트

를 더 포함하는 것인, 시스템.

청구항 14

청구항 10에 있어서,

상기 제1 부분은 총 작동 유체의 대략 40%이고, 상기 제2 부분은 총 작동 유체의 대략 60%인 것인, 시스템.

청구항 15

청구항 10에 있어서,

상기 작동 유체는 이산화탄소(CO_2)이고,

상기 제1 부분은 총 작동 유체의 대략 40%이고,

상기 제2 부분은 총 작동 유체의 대략 60%인 것인, 시스템.

청구항 16

청구항 10에 있어서,

동작 시, 상기 환열기의 고압 측 상에서의 상기 작동 유체의 제2 부분과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 결합된 부분 사이에 열이 교환되는 것인, 시스템.

청구항 17

펌핑형 열 에너지 저장("PTES") 시스템을 동작시키기 위한 방법에 있어서,

작동 유체 회로를 통해 작동 유체를 순환시키는 단계; 및

상기 작동 유체를 순환시키는 동안 환열기의 고압 측과 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 값을 밸런싱하기 위해 상기 환열기의 고압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량 유량을 감소시키는 단계

를 포함하고,

상기 감소시키는 단계는:

상기 작동 유체의 제1 부분으로 상기 환열기의 고압 측을 바이패스시키는 단계; 및

상기 작동 유체의 제2 부분을 상기 환열기의 고압 측을 통해 순환시키는 단계

를 포함하는 것인, PTES 시스템을 동작시키기 위한 방법.

청구항 18

청구항 17에 있어서,

상기 환열기의 고압 측을 바이패스시키는 단계는:

충전 단계에서 상기 작동 유체와 고온 저장조 사이에 열을 전달하면, 상기 작동 유체의 제1 부분으로 환열기의 고압 측을 바이패스시키고 상기 바이패스 동안 상기 제1 부분으로부터 중온 저장조로 열을 전달하면서, 제2 부분이 상기 환열기를 통해 순환하는 단계 - 상기 제1 부분은 상기 제2 부분보다 작음 - ; 및

생성 단계에서 펌프를 빠져나가면, 상기 작동 유체의 제3 부분으로 상기 환열기의 고압 측을 바이패스시키고 상기 바이패스 동안 상기 중온 저장조로부터 상기 제3 부분으로 열을 전달하면서, 상기 작동 유체의 제4 부분을 상기 환열기를 통해 순환시키는 단계

를 포함하는 것인, 방법.

청구항 19

청구항 17에 있어서,

상기 환열기의 고압 측 상에서의 상기 작동 유체의 제2 부분과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 결합된 부분 사이에 열을 교환하는 단계

를 더 포함하는, 방법.

청구항 20

청구항 17에 있어서,

상기 작동 유체를 순환시키는 동안 환열기의 고압 측과 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 값을 밸런싱하기 위해 상기 환열기의 고압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량 유량을 감소시키는 단계는:

상기 작동 유체를 상기 환열기의 고압 측 상에서 제1 부분 및 제2 부분으로 분할하는 단계 - 상기 제1 부분은 상기 제2 부분보다 작음 - ;

상기 바이패스 동안 상기 제1 부분으로 그리고 상기 제1 부분으로부터 열을 전달하는 단계; 및

상기 제2 부분이 상기 환열기를 빠져나간 후에 상기 제1 부분을 상기 제2 부분과 결합하는 단계

를 더 포함하는 것인, 방법.

청구항 21

청구항 20에 있어서,

상기 바이패스 동안 상기 제1 부분으로 그리고 상기 제1 부분으로부터 열을 전달하는 단계는 상기 작동 유체와 중간 온도 열 저장조 사이에 열을 전달하는 단계를 포함하되,

충전 단계에서, 상기 작동 유체로부터 중간 온도 열 저장조로 열을 전달하는 단계; 및

생성 단계에서, 중간 온도 열 저장조로부터 상기 작동 유체로 열을 전달하는 단계를 더 포함하는 것인, 방법.

청구항 22

청구항 17에 있어서,

상기 작동 유체 회로를 통해 상기 작동 유체를 순환시키는 단계는 이산화탄소(CO₂)를 순환시키는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 23

청구항 17에 있어서,

상기 작동 유체의 제1 부분은 상기 작동 유체 부분의 대략 40%를 포함하고, 상기 제2 부분은 상기 작동 유체 부분의 대략 60%를 포함하는 것인, 방법.

청구항 24

청구항 17에 있어서,

상기 작동 유체 회로를 통해 상기 작동 유체를 순환시키는 단계는 이산화탄소(CO₂)를 순환시키는 단계를 포함하고,

상기 작동 유체의 제1 부분은 상기 작동 유체 부분의 대략 40%를 포함하고 상기 제2 부분은 상기 작동 유체 부분의 대략 60%를 포함하는 것인, 방법.

청구항 25

펌핑형 열 에너지 저장("PTES") 시스템에 있어서,

저온 열 저장조;

고온 열 저장조;

중온 열 저장조; 및

PTES 동작 사이클의 충전 단계 및 생성 단계를 위해 구성가능한 작동 유체 회로 - 상기 작동 유체 회로를 통해 사용 시 작동 유체가 순환하고, 상기 작동 유체 회로는:

환열기;

상기 충전 단계에 있을 때:

상기 환열기와 상기 저온 열 저장조 사이에 위치된 팽창기와,

상기 환열기와 상기 고온 열 저장조 사이에 위치된 충전 압축기,

상기 생성 단계에 있을 때:

상기 환열기와 상기 저온 열 저장조 사이에 위치된 펌프와,

상기 환열기와 상기 고온 열 저장조 사이에 위치된 파워 터빈; 및

바이패스 - 상기 바이패스에 의해, 상기 충전 단계와 상기 생성 단계 둘 다, 상기 작동 유체의 제1 부분이 상기 환열기의 고압 측을 바이패스하며 상기 중온 열 저장조를 통해 흐르고, 상기 중온 열 저장조는 상기 작동 유체와 상기 중온 열 저장조 사이에 열을 전달하면서, 상기 작동 유체의 제2 부분이 상기 환열기를 통해 순환함을 포함하는 것인, PTES 시스템.

청구항 26

청구항 25에 있어서,

상기 작동 유체는 이산화탄소(CO₂)인 것인, 시스템.

청구항 27

청구항 25에 있어서,

상기 제1 부분은 총 작동 유체의 대략 40%이고, 상기 제2 부분은 총 작동 유체의 대략 60%인 것인, 시스템.

청구항 28

청구항 25에 있어서,

상기 작동 유체는 이산화탄소(CO₂)이고,

상기 제1 부분은 총 작동 유체의 대략 40%이고,

상기 제2 부분은 총 작동 유체의 대략 60%인 것인, 시스템.

청구항 29

펌핑형 열 에너지 저장("PTES") 시스템을 동작시키기 위한 방법에 있어서,

환열기를 포함하는 작동 유체 회로를 통해 고열 용량 작동 유체를 순환시키는 단계; 및

질량과 비열 용량의 곱이 환열기의 양측에서 동일하도록 상기 환열기의 고압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량 유량을 감소시키는 단계

를 포함하고,

상기 감소시키는 단계는:

충전 단계에서:

상기 작동 유체의 제1 부분으로 환열기를 바이패스시키고 상기 바이패스 동안 상기 제1 부분으로부터 중온 저장조로 열을 전달하면서 상기 작동 유체의 제2 부분을 상기 환열기를 통해 순환시키는 단계;

상기 제1 부분이 상기 환열기를 바이패스하는 동안 제2 부분을 상기 환열기를 통해 순환시키고 상기 환열기를 통해 순환하는 동안 상기 제2 부분으로부터 열을 전달하는 단계; 및

상기 제1 부분이 상기 환열기를 바이패스하고 상기 제2 부분이 상기 환열기를 통해 순환한 후에 상기 제1 부분과 상기 제2 부분 둘 다 함께 팽창기를 통해 순환시키는 단계;

생성 단계에서:

상기 작동 유체의 제3 부분으로 상기 환열기를 바이패스시키고 상기 바이패스 동안 상기 제3 부분으로부터 중온 저장조로 열을 전달하면서 상기 작동 유체의 제4 부분을 상기 환열기를 통해 순환시키는 단계;

상기 제3 부분이 상기 환열기를 바이패스하는 동안 제4 부분을 상기 환열기를 통해 순환시키고 상기 환열기를 통해 순환하는 동안 상기 제4 부분으로 열을 전달하는 단계; 및

상기 제3 부분이 상기 환열기를 바이패스하고 상기 제4 부분이 상기 환열기를 통해 순환한 후에 상기 제3 부분과 상기 제4 부분 둘 다 함께 고온 저장조를 통해 순환시키는 단계

를 포함하는 것인, PTES 시스템을 동작시키기 위한 방법.

청구항 30

청구항 29에 있어서,

상기 작동 유체는 이산화탄소(CO₂)인 것인, 방법.

청구항 31

청구항 30에 있어서,

상기 제1 부분은 대략 40%를 나타내고,

상기 제2 부분은 상기 충전 단계에서 상기 작동 유체의 질량 유량의 대략 60%를 나타내고,

상기 제3 부분은 상기 생성 단계에서 상기 작동 유체의 질량 유량의 대략 40%를 나타내고 상기 제4 부분은 대략 60%를 나타내는 것인, 방법.

청구항 32

청구항 29에 있어서,

상기 제1 부분은 상기 충전 단계에서 상기 작동 유체의 질량 유량의 대략 40%를 나타내고 상기 제2 부분은 대략 60%를 나타내고,

상기 제3 부분은 상기 생성 단계에서 상기 작동 유체의 질량 유량의 대략 40%를 나타내고 상기 제4 부분은 대략 60%를 나타내는 것인, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호참조

[0002] 이 출원은, Timothy Held의 이름으로 2020년 12월 9일에 출원된, "3-Reservoir ETES System" 이란 명칭의 공동 계류 중인 미국 가출원 번호 제63/123,266호 및 2021년 12월 9일에 출원된 미국 정규 특허 출원 번호 제 17/546,963호에 대한 우선권을 주장한다. 이 출원은 본원에서 그대로 서술된 바와 같이 우선권을 포함하는 모든 목적을 위해 그 전체가 참조에 의해 본원에 포함된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본 개시는 전기 열 에너지 저장("ETES", electric thermal energy storage) 시스템, 더 구체적으로는 이산화탄소("CO₂") 기반 펌핑형 열 에너지 저장("PTES", pumped thermal energy storage) 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 때때로 전기 열 에너지 저장 시스템으로도 알려진 PTES 시스템은 에너지를 저장하고 재생성하는 데 사용된다. PTES 시스템은 일반적으로, 작동 유체 회로 내의 작동 유체를 통해 고온 저장조와 저온 저장조 사이에 열 에너지가 전달되는 구성 가능한 열역학적 사이클을 사용한다. 가장 간단한 버전에서, PTES는, 열 및 유체 흐름의 한 방향으로 열 펌프로서 동작하고 열 및 유체 흐름의 반대 방향으로 열 엔진으로서 동작하는 열역학적 사이클로 구성되며, 여기서 도 1a에 도시된 바와 같이 2개의 저장조, 즉 고온에서의 하나의 저장조와 저온에서의 다른 저장조 사이에 열 에너지가 전달된다. PTES의 동작은 "충전(charging)" 단계 및 "생성(generating)" 단계를 포함하는 것으로 광범위하게 기술될 수 있다.

[0006] 동작의 "충전" 단계 동안, 열 에너지는 명목상 정방향으로 열 펌프 사이클을 사용함으로써 저온 저장조("LTR", low-temperature reservoir)로부터 고온 저장조("HTR", high-temperature reservoir)로 업그레이드된다. 이 프로세스 동안, 전기 모터가 가스 압축기를 구동하는 데 사용되며, 이는 작동 유체 압력 및 온도를 증가시킨다. 작동 유체에 포함된 열 에너지는 간접 열 교환기를 사용하여 고온 저장조("HTR")로 전달된다. 추가 열 에너지는 간접 열 교환기의 하류측 작동 유체로부터 환열기(recuperator) 열 교환기에서의 가스 압축기의 상류측 유체로 전달된다. 이어서, 유체는 터빈을 통해 팽창되며, 터빈은 압축기를 구동하는 것을 돕는 데 사용되는 샤프트 작업을 생성한다. 터빈 출구에서의 작동 유체는 더 낮은 압력 및 훨씬 더 낮은 온도이다. 열이 저온 저장조("LTR")로부터 작동 유체로 전달되며, 이는 압축기 입구에서 초기 상태로 되돌아가게 한다.

[0007] 동작의 "생성" 단계 동안, 유체 및 열 흐름의 방향이 반대로 된다. LTR에서 빠져나가는 유체는 압축되지만, 이제 "압축기" 입구 및 출구 온도는 훨씬 더 낮으며, 실제로, 시스템의 이산화탄소(CO₂) 기반 버전의 경우, 유체는 액체 상태에 있을 수 있고, 따라서 "압축기"는 실제로 펌프이다. 이어서 유체는 HTR에 의해 상대적으로 고온으로 가열되고 터빈을 통해 팽창되며 샤프트 작업을 생성한다. 이 터빈 작업은 이제 압축기 작업을 능가하고, 초과분이 발전기에 의해 전력으로 변환되어 전력망으로 다시 공급된다. 터빈 방전시 잔류 열 에너지는 환열기 열 교환기에서 HTR 상류측 작동 유체로 전달된다.

발명의 내용

[0008] 본원에 개시된 기술은 환열기에 걸친 열 용량 불일치의 영향을 감소시키고, 이에 따라 아래에 기술되는 온도-열 전달("TQ") 기술기 불일치와 연관된 손실 엑서지(exergy)를 피한다. 본 개시된 기술은 또한 사이클 성능을 현저하게 개선한다. 본원에서 사용되는 바와 같이, "엑서지"는 시스템을 열 저장조와 평형을 이루게 하는 프로세스 동안 가능한 최대 유용한 작업이다.

[0009] 본 개시된 기술은 방법 및 장치를 포함한다. 펌핑형 열 에너지 저장("PTES") 시스템을 동작시키기 위한 방법은, 작동 유체 회로를 통해 질량 유량 및 비열 용량(specific heat capacity)을 갖는 작동 유체를 순환시키는 단계 및 작동 유체가 작동 유체 회로를 통해 순환할 때 환열기의 고압 측과 환열기의 저압 측 상에서의 작동 유체의 질량과 비열 용량의 곱을 밸런싱(balancing)하는 단계를 포함한다. PTES 시스템은 작동 유체 회로에서 바이패스(bypass)를 포함하며, 바이패스에 의해 작동 유체의 제1 부분이 환열기의 고압 측을 바이패스하면서 작동 유체의 제2 부분이 환열기의 고압 측을 통해 순환한다.

도면의 간단한 설명

[0010] 본 개시는 다음의 상세한 설명으로부터 첨부 도면과 함께 볼 때 가장 잘 이해된다. 산업계에서의 표준 실시예에 따라 다양한 특징부들이 실측적으로 도시되지 않은 것을 강조한다. 사실상, 다양한 특징부들의 치수는 설명을 명확하게 하기 위해 임의로 증가되거나 감소되었을 수 있다.

도 1a는 PTES 동작 사이클의 충전 단계 동안의 종래 기술 PTES 시스템에 대한 프로세스 흐름도이다.

도 1b는 PTES 동작 사이클의 생성 단계 동안의 종래 기술 PTES 시스템에 대한 프로세스 흐름도이다.

도 2는 도 1a 및 도 1b의 종래 PTES 시스템에 대하여 생성 단계에 대한 상태 포인트인 박스 내의 번호를 포함하는 베이스라인 PTES 사이클에 대한 압력-엔탈피 다이어그램이다.

도 3은 도 1a 및 도 1b의 PTES 시스템에서의 도 2의 베이스라인 PTES 사이클에 대한 온도-열 전달("TQ") 플롯이다.

도 4a는 하나 이상의 실시예에 따른 PTES 동작 사이클의 충전 단계 동안 PTES 시스템에 대한 프로세스 흐름도이다.

도 4b는 하나 이상의 실시예에 따른 PTES 동작 사이클의 생성 단계 동안의 PTES 시스템에 대한 프로세스 흐름도이다.

도 5는 도 4a에 도시된 충전 단계 및 도 4b에 도시된 생성 단계에 대하여 도 4a 및 도 4b의 작동 유체 회로가 구성될 수 있는 제어 시스템의 하나의 특정 예를 예시한다.

도 6a 내지 도 6f는 다양한 실시예에서 발견될 수 있는 바와 같은 도 4a 및 도 4b의 열 저장조의 여러 구현들을 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 전체 사이클 성능의 하나의 메트릭은 "왕복 효율"("RTE", round-trip efficiency)이다. 이 파라미터는 생성 단계 동안 생성될 수 있는 전기 에너지(kWh)의 양을 충전 단계 동안 소비된 전기 에너지의 양으로 나눈 것을 정의한다. 다른 주요 성능 파라미터는 시스템 자본 비용이며, 이는 생성 용량 측면에서 또는 저장 용량 측면에서 정의될 수 있다.

[0012] 도 1a 및 도 1b는 압력-엔탈피 다이어그램이 도 2에 도시되어 있는 PTES 동작 사이클을 갖는 종래 기술 PTES 시스템(100)을 예시한다. 도 2에서 박스로 표시된 작동 유체 상태가 도 1a 및 도 1b에서 원형으로 표시되어 있다. 따라서, PTES 시스템(100)의 동작 사이클 내의 다양한 포인트에서의 동작 상태들이 도 2의 압력-엔탈피 다이어그램으로부터 도 1a 및 도 1b의 프로세스 흐름도로 맵핑될 수 있다. 도 1a는 동작 사이클의 충전 단계를 예시하며, 도 1b는 동작 사이클의 생성 단계를 예시한다. 다음의 설명 및 첨부 도면에서, 표 1에 제시된 명명법이 사용될 것이다.

표 1

[0013]

약어	의미
ACC	Air-cooled cooler(공냉식 냉각기)
HTR	High-temperature reservoir(고온 저장조)
HTX	High-temperature reservoir to CO ₂ heat exchanger(고온 저장조로부터 CO ₂ 열 교환기로)
LPT	Low-pressure turbine(저압 터빈)
LTR	Low-temperature reservoir(저온 저장조)
LTX	Low-temperature reservoir to CO ₂ heat exchanger(저온 저장조로부터 CO ₂ 열 교환기로)
MTR	Medium-temperature reservoir(중온 저장조)
MTX	Medium-temperature reservoir to CO ₂ heat exchanger(중온 저장조로부터 CO ₂ 열 교환기로)
PFD	Process flow diagram(프로세스 흐름도)
PTES	Pumped thermal energy storage(펌핑형 열 에너지 저장)
RCX	Recuperator heat exchanger(환열기 열 교환기)
RTE	Round-trip efficiency(왕복 효율)

[0014] 표 1: 명명법

[0015]

PTES 시스템(100)은 작동 유체 회로(103), HTR(106), LTR(109) 및 환열기(RCX)를 포함한다. 작동 유체 회로(103)의 구성은 부분적으로, PTES 시스템(100)이 동작 사이클의 충전 단계에 있는지 아니면 생성 단계에 있는지에 의존한다. 본 개시의 이점을 갖는 당업자라면 알 수 있듯이, 구성은 일반적으로 유체 유동 밸브의 프로그램된 제어의 함수이다. 따라서, 충전 단계에서, 작동 유체 회로(103)를 통한 작동 유체의 흐름을 제어함으로써 작동 유체 회로(103)의 일부 컴포넌트가 스위치 인되고 일부가 스위치 아웃된다. 마찬가지로, 생성 단계에서, 작동 유체 회로(103)를 통한 작동 유체의 흐름을 제어함으로써 다시, 다른 컴포넌트가 스위치 인되고 다른 컴포넌트가 스위치 아웃될 수 있다. 따라서, 유체 유동 밸브 및 컨트롤러(들)는 명확성을 위해 도 1a 및 도 1b에서 생략된다.

[0016]

충전 단계에서, 도 1a에 도시된 바와 같이, 작동 유체 회로(103)는 팽창기(115), 충전 압축기(112), 및 환열기(RCX)와 팽창기(115) 사이의 공냉식 냉각기(ACC1)를 포함한다. 팽창기(115)는 작동 유체가 팽창되는 팽창 프로세스에 사용된다. 충전 압축기(112)는 작동 유체가 압축되는 압축 프로세스에 사용된다. 도 1b에 도시된 생성 단계에서, 작동 유체 회로(103)는 압축 프로세스를 위한 펌프(118)를 포함한다. 마찬가지로, 작동 유체 회로(103)는 생성 단계에서 파워 터빈(121)을 포함한다. 또한, 작동 유체 회로(103)는 충전 단계로부터 공냉식 냉각기(ACC1)를 생략하고, 생성 단계에서 공냉식 냉각기(ACC2)를 포함한다. 공냉식 냉각기(ACC2)는 LTR(109)과 환열기(RCX) 사이에 위치된다.

[0017]

현재 사용되는 명명법에서, "고온" 및 "저온"은 서로 상대적이며, 즉 HTR은 LTR이 동작하는 온도보다 높은 온도에서 동작한다. 용어 "핫(hot)" 및 "콜드(cold)"는 서로에 대하여 사용된다. 예를 들어, 실시예에 따라 HTR(106)은 100℃ 내지 340℃ 범위의 온도에서 동작할 수 있고, LTR(109)은 -2℃ 내지 2℃ 범위의 온도에서 동작할 수 있다.

[0018]

도 1a에 도시된 충전 단계에서, 각각, LTR(109)로부터 작동 유체로 열이 전달되고, 작동 유체로부터 HTR(106)로 열이 전달된다. 도 1b에 도시된 생성 단계에서, 열 전달은 반대 방향으로 발생한다. 각각, 작동 유체로부터 LTR(109)로 열이 전달되고, HTR(106)로부터 작동 유체로 열이 전달된다.

[0019]

전통적인 열 엔진과는 달리, 100% 효율 터보기계를 가지며 압력 손실이 없고 열 교환기를 통해 완벽하게 온도 매칭되는 이론적으로 이상적인 사이클에서, PTES 프로세스의 RTE는 100%이다. 실제로는, 열역학적 비가역성, 압력 손실 및 열 교환기를 통한 유한 온도 접근으로 인해 RTE 값이 낮아진다. 도 1a에 도시된 베이스라인 사이클의 충전 단계에 대해, 이산화탄소("CO₂") 및 합리적인 효율 값 세트 등을 사용하여, 50-55%의 RTE를 계산할 수 있다.

[0020]

예를 들어, 열역학적 비가역성은 비효율을 도입할 수 있다. 열역학적으로 이상적인 압축 및 팽창 프로세스는 "단열(adiabatic), 등엔트로픽(isentropic)" 디바이스로서 기술된다. 도 2에서, 팽창 및 압축 프로세스는 대

각선으로, 예를 들어 생성 단계에서 상태 4에서 상태 5로, 표현된다. 용어 "등엔트로피"는 일정한 엔트로피 프로세스를 지칭한다. 도시된 비이상적인 경우에, 압축 프로세스는 비등엔트로픽(non-isentropic)이므로, 대응하는 생성 팽창 프로세스보다 압력을 증가시킬 때 더 얇은 기울기를 보여준다. 이러한 비가역성으로 인해, 압축 프로세스는 팽창 프로세스가 반환하는 것보다 더 많은 작업을 소비한다.

[0021] 작동 유체를 순환시키는 데에도 비효율이 발생한다. 열 추가 및 제거 프로세스(예컨대, 생성 프로세스에서 상태 7에서 상태 1로) 동안의 압력 손실은 열 교환기 및 배관을 통해 유체를 순환시키는 데 있어서 손실된 작업을 나타낸다. 따라서, 작동 유체를 순환시키는 기본 동작 자체가 비효율을 야기한다.

[0022] 또한, 두 재료 사이의 열 전달을 구동하기 위해 작동 유체와 열 저장 매체 사이의 유한 온도 차이가 요구된다. 열 전달 방향이 충전 단계와 생성 단계 사이에 반대로 되기 때문에, 그리고 저장조 재료 온도가 고정되기 때문에, 충전 동안 작동 유체 온도는 HTR보다 높고 HTR보다 낮아야 할 필요가 있는 한편, 생성 동안에는 HTR보다 낮고 HTR보다 높을 필요가 있다. 이러한 온도차는 손실된 열역학적 전위를 나타내며, 이는 시스템의 왕복 효율을 감소시킨다.

[0023] 또한, PTES 시스템(100)은 "회복(recuperation)"으로도 알려진 내부 열 전달을 이용한다. 이 프로세스는 PTES 시스템(100)에서 환열기(RCX)에 의해 표현된다. 충전 사이클 동안 압축기(112)에 진입하는 작동 유체의 온도를 상승시키면서, 또한 파워 터빈(115)에 진입하는 작동 유체의 온도를 낮추기 위해 회복이 사용된다. 반대로, 생성 사이클 동안, PTES 시스템(100)은 터빈(121) 배기부로부터 잔류 열을 추출함으로써 HTR(106)에 진입하기 전에 작동 유체를 예열하기 위해 회복을 사용한다.

[0024] 작동 유체와 LTR(109) 사이의 열 전달 및 작동 유체와 HTR(106) 사이의 열 전달은 각자의 열 저장조의 열 교환기를 통해 발생한다. 열 교환기는 명확성을 위해 도시되지 않는다. 열 교환기를 통한 열 전달 프로세스는, "TQ 플롯"이라고도 알려진 온도-열 전달 플롯으로 예시될 수 있다.

[0025] 도 3은 도 1a 및 도 1b의 PTES 시스템(100)에서의 도 2의 베이스라인 PTES 사이클에 대한 온도-열 전달("TQ") 플롯이다. 도 3의 TQ 플롯은 작동 유체 압력이 높을 때(곡선 402) 및 작동 유체 압력이 낮을 때(곡선 404) 열이 전달됨에 따라 유체 온도가 어떻게 감소/증가하는지를 도시한다. TQ 곡선의 기울기는 유체 질량 유량과 비열 용량의 곱에 반비례하는 것으로 나타날 수 있다. 도 1a 내지 도 1b에서의 PTES 시스템(100)에 대한 작동 유체는 CO₂이다.

[0026] 사이클의 베이스라인 버전에서, 환열기(RCX)의 양측을 통한 작동 유체 유량은 동일하다. 열역학적으로 이상적인 경우에, 작동 유체의 비열 용량은 환열기(RCX)의 양측에서 동일할 것이다. 그 상황에서, 2개의 TQ 곡선들(402, 404)은 평행할 것이다. 열 교환기 컨덕턴스("UA")가 증가함에 따라, 2개의 곡선은 서로 접근할 것이고, 무한 UA의 한계에서 서로 오버레이될 것이다.

[0027] 그러나, CO₂를 포함하는 일부 작동 유체는, 압력 뿐만 아니라 온도에 따라 변하는 비열 용량 특성을 갖는다. 열 교환기의 양측이 상이한 압력에 있기 때문에, TQ 곡선은 더 이상 평행하지 않지만, 열 교환기 "단부" 중 하나에서 "핀치(pinch)" 거동을 나타낸다. 핫 스트림에 의해 손실되는 열의 양은 콜드 스트림에 의해 얻어지는 양과 동일하지만, 열 교환기를 빠져나가는 핫 스트림의 온도는 유입되는 핫 스트림의 온도보다 높다. 이러한 온도 차이는 손실된 "열역학적 전위 값"을 나타내고 시스템 성능을 감소시킨다(동일한 결론에 도달하도록 열역학적 엑서지 파괴 계산 방법을 사용하여 더 엄격한 분석이 수행될 수 있음). 이 경우, 환열기의 고압 단부를 떠나는 유체의 과도한 온도는 팽창기 출구에서 거의 완전한 액체 상태를 달성하기 위해 환경으로의 외부 열 제거를 필요로 한다. 이 열 손실은 사이클 성능에 직접적인 영향을 미친다.

[0028] 위에서 언급된 바와 같이, 본 개시된 기술은 TQ 기울기 불일치와 연관된 손실 엑서지를 피하고 그에 의해 사이클 성능을 현저하게 개선하기 위해, 환열기에 걸친 비열 용량 불일치의 영향을 감소시킨다. TQ 곡선 기울기를 일치시키기 위해, 환열기의 양측에서 질량("m")과 비열 용량("c_p")의 곱("mc_p")이 동일하도록 고열 용량 유체의 질량 유량이 감소된다. 재압축 브레이턴(Brayton) 사이클("RCB 사이클")로 알려진 초임계 이산화탄소("sCO₂") 파워 사이클에서, 이는 제2 "바이패스" 압축기를 사용하여 저온 환열기의 고압 측 주위에서 CO₂ 흐름의 일부를 의도적으로 바이패스시킴으로써 달성된다. 그러나, PTES 사이클은 RCB 사이클의 경우보다 상당히 더 낮은 온도에서 동작하기 때문에, 이 옵션은 2단계 흐름 입구로부터의 압축을 필요로 할 것이기에 이용가능하지 않다.

[0029] 대신에, 충전 단계 동안, 본 개시된 기술은 환열기의 고압 측에 평행한 흐름 경로를 추가한다. 고압 CO₂ 흐름

의 약 40%가 환열기의 고압 측을 바이패스하고, 그의 열을 제3 열 전달 매체("중온 저장조" 또는 "MTR", medium-temperature reservoir)로 전달한다. 흐름의 나머지 대략 60%는 환열기를 통해 진행한다. 이제, 환열기의 양측의 질량과 비열 용량의 곱은 거의 동일하며, 따라서 유체 사이에 훨씬 더 가까운 접근 온도를 가능하게 한다. 그 다음, 2개의 흐름은 팽창기를 통과하기 전에 재결합된다. 고압 CO₂의 처음 40%로부터 추출된 열은 열 저장 매체로 전달된다.

[0030] 생성 사이클 동안, 프로세스는 반대로 된다. CO₂ 흐름의 대략 60%가 펌프 배출부로부터 분할되고, MTR 매체로부터 열을 전달함으로써 그의 온도가 증가된다. CO₂의 나머지는 환열기의 고압 측을 통과하며, 환열기로부터 열을 전달한다. 흐름은 고온 저장조 재료에 의해 더 가열되기 전에 재결합된다.

[0031] 엑서지 파괴 감소로 인해 시스템 성능이 실질적으로 개선된다. 비슷한 고온 및 저온 저장조 및 다른 압력, 온도 및 열 교환기 면적 제약으로, 새로운 사이클은 대략 52%에서 60%로 증가하며 8 포인트 더 높은 왕복 효율("RTE")을 제공한다. 또한, 충전 단계 ACC의 제거를 가능하게 한다.

[0032] 다시 도면으로 돌아가서, 도 4a 및 도 4b는 본 개시된 기술의 하나 이상의 실시예에 따른 PTES 시스템(400)에 대한 동작 사이클의 충전 단계 및 생성 단계를 각각 예시한다. 집합적으로 도 4a 및 도 4b를 참조하면, PTES 시스템(400)은 구성 가능한 작동 유체 회로(403), 고온 저장조("HTR")(406), 저온 저장조("LTR")(409) 및 중온 저장조("MTR")(412)를 포함한다. PTES 시스템(400)은 HTR(406), LTR(409) 및 MTR(412)의 3개의 저장조가 있기 때문에 "3 저장조 시스템"으로서 특성화될 수 있다.

[0033] HTR(406)은, LTR(409) 및 MTR(412)이 동작하는 온도보다 높은 온도에서 동작하기 때문에 그리 불린다. 마찬가지로, LTR(409)은 HTR(406) 및 MTR(412)이 동작하는 온도보다 낮은 온도에서 동작한다. MTR(412)은 HTR(406)과 LTR(409)이 동작하는 온도 사이의 온도에서 동작한다. 따라서, 저장조 HTR(406), LTR(409) 및 MTR(412)에 대해, 용어 "고", "중" 및 "저"는 3개의 저장조 HTR(406), LTR(409) 및 MTR(412)이 동작하는 상대 온도를 기술한다.

[0034] 열 저장조 HTR(406), LTR(409) 및 MTR(412) 각각은 별도로 도시되지 않은 열 저장 매체를 포함한다. 예시된 실시예에서, 열 저장 매체는 각각 HTR(406), MTR(412) 및 LTR(409)을 위한 모래, 액체 물 및 물/얼음 혼합물이다. 그러나, 열 저장 매체는 임의의 적합한 열 저장 매체일 수 있고, 대안적인 실시예는 대안적인 열 저장 매체를 사용할 수 있다. 열 저장조 HTR(406), MTR(412) 및 LTR(409) 각각은 열 교환기, 배관, 펌프, 밸브, 및 PTES 시스템(400)의 동작 동안 열 저장 매체와 작동 유체 사이에 열을 전달하도록 별도로 도시되지 않은 다른 제어부를 포함할 수 있다.

[0035] 예를 들어, 도 4a 및 도 4b의 예시된 실시예에서, HTR(406)은 도 6a에 도시된 3탱크 시스템(600)과 같은 3탱크 시스템으로 알려진 것일 수 있다. 3탱크 시스템에서, 충전 프로세스 동안, 작동 유체는 제1 열 교환기(HTX1)에 진입하고, 여기서 열 저장조 매체로 열을 전달한다. 이어서, 제2 열 교환기(HTX2)에 진입하고, 여기서 제2 열 저장조 재료에 추가적인 열을 전달한다. 열 저장조 매체는 제1 탱크(HTRc)로부터 제2 열 교환기(HTX2)로 이송되고, 여기서 작동 유체로부터 열을 받는다. 추가적인 열 저장조 재료가 열 저장조 재료와 혼합되는 중간 온도로 제2 탱크(HTRm)에 저장된다. 그 후, 혼합된 열 저장조 재료가 제1 열 교환기(HTX1)로 이송되고, 여기서 작동 유체로부터 열을 받고, 이어서 제3 탱크(HTRh)에 저장된다.

[0036] 생성 프로세스 동안, 흐름의 방향은 반대로 된다. 작동 유체는 먼저 제2 열 교환기(HTX2)에 진입하며, 여기서 열 저장조 매체로부터 열을 받는다. 이어서, 작동 유체는 제1 열 교환기(HTX1)에 진입하며, 여기서 열 저장조 매체로부터 추가적인 열을 받는다. 열 저장조 매체는 제3 탱크(HTRh)로부터 제1 열 교환기(HTX1)로 이송되고, 여기서 열을 작동 유체로 전달한다. 이어서, 냉각된 열 저장조 매체는 제1 부분 및 제2 부분으로 분할된다. 열 저장조 재료의 제1 부분은 제2 탱크(HTRm)에 저장된다. 열 저장조 재료의 제2 부분은 제2 열 교환기(HTX2)로 이송되고, 여기서 작동 유체에 추가적인 열을 전달한다. 열 저장조 재료의 냉각된 제2 부분은 제1 탱크(HTRc)에 저장된다.

[0037] 마찬가지로, 도 4a 및 도 4b의 예시된 실시예에서, MTR(412) 및 LTR(409)은 도 6b에 도시된 2탱크 시스템(603)과 같은 2탱크 시스템에서 구현될 수 있다. 2탱크 열 저장조에서, 충전 프로세스 동안, 작동 유체는 열 교환기에 진입하고 열 저장조 매체에 열을 전달하는데, 열 저장조 매체는 오일, 물 또는 용융 염과 같은 액체, 또는 실리카 모래 또는 소결된 보크사이트(bauxite)와 같은 유동하는 입상 매체일 수 있다. 열 저장조 매체는 제1 탱크(HTRc)로부터 열 교환기로 이송되고, 여기서 작동 유체로부터 열을 받은 다음 제2 탱크(HTRh)에 저장된다.

- [0038] 생성 프로세스 동안, 유체 흐름의 방향은 반대로 된다. 작동 유체는 열 교환기에 진입하고 열 저장조 매체로부터 열을 받는다. 열 저장조 매체는 제2 탱크(HTRh)로부터 열 교환기로 이송되고, 여기서 열을 작동 유체로 전달한다. 이어서, 냉각된 열 수송 매체는 제1 탱크(HTRc)에 저장된다.
- [0039] 다른 타입의 탱크 시스템이 대안적인 실시예에서 사용될 수 있다. 하나의 이러한 탱크 시스템은 도 6c에 도시된 고체 서모클라인(thermocline) 저장조(606)이다. 서모클라인 열 저장조에서, 충전 프로세스 동안, 작동 유체는 상대적으로 더 낮은 온도 열 저장 매체에 진입한다. 열 저장 매체는 일반적으로, 작동 유체가 열 저장 매체의 기공을 통해 또는 열 저장 매체 재료 내의 임베딩된 튜브 또는 파이프(미도시)를 통해 유동할 수 있는 고체상 재료이다. 작동 유체가 열 저장 매체를 통해 흐름에 따라, 열이 작동 유체로부터 열 저장 매체로 전달되며, 그의 온도를 상승시킨다. 작동 유체는 더 낮은 온도로 냉각되고 열 저장조를 빠져나간다.
- [0040] 생성 프로세스 동안, 작동 유체 흐름의 방향은 반대로 된다. 상대적으로 더 낮은 온도 작동 유체가 가열된 열 저장 매체에 진입한다. 열이 열 저장 매체로부터 전달되며 그의 온도를 낮추고, 작동 유체로 전달되며 그의 온도를 상승시킨다. 이어서, 가열된 작동 유체는 열 저장조를 빠져나간다.
- [0041] 또다른 대안적인 탱크 시스템은 도 6d에 도시된 열 전달 유체("TTF", thermal transfer fluid) 루프를 갖는 서모클라인(609)이다. 대안으로서, 충전 프로세스 동안, 작동 유체는 열 교환기에서 열을 오일, 물 또는 공기와 같은 유체 열 전달 매체로 전달할 수 있다. 그 다음, 열 전달 매체는 열 저장 매체를 통해 유동함으로써 열 저장 매체로 열을 전달할 수 있다. 이어서, 냉각된 열 전달 유체가 열 교환기로 이송되고, 여기서 작동 유체에 의해 재가열된다. 생성 프로세스 동안, 작동 유체 및 열 전달 유체의 방향이 반대로 된다.
- [0042] 또한, 도 6e에서 1탱크 서모클라인 저장 시스템(612)과 같은 1탱크 서모클라인 저장 시스템이 있다. 1탱크 서모클라인 저장조에서, 충전 프로세스 동안, 작동 유체는 열 교환기로 진입하며, 여기서 열 전달 유체로 열을 전달한다. 가열된 열 전달 유체는 탱크의 상부로 이송되고, 여기서 그의 더 낮은 유체 밀도로 인해 상부 층에 더 높은 온도 유체가 남으며 열 층화(stratification)를 초래한다. 더 차가운 열 전달 유체가 탱크의 바닥으로부터 인출되어 열 교환기로 이송된다.
- [0043] 생성 프로세스 동안, 흐름의 방향은 반대로 된다. 상대적으로 더 높은 온도의 열 전달 유체는 탱크의 상부로부터 열 교환기로 이송되고, 여기서 작동 유체를 가열한다. 냉각된 열 전달 유체는 탱크의 바닥으로 이송되고, 여기서 열 층화 상태를 유지하며 더 높은 온도의 열 전달 유체로부터 분리된다.
- [0044] 도 6f에 도시된 시스템(615)과 같은 임베디드 열 전달 표면 시스템도 또한 알려져 있다. 임베디드 열 전달 표면 열 저장조에서, 작동 유체는 비교적 균일한 온도 열 저장 매체에 침지되어 있는 일련의 튜브, 파이프 또는 다른 유체 채널을 통해 이송된다. 이 예에서, 열 저장 매체는 물 또는 그 빙점에 근접한 또다른 유체일 수 있고, 작동 유체는 그 비등점에 근접한 액체, 또는 그 비등점 온도에서의 액체/증기 혼합물일 수 있다. 열 전달 프로세스 동안, 열이 작동 유체로부터 열 저장 매체로 전달되며, 작동 유체를 일정한 온도에서 끓어 오르게 하고, 열 저장 매체는 액체에서 고체로 동결된다. 작동 유체는 비등점에서 또는 그 비등점을 약간 초과하는 증기로서 열 저장조를 빠져나간다.
- [0045] 생성 프로세스 동안, 작동 유체 흐름의 방향은 반대로 된다. 작동 유체는 작동 유체의 비등점이 열 저장 매체의 빙점보다 약간 위에 있도록 하는 압력으로 진입한다. 열이 작동 유체로부터 열 저장 매체로 전달되며, 작동 유체를 액체 상태로 응결시키고, 열 저장 매체를 액체 상태로 용융시킨다.
- [0046] 도 6a 내지 도 6e에 도시된 탱크 시스템 중 하나 이상은 구현 특정 고려사항에 따라 다양한 대안의 실시예에서 HTR(406), MTR(412) 및 LTR(409)을 구현하기 위해 사용될 수 있다. 그러나, 리스트는 포괄적이지도 배타적이지도 않다. 다른 탱크 시스템 설계도 또한 사용될 수 있다.
- [0047] 도 4a 및 도 4b를 다시 참조하면, 충전 단계 및 생성 단계에서 구성 가능한 작동 유체 회로(403)에 공통인 것은 바이패스(415)이다. 바이패스(415)는 MTR(412)을 포함한다. 위에서 언급된 바와 같이 그리고 아래에서 더 논하는 바와 같이, 바이패스(415)는 작동 유체의 일부가 환열기(RCX)의 고압 측을 바이패스할 수 있게 한다.
- [0048] 도 4a는 특히 PTES 동작 사이클의 충전 단계를 예시한다. 충전 단계에서, 구성 가능한 작동 유체 회로(403)는 팽창기(418) 및 충전 압축기(421)를 포함한다. 예시된 실시예에서, 작동 유체는 CO₂이다. 대안의 실시예는 당업계에 알려진 바와 같은 대안의 작동 유체를 사용할 수 있다. 충전 단계에 대한 다음 논의는 표 2에 기재된 동작 조건과 함께 고려될 것이다. 본 개시의 이점을 갖는 당업자라면, 표 2에 기재된 값이 부분적으로, 작동 유체가 CO₂라는 사실의 함수임을 인식할 것이다. 작동 유체의 상이한 구현은 표 2의 동작 조건에 대하여 상이한

값을 산출할 수 있다.

[0049] 또한, 다음의 논의에서, 도 4a에서 충전 단계 동안 작동 유체 회로(403)에서의 임의의 주어진 포인트에서의 작동 유체의 상태는 원 내의 번호로서 도시된다. 따라서, 제1 상태 또는 상태 1은 도 4a에서 원 내의 번호 1로서 도시되어 있다. 그러면, 이는 상태의 보다 완전한 특성화를 위해 표 2로 다시 매핑될 수 있다.

표 2

상태	Out	In	H (kJ/kg)	P (MPa)	T (°C)	S (kJ/kg/K)	w (kg/sec)
1	RCX1	Compr	568.91	3.20	114.94	2.287	49.53
2	Compr	HTR	791.45	30.00	362.60	2.326	49.53
3	HTR	Split1	428.89	29.80	118.22	1.594	49.53
4	Split1A	RCXh	428.89	29.80	118.22	1.594	28.76
5	RCXh	Mix1A	196.14	29.70	1.16	0.890	28.76
6	Split1B	MTR	428.89	29.80	118.22	1.594	20.77
7	MTR	Mix1B	238.23	29.70	23.45	1.037	20.77
8	Mix1	Exp	213.79	29.70	10.57	0.953	49.53
9	Exp	LTR	189.36	3.40	-4.34	0.961	49.53
10	LTR	RCX1	433.75	3.30	-1.05	1.863	49.53

[0051] 표 2: 충전 단계 동작 조건

[0052] 본원의 개시는 각각, 환열기(RCX), 또는 "RCXh" 및 "RCX1"의 "고압 측" 및 "저압 측"을 참조한다. 도 4a에 예시된 충전 단계에서, 충전 압축기(421)는 작동 유체를 가압하고 충전 단계에서 작동 유체를 순환시키기 위한 동력을 제공한다. 팽창기(418)는 작동 유체를 팽창 또는 감압한다.

[0053] 작동 유체가 충전 압축기(421)에 의해 가압되어 순환하는 작동 유체 회로(403)의 부분은 작동 유체 회로(403)의 "고압 측"이라고 지칭될 수 있다. 마찬가지로, 팽창기(418)에 의해 팽창된 작동 유체가 순환하는 작동 유체 회로(403)의 부분은 작동 유체 회로(403)의 "저압 측"이라고 지칭될 수 있다. 따라서, 작동 유체 회로(403)의 고압 측(404)은 충전 압축기(421)의 출구(422)로부터 팽창기(418)의 입구(419)까지 연장된다. 저압 측(405)은 팽창기(418)의 출구(420)로부터 충전 압축기(421)의 입구(423)까지 연장된다.

[0054] 환열기(RCX)의 고압 측은 작동 유체 회로(403)의 고압 측(404)과 인터페이스하는 환열기(RCX)의 측이다. 도 4a에 도시된 충전 단계에서, 이는 포트(426, 430)에 의해 정의되는 환열기(RCX)의 측일 것이며, 이에 의해 가압된 작동 유체가 환열기(RCX)를 통해 순환한다. 환열기(RCX)의 저압 측은 작동 유체 회로(403)의 저압 측(405)과 인터페이스하는 측이다. 환열기(RCX)의 저압 측은 포트(433, 436)에 의해 정의되며, 이에 의해 팽창된 작동 유체가 환열기(RCX)를 통해 순환한다.

[0055] 충전 단계 동안, 환열기(RCX)에서 시작하여, 작동 유체는 환열기(RCX)를 빠져나가고 제1 온도(T_1) 및 제1 압력(P_1)에서의 제1 상태 또는 상태 1로 충전 압축기(421)에 진입한다. 충전 압축기(421)는 작동 유체를 압축시키고 작동 유체의 온도 및 압력을 증가시킨다. 이어서, 작동 유체는 제2 온도(T_2) 및 제2 압력(P_2)에서의 제2 상태로 충전 압축기(421)를 떠나며, 제2 온도 및 제2 압력은 각각 제1 온도(T_1) 및 제1 압력(P_1)보다 크다.

[0056] 이어서, 작동 유체는 제2 온도(T_2) 및 제2 압력(P_2)에서의 제2 상태로 고온 저장조(HTR)(406)에 진입한다. HTR(406)에서, 열이 작동 유체로부터 HTR(406)에서의 열 저장 매체로 전달된다. 열 전달 프로세스는 작동 유체가 제3 온도(T_3) 및 제3 압력(P_3)에서 HTR(406)을 빠져나감에 따라 제3 상태로 작동 유체의 압력 및 온도를 감소시킨다.

[0057] 그 다음, 작동 유체는 작동 유체 회로(403)에서의 포인트(424)에 도달하여 분할된다. 작동 유체의 제1 부분은 바이패스(415)에 진입하고, 제2 부분은 라인(427)에 진입한다. 제2 부분은 제4 온도(T_4) 및 제4 압력(P_4)에서의 제4 상태로 라인(427)에 진입한다. 표 2를 참조하면, 제4 상태가 제3 온도 및 제3 압력에 있지만, 즉 $T_4=T_3$ 및 $P_4=P_3$ 이지만, 분할 이전의 제3 상태와는 상이한 것을 보여준다. 제4 상태는 제2 부분이 제3 상태에서의 작동 유체와 동일한 온도 및 압력에 있지만 제3 상태보다 더 낮은 질량 유량을 갖는 것이 상이하다. 이어서, 제2 부

분은 제4 온도(T_4) 및 제4 압력(P_4)에서의 제4 상태로 포트(426)를 통해 환열기(RCX)의 고압 측에 진입한다.

[0058] 환열기(RCX)에서, 환열기의 저압 측 상에서 제2 부분과 순환하는 작동 유체 사이에 열이 교환된다. 이 열 교환은 제2 부분을 제5 상태로 냉각시키며, 제5 상태에서 표 2에 도시된 바와 같이 제2 부분은 상당히 낮은 제5 온도(T_5) 및 약간 낮은 제5 압력(P_5)에 있다. 이어서, 제2 부분은 제5 온도(T_5) 및 제5 압력(P_5)에서 제6 상태로 포트(430)를 통해 환열기(RCX)의 고압 측 상에서 환열기(RCX)를 빠져나간다.

[0059] 제2 부분이 환열기(RCX)를 통해 순환하는 동안, 제1 부분은 제6 상태로 바이패스(415)에 진입한다. 표 2를 참조하면, 제6 상태가 분할 전의 제3 상태와는 상이함을 보여준다. 제6 상태는 제2 부분이 제4 상태에서의 작동 유체와 동일한 온도 및 압력에 있지만 제3 상태보다 더 낮은 질량 유량을 갖는 것이 상이하다. 이어서, 제1 부분은 제6 온도(T_6) 및 제6 압력(P_6)에서의 제6 상태로 MTR(412)에 진입한다.

[0060] MTR(412)에서, 열이 증온 열 저장조(MTR)(412)과 작동 유체의 제1 부분 사이에 전달된다. MTR(412)은 LTR(409)보다 크고 고온 열 저장조(HTR)(406)보다 작은 온도에서 동작한다는 것을 상기하자. 이어서, 제1 부분은 제7 온도(T_7)에서 그리고 제7 압력(P_7)에서 제7 상태로 증온 열 저장조(MTR)(412)를 빠져나간다.

[0061] 제1 부분이 제7 상태에서 MTR(412)을 빠져나가고 제2 부분이 제5 상태에서 환열기(RCX)를 빠져나간 후, 제1 부분과 제2 부분은 포인트(425)에서 결합된다. 결합 후, 작동 유체는 표 2에 기재된 바와 같이 제8 압력(P_8) 및 제8 온도(T_8)에서의 제8 상태에 있다. 이어서, 제1 부분과 제2 부분의 결합, 또는 "결합된 부분"이 제8 압력(P_8) 및 제8 온도(T_8)에서의 제8 상태로 팽창기(418)에 진입하며, 이 상태에서 팽창되고 냉각된다. 작동 유체의 결합된 부분은 제9 온도(T_9) 및 제9 압력(P_9)에서의 제9 상태로 팽창기(418)를 빠져나간다.

[0062] 이어서, 작동 유체는 제9 온도(T_9) 및 제9 압력(P_9)에서의 제9 상태로 LTR(409)에 진입한다. LTR(409)에서, 열이 LTR(409)로부터 작동 유체로 전달된다. LTR(409)은 표 2에 나타난 바와 같이 증온 열 저장조(MTR)(412) 및 고온 열 저장조(HTR)(406)보다 낮은 온도에서 동작한다는 것을 유의한다. 작동 유체는 제10 온도(T_{10}) 및 제10 압력(P_{10})에서의 제10 상태로 LTR(409)을 떠난다.

[0063] LTR(409)로부터 빠져나가면, 작동 유체는 제10 온도(T_{10}) 및 제10 압력(P_{10})에서의 제10 상태로 환열기(RCX)에 진입하고, 제1 온도(T_1) 및 제1 압력(P_1)에서의 제1 상태로 빠져나간다. 환열기(RCX)에서, 열은 고압 측 상의 작동 유체로부터 환열기(RCX)의 저압 측 상의 작동 유체로 전달된다. 표 2는, (1) 제4 상태에서 제5 상태로 천이할 때의 고압 측(404) 상에서의 작동 유체의 온도 강하, 및 (2) 제10 상태에서 제1 상태로 천이할 때의 저압 측(405) 상에서의 작동 유체의 온도 상승을 확인해준다. 그 다음, 작동 유체는 바로 위에서 논한 작동 유체 회로(403)를 통한 순환을 다시 시작한다.

[0064] 이제 도 4b로 가면, PTES 동작 사이클의 생성 단계에서의 작동 유체 회로(403)의 구성이 도시된다. 작동 유체 회로(403) 내의 다양한 포인트에서의 동작 조건이 표 3에 열거되어 있다. 위에서 논한 바와 같이, 작동 유체 회로(403)를 통한 작동 유체의 흐름 방향은 동작 사이클의 충전 단계에서의 흐름 방향에 대해 반대로 된다. 도 4a의 충전 단계 구성에서의 팽창기(419) 및 충전 압축기(421)는 각각 펌프(450) 및 파워 터빈(453)으로 대체되었다는 것을 유의한다. 표 3의 상태 1 및 상태 2와 표 3의 상태 9 및 상태 10을 비교함으로써 알 수 있는 바와 같이, 펌프(450)는 작동 유체를 가압하고, 파워 터빈(453)은 작동 유체를 감압한다.

[0065] 따라서, 작동 유체 회로(403)의 고압 측(404)은, 동작 사이클의 이 단계에서, 펌프(450)의 출구(451)로부터 파워 터빈(453)의 입구(454)까지 연장된다. 저압 측(405)은 파워 터빈(453)의 출구(455)로부터 펌프(450)의 입구(452)까지 연장된다. 고압 측(404)은 바이패스(415), 라인(427), 포인트(425), 및 포인트(424)를 포함한다는 것을 유의한다. 환열기(RCX)의 고압 측(404)은 포트(426, 430)에 의해 다시 한번 정의되고, 환열기(RCX)의 저압 측(405)은 포트(433, 436)에 의해 다시 한번 정의된다.

표 3

[0066]

상태	Out	In	H (kJ/kg)	P (MPa)	T (°C)	S (kJ/kg/K)	w (kg/sec)
1	LTX	Pump	204.69	3.87	2.00	1.016	79.71
2	Pump	Split1	234.60	29.23	21.52	1.027	79.71

3	Split1A	RCX1	234.60	29.23	21.52	1.027	27.12
4	RCX1	Mix1A	413.93	29.13	109.95	1.558	27.12
5	Split1B	MTR	234.60	29.23	21.52	1.027	52.58
6	MTR	Mix1B	358.20	29.13	83.04	1.408	52.58
7	Mix1	HTR	377.17	29.13	92.12	1.460	79.71
8	HTR	PT	747.69	28.93	327.50	2.262	79.71
9	PT	RCXh	589.50	4.07	139.10	2.296	79.71
10	RCXh	ACC	528.48	3.97	81.58	2.141	79.71
11	ACC	LTX	454.38	3.92	20.00	1.912	79.71

표 3: 생성 단계 동작 조건

LTR(409)로 시작하여, 작동 유체는 LTR(409)을 빠져나가고 제1 온도(T_1) 및 제1 압력(P_1)에서의 제1 상태로 펌프(450)에 진입한다. 펌프(450)는 생성 단계에서의 순환을 위한 동력을 제공한다. 작동 유체는 제2 온도(T_2) 및 제2 압력(P_2)에서의 제2 상태로 펌프(450)를 빠져나간다.

작동 유체는, 펌프(450)를 제2 상태로 빠져나가면, 포인트(425)에서 제1 부분 및 제2 부분으로 분할된다. 도 4a에 예시된 충전 단계에서, 작동 유체의 두 부분은 포인트(424)에서 분할되고 포인트(425)에서 결합된다는 것을 유의한다. 그러나, 작동 유체의 흐름 방향이 충전 단계에 대해 생성 단계에서는 반대로 되므로, 두 부분은 포인트(425)에서 분할되고 포인트(424)에서 결합된다.

제2 부분은 포인트(425)에서의 분할 후에 라인(428)에 진입한다. 제2 부분은 제3 온도(T_3) 및 제3 압력(P_3)에서의 제3 상태로 라인(428)에 진입한다. 표 2를 참조하면, 제3 상태가 제2 온도 및 제2 압력에 있고, 즉 제3 온도(T_3) 및 제3 압력이 제2 온도 및 제2 압력과 동일하다는 것을 보여준다. 그럼에도 불구하고, 제3 상태는 제2 상태보다 상당히 낮은 질량 유량을 가짐으로써 제2 상태와는 상이하다. 이어서, 제2 부분은 환열기(RCX)를 통해 그의 고압 측(404)으로부터 순환하며, 포트(430)를 통해 진입하고 포트(426)를 통해 빠져나간다. 제2 부분은 제3 온도 및 제3 압력에서의 제3 상태로 환열기(RCX)에 진입하고, 제4 온도 및 제4 압력에서의 제4 상태로 빠져나간다.

포인트(425)에서의 분할 후, 작동 유체의 제1 부분은 제5 온도(T_5) 및 제5 압력(P_5)에서의 제5 상태로 바이패스(415)에 진입한다. 제1 부분은 제5 온도(T_5) 및 제5 압력(P_5)에서의 제5 상태로 MTR(412)에 진입한다. MTR(412)에서, 열이 중온 열 저장조(MTR)(412)로부터 제1 부분으로 전달된다. 이어서, 제1 부분은 제6 온도(T_6) 및 제6 압력(P_6)에서의 제6 상태로 MTR(412)을 빠져나간다.

제6 상태의 제1 부분 및 제4 상태의 제2 부분은, 각각 MTR(412) 및 환열기(RCX)를 떠나면, 포인트(424)에서 결합된다. 다시, 도 4a에 예시된 충전 단계에서는, 작동 유체의 두 부분이 포인트(424)에서 분할되고 포인트(425)에서 결합된다는 것을 유의한다. 그러나, 작동 유체의 흐름 방향이 충전 단계에 대해 생성 단계에서는 반대로 되므로, 두 부분은 포인트(425)에서 분할되고 포인트(424)에서 결합된다. 포인트(424) 이후의 작동 유체의 결합된 부분은 제7 온도(T_7) 및 제7 압력(P_7)에서의 제7 상태에 있다.

이어서, 결합된 부분은 제7 온도(T_7) 및 제7 압력(P_7)에서의 제7 상태로 고온 저장조(HTR)(406)에 진입한다. 고온 저장조(HTR)(406)에서, 열이 고온 열 저장조(HTR)(406)로부터 결합된 부분으로 전달된다. 이어서, 결합된 부분은 제8 온도(T_8) 및 제8 압력(P_8)에서의 제8 상태로 고온 저장조(HTR)(406)를 빠져나간다.

그 다음, 작동 유체의 결합된 부분은 제8 온도(T_8) 및 제8 압력(P_8)에서 제9 상태로 파워 터빈(453)에 진입한다. 보다 구체적으로, 결합된 부분은 작동 유체 회로(403)의 고압 측(404)으로부터 입구(454)를 통해 파워 터빈(453)에 진입한다. 파워 터빈(453)은 작동 유체를 팽창시키며, 이는 결합된 부분을 냉각시키며 압력을 감소시킨다. 이어서, 결합된 부분은 제9 온도(T_9) 및 제9 압력(P_9)에서의 제9 상태로 파워 터빈(453)을 빠져나간다. 보다 구체적으로, 결합된 부분은 출구(455)를 통해 작동 유체 회로(403)의 저압 측(405)으로 파워 터빈을 빠져나간다.

이어서, 결합된 부분은 포트(433, 436)를 통해 환열기(RCX)의 저압 측을 통해 순환한다. 환열기(RCX)에서, 위

에 기술된 바와 같은 고압 측으로부터 환열기(RCX)에 진입하는 작동 유체의 제2 부분과, 저압 측으로부터 환열기(RCX)에 진입하는 결합된 부분 사이에 열이 교환된다. 이어서, 결합된 부분은 제10 온도(T_{10}) 및 제10 압력(P_{10})에서의 제10 상태로 환열기(RCX)를 빠져나간다. 그 다음, 결합된 부분은 제10 온도(T_{10}) 및 제10 압력(P_{10})에서의 제10 상태로 공냉식 냉각기(ACC)에 진입한다. 그 다음, 공냉식 냉각기(ACC)는 결합된 부분을 제11 온도(T_{11}) 및 제11 압력(P_{11})에서의 제11 상태로 냉각시킨다.

[0076] 이어서, 결합된 부분은 제11 온도(T_{11}) 및 제11 압력(P_{11})에서의 제11 상태로 LTR(409)에 진입한다. LTR(409)에서, 열은 LTR(409)로부터 결합된 부분으로부터 LTR(409)의 LTR(409)로 전달된다. 그 다음, 결합된 부분은, 방금 논한 바와 같이, 작동 유체 회로(403)를 통해 재순환하기 위해 제1 압력과 제1 온도에서의 제1 상태로 LTR(409)을 떠난다.

[0077] 위에서 언급된 바와 같이, 도 4에 도시된 충전 단계와 도 4b에 도시된 충전 단계 사이의 작동 유체 회로(403)의 구성은 유체 유동 밸브에 의해 제어될 수 있다. 이러한 제어 시스템은 당업자에게 쉽게 알려져 있지만, 하나의 이러한 제어 시스템(500)이 완성도를 위해 도 5에 도시되어 있다. 제어 시스템(500)은 복수의 유체 유동 밸브(505) 및 제어 신호를 전기 라인(515)을 통해 보내는 컨트롤러(510)를 포함할 수 있다.

[0078] 컨트롤러(510)는, 예를 들어 한정 없이, 마이크로컨트롤러, 마이크로프로세서, ASIC(Application Specific Integrated Circuit), EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) 등일 수 있는 프로세서 기반 리소스(520)를 포함한다. 프로세서 기반 리소스의 구현에 따라, 컨트롤러(510)는 또한, 컨트롤러(510)의 기능을 구현하기 위해 프로세서 기반 리소스(520)에 의해 실행가능한 명령어(도시되지 않음)로 인코딩된 메모리(525)를 포함할 수 있다. 다시, 프로세서 기반 리소스(520)의 구현에 따라, 메모리(525)는 프로세서 기반 리소스(520)의 일부이거나 독립형 디바이스일 수 있다. 예를 들어, 명령어는 마이크로프로세서의 메모리 부분에 저장된 펌웨어일 수 있거나, 또는 독립형 판독 전용 또는 랜덤 액세스 메모리 칩에 저장된 루틴일 수 있다. 마찬가지로, 프로세서 기반 리소스(520)의 일부 구현, 예컨대 ASIC에서, 메모리(535)는 완전히 생략될 수 있다.

[0079] 이제 집합적으로 도 4a, 도 4b 및 도 5를 참조하면, 컨트롤러(510)와 같은 컨트롤러가 도 4a에 도시된 충전 단계와 도 4b에 도시된 생성 단계 사이에 작동 유체 회로(403)를 구성하는데 사용될 수 있다. 컨트롤러(510)는 작동 유체 흐름을 제어하기 위해 유체 유동 밸브(505)에 제어 신호를 보낼 수 있다. 따라서, 충전 단계를 위해 작동 유체 회로(403)를 구성하기 위해, 컨트롤러(510)는 작동 유체를 충전 압축기(421) 및 팽창기(418)로 지향시키면서 작동 유체를 파워 터빈(453) 및 펌프(450)로부터 멀어지게 전환시키도록 유체 유동 밸브(505)를 제어한다. 반대로, 생성 단계를 위해 작동 유체 회로(403)를 구성하기 위해, 컨트롤러(510)는 작동 유체를 파워 터빈(453) 및 펌프(450)로 지향시키면서 작동 유체를 충전 압축기(421) 및 팽창기(418)로부터 멀어지게 전환시키도록 유체 유동 밸브(505)를 제어한다.

[0080] 이제 집합적으로 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 작동 유체 회로(403)의 고압 측(404)은 충전 단계 및 생성 단계 둘 다에서 바이패스(415)를 포함한다. 따라서, MTR(412)의 열 교환기(도시되지 않음)를 포함하는 바이패스(415)는 둘 다의 단계에서 환열기(RCX)의 고압 측 상에 있다. 작동 유체는 충전 단계에서의 포인트(424) 및 생성 단계에서의 포인트(425)에서 환열기(RCX)에 진입하기 전에 분할된다. 제1 부분은 바이패스(415)를 통해 환열기(RCX)의 고압 측을 바이패스하는 한편, 제2 부분은 환열기(RCX)에 진입한다. 이어서, 제1 부분과 제2 부분은 충전 단계에서의 포인트(425)에서 그리고 생성 단계에서의 포인트(424)에서 제2 부분이 환열기(RCX)를 통과한 후에 결합된다.

[0081] 작동 유체 회로(402)의 고압 측(404)에서의 분할 및 결합은 예시된 실시예에서 포인트(424, 425)에서 발생한다. 그러나, 포인트(424, 425)가 분할 포인트인지 또는 결합 포인트인지의 여부는 동작 사이클이 충전 단계인지 또는 생성 단계인지에 따라 좌우될 것이다. 충전 단계에서, 포인트(424)는 분할 포인트이고, 생성 단계에서는 결합 포인트이다. 반대로, 포인트(425)는 충전 단계에서 결합 포인트이고, 생성 단계에서 분할 포인트이다. 대안의 실시예는 본원에 개시된 실시예에 추가적으로 또는 그 대신에 분할 및 결합 포인트를 가질 수 있다는 것을 유의한다. 이는 특히 본원에 개시된 기술을 구현하는 것과 무관한 설계 목표들을 추구할 때 그러하다.

[0082] 목적은, 환열기(RCX)의 저압 측(405) 상에서의 질량과 비열 용량의 곱을, 환열기(RCX)의 고압 측(404) 상에서의 질량과 비열 용량의 곱과 밸런싱하는 것이다. 용어 "밸런싱"은, 환열기(RCX)의 양측에서의 질량과 비열 용량의 곱이 동일하다는 것을 의미한다. 그러나, 이는 다양한 이유로 실제로는 정밀하게 달성하기가 어려울 수 있다. 따라서, 두 곱은 "약", "거의", 또는 "대략" 동일할 때 이들이 둘 다 전체 시스템의 동작이 일부 원하는 효율성 레벨을 달성하는 오차에 대해 어느 정도의 마진 내에 있다는 점에서 "밸런싱"된다. 원하는 효율성 레벨은 이러

한 유형의 관심을 수용하기 위한 값의 범위로서 표현될 수 있다.

- [0083] 마찬가지로, 본 개시에서의 임의의 양에 대해, 용어 "약", "대략" 등은, 실제 양이 전체 시스템의 동작이 일부 원하는 효율성 레벨을 달성하는 오차에 대한 일부 마진 내에 있는 한, 명시된 양으로부터의 일부 편차가 용인될 수 있음을 나타낸다. 예를 들어, 예시된 실시예에서, 아래에 더 상세하게 논하는 바와 같이, 제1 부분은 총 결합된 작동 유체의 40%일 수 있고 제2 부분은 60%일 수 있다. 작동 유체에 대하여 CO₂를 채용한 임의의 주어진 실시예에서, 이러한 비율의 정밀한 분할은 달성하기가 어려울 수 있다. 따라서, 비율이 "약" 또는 "대략" 40% 및 60%인 한 일부 편차는 용인될 수 있다. 본원에서 논의되거나 개시된 임의의 다른 양도 마찬가지이다.
- [0084] 본 개시의 이점을 갖는 당업자라면, 임의의 주어진 실시예에서 질량 유량과 비열 용량 둘 다, 예를 들어 작동 유체를 구현하기 위한 선택사항과 같은 인자에 따라 구현 특이적일 것이라는 것을 인식할 것이다. 펌프, 팽창기, 압축기 등의 동작 범위와 같은 다른 인자가, 작동 유체 회로의 다양한 부분에 대한 동작 조건에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 표 2 및 표 3의 파라미터에 대한 다양한 양은, 작동 유체에 대해 상이한 물질을 채용하거나 또는 특정 장비를 상이하게 구현하는 대안의 실시예에서 상이할 수 있다.
- [0085] 위에서 언급된 바와 같이, 예시된 실시예에서의 작동 유체는 CO₂이다. 작동 유체가 앞서 기재된 바와 같이 분할될 때, 제1 부분은 총 작동 유체의 40%이고, 제2 부분은 총 작동 유체의 60%이다. 이는 충전 단계 및 생성 단계 둘 다에서 그러하다. 상이한 작동 유체 또는 상이한 질량 유량을 사용하는 대안의 실시예에서, 이 비율은, 환열기의 고압 측과 저압 측 둘 다에서의 질량 유량과 비열의 균형을 유지하기 위해 변경될 수 있다.
- [0086] 따라서, 제1 실시예에서, 펌핑형 열 에너지 저장("PTES") 시스템을 동작시키기 위한 방법은, 작동 유체 회로를 통해 작동 유체를 순환시키는 단계 - 상기 작동 유체는 질량 유량 및 비열 용량을 가짐 - ; 및 상기 작동 유체가 상기 작동 유체 회로를 통해 순환할 때 환열기의 고압 측과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 곱을 밸런싱하는 단계를 포함한다.
- [0087] 제2 실시예에서, 상기 제1 실시예는, 상기 작동 유체를 상기 환열기의 고압 측 상에서 제1 부분 및 제2 부분으로 분할하고; 상기 환열기의 고압 측 주위에서 상기 제1 부분을 바이패스시키고; 상기 바이패스 동안 상기 제1 부분을 냉각시키고; 상기 제2 부분을 환열기를 통해 순환시키고; 상기 제2 부분이 상기 환열기를 빠져나간 후 상기 냉각된 제1 부분을 상기 제2 부분과 결합하는 것에 의해, 상기 작동 유체가 상기 작동 유체 회로를 통해 순환할 때 상기 환열기의 고압 측과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 곱을 밸런싱한다.
- [0088] 제3 실시예에서, 상기 제2 실시예는, 상기 바이패스를 통해 상기 작동 유체를 순환시키고; 상기 작동 유체와 중간 온도 열 저장조 사이에 열을 전달하는 것에 의해, 상기 바이패스 동안 상기 제1 부분을 냉각시킨다. 상기 열 전달은, 충전 단계에서, 저온 열 저장조로부터 상기 작동 유체로 열을 전달하고 상기 작동 유체로부터 중온 열 저장조 및 고온 열 저장조로 열을 전달하는 것, 및 생성 단계에서, 고온 열 저장조 및 중온 열 저장조(hot)로부터 상기 작동 유체로 열을 전달하고 상기 작동 유체로부터 저온 열 저장조로 열을 전달하는 것을 포함한다.
- [0089] 제4 실시예에서, 상기 제2 실시예는, 상기 작동 유체의 제1 부분이 상기 작동 유체 부분의 40%를 포함하고 상기 제2 부분이 상기 작동 유체 부분의 60%를 포함하도록 구현될 수 있다.
- [0090] 제5 실시예에서, 상기 제1 실시예는, 상기 작동 유체 회로를 통해 상기 작동 유체를 순환시키는 것이 이산화탄소(CO₂)를 순환시키는 것을 포함하고, 상기 작동 유체의 제1 부분이 상기 작동 유체 부분의 40%를 포함하고, 상기 제2 부분이 상기 작동 유체 부분의 60%를 포함하도록 구현될 수 있다.
- [0091] 제6 실시예에서, 상기 제2 실시예는, 상기 작동 유체 회로를 통해 상기 작동 유체를 순환시키는 것이 이산화탄소(CO₂)를 순환시키는 것을 포함하도록 구현될 수 있다.
- [0092] 제7 실시예에서, 상기 제1 실시예는, 상기 환열기의 고압 측과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 곱을 밸런싱하는 것이 충전 단계 및 생성 단계를 포함하도록 구현될 수 있다. 상기 충전 단계는, 환열기의 고압 측을 통해 이산화탄소(CO₂)로 구성된 작동 유체의 60%를 순환시키고 상기 환열기의 저압 측을 통해 CO₂로 구성된 작동 유체의 100%를 순환시키는 것을 포함한다. 상기 생성 단계는, 환열기의 고압 측을 통해 CO₂로 구성된 작동 유체의 60%를 순환시키고 상기 환열기의 저압 측을 통해 CO₂로 구성된 작동 유체의 100%를 순환시키는 것을 포함한다.

- [0093] 제8 실시예에서, 상기 제1 실시예는, 상기 작동 유체가 상기 작동 유체 회로를 통해 순환할 때 상기 환열기의 고압 측과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 곱을 밸런싱하는 것이 상기 환열기의 고압 측 상에서의 질량 유량을 감소시키는 것을 포함하도록 구현될 수 있다.
- [0094] 제9 실시예에서, 상기 제1 실시예는, 상기 환열기의 고압 측 상에서의 상기 작동 유체의 제2 부분과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 결합된 부분 사이에 열을 교환하는 단계를 더 포함한다.
- [0095] 제10 실시예에서, 펌핑형 열 에너지 저장("PTES") 시스템은, 중간 온도 열 저장조 및 작동 유체 회로를 포함한다. 상기 작동 유체 회로는 고압 측과 저압 측을 갖는 환열기 - 작동 유체가 상기 작동 유체 회로를 통해 순환할 때 상기 고압 측과 상기 저압 측 상에서 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 곱이 밸런싱됨 - 를 포함한다.
- [0096] 제11 실시예에서, 상기 제10 실시예는, 상기 작동 유체가 이산화탄소(CO₂)이도록 구현될 수 있다.
- [0097] 제12 실시예에서, 상기 제10 실시예는, 상기 작동 유체 회로가 바이패스를 포함하되, 상기 바이패스에 의해 상기 작동 유체의 제1 부분이 상기 환열기의 고압 측을 바이패스하면서 상기 작동 유체의 제2 부분이 상기 환열기의 고압 측을 통해 순환하도록 구현될 수 있다.
- [0098] 제13 실시예에서, 상기 제11 실시예는, 상기 바이패스가 상기 제1 부분과 상기 중간 온도 열 저장조 사이의 열 전달을 포함하도록 구현될 수 있다. 또한, 상기 작동 유체 회로는, 상기 작동 유체를 상기 제1 부분과 상기 제2 부분으로 분할하는, 상기 환열기의 고압 측 상에서의 분할부(split) - 상기 제1 부분은 상기 제2 부분보다 작으며, 상기 제2 부분은 상기 환열기의 고압 측으로부터 상기 환열기를 통해 순환함 - ; 및 상기 제2 부분이 상기 환열기를 빠져나가면 상기 제1 부분이 상기 제2 부분과 결합하는, 상기 환열기의 고압 측 상에서의 결합 포인트를 더 포함한다.
- [0099] 제14 실시예에서, 상기 제11 실시예는, 상기 제1 부분이 총 작동 유체의 40%이고 상기 제2 부분이 총 작동 유체의 60%이도록 구현될 수 있다.
- [0100] 제15 실시예에서, 상기 제11 실시예는, 상기 작동 유체가 이산화탄소(CO₂)이고 상기 제1 부분이 총 작동 유체의 40%이고 상기 제2 부분이 총 작동 유체의 60%이도록 구현될 수 있다.
- [0101] 제16 실시예에서, 상기 제10 실시예는, 동작 시, 상기 환열기의 고압 측 상에서의 상기 작동 유체의 제2 부분과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 결합된 부분 사이에 열이 교환되도록 구현될 수 있다.
- [0102] 제17 실시예에서, 펌핑형 열 에너지 저장("PTES") 시스템을 동작시키기 위한 방법은, 작동 유체 회로를 통해 작동 유체를 순환시키는 단계; 및 상기 작동 유체를 순환시키는 동안 환열기의 고압 측과 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 곱을 밸런싱하기 위해 상기 환열기의 고압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량 유량을 감소시키는 단계를 포함한다. 상기 감소시키는 단계는, 상기 작동 유체의 제1 부분으로 상기 환열기의 고압 측을 바이패스시키고, 상기 작동 유체의 제2 부분을 상기 환열기의 고압 측을 통해 순환시키는 것을 포함할 수 있다.
- [0103] 제18 실시예에서, 상기 제17 실시예는, 상기 환열기의 고압 측을 바이패스시키는 것이: 충전 단계에서 상기 작동 유체와 고온 저장조 사이에 열을 전달하면, 상기 작동 유체의 제1 부분으로 환열기의 고압 측을 바이패스시키고 상기 바이패스 동안 상기 제1 부분으로부터 중온 저장조로 열을 전달하면서, 제2 부분이 상기 환열기를 통해 순환하고 - 상기 제1 부분은 상기 제2 부분보다 작음 - ; 생성 단계에서 펌프를 빠져나가면, 상기 작동 유체의 제3 부분으로 상기 환열기의 고압 측을 바이패스시키고 상기 바이패스 동안 상기 중온 저장조로부터 상기 제3 부분으로 열을 전달하면서, 상기 작동 유체의 제4 부분을 상기 환열기를 통해 순환시키는 것을 포함하도록 구현될 수 있다.
- [0104] 제19 실시예에서, 상기 제17 실시예는, 상기 환열기의 고압 측 상에서의 상기 작동 유체의 제2 부분과 상기 환열기의 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 결합된 부분 사이에 열을 교환하는 것을 포함할 수 있다.
- [0105] 제20 실시예에서, 상기 제17 실시예는, 상기 작동 유체를 순환시키는 동안 환열기의 고압 측과 저압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량과 비열 용량의 곱을 밸런싱하기 위해 상기 환열기의 고압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량 유량을 감소시키는 단계가: 상기 작동 유체를 상기 환열기의 고압 측 상에서 제1 부분 및 제2 부분으로 분할하고 - 상기 제1 부분은 상기 제2 부분보다 작음 - ; 상기 바이패스 동안 상기 제1 부분을 냉각시키고; 상기 제2 부분이 상기 환열기를 빠져나간 후에 상기 냉각된 제1 부분을 상기 제2 부분과 결합하는 것을 더 포함

하도록 구현될 수 있다.

- [0106] 제21 실시예에서, 상기 제20 실시예는, 상기 바이패스 동안 상기 제1 부분을 냉각시키는 것이 상기 작동 유체와 중간 온도 열 저장조 사이에 열을 전달하는 것을 포함하도록 구현될 수 있다. 상기 열을 전달하는 것은: 충전 단계에서, 상기 작동 유체로부터 중간 온도 열 저장조로 열을 전달하고; 생성 단계에서, 중간 온도 열 저장조로부터 상기 작동 유체로 열을 전달하는 것을 더 포함할 수 있다.
- [0107] 제22 실시예에서, 상기 제17 실시예는, 상기 작동 유체 회로를 통해 상기 작동 유체를 순환시키는 것이 이산화탄소(CO₂)를 순환시키는 것을 포함하도록 구현될 수 있다.
- [0108] 제23 실시예에서, 상기 제17 실시예는, 상기 작동 유체의 제1 부분이 상기 작동 유체 부분의 40%를 포함하고 상기 제2 부분이 상기 작동 유체 부분의 60%를 포함하도록 구현될 수 있다.
- [0109] 제24 실시예에서, 상기 제17 실시예는, 상기 작동 유체 회로를 통해 상기 작동 유체를 순환시키는 것이 이산화탄소(CO₂)를 순환시키는 것을 포함하고 상기 작동 유체의 제1 부분이 상기 작동 유체 부분의 40%를 포함하고 상기 제2 부분이 상기 작동 유체 부분의 60%를 포함하도록 구현될 수 있다.
- [0110] 제25 실시예에서, 펌핑형 열 에너지 저장("PTES") 시스템은, 저온 저장조, 고온 저장조, 중온 저장조, 및 PTES 동작 사이클의 충전 단계 및 생성 단계를 위해 구성가능한 작동 유체 회로 - 상기 PTES 동작 사이클을 통해 사용 시 작동 유체가 순환함 - 를 포함한다. 상기 작동 유체 회로는, 환열기; 상기 충전 단계에 있을 때: 상기 환열기와 상기 저온 열 저장조 사이에 위치한 팽창기와, 상기 환열기와 상기 고온 열 저장조 사이에 위치한 충전 압축기, 상기 생성 단계에 있을 때: 상기 환열기와 상기 저온 열 저장조 사이에 위치한 펌프와, 상기 환열기와 상기 고온 열 저장조 사이에 위치한 파워 터빈; 및 바이패스 - 상기 바이패스에 의해, 상기 충전 단계와 상기 생성 단계 둘 다, 상기 작동 유체의 제1 부분이 상기 환열기의 고압 측을 바이패스하며 상기 중온 열 저장조를 통해 흐르고, 상기 중온 열 저장조는 상기 작동 유체와 상기 중온 열 저장조 사이에 열을 전달하면서, 상기 작동 유체의 제2 부분이 상기 환열기를 통해 순환함 - 를 포함할 수 있다.
- [0111] 제26 실시예에서, 상기 제25 실시예는, 상기 작동 유체가 이산화탄소(CO₂)이도록 구현될 수 있다.
- [0112] 제27 실시예에서, 상기 제25 실시예는, 상기 제1 부분이 총 작동 유체의 40%이고 상기 제2 부분이 총 작동 유체의 60%이도록 구현될 수 있다.
- [0113] 제28 실시예에서, 상기 제25 실시예는, 상기 작동 유체가 이산화탄소(CO₂)이고 상기 제1 부분이 총 작동 유체의 40%이고 상기 제2 부분이 총 작동 유체의 60%이도록 구현될 수 있다.
- [0114] 제29 실시예에서, 펌핑형 열 에너지 저장("PTES") 시스템을 동작시키기 위한 방법은, 환열기를 포함하는 작동 유체 회로를 통해 고열 용량 작동 유체를 순환시키는 단계; 및 질량과 비열 용량의 곱이 환열기의 양측에서 동일하도록 상기 환열기의 고압 측 상에서의 상기 작동 유체의 질량 유량을 감소시키는 단계를 포함한다. 상기 질량 유량을 감소시키는 단계는, 충전 단계에서: 상기 작동 유체의 제1 부분으로 환열기를 바이패스시키고 상기 바이패스 동안 상기 제1 부분으로부터 중온 저장조로 열을 전달하면서 상기 작동 유체의 제2 부분을 상기 환열기를 통해 순환시키고 - 상기 제1 부분은 상기 제2 부분보다 상기 작동 유체의 더 작은 부분임 - ; 상기 제1 부분이 상기 환열기를 바이패스하는 동안 제2 부분을 상기 환열기를 통해 순환시키고 상기 환열기를 통해 순환하는 동안 상기 제2 부분으로부터 열을 전달하고; 상기 제1 부분이 상기 환열기를 바이패스하고 상기 제2 부분이 상기 환열기를 통해 순환한 후에 상기 제1 부분과 상기 제2 부분 둘 다 함께 팽창기를 통해 순환시키는 것을 포함할 수 있다. 상기 질량 유량을 감소시키는 단계는, 생성 단계에서: 상기 작동 유체의 제3 부분으로 상기 환열기를 바이패스시키고 상기 바이패스 동안 상기 제3 부분으로부터 중온 저장조로 열을 전달하면서 상기 작동 유체의 제4 부분을 상기 환열기를 통해 순환시키고 - 상기 제3 부분은 상기 제4 부분보다 더 큰 부분임 - ; 상기 제3 부분이 상기 환열기를 바이패스하는 동안 제4 부분을 상기 환열기를 통해 순환시키고 상기 환열기를 통해 순환하는 동안 상기 제4 부분으로 열을 전달하고; 상기 제3 부분이 상기 환열기를 바이패스하고 상기 제4 부분이 상기 환열기를 통해 순환한 후에 상기 제3 부분과 상기 제4 부분 둘 다 함께 고온 저장조를 통해 순환시키는 것을 포함할 수 있다.
- [0115] 제30 실시예에서, 상기 제29 실시예는, 상기 작동 유체가 이산화탄소(CO₂)이도록 구현될 수 있다.
- [0116] 제31 실시예에서, 상기 제30 실시예는, 상기 제1 부분이 상기 충전 단계에서 상기 작동 유체의 질량 유량의 대략 40%를 나타내고 상기 제2 부분이 대략 60%를 나타내고, 상기 제3 부분이 상기 생성 단계에서 상기 작동 유체

의 질량 유량의 대략 40%를 나타내고 상기 제4 부분이 대략 60%를 나타내도록 구현될 수 있다.

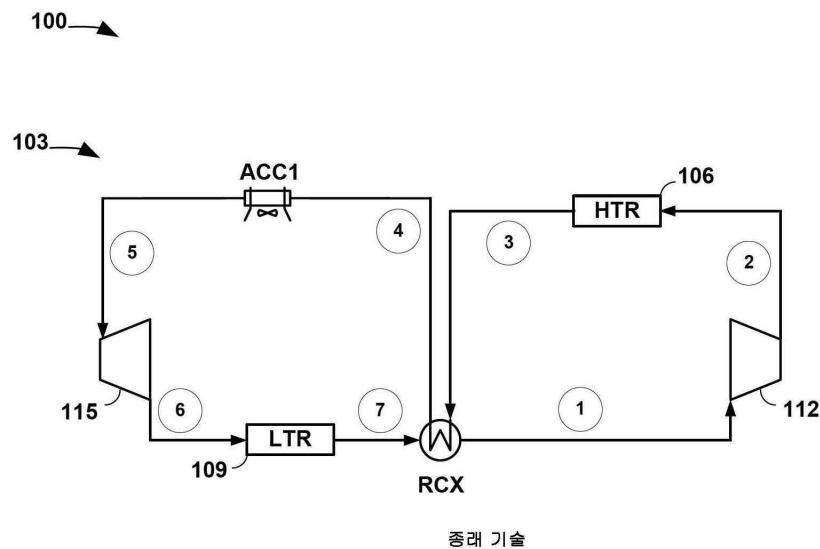
[0117] 제32 실시예에서, 상기 제29 실시예는, 상기 제1 부분이 상기 충전 단계에서 상기 작동 유체의 질량 유량의 대략 40%를 나타내고 상기 제2 부분이 대략 60%를 나타내고, 상기 제3 부분이 상기 생성 단계에서 상기 작동 유체의 질량 유량의 대략 40%를 나타내고 상기 제4 부분은 대략 60%를 나타내도록 구현될 수 있다.

[0118] 본 개시의 이점을 갖는 당업자는 본원에 개시된 기술의 또 다른 실시예를 이해할 수 있다.

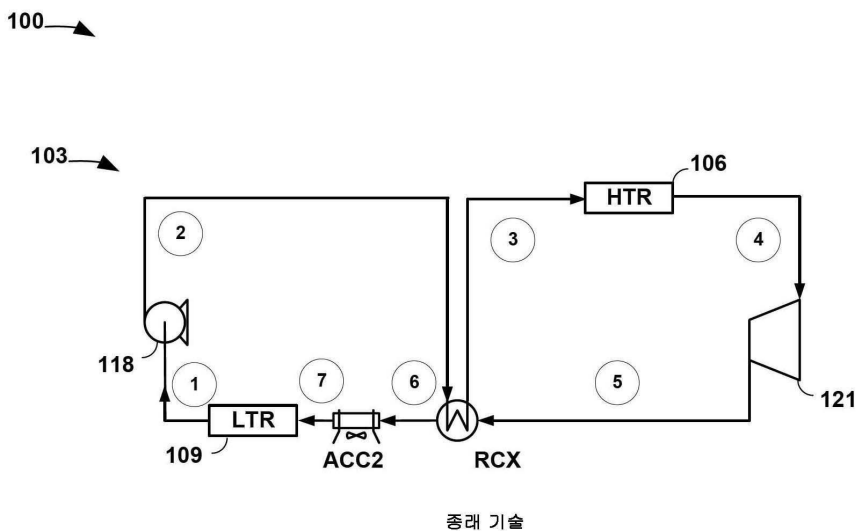
[0119] 전술한 바는 당해 기술 분야에서의 숙련자들이 본 개시를 보다 잘 이해할 수 있도록 여러 실시예들의 특징을 나타내었다. 당해 기술 분야에서의 숙련자라면, 여기에서 소개된 실시예와 동일한 목적을 수행하고/하거나 동일한 이점을 달성하기 위해 다른 프로세스 및 구조를 설계 또는 수정하기 위한 기반으로 본 개시를 용이하게 사용할 수 있다는 것을 알아야 한다. 당해 기술 분야에서의 숙련자는 또한, 이러한 등가의 구성이 본 개시의 진정한 의미 및 범위로부터 벗어나지 않으며, 본 개시의 진정한 의미 및 범위에서 벗어나지 않고서 다양한 변경, 치환 및 대안을 행할 수 있다는 것을 알아야 한다.

도면

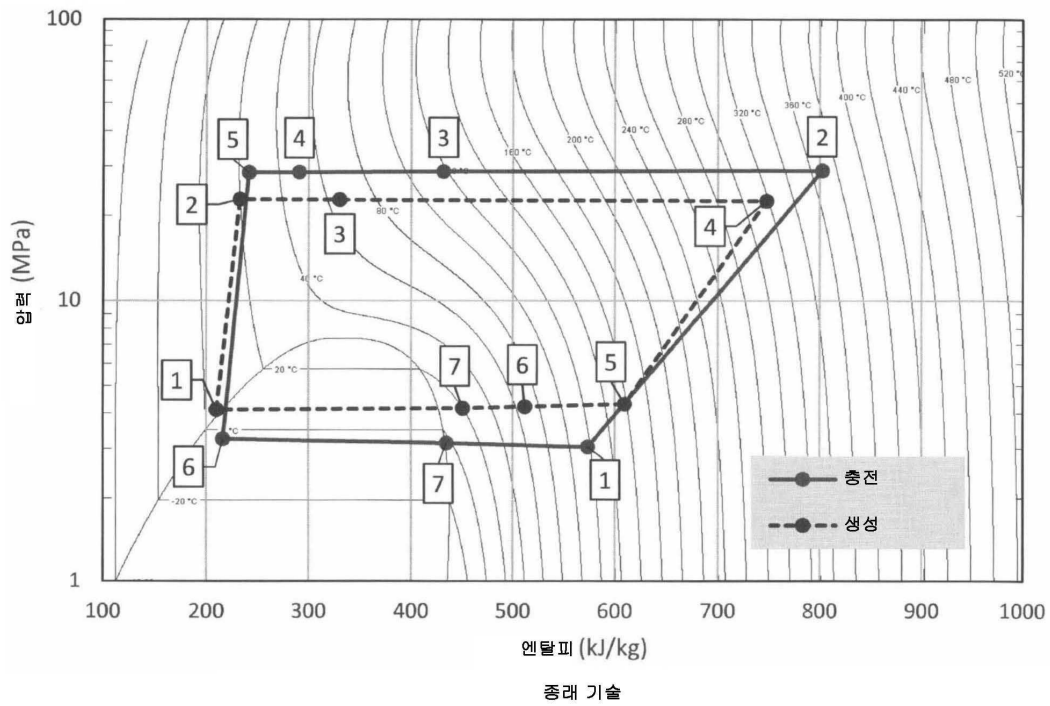
도면1a



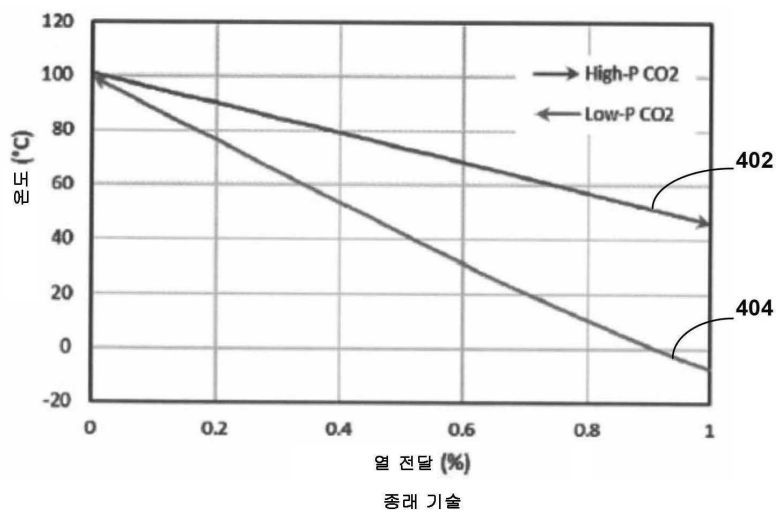
도면1b



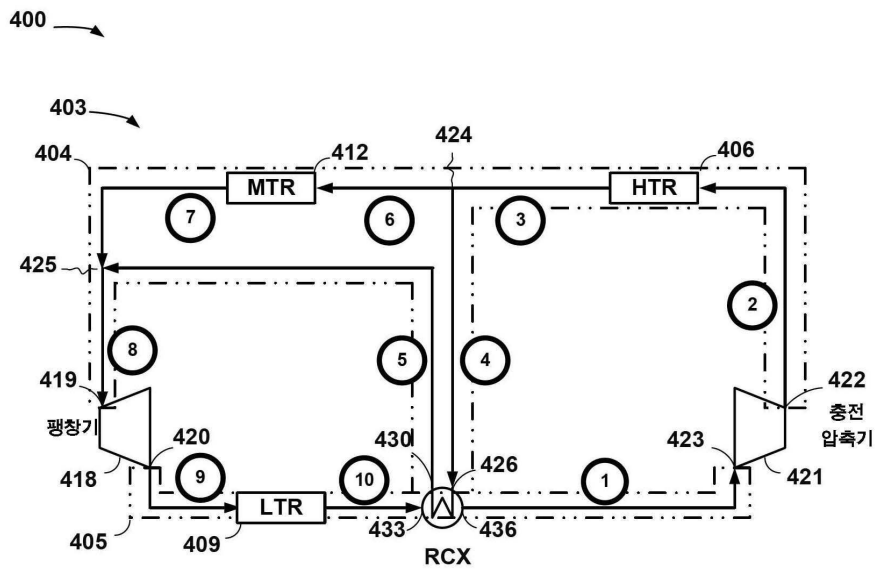
도면2



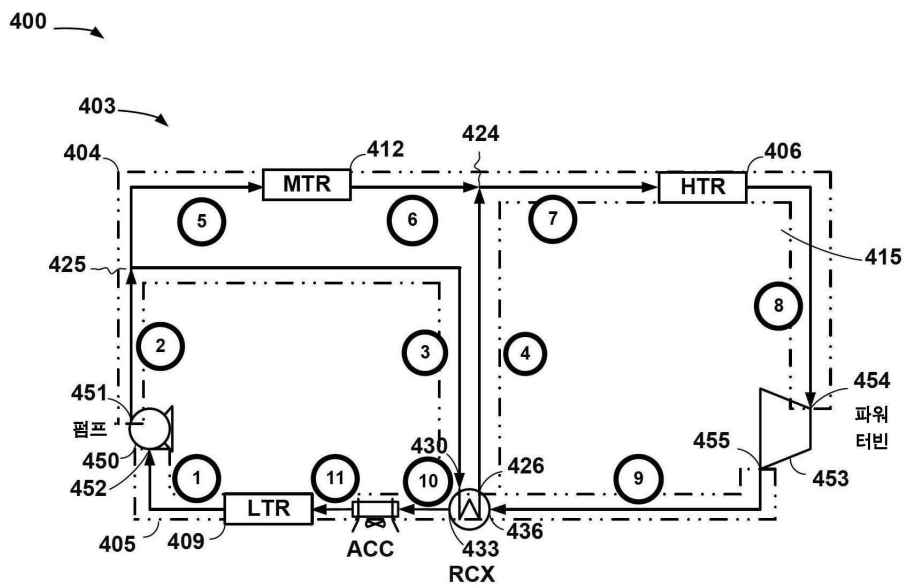
도면3



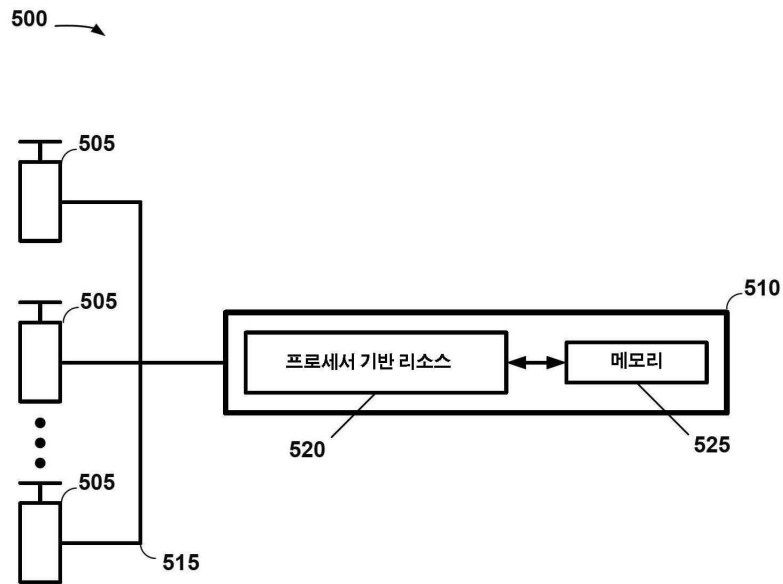
도면4a



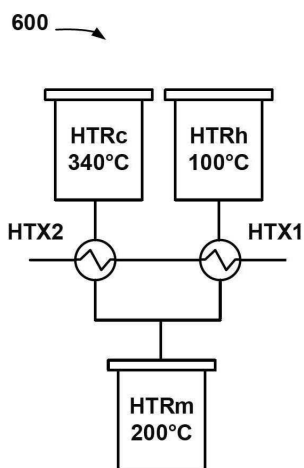
도면4b



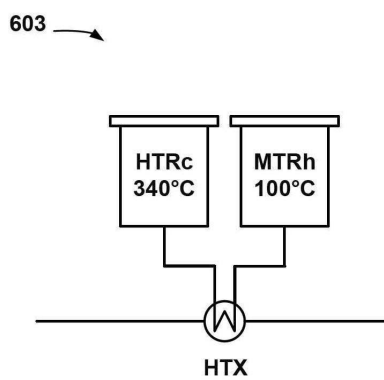
도면5



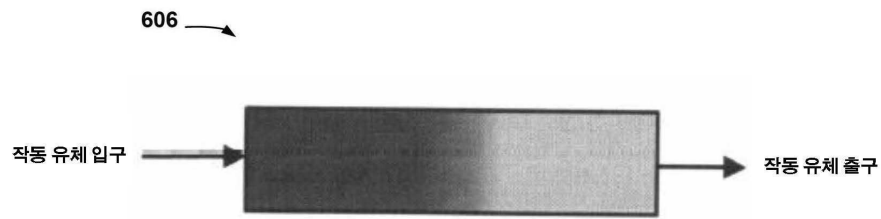
도면6a



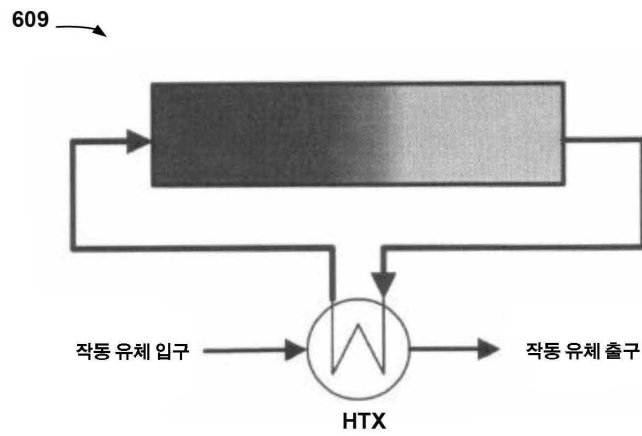
도면6b



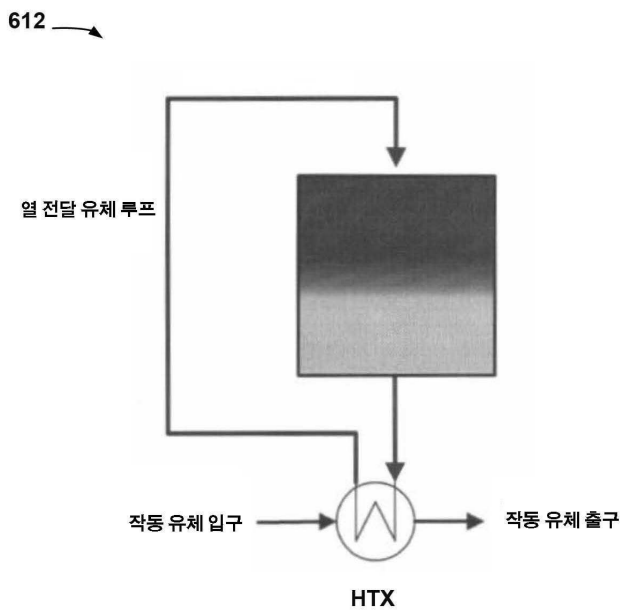
도면6c



도면6d



도면6e



도면6f

