(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년05월10일
(11) 등록번호 10-1856181
(24) 등록일자 2018년05월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F01K 23/02 (2006.01) *F01K 25/02* (2006.01)
F04D 15/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F01K 23/02 (2013.01)
F01K 25/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-7001033
(22) 출원일자(국제) 2015년06월12일
심사청구일자 2017년01월12일
(85) 번역문제출일자 2017년01월12일
(65) 공개번호 10-2017-0018429
(43) 공개일자 2017년02월17일
(86) 국제출원번호 PCT/US2015/035567
(87) 국제공개번호 WO 2015/192005
국제공개일자 2015년12월17일
(30) 우선권주장
62/011,678 2014년06월13일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US03828610 A*
JP2004108220 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
에코진 파워 시스템스, 엘엘씨
미국 오하이오주 44308 애크런 워터 스트리트 365
(72) 발명자
프레우쓰, 제이슨 리
미국 80228 콜로라도 레이크우드 라이트 스트리트 433 #306
헬드, 티모시
미국 44333 오하이오 악론 빅 스프루스 드라이브 4150
(74) 대리인
특허법인 남앤드남

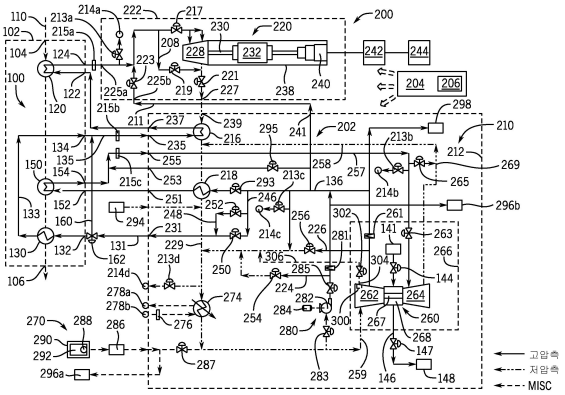
전체 청구항 수 : 총 11 항 심사관 : 박종오

(54) 발명의 명칭 **열기관 시스템의 스러스트 부하들을 밸런싱하기 위한 시스템들 및 방법들**

(57) 요 약

터보펌프 시스템은, 그 안에 배치된 압력 해제 통로를 갖는 하우징을 포함하는 펌프 부분을 포함한다. 펌프 부분은 작동 유체 회로의 고압측과 저압측 사이에 배치된다. 구동 터빈은 펌프 부분에 커플링되며, 펌프 부분이 작동 유체 회로를 통해 작동 유체를 순환시키는 것을 인에이블하기 위해 펌프 부분을 구동시키도록 구성된다. 압력 해제 밸브는 압력 해제 통로에 유동적으로 커플링되며, 압력 해제 통로를 통해 압력이 해제되는 것을 인에이블하기 위한 개방 포지션에, 그리고 압력 해제 통로를 통해 압력이 해제되는 것을 디스에이블하기 위한 폐쇄 포지션에 포지셔닝되도록 구성된다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
F04D 15/0083 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

터보펌프 시스템(turbopump system)으로서,

하우징(housing) 및 상기 하우징에 의해 정의되는 임펠러 캐비티(impeller cavity)에 배치된 임펠러를 포함하는 펌프(pump)부 －상기 하우징은 상기 임펠러의 뒷면에 근접한 상기 임펠러 캐비티의 일부분으로부터 연장되는 압력 해제 통로를 추가로 정의하며, 상기 펌프부는 작동 유체 회로의 고압측과 저압측 사이에 배치됨－;

상기 펌프부에 커플링되며(coupled), 상기 펌프부가 상기 작동 유체 회로를 통해 작동 유체를 순환시키는 것을 인에이블(enable)하기 위해 상기 펌프부를 구동시키도록 구성된 구동 터빈(turbine); 및

상기 압력 해제 통로에 유동적으로 커플링되며, 상기 압력 해제 통로를 통해 압력이 해제되는 것을 인에이블하기 위한 개방 위치(position)에, 그리고 상기 압력 해제 통로를 통해 압력이 해제되는 것을 디스에이블(disable)하기 위한 폐쇄 위치에 위치 결정되도록(positioned) 구성된 압력 해제 밸브(valve)

를 포함하고,

상기 압력 해제 밸브는 상기 작동 유체 회로의 저압측에 유동적으로 커플링되는 콘덴서(condenser)에 커플링되고, 상기 콘덴서는 상기 작동 유체 회로의 저압측에서 상기 작동 유체의 온도를 제어하는,

터보펌프 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 개방 위치, 상기 폐쇄 위치, 및 상기 개방 위치과 상기 폐쇄 위치 사이의 복수의 부분 개방 위치들 사이에 상기 압력 해제 밸브를 선택적으로 위치 결정시키기 위해 상기 압력 해제 밸브를 제어하도록 구성된 제어기

를 포함하는,

터보펌프 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 펌프부에 의해 생성된 스러스트(thrust) 부하와 상기 구동 터빈에 의해 생성된 스러스트 부하 사이의 차이를 감소시키기 위해 상기 압력 해제 밸브의 위치 결정(positioning)을 제어하도록 구성된 제어기

를 더 포함하는,

터보펌프 시스템.

청구항 4

터보펌프 시스템으로서,

작동 유체 회로의 고압측과 저압측 사이에 배치되며, 상기 작동 유체 회로를 통해 작동 유체를 순환시키도록 구성된 펌프 －상기 펌프는 하우징 및 상기 하우징에 의해 정의되는 임펠러 캐비티에 배치된 임펠러를 포함함－;

상기 펌프의 상기 하우징에 일체로 형성된 압력 해제 통로 －상기 압력 해제 통로의 일부분은 상기 임펠러의 뒷면에 근접한 상기 임펠러 캐비티의 일부분으로부터 연장되며, 상기 펌프로부터의 압력의 해제를 인에이블하도록 구성됨－; 및

상기 압력 해제 통로에 유동적으로 커플링되며, 상기 압력 해제 통로를 통해 압력이 해제되는 것을 인에이블하기 위한 개방 위치에, 그리고 상기 압력 해제 통로를 통해 압력이 해제되는 것을 디스에이블하기 위한 폐쇄 위

치에 위치 결정되도록 구성된 압력 해제 밸브

를 포함하고,

상기 압력 해제 밸브는 상기 작동 유체 회로의 저압측에 유동적으로 커플링되는 콘덴서에 커플링되고, 상기 콘덴서는 상기 작동 유체 회로의 저압측에서 상기 작동 유체의 온도를 제어하는,

터보펌프 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 개방 위치와 상기 폐쇄 위치 사이에 상기 압력 해제 밸브를 선택적으로 위치 결정시키기 위해 상기 압력 해제 밸브를 제어하도록 구성된 제어기

를 더 포함하는,

터보펌프 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 제어기는 상기 펌프에 의해 생성된 스러스트 부하를 표시하는 매개변수가 임계치 값을 초과할 때 상기 압력 해제 밸브를 상기 개방 위치에 또는 부분 개방 위치에 선택적으로 위치 결정시키도록 구성되는,

터보펌프 시스템.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 제어기는 상기 펌프의 상기 하우징 상에 존재하는 스러스트 부하와 터빈 휠(wheel)의 하우징 상에 존재하는 제 2 스러스트 부하 사이의 차이가 미리결정된 임계치를 초과할 때 상기 압력 해제 밸브를 상기 개방 위치에 선택적으로 위치 결정시키도록 구성되는,

터보펌프 시스템.

청구항 8

제 4 항에 있어서,

상기 펌프가 상기 작동 유체를 순환시키는 것을 인에이블하기 위해 상기 펌프를 구동시키도록 구성된 구동 터빈

을 포함하는,

터보펌프 시스템.

청구항 9

터보펌프 어셈블리(assembly)에 대한 스러스트 밸런싱(balancing) 방법으로서,

작동 유체 회로를 통해 작동 유체를 순환시키도록 구성된 펌프의 유입구에서의 측정 압력에 대응하는 제 1 데이터(data)를 수신하는 단계 －상기 펌프는 하우징 및 상기 하우징에 의해 정의되는 임펠러 캐비티에 배치된 임펠러를 포함하고, 상기 임펠러는 상기 유입구에 대향하는 뒷면을 가지며, 상기 유입구는 상기 작동 유체 회로의 저압측으로부터 상기 작동 유체를 수신하도록 구성됨－;

상기 펌프의 배출구에서의 측정 압력에 대응하는 제 2 데이터를 수신하는 단계;

상기 하우징에 정의된 압력 해제 통로에서의 측정 압력에 대응하는 제 3 데이터를 수신하는 단계 －상기 압력 해제 통로의 일부분은 상기 임펠러의 뒷면에 근접한 상기 임펠러 캐비티의 일부분으로부터 연장됨－;

상기 제 1 데이터, 상기 제 2 데이터, 상기 제 3 데이터, 또는 이들의 결합에 기반하여, 상기 펌프에 의해 생성된 스러스트 부하가 미리결정된 임계치를 초과하는지 여부를 결정하는 단계; 및

상기 스러스트 부하가 상기 미리결정된 임계치를 초과할 때, 상기 압력 해제 통로에 유동적으로 커플링된 압력 해제 밸브를, 상기 펌프로부터의 압력을 해제시키기 위한 개방 위치로 제어 회로를 사용하여 작동시키는 단계

를 포함하고,

상기 압력 해제 밸브는 상기 작동 유체 회로의 저압측에 유동적으로 커플링되는 콘덴서에 커플링되고, 상기 콘덴서는 상기 작동 유체 회로의 저압측에서 상기 작동 유체의 온도를 제어하는,

터보펌프 어셈블리에 대한 스러스트 밸런싱 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 펌프에 의해 생성된 상기 스러스트 부하와 상기 펌프에 커플링된 구동 터빈에 의해 생성된 스러스트 부하 사이의 차이가 미리결정된 값을 초과하는지 여부를 결정하는 단계, 및

상기 차이가 상기 미리결정된 값을 초과할 때 상기 압력 해제 밸브를 상기 개방 위치로 제어 회로를 사용하여 작동시키는 단계

를 포함하는,

터보펌프 어셈블리에 대한 스러스트 밸런싱 방법.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

상기 스러스트 부하가 상기 미리결정된 임계치를 초과할 때 상기 펌프로부터의 압력을 상기 작동 유체 회로의 저압측으로 해제시키는 단계

를 포함하는,

터보펌프 어셈블리에 대한 스러스트 밸런싱 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련 출원들에 대한 상호 인용

[0002] [001] 본 출원은 2014년 6월 13일자로 출원된, 일련 번호 제 62/011,678호를 갖는 미국 가 특허 출원에 대한 우선권을 주장한다. 이로써, 전술된 특허 출원은, 본 출원과 일치하는 범위까지, 인용에 의해 그 전체가 본 출원에 통합된다.

배 경 기 술

[0003] [002] 산업 공정 장비의 동작 온도들을 유지시키려는 노력으로 고온의 액체들, 가스(gas)들, 또는 유체들의 흐르는 스트림(stream)들이 환경으로 배출되거나 또는 어떻게 해서든 제거되어야 하는 산업 공정들의 부산물로서, 폐열이 종종 생성된다. 일부 산업 공정들은, 폐열을 포획하여 다른 공정 스트림들을 통해 다시 공정으로 재활용하기 위해 열 교환기 디바이스(device)들을 활용한다. 그러나, 고온들을 활용하거나 또는 불충분한 질량 흐름 또는 다른 불리한 조건들을 갖는 산업 공정들에 의한 폐열의 포획 및 재활용은 일반적으로 실행 불가능하다.

[0004] [003] 폐열은 열역학 방법들, 이를테면, 랭킨 사이클(Rankine cycle)들을 사용하는 다양한 터빈(turbine) 발전기 또는 열기관 시스템(system)들에 의해 유용한 에너지(energy)로 변환될 수 있다. 랭킨 사이클들 및 유사한 열역학 방법들은 통상적으로, 터빈, 터보(turbo), 또는 전기 발전기 또는 펌프(pump)에 연결된 다른 익스팬더(expander)를 구동시키기 위한 스팀(steam)을 생성하기 위해 폐열을 회수하여 활용하는 스팀-기반 공정들이다. 유기 랭킨 사이클은 통상적인 랭킨 사이클 동안에, 물 대신에 더 낮은 끓는점의 작동 유체를 활용한다. 예시적인 더 낮은 끓는점의 작동 유체들은 하이드로카본(hydrocarbon)들, 이를테면, 경질 하이드로카본들(예컨대, 프로페인(propane) 또는 뷰테인(butane)) 그리고 할로겐화 하이드로카본(halogenated hydrocarbo

n)들, 이를테면, 하이드로클로로플루오로카본(hydrochlorofluorocarbon)들(HCFC들) 또는 하이드로플루오로카본(hydrofluorocarbon)들(HFC들)(예컨대, R245fa)을 포함한다. 더욱 최근에, 더 낮은 끓는점의 작동 유체들의 열적 불안정성, 독성, 가연성, 및 제조 비용과 같은 문제들을 고려하여, 일부 열역학 사이클들은 비-하이드로카본(non-hydrocarbon) 작동 유체들, 이를테면, 암모니아(ammonia)를 순환시키도록 변형되었다.

[0005] [004] 열기관 시스템들은, 폐열을 포획하는 작동 유체를 순환시키기 위해 터보펌프(turbopump)를 종종 활용한다. 터보펌프, 뿐만 아니라 시스템들에서 사용되는 다른 회전 장비는, 동작 동안에 시스템에서 발생하는 동작 압력들 및 유체 모멘텀(momentum) 변화들로부터 생기는 스러스트(thrust) 부하들을 통상적으로 생성한다. 터보펌프는, 터보펌프 및/또는 이 터보펌프의 컴포넌트(component)들이 손상되기 이전에 그것에 가해질 수 있는 최대 스러스트 부하에 의해 설정되거나 또는 결정되는 동작 제한들을 가질 수 있다. 초임계 유체들, 이를테면, 초임계 이산화탄소로 동작하는 고밀도 기계류에서는, 기계 전력 밀도, 압력 상승, 및 회전 스피드(speed)들이 표준 시스템들의 것들을 초과하며, 이는 과도한 스러스트 부하들로 인한 시스템 손상의 가능성을 증가시키고, 표준 스러스트 베어링(bearing) 설계 기술들을 부적합하게 렌더링(rendering)한다. 이에 따라, 일부 이전의 고밀도 기계류에서는, 스러스트 밸런스 피스톤(balance piston) 기술이 사용되었다. 그러나, 그러한 기술들은 시스템 효율성에 악영향을 끼치는 것으로 밝혀졌다.

[0006] [005] 그러므로, 통상적인 접근법들의 단점들을 극복하면서, 열기관 시스템에 존재하는 스러스트 부하들을 밸런싱(balancing)하기 위한 시스템들 및 방법들이 필요하다.

발명의 내용

[0007] [006] 일 실시예에서, 터보펌프 시스템은, 그 안에 배치된 압력 해제 통로를 갖는 하우징(housing)을 포함하는 펌프 부분을 포함한다. 펌프 부분은 작동 유체 회로의 고압측과 저압측 사이에 배치된다. 구동 터빈은 펌프 부분에 커플링되며(coupled), 펌프 부분이 작동 유체 회로를 통해 작동 유체를 순환시키는 것을 인에이블(enable)하기 위해 펌프 부분을 구동시키도록 구성된다. 압력 해제 밸브(valve)는 압력 해제 통로에 유동적으로 커플링되며(fluidly coupled), 압력 해제 통로를 통해 압력이 해제되는 것을 인에이블하기 위한 개방 포지션(position)에, 그리고 압력 해제 통로를 통해 압력이 해제되는 것을 디스에이블(disable)하기 위한 폐쇄 포지션에 포지셔닝되도록(positioned) 구성된다.

[0008] [007] 다른 실시예에서, 터보펌프 시스템은, 작동 유체 회로의 고압측과 저압측 사이에 배치되며 작동 유체 회로를 통해 작동 유체를 순환시키도록 구성된 펌프를 포함한다. 압력 해제 통로는 펌프의 하우징에 일체로 형성되며, 펌프로부터의 압력의 해제를 인에이블하도록 구성된다. 압력 해제 밸브는 압력 해제 통로에 유동적으로 커플링되며, 압력 해제 통로를 통해 압력이 해제되는 것을 인에이블하기 위한 개방 포지션에, 그리고 압력 해제 통로를 통해 압력이 해제되는 것을 디스에이블하기 위한 폐쇄 포지션에 포지셔닝되도록 구성된다.

[0009] [008] 다른 실시예에서, 터보펌프 어셈블리(assembly)에 대한 스러스트 밸런싱(balancing) 방법은, 작동 유체 회로를 통해 작동 유체를 순환시키도록 구성된 펌프의 유입구에서의 측정 압력에 대응하는 제 1 데이터(data)를 수신하는 단계, 펌프의 배출구에서의 측정 압력에 대응하는 제 2 데이터를 수신하는 단계, 및 펌프의 배면에 배치된 압력 해제 통로에서의 측정 압력에 대응하는 제 3 데이터를 수신하는 단계를 포함한다. 방법은 또한, 제 1 데이터, 제 2 데이터, 제 3 데이터, 또는 이들의 결합에 기반하여, 펌프에 의해 생성된 스러스트 부하가 미리 결정된 임계치를 초과하는지 여부를 결정하는 단계, 및 스러스트 부하가 미리결정된 임계치를 초과할 때, 압력 해제 통로에 유동적으로 커플링된 압력 해제 밸브를, 펌프로부터의 압력을 해제시키기 위한 개방 포지션으로 제어 회로를 사용하여 작동시키는 단계를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0010] [009] 본 개시내용은 첨부된 도면들과 함께 읽을 때 하기의 상세한 설명으로부터 가장 잘 이해된다. 산업의 표준 관행에 따라, 다양한 피처(feature)들이 실척대로 그려지지 않음이 강조된다. 실제로, 다양한 피처들의 치수들은 논의의 명확성을 위해 임의로 증가되거나 또는 감소될 수 있다.

[010] 도 1은 본원에 개시된 하나 또는 그 초과의 실시예들에 따라, 열기관 시스템의 실시예를 예시한다.

[011] 도 2a는 본원에 개시된 하나 또는 그 초과의 실시예들에 따라, 구동 터빈의 후방부의 단면도를 예시한다.

[012] 도 2b는 본원에 개시된 하나 또는 그 초과의 실시예들에 따라, 펌프의 부분의 단면도를 예시한다.

[013] 도 3은 본원에 개시된 하나 또는 그 초과의 실시예들에 따라, 압력 해제 통로를 갖는 펌프의 단면도를 예시한다.

[014] 도 4는 본원에 개시된 하나 또는 그 초과의 실시예들에 따라, 열기관 시스템에서 하나 또는 그 초과의 스러스트 부하들을 밸런싱하기 위한 방법을 예시하는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] [015] 아래에서 더욱 상세히 설명되는 바와 같이, 현재 개시된 실시예들은 열 스트림(예컨대, 폐열 스트림)의 열 에너지를 가치 있는 전기 에너지로 효율적으로 변환하기 위한 시스템들 및 방법들에 관한 것이다. 제공된 실시예들은 스러스트 부하 불균형들로 인한 열기관 시스템의 컴포넌트들에 대한 손상의 감소 또는 방지를 가능하게 한다. 예컨대, 일부 실시예들에서, 열기관 시스템은 작동 유체 회로의 동작 기간의 일부 또는 전부 동안에 작동 유체(예컨대, sc-CO_2)를 작동 유체 회로의 저압측 내에서 액체형 상태, 이를테면, 초임계 상태로 유지시키도록 구성된다. 그러한 실시예들에서, 펌프 스피드들이 증가함에 따라 생기는 압력 증가들은 스러스트 부하 불균형들을 유도할 수 있으며, 이 스러스트 부하 불균형들은 현재 개시된 실시예들의 하나 또는 그 초과의 피처들에 의해 감소되거나 또는 제거될 수 있다. 예컨대, 특정 실시예들은 하나 또는 그 초과의 스러스트 부하들을 밸런싱하기(balance) 위해 펌프로부터의 압력의 선택적 해제를 인에이블링(enabling)할 수 있는 압력 해제 통로 및/또는 압력 해제 밸브를 포함할 수 있다. 현재 개시된 실시예들의 이들 및 다른 피처들은 아래에서 더욱 상세히 논의된다.

[0012] [016] 이제, 도면들을 참조하면, 도 1은 열기관 시스템(200)의 실시예를 예시하며, 아래의 하나 또는 그 초과의 실시예들에서 설명된 바와 같이, 이 열기관 시스템(200)은 열적 엔진(engine) 시스템, 전기 발전 시스템, 폐열 또는 다른 열 회수 시스템, 및/또는 열-전기 에너지 시스템(thermal to electrical energy system)으로 또한 지칭될 수 있다. 열기관 시스템(200)은 일반적으로, 랭킨 사이클, 랭킨 사이클의 파생물(derivative), 또는 넓은 범위의 열원들로부터 전기 에너지를 발전시키기 위한 다른 열역학 사이클의 하나 또는 그 초과의 엘리먼트(element)들을 포함하도록 구성된다. 열기관 시스템(200)은, 공정 시스템(210) 내에 배치된 작동 유체 회로(202)를 통해 서로 커플링되며 서로 열적 연통(thermal communication)하는 폐열 시스템(100) 및 전력 발전 시스템(220)을 포함한다. 동작 동안에, 작동 유체, 이를테면, 초임계 이산화탄소(supercritical carbon dioxide)(sc-CO_2)가 작동 유체 회로(202)를 통해 순환되며, 열은 폐열 시스템(100)을 통해 흐르는 열원 스트림(110)으로부터 작동 유체로 전달된다. 일단 가열되면, 가열된 작동 유체에 포함된 열 에너지가 기계 에너지로 변환되는 전력 발전 시스템(220) 내의 전력 터빈(228)을 통해 작동 유체가 순환된다. 이러한 방식으로, 공정 시스템(210), 폐열 시스템(100), 및 전력 발전 시스템(220)은 열원 스트림(110)의 열 에너지를 기계 에너지로 변환하도록 협력하며, 이 기계 에너지는 원한다면 구현-특정 고려사항들에 따라 전기 에너지로 추가로 변환될 수 있다.

[0013] [017] 더욱 구체적으로는, 도 1의 실시예에서, 폐열 시스템(100)은, 작동 유체 회로(202)의 고압측에 유동적으로 커플링되며 열원 스트림(110)과 열적 연통하는 세 개의 열 교환기들(즉, 열 교환기들(120, 130, 및 150))을 포함한다. 그러한 열적 연통은 열원 스트림(110)으로부터, 작동 유체 회로(202) 전체에 걸쳐 흐르는 작동 유체로의 열 에너지의 전달을 제공한다. 본원에 개시된 하나 또는 그 초과의 실시예들에서, 둘, 셋, 또는 그 초과의 열 교환기들, 이를테면, 일차 열 교환기, 이차 열 교환기, 삼차 열 교환기(각각, 열 교환기들(120, 150, 및 130)임)가 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링되며 이 작동 유체 회로(202)와 열적 연통할 수 있다. 예컨대, 열 교환기(120)는 전력 터빈(228)의 유입구의 업스트림(upstream)의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된 일차 열 교환기일 수 있고, 열 교환기(150)는 터빈 펌프(260)의 구동 터빈(264)의 유입구의 업스트림의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된 이차 열 교환기일 수 있으며, 열 교환기(130)는 열 교환기(120)의 유입구의 업스트림의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된 삼차 열 교환기일 수 있다. 그러나, 다른 실시예들에서, 임의의 원하는 개수의 열 교환기들(세 개로 제한되지 않음)이 폐열 시스템(100)에 제공될 수 있음이 주목되어야 한다.

[0014] [018] 추가로, 폐열 시스템(100)은 열원 스트림(110)을 수용하기 위한 유입구(104), 그리고 폐열 시스템(100)의 밖으로 열원 스트림(110)을 전달하기 위한 배출구(106)를 또한 포함한다. 열원 스트림(110)은 유입구(104)를 통해 그리고 이 유입구(104)로부터, 열 교환기(120)를 통해, 열원 스트림(110)에 유동적으로 커플링되었다면 하나 또는 그 초과의 추가적인 열 교환기들을 통해, 그리고 배출구(106)로 그리고 이 배출구(106)를 통해 흐른다. 일부 예들에서, 열원 스트림(110)은 유입구(104)를 통해 그리고 이 유입구(104)로부터, 열 교환기

들(120, 150, 및 130)을 각각 통해, 그리고 배출구(106)로 그리고 이 배출구(106)를 통해 흐른다. 열원 스트림(110)은 다른 원하는 순서들로 열 교환기들(120, 130, 150), 및/또는 추가적인 열 교환기들을 통해 흐르도록 라우팅될(routed) 수 있다.

[0015] [019] 본원에 설명된 일부 실시예들에서, 폐열 시스템(100)은 작동 유체 회로(202) 뿐만 아니라 열기관 시스템(200)의 다른 부분들, 서브-시스템(sub-system)들, 또는 디바이스들에 유동적으로 커플링된 폐열 스키드(skid)(102) 상에 또는 이 폐열 스키드(102)에 배치된다. 폐열 스키드(102)는 열원 스트림(110), 주 공정 스키드(212), 전력 발전 스키드(222), 및/또는 열기관 시스템(200)의 다른 부분들, 서브-시스템들, 또는 디바이스들의 소스(source) 및 이들에 대한 배출기에 유동적으로 커플링될 수 있다.

[0016] [020] 하나 또는 그 초과의 구성들에서, 폐열 스키드(102) 상에 또는 이 폐열 스키드(102)에 배치된 폐열 시스템(100)은, 작동 유체 회로(202) 내의 작동 유체에 유동적으로 커플링되며 이 작동 유체와 열적 연통하는 유입구들(122, 132, 및 152) 및 배출구들(124, 134, 및 154)을 일반적으로 포함한다. 유입구(122)는 열 교환기(120)의 업스트림에 배치되며, 배출구(124)는 열 교환기(120)로부터 다운스트림(downstream)에 배치된다. 작동 유체 회로(202)는, 열 교환기(120)에 의해 열원 스트림(110)으로부터의 열 에너지를 작동 유체에 전달하면서, 유입구(122)로부터 열 교환기(120)를 통해 그리고 배출구(124)로 작동 유체를 흐르게 하도록 구성된다. 유입구(152)는 열 교환기(150)의 업스트림에 배치되며, 배출구(154)는 열 교환기(150)로부터 다운스트림에 배치된다. 작동 유체 회로(202)는, 열 교환기(150)에 의해 열원 스트림(110)으로부터의 열 에너지를 작동 유체에 전달하면서, 유입구(152)로부터 열 교환기(150)를 통해 그리고 배출구(154)로 작동 유체를 흐르게 하도록 구성된다. 유입구(132)는 열 교환기(130)의 업스트림에 배치되며, 배출구(134)는 열 교환기(130)로부터 다운스트림에 배치된다. 작동 유체 회로(202)는, 열 교환기(130)에 의해 열원 스트림(110)으로부터의 열 에너지를 작동 유체에 전달하면서, 유입구(132)로부터 열 교환기(130)를 통해 그리고 배출구(134)로 작동 유체를 흐르게 하도록 구성된다.

[0017] [021] 폐열 시스템(100)을 통해 흐르는 열원 스트림(110)은 가스 터빈 배출 스트림, 산업 공정 배출 스트림, 또는 임의의 다른 연소 산물 배출 스트림, 이를테면, 노 또는 보일러(boiler) 배출 스트림과 같은 폐열 스트림일 수 있지만, 이에 제한되지 않는다. 열원 스트림(110)은 약 100℃ 내지 약 1,000℃ 범위 내의 온도, 또는 1,000℃를 초과하는 온도로 있을 수 있으며, 일부 예들에서는, 약 200℃ 내지 약 800℃ 범위 내의 온도, 더욱 좁게는 약 300℃ 내지 약 600℃ 범위 내의 온도로 있을 수 있다. 열원 스트림(110)은 공기, 이산화탄소, 일산화탄소, 물 또는 스팀, 질소, 산소, 아르곤(argon), 이들의 유도체들, 또는 이들의 혼합물들을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 열원 스트림(110)은 열 에너지의 재생가능한 소스들, 이를테면, 태양열 또는 지열 소스들로부터 열 에너지를 도출할 수 있다.

[0018] [022] 이제, 전력 발전 시스템(220)을 참조하면, 예시된 실시예는 작동 유체 회로(202)의 고압측과 저압측 사이에 배치된 전력 터빈(228)을 포함한다. 전력 터빈(228)은 작동 유체 회로(202)의 고압측과 저압측 사이에서 흐르는 작동 유체의 압력 강하에 의해 열 에너지를 기계 에너지로 변환하도록 구성된다. 전력 발전기(240)가 전력 터빈(228)에 커플링되며, 기계 에너지를 전기 에너지로 변환하도록 구성된다. 특정 실시예들에서, 전력 콘센트(outlet)(242)가 전력 발전기(240)에 전기적으로 커플링되며, 전력 발전기(240)로부터의 전기 에너지를 전기 그리드(grid)(244)에 전달하도록 구성될 수 있다. 예시된 전력 발전 시스템(220)은 전력 터빈(228)과 전력 발전기(240) 사이에 커플링된 구동샤프트(driveshaft)(230) 및 기어박스(gearbox)(232)를 또한 포함한다.

[0019] [023] 하나 또는 그 초과의 구성들에서, 전력 발전 시스템(220)은 전력 발전 스키드(222) 상에 또는 이 전력 발전 스키드(222)에 배치되며, 이 전력 발전 스키드(222)는 작동 유체 회로(202) 내의 작동 유체에 유동적으로 커플링되며 이 작동 유체와 열적 연통하는 유입구들(225a, 225b) 및 배출구(227)를 포함한다. 유입구들(225a, 225b)은 작동 유체 회로(202)의 고압측 내의 전력 터빈(228)의 업스트림에 있으며, 가열된 고압 작동 유체를 수용하도록 구성된다. 일부 예들에서, 유입구(225a)는 폐열 시스템(100)의 배출구(124)에 유동적으로 커플링되며, 열 교환기(120)로부터 흐르는 작동 유체를 수용하도록 구성될 수 있다. 추가로, 유입구(225b)는 공정 시스템(210)의 배출구(241)에 유동적으로 커플링되며, 터보펌프(260) 및/또는 시작 펌프(280)로부터 흐르는 작동 유체를 수용하도록 구성될 수 있다. 배출구(227)는 작동 유체 회로(202)의 저압측 내의 전력 터빈(228)으로부터 다운스트림에 배치되며, 저압 작동 유체를 제공하도록 구성된다. 일부 예들에서, 배출구(227)는 공정 시스템(210)의 유입구(239)에 유동적으로 커플링되며, 작동 유체를 환열기(216)로 흐르게 하도록 구성될 수 있다.

[0020] [024] 필터(filter)(215a)는, 열 교환기(120)로부터 다운스트림 및 전력 터빈(228)의 업스트림의 지점에, 유

체관을 따라 그리고 이 유체관과 유체 연통하게 배치될 수 있다. 일부 예들에서, 필터(215a)는 폐열 시스템(100)의 배출구(124)와 공정 시스템(210)의 유입구(225a) 사이의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다.

[0021] [025] 다시, 전력 발전 시스템(220) 내의 작동 유체 회로(202)의 부분은 유입구들(225a 및 225b)에 의해 작동 유체를 공급받는다. 추가적으로, 전력 터빈 정지 밸브(217)는 유입구(225a)와 전력 터빈(228) 사이의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다. 전력 터빈 정지 밸브(217)는, 개방 포지션에 있는 동안에, 열 교환기(120)로부터 유입구(225a)를 통해 그리고 전력 터빈(228)으로 흐르는 작동 유체를 제어하도록 구성된다. 대안적으로, 전력 터빈 정지 밸브(217)는, 폐쇄 포지션에 있는 동안에, 작동 유체의 흐름이 전력 터빈(228)으로 들어가는 것을 중단시키도록 구성될 수 있다.

[0022] [026] 터보펌프(260)의 펌프 부분(262) 상의 배출구와 전력 터빈(228) 상의 유입구 사이에 배치되고, 그리고/또는 시작 펌프(280)의 펌프 부분(282) 상의 배출구와 전력 터빈(228) 상의 유입구 사이에 배치되는 과열저감기 우회관(211)을 통해, 전력 터빈 과열저감기 밸브(223)가 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다. 과열저감기 우회관(211) 및 전력 터빈 과열저감기 밸브(223)는, 이를테면, 웜업(warm-up) 또는 쿨다운(cool-down) 단계 동안에, 펌프 부분(262 또는 282)으로부터의 작동 유체를, 환열기(216) 및 열 교환기들(120 및 130)을 우회하게 그리고 전력 터빈(228)으로 흐르게 하며 이 환열기(216) 및 열 교환기들(120 및 130)을 회피하게 하도록 구성될 수 있다. 과열저감기 우회관(211) 및 전력 터빈 과열저감기 밸브(223)는, 열 교환기들, 이를테면, 열 교환기들(120 및 130)을 통해 흐르는 열원 스트림(110)으로부터의 열적 열(thermal heat)을 회피하면서, 전력 터빈(228)으로부터 나오는 열을 이용하여 작동 유체를 워밍하기(warm) 위해 활용될 수 있다. 일부 예들에서, 전력 터빈 과열저감기 밸브(223)는 유입구(225b)와, 유입구(225a)로부터의 인입 스트림과 교차하는 유체관 상의 지점의 업스트림에 있는 전력 터빈 정지 밸브(217) 사이의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링될 수 있다. 전력 터빈 과열저감기 밸브(223)는 시작 펌프(280) 및/또는 터보펌프(260)로부터 유입구(225b)를 통해 그리고 전력 터빈 정지 밸브(217), 전력 터빈 우회 밸브(219) 및/또는 전력 터빈(228)으로 흐르는 작동 유체를 제어하도록 구성될 수 있다.

[0023] [027] 전력 터빈 우회 밸브(219)는 터빈 우회관에 유동적으로 커플링되며, 이 터빈 우회관은, 전력 터빈 정지 밸브(217)의 업스트림 및 전력 터빈(228)으로부터 다운스트림의 작동 유체 회로(202)의 지점으로부터 연장된다. 그러므로, 우회관 및 전력 터빈 우회 밸브(219)는, 작동 유체를 전력 터빈(228)을 우회하게 지향시켜 이 전력 터빈(228)을 회피하게 하도록 구성된다. 전력 터빈 정지 밸브(217)가 폐쇄 포지션에 있다면, 전력 터빈 우회 밸브(219)는, 개방 포지션에 있는 동안에, 작동 유체를 전력 터빈(228)을 우회하게 흐르게 하여 이 전력 터빈(228)을 회피하게 하도록 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 전력 터빈 우회 밸브(219)는, 전기 발전 공정의 스타트업(startup) 동작 동안에 작동 유체를 워밍업(warming up)하면서 활용될 수 있다. 배출구 밸브(221)는 전력 터빈(228) 상의 배출구와 전력 발전 시스템(220)의 배출구(227) 사이의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다.

[0024] [028] 이제, 공정 시스템(210)을 참조하면, 하나 또는 그 초과의 구성들에서, 공정 시스템(210)은 주 공정 스키드(212) 상에 또는 이러한 주 공정 스키드(212)에 배치되고, 그리고 작동 유체 회로(202) 내의 작동 유체에 유동적으로 커플링되며 이 작동 유체와 열적 연통하는 유입구들(235, 239, 및 255) 및 배출구들(231, 237, 241, 251, 및 253)을 포함한다. 유입구(235)는 환열기(216)의 업스트림에 있으며, 배출구(154)는 환열기(216)로부터 다운스트림(downstream)에 있다. 작동 유체 회로(202)는, 작동 유체 회로(202)의 저압측의 작동 유체로부터의 열 에너지를 환열기(216)에 의해 작동 유체 회로(202)의 고압측의 작동 유체에 전달하면서, 유입구(235)로부터 환열기(216)를 통해 그리고 배출구(237)로 작동 유체를 흐르게 하도록 구성된다. 공정 시스템(210)의 배출구(241)는 터보펌프(260) 및/또는 시작 펌프(280)로부터 다운스트림에 있고, 전력 터빈(228)의 업스트림에 있으며, 전력 발전 시스템(220), 이를테면, 전력 터빈(228)으로의 고압 작동 유체의 흐름을 제공하도록 구성된다. 유입구(239)는 환열기(216)의 업스트림에 있고, 전력 터빈(228)으로부터 다운스트림에 있으며, 전력 발전 시스템(220)으로부터 이를테면 전력 터빈(228)으로 흐르는 저압 작동 유체를 수용하도록 구성된다. 공정 시스템(210)의 배출구(251)는 환열기(218)로부터 다운스트림에 있고, 열 교환기(150)의 업스트림에 있으며, 열 교환기(150)로의 작동 유체의 흐름을 제공하도록 구성된다. 유입구(255)는 열 교환기(150)로부터 다운스트림에 있고, 터보펌프(260)의 구동 터빈(264)의 업스트림에 있으며, 열 교환기(150)로부터 터보펌프(260)의 구동 터빈(264)으로 흐르는 가열된 고압 작동 유체를 제공하도록 구성된다. 공정 시스템(210)의 배출구(253)는 터보펌프(260)의 펌프 부분(262) 및/또는 시작 펌프(280)의 펌프 부분(282)으로부터 다운스트림에 있으며, 열 교환기(150)로부터 다운스트림 및 터보펌프(260)의 구동 터빈(264)의 업스트림에 배치된 우회관에 커플링되며

(couple), 그리고 터보펌프(260)의 구동 터빈(264)으로의 작동 유체의 흐름을 제공하도록 구성된다.

[0025] [029] 추가적으로, 필터(215c)는, 열 교환기(150)로부터 다운스트림 및 터보펌프(260)의 구동 터빈(264)의 업스트림의 지점에, 유체관을 따라 그리고 이 유체관과 유체 연통하게 배치될 수 있다. 일부 예들에서, 필터(215c)는 폐열 시스템(100)의 배출구(154)와 공정 시스템(210)의 유입구(255) 사이의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다. 추가로, 필터(215b)는, 열 교환기(130)로부터 다운스트림 및 환열기(216)의 업스트림의 지점에, 유체관(135)을 따라 그리고 이 유체관(135)과 유체 연통하게 배치될 수 있다. 일부 예들에서, 필터(215b)는 폐열 시스템(100)의 배출구(134)와 공정 시스템(210)의 유입구(235) 사이의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다.

[0026] [030] 특정 실시예들에서, 도 1에 예시된 바와 같이, 공정 시스템(210)은 주 공정 스키드(212) 상에 또는 이러한 주 공정 스키드(212)에 배치될 수 있으며, 전력 발전 시스템(220)은 전력 발전 스키드(222) 상에 또는 이 전력 발전 스키드(222)에 배치될 수 있으며, 폐열 시스템(100)은 폐열 스키드(102) 상에 또는 이 폐열 스키드(102)에 배치될 수 있다. 이들 실시예들에서, 작동 유체 회로(202)는 주 공정 스키드(212), 전력 발전 스키드(222), 및 폐열 스키드(102), 뿐만 아니라 열기관 시스템(200)의 다른 시스템들 및 부분들의 내부에, 외부에, 그리고 그 사이에서 전체에 걸쳐 연장된다. 추가로, 일부 실시예들에서, 컴포넌트(component) 마모 및/또는 손상을 감소시키거나 또는 제거하기 위해 스타트업(startup) 동안에 작동 유체를 열 교환기들 중 하나 또는 그 초과로부터 멀리 라우팅(routing)하는 목적을 위해, 열기관 시스템(200)은 폐열 스키드(102)와 주 공정 스키드(212) 사이에 배치된 열 교환기 우회관(160) 및 열 교환기 우회 밸브(162)를 포함한다.

[0027] [031] 이제, 작동 유체 회로(202)의 피처들을 참조하면, 작동 유체 회로(202)는 작동 유체(예컨대, sc-CO_2)를 포함하며, 고압측 및 저압측을 갖는다. 도 1은 하나 또는 그 초과의 실시예들에 설명된 바와 같이 고압측을 "——"로 표현하고 저압측을 "-·-·-·"로 표현함으로써, 열기관 시스템(200)의 작동 유체 회로(202)의 고압측 및 저압측을 묘사한다. 특정 실시예들에서, 작동 유체 회로(202)는 하나 또는 그 초과의 펌프들, 이를테면, 예시된 터보펌프(260) 및 시작 펌프(280)를 포함한다. 터보펌프(260) 및 시작 펌프(280)는 작동 유체 회로(202) 전체에 걸쳐 작동 유체를 가압하고 순환시키도록 동작하며, 각각, 터보펌프(260) 또는 시작 펌프(280)를 형성하는 컴포넌트들의 어셈블리일 수 있다.

[0028] [032] 터보펌프(260)는 터보-구동 펌프 또는 터빈-구동 펌프일 수 있으며, 일부 실시예들에서, 구동샤프트(267) 및 선택적 기어박스(미도시)에 의해 서로 커플링된 펌프 부분(262) 및 구동 터빈(264)을 갖는 펌프 어셈블리를 형성할 수 있다. 구동샤프트(267)는 단일 샤프트(shaft)일 수 있거나, 또는 서로 커플링된 둘 또는 그 초과의 샤프트들을 포함할 수 있다. 일 예에서, 구동샤프트(267)의 제 1 세그먼트(segment)는 구동 터빈(264)으로부터 기어박스로 연장되며, 구동샤프트(230)의 제 2 세그먼트는 기어박스로부터 펌프 부분(262)으로 연장되며, 다수의 기어(gear)들이 기어박스 내의 구동샤프트(267)의 두 개의 세그먼트들 사이에 배치되며 이 두 개의 세그먼트들에 커플링된다.

[0029] [033] 구동 터빈(264)은 펌프 부분(262)을 회전시키도록 구성되며, 펌프 부분(262)은 작동 유체 회로(202) 내에서 작동 유체를 순환시키도록 구성된다. 이에 따라, 터보펌프(260)의 펌프 부분(262)은 작동 유체 회로(202)의 고압측과 저압측 사이에 배치될 수 있다. 펌프 부분(262) 상의 펌프 유입구는 일반적으로 저압측에 배치되며, 펌프 부분(262) 상의 펌프 배출구는 일반적으로 고압측에 배치된다. 터보펌프(260)의 구동 터빈(264)은 열 교환기(150)로부터 다운스트림의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링될 수 있으며, 그리고 가열된 작동 유체를 터보펌프(260)에 제공하여 구동 터빈(264)을 움직이거나 또는 다른 방식으로 이 구동 터빈(264)에 전력을 공급하기 위해, 터보펌프(260)의 펌프 부분(262)은 열 교환기(120)의 업스트림의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다.

[0030] [034] 추가로, 일부 실시예들에서, 펌프 부분(262)은, 이 펌프 부분(262) 안에 배치되며 압력 해제관(304)을 통해 압력 해제 밸브(302)에 커플링된 압력 해제 통로(300)를 포함할 수 있다. 압력 해제 밸브(302)는 관(306)을 통해 작동 유체 회로의 저압측에 커플링될 수 있다. 예시된 실시예에서, 관(306)은 콘덴서(condenser)(274)의 업스트림의 위치에서 저압측에 커플링된다. 그러나, 다른 실시예들에서, 관(306)이 임의의 원하는 위치에서 저압측에 커플링될 수 있으며, 도 1에 도시된 위치로 제한되지 않음이 주목되어야 한다.

[0031] [035] 압력 해제 밸브(302)는 개방 포지션(position), 폐쇄 포지션, 또는 개방 포지션과 폐쇄 포지션 사이의 하나 또는 그 초과의 중간 포지션들에 포지셔닝될(positioned) 수 있다. 개방 포지션에 포지셔닝될 때, 압력 해제 밸브(302)는 압력 해제 통로(300)를 통한 펌프 부분(262)으로부터의 압력의 해제를 인에이블(enable)한다.

이 압력은 관(306)을 통해 작동 유체 회로의 저압측으로 벤팅된다(vented). 그러나, 압력 해제 밸브(302)가 폐쇄 포지션에 포지셔닝될 때, 펌프 부분(262)으로부터의 압력은 펌프 부분(262)에서 실질적으로 유지되며, 저압측으로 벤팅되지 않는다. 이러한 방식으로, 압력 해제 통로(300) 및 압력 해제 밸브(302)는, 예컨대 공정 제어 시스템(204)에 위치된 제어 회로를 통해 압력 해제 밸브(302)의 포지션을 선택적으로 제어함으로써, 펌프 부분(262)으로부터의 압력의 선택적 블리딩(bleeding) 또는 벤팅(venting)을 인에이블할 수 있다.

[0032] [036] 압력 해제 통로(300) 및 압력 해제 밸브(302)를 통한 압력의 선택적 해제를 인에이블링(enabling)함으로써, 현재 개시된 실시예들은 펌프 부분(262)에 의해 생성된 스러스트 부하들의 감소 또는 제거를 인에이블할 수 있다. 추가로, 특정 실시예들은, 펌프 부분(262)에 의해 생성된 스러스트 부하와 구동 터빈(264)에 의해 생성된 스러스트 부하 사이의 차이의 감소 또는 제거를 인에이블할 수 있다. 예컨대, 일부 실시예들에서, 공정 제어 시스템(204)은 (예컨대, 펌프 부분(262)의 스러스트와 구동 터빈(264)의 스러스트 사이의) 스러스트 불균형이 시스템에 있는지 여부를 결정하기 위해 하나 또는 그 초과의 검출 압력들을 모니터링할(monitor) 수 있으며, 불균형이 존재하는 것으로 결정되면, 압력 해제 밸브(302)의 포지션을 제어함으로써 압력 해제 통로(300)를 통해 압력을 벤팅할 수 있다. 본원에 개시된 압력 해제 및 스러스트 밸런싱 기술들에 대한 실시예들의 이들 및 다른 피처들은 아래에서 더욱 상세히 논의된다.

[0033] [037] 시작 펌프(280)는 펌프 부분(282) 및 모터(motor)-구동 부분(284)을 갖는다. 시작 펌프(280)는 일반적으로 전기 모터식 펌프(electric motorized pump) 또는 기계 모터식 펌프(mechanical motorized pump)이며, 가변 주파수 구동식 펌프일 수 있다. 동작 동안에, 일단 작동 유체의 미리결정된 압력, 온도, 및/또는 유량(flowrate)이 작동 유체 회로(202) 내에서 획득되면, 시작 펌프(280)는 오프라인(offline), 유휴 상태(idled), 또는 턴 오프(turned off) 상태로 취해질 수 있으며, 터보펌프(260)는 전기 발전 공정 동안에 작동 유체를 순환시키기 위해 활용될 수 있다. 작동 유체는 작동 유체 회로(202)의 저압측으로부터 터보펌프(260) 및 시작 펌프(280) 각각에 들어가며, 작동 유체 회로(202)의 고압측으로부터 터보펌프(260) 및 시작 펌프(280) 각각을 떠난다.

[0034] [038] 시작 펌프(280)는 모터식 펌프, 이를테면, 전기 모터식 펌프, 기계 모터식 펌프, 또는 다른 유형의 펌프일 수 있다. 일반적으로, 시작 펌프(280)는 가변 주파수 모터식 구동 펌프일 수 있으며, 펌프 부분(282) 및 모터-구동 부분(284)을 포함한다. 시작 펌프(280)의 모터-구동 부분(284)은 모터(motor), 그리고 구동샤프트 및 기어들을 포함하는 드라이브(drive)를 포함한다. 일부 예들에서, 모터-구동 부분(284)이 가변 주파수 드라이브를 가지며, 따라서 모터의 스피드는 드라이브에 의해 레귤레이팅될(regulated) 수 있다. 시작 펌프(280)의 펌프 부분(282)은 이 펌프 부분(282)에 커플링된 모터-구동 부분(284)에 의해 구동된다. 펌프 부분(282)은 작동 유체 회로(202)의 저압측으로부터, 이를테면, 콘덴서(274) 및/또는 작동 유체 저장 시스템(290)으로부터 작동 유체를 수용하기 위한 유입구를 갖는다. 펌프 부분(282)은 작동 유체를 작동 유체 회로(202)의 고압측으로 릴리싱(releasing)하기 위한 배출구를 갖는다.

[0035] [039] 시작 펌프 유입구 밸브(283) 및 시작 펌프 배출구 밸브(285)는 시작 펌프(180)를 통해 전달되는 작동 유체의 흐름을 제어하기 위해 활용될 수 있다. 시작 펌프 유입구 밸브(283)는 시작 펌프(280)의 펌프 부분(282)의 업스트림의 작동 유체 회로(202)의 저압측에 유동적으로 커플링될 수 있으며, 펌프 부분(282)의 유입구에 들어가는 작동 유체의 유량을 제어하기 위해 활용될 수 있다. 시작 펌프 배출구 밸브(285)는 시작 펌프(280)의 펌프 부분(282)으로부터 다운스트림의 작동 유체 회로(202)의 고압측에 유동적으로 커플링될 수 있으며, 펌프 부분(282)의 배출구를 떠나는 작동 유체의 유량을 제어하기 위해 활용될 수 있다.

[0036] [040] 터보펌프(260)의 구동 터빈(264)은 가열된 작동 유체, 이를테면, 열 교환기(150)로부터 흐르는 작동 유체에 의해 구동된다. 구동 터빈(264)은 작동 유체 회로(202)의 고압측으로부터, 이를테면 열 교환기(150)로부터 흐르는 작동 유체를 수용하도록 구성된 유입구에 의해 작동 유체 회로(202)의 고압측에 유동적으로 커플링된다. 구동 터빈(264)은 작동 유체를 작동 유체 회로(202)의 저압측으로 릴리싱하도록 구성된 배출구에 의해 작동 유체 회로(202)의 저압측에 유동적으로 커플링된다.

[0037] [041] 터보펌프(260)의 펌프 부분(262)은 구동 터빈(264)에 커플링된 구동샤프트(267)에 의해 구동된다. 터보펌프(260)의 펌프 부분(262)은 작동 유체 회로(202)의 저압측으로부터 작동 유체를 수용하도록 구성된 유입구에 의해 작동 유체 회로(202)의 저압측에 유동적으로 커플링될 수 있다. 펌프 부분(262)의 유입구는 작동 유체 회로(202)의 저압측으로부터, 이를테면, 콘덴서(274) 및/또는 작동 유체 저장 시스템(290)으로부터 작동 유체를 수용하도록 구성된다. 또한, 펌프 부분(262)은, 작동 유체를 작동 유체 회로(202)의 고압측으로 릴리싱하며 작동 유체 회로(202) 내에서 작동 유체를 순환시키도록 구성된 배출구에 의해 작동 유체 회로(202)의 고압측에 유

동적으로 커플링될 수 있다.

[0038] [042] 일 구성에서, 구동 터빈(264) 상의 배출구로부터 릴리싱된(released) 작동 유체는 환열기(216)로부터 다운스트림 및 환열기(218)의 업스트림의 작동 유체 회로(202)로 리턴된다(returned). 하나 또는 그 초과의 실시예들에서, 파이핑(piping) 및 밸브들을 포함하는 터보펌프(260)는 도 1에 묘사된 바와 같이 터보 펌프 스키드(266) 상에 선택적으로 배치된다. 터보 펌프 스키드(266)는 주 공정 스키드(212) 상에 또는 이러한 주 공정 스키드(212)에 인접하게 배치될 수 있다.

[0039] [043] 구동 터빈 우회 밸브(265)는 일반적으로, 구동 터빈(264) 상의 유입구로부터 연장되는 유체관과 구동 터빈(264) 상의 배출구로부터 연장되는 유체관 사이에, 그리고 이들과 유체 연통하게 커플링된다. 구동 터빈 우회 밸브(265)는 일반적으로, 열기관 시스템(200)을 이용하여 전기를 발전시키는 초기 단계들 동안에 시작 펌프(280)를 사용하면서 터보펌프(260)를 우회시키도록 개방된다. 일단 작동 유체의 미리결정된 압력 및 온도가 작동 유체 회로(202) 내에서 획득되면, 구동 터빈 우회 밸브(265)는 폐쇄되며, 가열된 작동 유체가 구동 터빈(264)을 통해 흐르게 되어 터보펌프(260)가 시작된다.

[0040] [044] 구동 터빈 스로틀(throttle) 밸브(263)는 열 교환기(150)로부터 터보펌프(260)의 구동 터빈(264) 상의 유입구로 연장되는 유체관 사이에 그리고 이와 유체 연통하게 커플링될 수 있다. 구동 터빈 스로틀 밸브(263)는 구동 터빈(264)으로의 가열된 작동 유체의 흐름을 모듈레이팅하도록(modulate) 구성되며, 이어서, 이 구동 터빈(264)은 작동 유체 회로(202) 전체에 걸쳐 작동 유체의 흐름을 조절하기 위해 활용될 수 있다. 추가적으로, 밸브(293)는 터보펌프(260)의 구동 터빈(264)에 배압을 제공하기 위해 활용될 수 있다.

[0041] [045] 터보펌프(260)의 펌프 부분(262) 상의 배출구와 구동 터빈(264) 상의 유입구 사이에 배치되고, 그리고/또는 시작 펌프(280)의 펌프 부분(282) 상의 배출구와 구동 터빈(264) 상의 유입구 사이에 배치되는 과열저감기 우회관(291)을 통해, 구동 터빈 과열저감기 밸브(295)가 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링될 수 있다. 과열저감기 우회관(291) 및 구동 터빈 과열저감기 밸브(295)는, 이를테면, 터보펌프(260)의 윔업 또는 쿨다운 단계 동안에, 펌프 부분(262 또는 282)으로부터의 작동 유체를, 환열기(218) 및 열 교환기(150)를 우회하게(그러한 컴포넌트들을 회피하기 위해), 그리고 구동 터빈(264)으로 흐르게 하도록 구성될 수 있다. 과열저감기 우회관(291) 및 구동 터빈 과열저감기 밸브(295)는, 열 교환기들, 이를테면, 열 교환기(150)를 통하는 열원 스트림(110)으로부터의 열적 열을 회피하면서, 구동 터빈(264)을 이용하여 작동 유체를 워밍하기 위해 활용될 수 있다.

[0042] [046] 다른 실시예에서, 도 1에 묘사된 열기관 시스템(200)은 두 쌍의 터빈 과열저감기 관들 및 밸브들을 갖고, 따라서 과열저감기 관 및 밸브의 각각의 쌍은 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링되며 개개의 터빈 유입구, 이를테면, 구동 터빈 유입구 및 전력 터빈 유입구의 업스트림에 배치된다. 전력 터빈 과열저감기 관(211) 및 전력 터빈 과열저감기 밸브(223)는 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링되며, 전력 터빈(264) 상의 터빈 유입구의 업스트림에 배치된다. 유사하게, 구동 터빈 과열저감기 관(291) 및 구동 터빈 과열저감기 밸브(295)는 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링되며, 터보펌프(260) 상의 터빈 유입구의 업스트림에 배치된다.

[0043] [047] 전력 터빈 과열저감기 밸브(223) 및 구동 터빈 과열저감기 밸브(295)는 열기관 시스템(200)의 스타트업 및/또는 셧다운(shutdown) 절차 동안에 작동 유체 회로(202) 내의 배압을 제어하기 위해 활용될 수 있다. 또한, 전력 터빈 과열저감기 밸브(223) 및 구동 터빈 과열저감기 밸브(295)는, 열기관 시스템(200)의 스타트업 및/또는 셧다운 절차 동안에, 작동 유체 회로(202)에 커플링되며 이 작동 유체 회로(202)와 열적 연통하는 열 포화된 열 교환기들, 이를테면, 열 교환기들(120, 130, 140, 및/또는 150)로부터의 작동 유체의 뜨거운 흐름을 냉각시키기 위해 활용될 수 있다. 전력 터빈 과열저감기 밸브(223)는, 전력 터빈(228)의 유입구(또는 이 전력 터빈(228)의 유입구로부터 업스트림)에서의 유입구 온도(T_1) 및/또는 유입구 압력을 관리하며 열 교환기(120)의 배출구로부터 흐르는 가열된 작동 유체를 냉각시키도록 모듈레이팅되거나, 조절되거나, 또는 다른 방식으로 제어될 수 있다. 유사하게, 구동 터빈 과열저감기 밸브(295)는, 구동 터빈(264)의 유입구(또는 이 구동 터빈(264)의 유입구로부터 업스트림)에서의 유입구 온도 및/또는 유입구 압력을 관리하며 열 교환기(150)의 배출구로부터 흐르는 가열된 작동 유체를 냉각시키도록 모듈레이팅되거나, 조절되거나, 또는 다른 방식으로 제어될 수 있다.

[0044] [048] 일부 실시예들에서, 구동 터빈 과열저감기 밸브(295)는, 과열저감기 우회관(291) 및 구동 터빈 과열저감기 밸브(295)를 통과하는 작동 유체의 유량을 증가시키고 공정 제어 시스템(204)을 통해 구동 터빈(264)의 유입구 온도의 바람직한 값을 검출함으로써, 구동 터빈(264)의 유입구 온도를 감소시키도록 공정 제어 시스템

(204)을 이용하여 모듈레이팅되거나, 조절되거나, 또는 다른 방식으로 제어될 수 있다. 바람직한 값은 일반적으로 구동 터빈(264)의 유입구 온도의 미리결정된 임계치 값에 있거나 또는 그 미만이다. 일부 예들에서, 이를테면, 터보펌프(260)의 스타트업 동안에, 구동 터빈(264)의 업스트림의 유입구 온도에 대한 바람직한 값은 약 150℃ 또는 그 미만일 수 있다. 다른 예들에서, 이를테면, 에너지 변환 공정 동안에, 구동 터빈(264)의 업스트림의 유입구 온도에 대한 바람직한 값은 약 170℃ 또는 그 미만, 이를테면, 약 168℃ 또는 그 미만일 수 있다. 구동 터빈(264) 및/또는 이 구동 터빈(264) 안의 컴포넌트들은 유입구 온도가 약 168℃ 또는 그 초과라면 손상될 수 있다.

[0045] [049] 일부 실시예들에서, 작동 유체는 열 교환기(150)를 우회하기 위해 과열저감기 우회관(291) 및 구동 터빈 과열저감기 밸브(295)를 통해 흐를 수 있다. 작동 유체의 이러한 흐름은, 구동 터빈(264)의 유입구 온도를 제어하도록 스로틀 밸브(263)를 이용하여 조절될 수 있다. 터보펌프(260)의 스타트업 동안에, 구동 터빈(264)의 업스트림의 유입구 온도에 대한 바람직한 값은 약 150℃ 또는 그 미만일 수 있다. 전력이 증가됨에 따라, 구동 터빈(264)의 업스트림의 유입구 온도가 높아져서 과열저감기 우회관(291)을 통한 흐름을 감소시킴으로써 사이클 효율성 및 동작가능성을 최적화시킬 수 있다. 최대 전력에서, 구동 터빈(264)의 업스트림의 유입구 온도는 약 340℃ 또는 그 초과일 수 있으며, 과열저감기 우회관(291)을 통해 열 교환기(150)를 우회하는 작동 유체의 흐름은 중단되는데, 이를테면, 일부 예들에서, 약 0 kg/s에 접근한다. 또한, 압력은 약 14 ㎫ 내지 약 23.4 ㎫의 범위에 있을 수 있는데, 그 이유는 작동 유체의 흐름이 전력 레벨(level)에 따라 약 0 kg/s 내지 약 32 kg/s의 범위 내에 있을 수 있기 때문이다.

[0046] [050] 제어 밸브(261)는 터보펌프(260)의 펌프 부분(262)의 배출구로부터 다운스트림에 배치될 수 있으며, 제어 밸브(281)는 시작 펌프(280)의 펌프 부분(282)의 배출구로부터 다운스트림에 배치될 수 있다. 제어 밸브들(261 및 281)은 흐름 제어 안전 밸브들이며, 일반적으로, 작동 유체 회로(202) 내의 작동 유체의 지향성 흐름을 레귤레이팅하거나 또는 이 작동 유체의 역류를 막기 위해 활용된다. 제어 밸브(261)는, 작동 유체가 터보펌프(260)의 펌프 부분(262)의 배출구 쪽으로 또는 이 배출구로 업스트림으로 흐르는 것을 방지하도록 구성된다. 유사하게, 제어 밸브(281)는, 작동 유체가 시작 펌프(280)의 펌프 부분(282)의 배출구 쪽으로 또는 이 배출구로 업스트림으로 흐르는 것을 방지하도록 구성된다.

[0047] [051] 구동 터빈 스로틀 밸브(263)는 터보펌프(260)의 구동 터빈(264)의 유입구의 업스트림의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링되며, 구동 터빈(264)으로 흐르는 작동 유체의 흐름을 제어하도록 구성된다. 전력 터빈 우회 밸브(219)는 전력 터빈 우회관(208)에 유동적으로 커플링되며, 전력 터빈(228)에 들어가는 작동 유체의 유량을 제어하기 위해 전력 터빈 우회관(208)을 통해 흐르는 작동 유체를 모듈레이팅하거나, 조절하거나, 또는 다른 방식으로 제어하도록 구성된다.

[0048] [052] 전력 터빈 우회관(208)은 전력 터빈(228)의 유입구의 업스트림의 지점에서 그리고 전력 터빈(228)의 배출구로부터 다운스트림의 지점에서 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다. 전력 터빈 우회 밸브(219)가 개방 포지션에 있을 때, 전력 터빈 우회관(208)은 작동 유체를, 전력 터빈(228)을 우회하게 흐르게 하고 이 전력 터빈(228)을 회피하게 하도록 구성된다. 전력 터빈(228)으로 흐르는 작동 유체의 유량 및 압력은, 전력 터빈 우회 밸브(219)를 개방 포지션으로 조절함으로써 감소되거나 또는 정지될 수 있다. 대안적으로, 전력 터빈(228)으로 흐르는 작동 유체의 유량 및 압력은, 전력 터빈 우회관(208)을 통해 형성된 배압으로 인해 전력 터빈 우회 밸브(219)를 폐쇄 포지션으로 조절함으로써 증가되거나 또는 시작될 수 있다.

[0049] [053] 전력 터빈 우회 밸브(219) 및 구동 터빈 스로틀 밸브(263)는 공정 제어 시스템(204)에 의해 독립적으로 제어될 수 있으며, 이 공정 제어 시스템(204)은 전력 터빈 우회 밸브(219), 구동 터빈 스로틀 밸브(263), 및 열기관 시스템(200)의 다른 부품들과 유선으로 그리고/또는 무선으로 통신가능하게 연결된다. 공정 제어 시스템(204)은 작동 유체 회로(202) 및 질량 관리 시스템(270)에 동작가능하게 연결되며, 열기관 시스템(200)의 다수의 공정 동작 매개변수들을 모니터링 및 제어하도록 인에이블된다.

[0050] [054] 하나 또는 그 초과의 실시예들에서, 작동 유체 회로(202)는 시작 펌프 우회관(224) 및 시작 펌프 우회 밸브(254)를 통하는 시작 펌프(280)용 우회 흐름경로, 뿐만 아니라 터보 펌프 우회관(226) 및 터보 펌프 우회 밸브(256)를 통하는 터보펌프(260)용 우회 흐름경로를 제공한다. 시작 펌프 우회관(224)의 일 단부는 시작 펌프(280)의 펌프 부분(282)의 배출구에 유동적으로 커플링되며, 시작 펌프 우회관(224)의 다른 단부는 유체관(229)에 유동적으로 커플링된다. 유사하게, 터보 펌프 우회관(226)의 일 단부는 터보펌프(260)의 펌프 부분(262)의 배출구에 유동적으로 커플링되며, 터보 펌프 우회관(226)의 다른 단부는 시작 펌프 우회관(224)에 커플링된다. 일부 구성들에서, 시작 펌프 우회관(224) 및 터보 펌프 우회관(226)은 유체관(229)에 대한 커플링

(coupling)의 업스트림의 단일관으로서 서로 합쳐진다. 유체관(229)은 환열기(218)와 콘덴서(274) 사이에서 연장되며, 환열기(218) 및 콘덴서(274)에 유동적으로 커플링된다. 시작 펌프 우회 밸브(254)는 시작 펌프 우회관(224)을 따라 배치되며, 폐쇄 포지션에 있을 때, 작동 유체 회로(202)의 저압측과 고압측 사이에 유동적으로 커플링된다. 유사하게, 터보 펌프 우회 밸브(256)는 터보 펌프 우회관(226)을 따라 배치되며, 폐쇄 포지션에 있을 때, 작동 유체 회로(202)의 저압측과 고압측 사이에 유동적으로 커플링된다.

[0051] [055] 도 1은 본원에 설명된 적어도 하나의 실시예에서 개시된 바와 같이, 작동 유체 회로(202)의 고압측이며 열 교환기(120)의 업스트림의 우회관(246)에 유동적으로 커플링된 전력 터빈 스로틀 밸브(250)를 추가로 묘사한다. 전력 터빈 스로틀 밸브(250)는 우회관(246)에 유동적으로 커플링되며, 작동 유체 회로(202) 내의 작동 유체의 일반적인 대략의(coarse) 유량을 제어하기 위해 우회관(246)을 통해 흐르는 작동 유체를 모듈레이팅하거나, 조절하거나, 또는 다른 방식으로 제어하도록 구성된다. 우회관(246)은 밸브(293)의 업스트림의 지점에서 그리고 시작 펌프(280)의 펌프 부분(282) 및/또는 터보펌프(260)의 펌프 부분(262)으로부터 다운스트림의 지점에서 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다.

[0052] [056] 추가적으로, 본원에 설명된 다른 실시예에 의해 개시된 바와 같이, 전력 터빈 트림(trim) 밸브(252)는, 작동 유체 회로(202)의 고압측이며 열 교환기(150)의 업스트림의 우회관(248)에 유동적으로 커플링된다. 전력 터빈 트림 밸브(252)는 우회관(248)에 유동적으로 커플링되며, 작동 유체 회로(202) 내의 작동 유체의 미세한 유량을 제어하기 위해 우회관(248)을 통해 흐르는 작동 유체를 모듈레이팅하거나, 조절하거나, 또는 다른 방식으로 제어하도록 구성된다. 우회관(248)은 전력 터빈 스로틀 밸브(250)의 업스트림의 지점에서 그리고 전력 터빈 스로틀 밸브(250)의 다운스트림의 지점에서 우회관(246)에 유동적으로 커플링된다.

[0053] [057] 열기관 시스템(200)은, 터보펌프(260)의 구동 터빈(264)의 유입구의 업스트림의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링되며 구동 터빈(264)으로 흐르는 작동 유체의 흐름을 모듈레이팅하도록 구성된 구동 터빈 스로틀 밸브(263), 전력 터빈(228)의 유입구의 업스트림의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링되며, 전력 터빈(228)의 배출구로부터 다운스트림의 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링되며, 작동 유체를 전력 터빈(228)을 우회하게 흐르게 하고 이 전력 터빈(228)을 회피하게 하도록 구성되는 전력 터빈 우회관(208), 전력 터빈 우회관(208)에 유동적으로 커플링되며 전력 터빈(228)에 들어가는 작동 유체의 유량을 제어하기 위해 전력 터빈 우회관(208)을 통해 흐르는 작동 유체의 흐름을 모듈레이팅하도록 구성된 전력 터빈 우회 밸브(219), 및 열기관 시스템(200)에 동작가능하게 연결된 공정 제어 시스템(204)을 더 포함하며, 공정 제어 시스템(204)은 구동 터빈 스로틀 밸브(263) 및 전력 터빈 우회 밸브(219)를 조절하도록 구성된다.

[0054] [058] 도 1에 예시되고 아래에서 더욱 상세히 설명된 바와 같이, 열 교환기 우회관(160)은 열 교환기 우회 밸브(162)에 의해 열 교환기들(120, 130, 및/또는 150)의 업스트림의 작동 유체 회로(202)의 유체관(131)에 유동적으로 커플링된다. 열 교환기 우회 밸브(162)는 솔레노이드(solenoid) 밸브, 유압 밸브, 전기 밸브, 수동 밸브, 또는 이들의 파생물들일 수 있다. 많은 예들에서, 열 교환기 우회 밸브(162)는 솔레노이드 밸브이며, 공정 제어 시스템(204)에 의해 제어되도록 구성된다. 그러나, 밸브 유형에 관계없이, 열기관 시스템의 현재 동작 상태에 적절한 레벨로 작동 유체의 온도를 유지시키는 방식으로, 밸브가 작동 유체를 라우팅하도록 제어될 수 있다. 예컨대, 작동 유체가 열 교환기들 전부를 통해 라우팅될 때의 완전한 동작 상태 동안에 달성되는 것보다 더 낮은 작동 유체 온도를 유발하기 위해, 우회 밸브는 스타트업 동안에, 감소된 수량의 열 교환기들을 통해 작동 유체의 흐름을 제어하도록 레귤레이팅될 수 있다.

[0055] [059] 하나 또는 그 초과의 실시예들에서, 작동 유체 회로(202)는 서로 유체 연통하는, 해제 밸브들(213a, 213b, 213c, 및 213d) 뿐만 아니라 해제 배출구들(214a, 214b, 214c, 및 214d)을 각각 제공한다. 일반적으로, 해제 밸브들(213a, 213b, 213c, 및 213d)은 전기 발전 공정 동안에 폐쇄된 채로 머무르지만, 초과 압력을 작동 유체 내의 미리결정된 값에서 해제시키기 위해 자동으로 개방되도록 구성될 수 있다. 일단 작동 유체가 밸브(213a, 213b, 213c, 또는 213d)를 통해 흐르면, 작동 유체는 개개의 해제 배출구(214a, 214b, 214c, 또는 214d)를 통해 벤팅된다. 해제 배출구들(214a, 214b, 214c, 및 214d)은 주위의 주변 분위기(ambient surrounding atmosphere)로의 작동 유체의 통로를 제공할 수 있다. 대안적으로, 해제 배출구들(214a, 214b, 214c, 및 214d)은, 일반적으로 작동 유체를 포획하고 콘덴싱(condensing)하며 저장하는 것을 포함하는 재활용 또는 복원(reclamation) 단계로의 작동 유체의 통로를 제공할 수 있다.

[0056] [060] 해제 밸브(213a) 및 해제 배출구(214a)는 열 교환기(120)와 전력 터빈(228) 사이에 배치된 지점에서 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다. 해제 밸브(213b) 및 해제 배출구(214b)는 열 교환기(150)와 터보펌프(260)의 구동 터빈(264) 사이에 배치된 지점에서 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다. 해제 밸

브(213c) 및 해제 배출구(214c)는, 밸브(293)와 터보펌프(260)의 펌프 부분(262) 사이의 지점으로부터 터보 펌프 우회 밸브(256)와 유체관(229) 사이의 터보 펌프 우회관(226) 상의 지점으로 연장되는 우회관을 통해, 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다. 해제 밸브(213d) 및 해제 배출구(214d)는 환열기(218)와 콘덴서(274) 사이에 배치된 지점에서 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다.

[0057] [061] 공정 제어 시스템(204)의 일부로서의 컴퓨터(computer) 시스템(206)은 구동 터빈 스로틀 밸브(263), 전력 터빈 우회 밸브(219), 열 교환기 우회 밸브(162), 전력 터빈 스로틀 밸브(250), 전력 터빈 트림 밸브(252), 압력 해제 밸브(302), 뿐만 아니라 열기관 시스템(200) 내의 다른 밸브들, 펌프들, 및 센서(sensor)들을 제어하기 위해 활용되는 다중-제어기 알고리즘(algorithm)을 포함한다. 일 실시예에서, 공정 제어 시스템(204)은 터보펌프(260)의 동작과 연관된 스러스트 부하들을 조절하거나 또는 제어하기 위해 압력 해제 밸브(302)를 움직이거나, 조절하거나, 조작하거나, 또는 다른 방식으로 제어하도록 인에이블된다. 압력 해제 밸브(302)의 포지션을 제어함으로써, 공정 제어 시스템(204)은 또한, 터보펌프(260)에 존재하는 압력 프로파일(profile)들을 레귤레이팅하도록 동작가능하다. 예컨대, 제어 시스템(204)은 압력 해제 밸브(302)의 포지션을 제어함으로써 펌프 부분(262)의 하나 또는 그 초과의 표면들 상의 압력을 레귤레이팅할 수 있으며, 이에 따라 과도한 스러스트 부하들로 인한 터보펌프(260)의 컴포넌트들에 대한 손상 가능성이 감소되거나 또는 방지된다.

[0058] [062] 일부 실시예들에서, 작동 유체 회로(202) 내의 지정된 지점들에서 작동 유체의 측정 및 보고되는 온도들, 압력들, 및 질량 유량들을 프로세싱하기(process) 위하여, 공정 제어 시스템(204)은 유선으로 그리고/또는 무선으로 센서들, 밸브들, 및 펌프들의 많은 세트(set)들과 통신가능하게 연결된다. 이들 측정 및/또는 보고된 매개변수들에 대한 응답으로, 공정 제어 시스템(204)은 제어 프로그램(program) 또는 알고리즘에 따라 밸브들을 선택적으로 조절하도록 동작가능할 수 있으며, 이로써 열기관 시스템(200)의 동작이 최대화된다.

[0059] [063] 추가로, 특정 실시예들에서, 공정 제어 시스템(204), 뿐만 아니라 본원에 개시된 임의의 다른 제어기들 또는 프로세서(processor)들은 하나 또는 그 초과의 비-일시적인 유형의 기계-판독가능 매체들(media), 이를테면, 판독-전용 메모리(ROM;read-only memory), 랜덤 액세스 메모리(RAM;random access memory), 고체 상태 메모리(예컨대, 플래시(flash) 메모리), 플로피 디스켓(floppy diskette)들, CD-ROM들, 하드 드라이브(hard drive)들, 유니버설 직렬 버스(USB;universal serial bus) 드라이브(drive)들, 임의의 다른 컴퓨터 판독가능 저장 매체, 또는 이들의 임의의 결합을 포함할 수 있다. 저장 매체들은, 본원에 개시된 방법들에서 제시된 논리 또는 논리의 부분들을 동작시키기 위해 공정 제어 시스템(204)에 의해 실행될 수 있는 인코딩된(encoded) 명령들, 이를테면, 펌웨어(firmware)를 저장할 수 있다. 예컨대, 특정 실시예들에서, 열기관 시스템(200)은 컴퓨터-판독가능 저장 매체 또는 그러한 컴퓨터-판독가능 저장 매체를 포함하는 프로세스(process) 제어기 상에 배치된 컴퓨터 코드(code)를 포함할 수 있다. 컴퓨터 코드는, 스러스트 부하 불균형이 검출될 때 펌프 부분(262)으로부터의 압력을 저압측으로 벤팅시키기 위해 압력 해제 밸브(302)의 포지션을 교대시키기 위한 제어 기능을 개시하기 위한 명령들을 포함할 수 있다.

[0060] [064] 일부 실시예들에서, 공정 제어 시스템(204)은 컴퓨터 시스템(206)에 임베딩된(embedded) 제어 알고리즘을 포함하며, 이 컴퓨터 시스템(206)은 하나 또는 그 초과의 제어 회로들을 포함할 수 있으며, 제어 알고리즘은 관리 루프(loop) 제어기를 포함한다. 관리 루프 제어기는 일반적으로, 작동 유체 회로(202) 전체에 걸쳐 이 작동 유체 회로(202) 안의 특정된 지점들에서 작동 유체의 온도, 압력, 유량, 및/또는 질량을 제어하기 위해 값들을 조절하도록 활용된다. 일부 실시예들에서, 관리 루프 제어기는 구동 터빈 과열저감기 밸브(295) 및 구동 터빈 스로틀 밸브(263)를 모듈레이팅하거나, 조절하거나, 또는 다른 방식으로 제어함으로써 유입구 온도 및 유입구 압력에 대한 바람직한 임계치 값들을 유지시키도록 구성될 수 있다. 다른 실시예들에서, 관리 루프 제어기는 전력 터빈 과열저감기 밸브(223) 및 전력 터빈 스로틀 밸브(250)를 모듈레이팅하거나, 조절하거나, 또는 다른 방식으로 제어함으로써 유입구 온도에 대한 바람직한 임계치 값들을 유지시키도록 구성될 수 있다.

[0061] [065] 공정 제어 시스템(204)은 센서들의 몇몇 세트들의 도움으로 반-수동적으로(semi-passively) 열기관 시스템(200)과 함께 동작할 수 있다. 센서들의 제 1 세트는 터보펌프(260) 및 시작 펌프(280)의 흡입 유입구에 또는 이 흡입 유입구에 인접하게 배열될 수 있으며, 센서들의 제 2 세트는 터보펌프(260) 및 시작 펌프(280)의 배출구에 또는 이 배출구에 인접하게 배열될 수 있다. 센서들의 제 1 세트 및 제 2 세트는, 터보펌프(260) 및 시작 펌프(280)에 인접한 작동 유체 회로(202)의 저압측 및 고압측 내의 작동 유체의 압력, 온도, 질량 유량, 또는 다른 특성들을 모니터링(monitor) 및 보고한다. 센서들의 제 3 세트는, 작동 유체 저장 용기(292) 내의 작동 유체의 압력, 온도, 질량 유량, 또는 다른 특성들을 측정 및 보고하기 위해, 작동 유체 저장 시스템(290)의 작동 유체 저장 용기(292) 내부에 또는 이 작동 유체 저장 용기(292)에 인접하게 배열될 수 있다. 추가적으로, 질량 관리 시스템(270) 및/또는 기체성 공급부(supply), 이를테면, 질소 또는 공기를 활용할 수 있는 다른

시스템 컴포넌트들을 비롯해 열기관 시스템(200) 내의 센서들, 디바이스들, 또는 다른 기기들에 기기 공기 공급부(미도시)가 커플링될 수 있다.

[0062] [066] 일부 실시예들에서, 열기관 시스템(200)의 전체 효율성 및 궁극적으로 발전되는 전력의 양은, 작동 유체가 초임계 이산화탄소를 포함할 때 펌프에서의 유입구 압력 또는 흡입 압력에 의해 영향받을 수 있다. 펌프의 흡입 압력을 최소화하거나 또는 다른 방식으로 레귤레이팅하기 위하여, 열기관 시스템(200)은 질량 관리 시스템("MMS(mass management system)")(270)의 사용을 포함할 수 있다. 질량 관리 시스템(270)은, 작동 유체 회로(202)에서의 전략적 위치들에서, 이를테면, 타이-인(tie-in) 지점들, 유입구들/배출구들, 밸브들, 또는 열기관 시스템(200) 전체에 걸쳐 있는 도관들에서 열기관 시스템(200)에 들어가고 그리고/또는 이 열기관 시스템(200)을 떠나는 작동 유체의 양을 레귤레이팅함으로써, 시작 펌프(280)의 유입구 압력을 제어한다. 결과적으로, 열기관 시스템(200)은 시작 펌프(280)에 대한 압력 비율을 가능한 최대 범위로 증가시킴으로써 더욱 효율적이 된다.

[0063] [067] 질량 관리 시스템(270)은 하나 또는 그 초과의 밸브들, 이를테면, 밸브(287)를 통해 작동 유체 회로(202)의 저압측에 유동적으로 커플링된 적어도 하나의 용기 또는 탱크(tank), 이를테면, 저장 용기(예컨대, 작동 유체 저장 용기(292)), 충진 용기, 및/또는 질량 제어 탱크(예컨대, 질량 제어 탱크(286))를 포함한다. 작동 유체 회로(202)로부터 작동 유체를 제거하거나 또는 작동 유체를 작동 유체 회로(202)에 추가시키기 위해, 밸브들은 움직일 수 있다(부분 개방, 완전 개방, 및/또는 폐쇄). 질량 관리 시스템(270)의 예시적 실시예들 및 이들의 변형들의 범위는, 2011년 10월 21일자로 출원되었고 미국 공개 번호 제 2012-0047892호로서 공개되었으며 미국 특허 번호 제 8,613,195호로서 발행된 미국 출원 번호 제 13/278,705호에서 확인되며, 그 내용들은 본원에 인용에 의해 본 개시내용과 일치하는 범위까지 통합된다. 그러나, 간략히, 질량 관리 시스템(270)은 질량 제어 탱크(286)와 각각 유체 연통하는 복수의 밸브들 및/또는 연결 지점들을 포함할 수 있다. 밸브들은 질량 관리 시스템(270)이 열기관 시스템(200)에 동작가능하게 연결되는 종료 지점들로서 특성화될 수 있다. 연결 지점들 및 밸브들은 과도한 작동 유체 또는 압력을 플레어링(flaring)하기 위한 배출구를 질량 관리 시스템(270)에 제공하거나, 또는 외부 소스, 이를테면, 유체 충진 시스템으로부터의 추가/보충 작동 유체를 질량 관리 시스템(270)에 제공하도록 구성될 수 있다.

[0064] [068] 일부 실시예들에서, 질량 제어 탱크(286)는, 작동 유체 회로(202) 내의 작동 유체의 압력 또는 온도를 레귤레이팅하거나 또는 탈출된 작동 유체를 다른 방식으로 보충하기 위하여 요구될 때 열기관 시스템(200)에 추가될 수 있는 추가/보충 작동 유체에 대한 로컬화된(localized) 저장 탱크로서 구성될 수 있다. 밸브들을 제어함으로써, 질량 관리 시스템(270)은, 펌프에 대한 필요를 갖거나 또는 갖지 않는 열기관 시스템(200)에 작동 유체 질량을 추가하고 그리고/또는 이 열기관 시스템(200)으로부터 작동 유체 질량을 제거하며, 이로써 시스템 비용, 복잡성, 및 유지보수가 감소된다.

[0065] [069] 일부 예들에서, 작동 유체 저장 용기(292)는 작동 유체 저장 시스템(290)의 일부이며, 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다. 적어도 하나의 연결 지점, 이를테면, 작동 유체 피드(feed)(288)는 작동 유체 저장 시스템(290)의 작동 유체 저장 용기(292) 및/또는 질량 관리 시스템(270)에 대한 유체 충진 포트(port)일 수 있다. 추가 또는 보충 작동 유체가 외부 소스, 이를테면, 유체 충진 시스템으로부터 작동 유체 피드(288)를 통해 질량 관리 시스템(270)에 추가될 수 있다. 예시적 유체 충진 시스템들은 미국 특허 번호 제 8,281,593호에서 설명 및 예시되며, 그 내용들은 본원에 인용에 의해 본 개시내용과 일치하는 범위까지 통합된다.

[0066] [070] 본원에 설명된 다른 실시예에서, 베어링 가스(bearing gas) 및 밀봉 가스는, 터보펌프(260) 또는 열기관 시스템(200) 내에 포함되고 그리고/또는 이 열기관 시스템(200)과 함께 활용되는 다른 디바이스들에 공급될 수 있다. 베어링 가스 및/또는 밀봉 가스의 하나의 스트림 또는 다수의 스트림들은 작동 유체 회로(202) 내의 작동 유체로부터 도출되며, 기체성, 미임계, 또는 초임계 상태의 이산화탄소를 포함할 수 있다.

[0067] [071] 일부 예들에서, 베어링 가스 또는 유체는 시작 펌프(280)에 의해, 베어링 가스 공급부(296a) 및/또는 베어링 가스 공급부(296b)로부터 베어링 가스 공급관(미도시)을 통해 작동 유체 회로(202)로, 그리고 전력 발전 시스템(220) 내의 베어링들로 흐르게 된다. 다른 예들에서, 베어링 가스 또는 유체는 시작 펌프(280)에 의해, 베어링 가스 공급부(296a) 및/또는 베어링 가스 공급부(296b)로부터, 작동 유체 회로(202)로부터 베어링 가스 공급관(미도시)을 통해 터보펌프(260) 내의 베어링들로 흐르게 된다. 가스 리턴(return)(298)은 가스 시스템, 이를테면, 베어링 가스, 건성 가스, 밀봉 가스 또는 다른 시스템에 피딩하는(feed) 연결 지점 또는 밸브일 수 있다.

[0068] [072] 적어도 하나의 가스 리턴(294)은 일반적으로 베어링 가스, 밀봉 가스, 및 다른 가스들의 방류, 재포획,

또는 리턴에 커플링된다. 가스 리턴(294)은 재활용되거나, 재포획되거나, 또는 다른 방식으로 리턴된(returned) 가스들(일반적으로 작동 유체로부터 도출됨)의 피드 스트림을 작동 유체 회로(202)에 제공한다. 가스 리턴(294)은 일반적으로, 콘덴서(274)의 업스트림에 그리고 환열기(218)의 다운스트림에 있는 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링된다.

[0069] [073] 다른 실시예에서, 베어링 가스 공급원(141)은 베어링 가스 공급관(142)에 의해 터보펌프(260)의 베어링 하우징(housing)(268)에 유동적으로 커플링된다. 베어링 하우징(268)으로의 베어링 가스 또는 다른 가스의 흐름은, 베어링 가스 공급관(142)에 동작가능하게 커플링되며 공정 제어 시스템(204)에 의해 제어되는 베어링 가스 공급 밸브(144)를 통해 제어될 수 있다. 베어링 가스 또는 다른 가스는 일반적으로, 베어링 가스 공급원(141)으로부터 터보펌프(260)의 베어링 하우징(268)을 통해 베어링 가스 재포획부(recapture)(148)로 흐른다. 베어링 가스 재포획부(148)는 베어링 가스 재포획관(146)에 의해 베어링 하우징(268)에 유동적으로 커플링된다. 베어링 하우징(268)으로부터 베어링 가스 재포획부(148)로의 베어링 가스 또는 다른 가스의 흐름은, 베어링 가스 재포획관(146)에 동작가능하게 커플링되며 공정 제어 시스템(204)에 의해 제어되는 베어링 가스 재포획 밸브(147)를 통해 제어될 수 있다.

[0070] [074] 하나 또는 그 초과의 실시예들에서, 작동 유체 저장 용기(292)는 열기관 시스템(200) 내의 작동 유체 회로(202)를 통해 시작 펌프(280)에 유동적으로 커플링될 수 있다. 작동 유체 저장 용기(292) 및 작동 유체 회로(202)는 작동 유체(예컨대, 이산화탄소)를 포함하며, 작동 유체 회로(202)는 유동적으로 고압측 및 저압측을 갖는다.

[0071] [075] 열기관 시스템(200)은, 각각, 전력 발전 시스템(220) 및 터빈 펌프(260) 내의 베어링들에 유동적으로 커플링되며 그리고/또는 이 베어링들을 실질적으로 포함하거나 또는 에워싸는 베어링 하우징, 케이스(case), 또는 다른 챔버(chamber), 이를테면, 베어링 하우징들(238 및 268)을 더 포함한다. 일 실시예에서, 터보펌프(260)는 구동 터빈(264), 펌프 부분(262), 그리고 베어링들에 유동적으로 커플링되며 그리고/또는 이 베어링들을 실질적으로 포함하거나 또는 에워싸는 베어링 하우징(268)을 포함한다. 터보펌프(260)는 구동 터빈(264)과 펌프 부분(262) 사이에 커플링된 기어박스 및/또는 구동샤프트(267)를 더 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 전력 발전 시스템(220)은 전력 터빈(228), 전력 발전기(240), 그리고 베어링들을 실질적으로 포함하거나 또는 에워싸는 베어링 하우징(238)을 포함한다. 전력 발전 시스템(220)은 전력 터빈(228)과 전력 발전기(240) 사이에 커플링된 기어박스(232) 및 구동샤프트(230)를 더 포함한다.

[0072] [076] 베어링 하우징(238 또는 268)의 예시적 구조들은 베어링들 뿐만 아니라 터빈들, 발전기들, 펌프들, 구동샤프트들, 기어박스들, 또는 열기관 시스템(200)에 대해 도시되었거나 또는 도시되지 않은 다른 컴포넌트들 중 일부 또는 전부를 완전히 또는 실질적으로 포함하거나 또는 에워쌀 수 있다. 베어링 하우징(238 또는 268)은 구조들, 챔버들, 케이스들, 하우징들, 이를테면, 터빈 하우징들, 발전기 하우징들, 구동샤프트 하우징들, 베어링들을 포함하는 구동샤프트들, 기어박스 하우징들, 이들의 파생물들, 또는 이들의 결합들을 완전히 또는 부분적으로 포함할 수 있다. 도 1 및 도 2는, 터보펌프(260)의 구동 터빈(264), 펌프 부분(262), 및 구동샤프트(267) 중 부분 또는 전부에 유동적으로 커플링되며 그리고/또는 이를 포함하는 베어링 하우징(268)을 묘사한다. 다른 예들에서, 구동 터빈(264)의 하우징 및 펌프 부분(262)의 하우징은 베어링 하우징(268)의 부분들에 독립적으로 커플링되며 그리고/또는 이 부분들을 형성할 수 있다. 유사하게, 베어링 하우징(238)은 전력 발전 시스템(220)의 전력 터빈(228), 전력 발전기(240), 구동샤프트(230), 및 기어박스(232) 중 부분 또는 전부에 유동적으로 커플링되며 그리고/또는 이를 포함할 수 있다. 일부 예들에서, 전력 터빈(228)의 하우징은 베어링 하우징(238)의 부분에 커플링되며 그리고/또는 이 베어링 하우징(238)의 부분을 형성한다.

[0073] [077] 본원에 개시된 하나 또는 그 초과의 실시예들에서, 도 1에 묘사된 열기관 시스템(200)은, 스타트업 절차 동안에 작동 유체 회로(202)의 저압측 내의 작동 유체를 모니터링하여 초임계 상태로 유지시키도록 구성된다. 작동 유체 회로(202)에 동작가능하게 연결된 공정 제어 시스템(204)을 통해 터보펌프(260)의 펌프 부분(262) 상의 유입구의 업스트림의 펌프 흡입 압력을 조절하거나 또는 다른 방식으로 제어함으로써, 작동 유체는 초임계 상태로 유지될 수 있다.

[0074] [078] 공정 제어 시스템(204)은 스타트업 절차 동안에 펌프 흡입 압력을 작동 유체의 임계 압력으로 또는 그 초과로 유지시키거나, 조절하거나, 또는 다른 방식으로 제어하기 위해 활용될 수 있다. 작동 유체 회로(202)의 저압측 내에서 작동 유체는 액체형 또는 초임계 상태로 유지되며, 기체성 상태가 없거나 또는 실질적으로 기체성 상태가 없이 유지될 수 있다. 그러므로, 터보펌프(260) 및/또는 시작 펌프(280)를 포함하는 펌프 시스템은 개개의 펌프 부분들(262 및 282) 내의 펌프 캐비테이션(cavitation)을 회피할 수 있다.

[0075] [079] 일부 실시예들에서, 열기관 시스템(200)의 작동 유체 회로(202)에서 순환되거나, 흐르게 되거나, 또는 다른 방식으로 활용될 수 있는 작동 유체의 유형들은 카본 옥사이드(carbon oxide)들, 하이드로카본(hydrocarbon)들, 알코올(alcohol)들, 케톤(ketone)들, 할로겐화 하이드로카본(halogenated hydrocarbon)들, 암모니아(ammonia), 아민(amine)들, 수성(aqueous), 또는 이들의 결합들을 포함한다. 열기관 시스템(200)에서 사용되는 예시적 작동 유체들은 이산화탄소, 암모니아, 메탄(methane), 에탄(ethane), 프로페인(propane), 뷰테인(butane), 에틸렌(ethylene), 프로필렌(propylene), 뷰틸렌(butylene), 아세틸렌(acetylene), 메탄올(methanol), 에탄올(ethanol), 아세톤(acetone), 메틸에틸케톤(methyl ethyl ketone), 물, 이들의 유도체들, 또는 이들의 혼합물들을 포함한다. 할로겐화 하이드로카본들은 하이드로클로로플루오로카본(hydrochlorofluorocarbon)들(HCFC들), 하이드로플루오로카본(hydrofluorocarbon)들(HFC들)(예컨대, 1,1,1,3,3-펜타플루오로프로페인(pentafluoropropane)(R245fa)), 플루오로카본(fluorocarbon)들, 이들의 유도체들, 또는 이들의 혼합물들을 포함할 수 있다.

[0076] [080] 본원에 설명된 많은 실시예들에서, 열기관 시스템(200)의 작동 유체 회로(202) 및 본원에 개시된 다른 예시적 회로들에서 순환되거나, 흐르게 되거나, 또는 다른 방식으로 활용되는 작동 유체는 이산화탄소(CO_2) 및 이산화탄소를 포함하는 혼합물들일 수 있거나, 또는 이를 포함할 수 있다. 일반적으로, 작동 유체 회로(202)의 적어도 일부는 초임계 상태(예컨대, sc-CO_2)의 작동 유체를 포함한다. 전력 발전 사이클들 동안에 작동 유체로서 활용되거나 또는 작동 유체에 포함되는 이산화탄소는 작동 유체들로서 통상적으로 사용되는 다른 화합물들보다 많은 장점들을 갖는데, 그 이유는 이산화탄소가 무독성 및 불연성이라는 특성들을 가지며, 또한 쉽게 이용가능하고 비교적 저렴하기 때문이다. 이산화탄소의 비교적 높은 작동 압력에 부분적으로 기인하여, 이산화탄소 시스템은 다른 작동 유체들을 사용하는 시스템들보다 훨씬 더 콤팩트(compact)할 수 있다. 다른 작동 유체들에 대한 이산화탄소의 높은 밀도 및 체적 열 용량은 이산화탄소를 더욱 "에너지 조밀(energy dense)"하게 만드는데, 이는 성능을 잃지 않고 모든 시스템 컴포넌트들의 사이즈(size)가 상당히 감소될 수 있음을 의미한다. 이산화탄소(CO_2), 초임계 이산화탄소(sc-CO_2), 또는 미임계 이산화탄소(sub-CO_2)란 용어들의 사용이 임의의 특정 유형, 소스, 순도, 또는 등급의 이산화탄소로 제한되는 것으로 의도되지 않음이 주목되어야 한다. 예컨대, 본 개시내용의 범위로부터 벗어나지 않고, 산업 등급 이산화탄소가 작동 유체에 포함되고 그리고/또는 이 작동 유체로서 사용될 수 있다.

[0077] [081] 다른 예시적 실시예들에서, 작동 유체 회로(202)의 작동 유체는 이원, 삼원, 또는 다른 작동 유체 블렌드(blend)일 수 있다. 본원에 설명된 바와 같이, 작동 유체 블렌드 또는 결합은 열 회수 시스템 내의 유체 결합에 의해 소유되는 고유한 속성들에 대해 선택될 수 있다. 예컨대, 하나의 그러한 유체 결합은, 이산화탄소를 압축하는데 요구되는 것보다 더 적은 에너지 입력으로, 결합된 유체가 액체 상태로 고압으로 펌핑되는(pumped) 것을 인에이블하는 액체 흡수제 및 이산화탄소 혼합물을 포함한다. 다른 예시적 실시예에서, 작동 유체는 초임계 이산화탄소(sc-CO_2), 미임계 이산화탄소(sub-CO_2), 및/또는 하나 또는 그 초과의 다른 혼성 유체들 또는 화합물들의 결합일 수 있다. 또 다른 예시적 실시예들에서, 본 개시내용의 범위로부터 벗어나지 않고, 작동 유체는 이산화탄소와 프로페인의 결합, 또는 이산화탄소와 암모니아의 결합일 수 있다.

[0078] [082] 작동 유체 회로(202)는 일반적으로, 고압측, 저압측, 그리고 작동 유체 회로(202) 내에서 순환되는 작동 유체를 갖는다. "작동 유체"란 용어의 사용은 작동 유체의 물질의 상태 또는 상을 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 예컨대, 작동 유체 또는 작동 유체의 부분들은 열기관 시스템(200) 또는 열역학 사이클 내의 임의의 하나 또는 그 초과의 지점들에서 유체상, 기체상, 초임계 상태, 미임계 상태, 또는 임의의 다른 상 또는 상태로 있을 수 있다. 하나 또는 그 초과의 실시예들에서, 작동 유체는 열기관 시스템(200)의 작동 유체 회로(202)의 특정 부분들(예컨대, 고압측)에 걸쳐 초임계 상태로 있으며, 열기관 시스템(200)의 작동 유체 회로(202)의 다른 부분들(예컨대, 저압측)에 걸쳐 미임계 상태로 있다.

[0079] [083] 다른 실시예들에서, 작동 유체가 열기관 시스템(200)의 전체 작동 유체 회로(202) 전체에 걸쳐 초임계 또는 미임계 상태로 유지되도록, 전체 열역학 사이클이 동작될 수 있다. 상이한 동작 단계들 동안에, 열기관 시스템(200)에 대한 작동 유체 회로(202)의 고압측 및 저압측은 초임계 및/또는 미임계 상태의 작동 유체를 포함할 수 있다. 예컨대, 작동 유체 회로(202)의 고압측 및 저압측 양쪽 모두는 스타트업 절차 동안에 초임계 상태의 작동 유체를 포함할 수 있다. 그러나, 일단 시스템이 동기화하고, 부하 램핑(load ramping)하며, 그리고/또는 완전히 부하가 걸리면(fully loaded), 작동 유체 회로(202)의 고압측이 초임계 상태의 작동 유체를 유지시킬 수 있는 반면에, 작동 유체 회로(202)의 저압측은 미임계 상태 또는 다른 액체형 상태의 작동 유체를 포함하도록 조절될 수 있다.

[0080] [084] 일반적으로, 작동 유체 회로(202)의 고압측은 약 15 ㎫ 또는 그 초과, 이를테면, 약 17 ㎫ 또는 그 초과, 또는 약 20 ㎫ 또는 그 초과의 압력의 작동 유체(예컨대, sc-CO_2)를 포함한다. 일부 예들에서, 작동 유체 회로(202)의 고압측은 약 15 ㎫ 내지 약 30 ㎫ 범위 내, 더욱 좁게는 약 16 ㎫ 내지 약 26 ㎫ 범위 내, 더욱 좁게는 약 17 ㎫ 내지 약 25 ㎫ 범위 내, 그리고 더욱 좁게는 약 17 ㎫ 내지 약 24 ㎫ 범위 내, 이를테면, 약 23.3 ㎫a의 압력을 가질 수 있다. 다른 예들에서, 작동 유체 회로(202)의 고압측은 약 20 ㎫ 내지 약 30 ㎫ 범위 내, 더욱 좁게는 약 21 ㎫ 내지 약 25 ㎫ 범위 내, 그리고 더욱 좁게는 약 22 ㎫ 내지 약 24 ㎫ 범위 내, 이를테면, 약 23 ㎫a의 압력을 가질 수 있다.

[0081] [085] 작동 유체 회로(202)의 저압측은 15 ㎫ 미만, 이를테면, 약 12 ㎫ 또는 그 미만, 또는 약 10 ㎫ 또는 그 미만의 압력의 작동 유체(예컨대, CO_2 또는 sub-CO_2)를 포함한다. 일부 예들에서, 작동 유체 회로(202)의 저압측은 약 4 ㎫ 내지 약 14 ㎫ 범위 내, 더욱 좁게는 약 6 ㎫ 내지 약 13 ㎫ 범위 내, 더욱 좁게는 약 8 ㎫ 내지 약 12 ㎫ 범위 내, 그리고 더욱 좁게는 약 10 ㎫ 내지 약 11 ㎫ 범위 내, 이를테면, 약 10.3 ㎫a의 압력을 가질 수 있다. 다른 예들에서, 작동 유체 회로(202)의 저압측은 약 2 ㎫ 내지 약 10 ㎫ 범위 내, 더욱 좁게는 약 4 ㎫ 내지 약 8 ㎫ 범위 내, 그리고 더욱 좁게는 약 5 ㎫ 내지 약 7 ㎫ 범위 내, 이를테면, 약 6 ㎫a의 압력을 가질 수 있다.

[0082] [086] 일부 예들에서, 작동 유체 회로(202)의 고압측이 약 17 ㎫ 내지 약 23.5 ㎫ 범위 내, 그리고 더욱 좁게는 약 23 ㎫ 내지 약 23.3 ㎫ 범위 내의 압력을 가질 수 있는 반면에, 작동 유체 회로(202)의 저압측은 약 8 ㎫ 내지 약 11 ㎫ 범위 내, 그리고 더욱 좁게는 약 10.3 ㎫ 내지 약 11 ㎫ 범위 내의 압력을 가질 수 있다.

[0083] [087] 일반적으로, 도 1을 참조하면, 열기관 시스템(200)은 전력 터빈(228)을 포함하며, 이 전력 터빈(228)은 작동 유체 회로(202)의 고압측과 저압측 사이에 배치되고, 열 교환기(120)로부터 다운스트림에 배치되며, 그리고 작동 유체에 유동적으로 커플링되고 이 작동 유체와 열적 연통한다. 전력 터빈(228)은, 작동 유체의 압력 강하를 기계 에너지로 변환시켜 이로써 작동 유체의 흡수된 열 에너지가 전력 터빈(228)의 기계 에너지로 변환되게 하도록 구성된다. 그러므로, 전력 터빈(228)은 가압된 유체를 기계 에너지로 변환시킬 수 있는, 일반적으로 고온 및 고압의 유체를 기계 에너지로 변환시킬 수 있는, 이를테면, 샤프트(예컨대, 구동샤프트(230))를 회전시킬 수 있는 익스팬션 디바이스(expansion device)이다.

[0084] [088] 전력 터빈(228)은, 터빈, 터보, 익스팬더, 또는 열 교환기(120)로부터 방류되는 작동 유체를 수용하여 익스팬딩(expanding)하기 위한 다른 디바이스일 수 있거나 또는 이를 포함할 수 있다. 전력 터빈(228)은 축방향 구조 또는 방사형 구조를 가질 수 있으며, 일단 디바이스(single-staged device) 또는 다단 디바이스(multi-staged device)일 수 있다. 전력 터빈(228)에서 활용될 수 있는 예시적 터빈 디바이스들은 익스팬션 디바이스, 제롤러(geroler), 제로터(gerotor), 밸브, 다른 유형들의 용적형(positive displacement) 디바이스들, 이를테면, 압력 스윙(swing), 터빈, 터보, 또는 작동 유체의 압력 또는 압력/엔탈피(enthalpy) 강하를 기계 에너지로 변환시킬 수 있는 임의의 다른 디바이스를 포함한다. 다양한 익스팬딩 디바이스들이 본 발명의 시스템 내에서 작동할 수 있으며, 전력 터빈(228)으로서 활용될 수 있는 상이한 성능 특성들을 달성할 수 있다.

[0085] [089] 전력 터빈(228)은 일반적으로 구동샤프트(230)에 의해 전력 발전기(240)에 커플링된다. 기어박스(232)는 일반적으로 전력 터빈(228)과 전력 발전기(240) 사이에 배치되며, 구동샤프트(230)에 인접하거나 또는 이 구동샤프트(230)를 둘러싼다. 구동샤프트(230)는 단일 피스(piece)일 수 있거나, 또는 서로 커플링된 둘 또는 그 초과의 피스들을 포함할 수 있다. 도 2에 묘사된 일 예에서, 구동샤프트(230)의 제 1 세그먼트는 전력 터빈(228)으로부터 기어박스(232)로 연장되며, 구동샤프트(230)의 제 2 세그먼트는 기어박스(232)로부터 전력 발전기(240)로 연장되며, 다수의 기어들은 기어박스(232) 내의 구동샤프트(230)의 두 개의 세그먼트들 사이에 배치되며 이 두 개의 세그먼트들에 커플링된다.

[0086] [090] 일부 구성들에서, 열기관 시스템(200)은 또한, 전력 터빈(228)의 하나 또는 그 초과의 부품들을 냉각시키는 목적들을 위해, 챔버 또는 하우징, 이를테면, 전력 발전 시스템(220) 내의 하우징(238)으로의 작동 유체, 밀봉 가스, 베어링 가스, 공기, 또는 다른 가스의 부분의 전달을 제공한다. 다른 구성들에서, 구동샤프트(230)는, 전력 터빈(228)으로부터의 임의의 작동 유체 누출을 막거나 또는 포획하도록 설계된 밀봉 어셈블리(미도시)를 포함한다. 추가적으로, 작동 유체 재활용 시스템은, 밀봉 가스를 다시 열기관 시스템(200)의 작동 유체 회로(202)로 재활용하도록, 밀봉 어셈블리와 함께 구현될 수 있다.

[0087] [091] 전력 발전기(240)는 발전기, 교류발전기(예컨대, 영구 자석 교류발전기), 또는 전기 에너지를 생성하기 위한, 이를테면, 구동샤프트(230) 및 전력 터빈(228)으로부터의 기계 에너지를 전기 에너지로 변환시키기 위한

다른 디바이스일 수 있다. 전력 콘센트(242)가 전력 발전기(240)에 전기적으로 커플링되며, 전력 발전기(240)로부터 생성된 전기 에너지를 전기 그리드(244)에 전달하도록 구성될 수 있다. 전기 그리드(244)는 전기 그리드, 전기 버스(bus)(예컨대, 플랜트(plant) 버스), 전력 전자장치들, 다른 전기 회로들, 또는 이들의 결합들일 수 있거나 또는 이를 포함할 수 있다. 전기 그리드(244)는 일반적으로, 적어도 하나의 교류 전류 버스, 교류 전류 그리드, 교류 전류 회로, 또는 이들의 결합들을 포함한다. 일 예에서, 전력 발전기(240)는 발전기이며, 전력 콘센트(242)를 통해 전기 그리드(244)에 전기적으로 그리고 동작가능하게 연결된다. 다른 예에서, 전력 발전기(240)는 교류발전기이며, 전력 콘센트(242)를 통해 전력 전자장치들(미도시)에 전기적으로 그리고 동작가능하게 연결된다. 다른 예에서, 전력 발전기(240)는 전력 콘센트(242)에 전기적으로 연결되는 전력 전자장치들에 전기적으로 연결된다.

[0088] [092] 전력 전자장치들은 전기적 특성들, 이를테면, 전압, 전류, 또는 주파수를 바꿈으로써 전기 전력을 바람직한 형태들의 전기로 변환시키도록 구성될 수 있다. 전력 전자장치들은 컨버터(converter)들 또는 정류기들, 인버터(inverter)들, 트랜스포머(transformer)들, 레귤레이터(regulator)들, 제어기들, 스위치(switche)들, 저항기들, 저장 디바이스들, 및 다른 전력 전자장치 컴포넌트들 및 디바이스들을 포함할 수 있다. 다른 실시예들에서, 전력 발전기(240)는 다른 유형들의 부하 수용 장비, 이를테면, 다른 유형들의 전기 발전 장비, 회전 장비, 기어박스(예컨대, 기어박스(232)), 또는 전력 터빈(228)에 의해 생성된 샤프트 워크(shaft work)를 바꾸거나 또는 변환시키도록 구성된 다른 디바이스이거나, 이를 포함하거나, 또는 이와 커플링될 수 있다. 일 실시예에서, 전력 발전기(240)는 라디에이터(radiator)를 갖는 냉각 루프, 그리고 냉각 유체, 이를테면, 물, 열유들, 및/또는 다른 적절한 냉매들을 순환시키기 위한 펌프와 유체 연통한다. 냉각 루프는, 생성된 열을 떨어뜨리기 위해 냉각 유체를 순환시킴으로써 전력 발전기(240) 및 전력 전자장치들의 온도를 레귤레이팅하도록(regulate) 구성될 수 있다.

[0089] [093] 열기관 시스템(200)은 또한, 전력 터빈(228)의 하나 또는 그 초과의 부품들을 냉각시키는 목적들을 위해, 전력 터빈(228)의 챔버 또는 하우징으로의 작동 유체의 부분의 전달을 제공한다. 일 실시예에서, 전력 발전기(240) 내의 동적 압력 밸런싱(balancing)에 대한 잠재적인 필요로 인해, 작동 유체의 부분을 획득하기 위한, 열기관 시스템(200) 내의 사이트(site)의 선택이 중요한데, 그 이유는 전력 발전기(240)로의 작동 유체의 이러한 부분의 유입이 동작 동안에 전력 발전기(240)의 압력 밸런스(balance) 및 안정성을 침해하지 않거나 또는 방해하지 않아야 하기 때문이다. 그러므로, 냉각의 목적들을 위해 전력 발전기(240)에 전달되는 작동 유체의 압력은 전력 터빈(228)의 유입구에서의 작동 유체의 압력과 동일하거나 또는 실질적으로 동일하다. 작동 유체는, 전력 터빈(228)에 유입되기 이전에, 원하는 온도 및 압력이 되도록 컨디셔닝된다(conditioned). 작동 유체의 부분, 이를테면, 소비된 작동 유체는 전력 터빈(228)의 배출구에서 전력 터빈(228)을 떠나며, 하나 또는 그 초과의 열 교환기들 또는 환열기들, 이를테면, 환열기들(216 및 218)로 지향된다. 환열기들(216 및 218)은 서로 직렬로, 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링될 수 있다. 환열기들(216 및 218)은 작동 유체 회로(202)의 고압측과 저압측 사이에 열 에너지를 전달하도록 동작가능하다.

[0090] [094] 일 실시예에서, 환열기(216)는 작동 유체 회로(202)의 저압측에 유동적으로 커플링되고, 전력 터빈(228) 상의 작동 유체 배출구로부터 다운스트림에 배치되며, 환열기(218) 및/또는 콘덴서(274)의 업스트림에 배치된다. 환열기(216)는, 전력 터빈(228)으로부터 방류된 작동 유체로부터 열 에너지의 적어도 부분을 제거하도록 구성된다. 부가하여, 환열기(216)는 또한, 작동 유체 회로(202)의 고압측에 유동적으로 커플링되고, 열 교환기(120) 및/또는 전력 터빈(228) 상의 작동 유체 유입구의 업스트림에 배치되며, 열 교환기(130)로부터 다운스트림에 배치된다. 환열기(216)는, 열 교환기(120) 및/또는 전력 터빈(228)으로 흐르기 이전에 작동 유체의 열 에너지의 양을 증가시키도록 구성된다. 그러므로, 환열기(216)는 작동 유체 회로(202)의 고압측과 저압측 사이에 열 에너지를 전달하도록 동작가능하다. 일부 예들에서, 환열기(216)는, 열 교환기(120) 및/또는 전력 터빈(228)에 들어가거나 또는 이의 업스트림의 높은 가압된 작동 유체를 가열하면서, 전력 터빈(228)으로부터 방류되거나 또는 이로부터 다운스트림의 낮은 가압된 작동 유체를 냉각시키도록 구성된 열 교환기일 수 있다.

[0091] [095] 유사하게, 다른 실시예에서, 환열기(218)는 작동 유체 회로(202)의 저압측에 유동적으로 커플링되고, 환열기(216) 및/또는 전력 터빈(228) 상의 작동 유체 배출구로부터 다운스트림에 배치되며, 콘덴서(274)의 업스트림에 배치된다. 환열기(218)는, 전력 터빈(228) 및/또는 환열기(216)로부터 방류된 작동 유체로부터 열 에너지의 적어도 부분을 제거하도록 구성된다. 부가하여, 환열기(218)는 또한, 작동 유체 회로(202)의 고압측에 유동적으로 커플링되고, 열 교환기(150) 및/또는 터보펌프(260)의 구동 터빈(264) 상의 작동 유체 유입구의 업스트림에 배치되며, 터보펌프(260)의 펌프 부분(262) 상의 작동 유체 배출구로부터 다운스트림에 배치된다. 환열기(218)는, 열 교환기(150) 및/또는 구동 터빈(264)으로 흐르기 이전에 작동 유체의 열 에너지의 양을 증가시키

도록 구성된다. 그러므로, 환열기(218)는 작동 유체 회로(202)의 고압측과 저압측 사이에 열 에너지를 전달하도록 동작가능하다. 일부 예들에서, 환열기(218)는, 열 교환기(150) 및/또는 구동 터빈(264)에 들어가거나 또는 이의 업스트림의 높은 가압된 작동 유체를 가열하면서, 전력 터빈(228) 및/또는 환열기(216)로부터 방류되거나 또는 이로부터 다운스트림의 낮은 가압된 작동 유체를 냉각시키도록 구성된 열 교환기일 수 있다.

[0092] [096] 냉각기 또는 콘덴서(274)는 작동 유체 회로(202)의 저압측에 유동적으로 커플링되고 이 작동 유체 회로(202)의 저압측과 열적 연통할 수 있으며, 그리고 작동 유체 회로(202)의 저압측의 작동 유체의 온도를 제어하도록 구성되거나 또는 동작가능할 수 있다. 콘덴서(274)는 환열기들(216 및 218)로부터 다운스트림, 그리고 시작 펌프(280) 및 터보펌프(260)의 업스트림에 배치될 수 있다. 콘덴서(274)는 환열기(218)로부터 냉각된 작동 유체를 수용하고, 추가로 작동 유체를 냉각시키고 그리고/또는 콘덴싱하며(condense), 이 작동 유체는 작동 유체 회로(202) 전체에 걸쳐 재순환될 수 있다. 많은 예들에서, 콘덴서(274)는 냉각기이며, 저압측의 작동 유체로부터의 열 에너지를 냉각 루프 또는 작동 유체 회로(202) 외부의 시스템으로 전달함으로써, 작동 유체 회로(202)의 저압측의 작동 유체의 온도를 제어하도록 구성될 수 있다.

[0093] [097] 냉각 매체 또는 유체는 일반적으로, 작동 유체를 냉각시키고 작동 유체 회로(202) 외부로 열 에너지를 제거하기 위한 콘덴서(274)에 의해 냉각 루프 또는 시스템에서 활용된다. 냉각 매체 또는 유체는 콘덴서(274)와 열적 연통하면서 이 콘덴서(274)를 통해, 이 콘덴서(274)를 거쳐, 또는 이 콘덴서(274)를 우회하게 흐른다. 작동 유체의 열 에너지는 콘덴서(274)를 통해 냉각 유체로 전달된다. 그러므로, 냉각 유체는 작동 유체 회로(202)와 열적 연통하지만, 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링되지 않는다. 콘덴서(274)는 작동 유체 회로(202)에 유동적으로 커플링되며, 냉각 유체에 독립적으로 유동적으로 커플링될 수 있다. 냉각 유체는 하나의 화합물 또는 다수의 화합물들을 포함할 수 있으며, 물질의 하나의 상태 또는 다수의 상태들로 있을 수 있다. 냉각 유체는 기체 상태, 액체 상태, 미임계 상태, 초임계 상태, 서스펜션(suspension), 솔루션(solution), 이들의 유도체들, 또는 이들의 결합들의 매체 또는 유체일 수 있다.

[0094] [098] 많은 예들에서, 콘덴서(274)는 일반적으로, 냉각 유체 리턴(278a)으로부터 냉각 유체를 수용하며 워밍된(warmed) 냉각 유체를 냉각 유체 공급부(278b)를 통해 냉각 루프 또는 시스템으로 리턴하는(return) 냉각 루프 또는 시스템(미도시)에 유동적으로 커플링된다. 냉각 유체는 물, 이산화탄소, 또는 다른 수성 및/또는 유기 유체들(예컨대, 알코올들 및/또는 글리콜(glycol)들), 공기 또는 다른 가스들, 또는 작동 유체의 온도보다 더 낮은 온도에서 유지되는 이들의 다양한 혼합물들일 수 있다. 다른 예들에서, 냉각 매체 또는 유체는 콘덴서(274)에 노출되는 공기 또는 다른 가스, 이를테면, 모터식 팬(motorized fan) 또는 송풍기에 의해 송풍되는 공기 스팀을 포함한다. 필터(276)는, 냉각 유체 공급부(278b)로부터 다운스트림 및 콘덴서(274)의 업스트림의 지점에, 냉각 유체관을 따라 그리고 이 냉각 유체관과 유체 연통하게 배치될 수 있다. 일부 예들에서, 필터(276)는 공정 시스템(210) 내의 냉각 유체관에 유동적으로 커플링될 수 있다.

[0095] [099] 이제, 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 도 2a 및 도 2b에서는, 구동샤프트(267)를 통해 커플링되도록 구성되는, 터보펌프(260)의 펌프 부분(262) 및 구동 터빈(264)의 실시예들의 단면도들이 예시된다. 예시된 실시예에서, 구동 터빈(264)은 하우징(308), 및 이 하우징(308) 내에 배치된 터빈 휠(wheel)(310)을 포함한다. 추가로, 도 2a에 도시된 터빈 휠(310)은 구동샤프트(267)를 중심으로 배치되며, 배면(312)을 포함한다. 그러나, 다른 실시예들에서, 구동 터빈(264)이 구현-특정 변형들을 겪으며, 본원에 도시된 것들로 제한되지 않음이 주목되어야 한다.

[0096] [0100] 유사하게, 도 2b에 도시된 펌프 부분(262)은, 구동샤프트(267)를 중심으로 배치되며 뒷면(316)을 갖는 임펠러(impeller)(314) 및 캐비티(cavity)(337)를 에워싸는 하우징(335)을 포함한다. 일부 구성들에서, 펌프 부분(262)의 임펠러(314)의 뒷면(316)은 터빈 휠(310)의 배면(312)을 향할 수 있다. 동작 동안에, 구동 터빈(264)은, 예컨대 열 교환기(150)의 다운스트림의 지점으로부터의 가열된 작동 유체에 의해 전력을 공급받을 수 있으며, 터빈 휠(310)이 회전하여, 펌프 부분(262)의 임펠러(314)를 구동시키는 전력을 발전시킨다. 펌프 부분(262)의 임펠러(314)의 회전은 작동 유체를 작동 유체 회로(202)를 통해 순환시킨다. 그러나, 터빈 휠(310)의 배면(312)이 (예컨대, 터보과급기(turbocharger)의) 임펠러(314)의 뒷면(316)을 향하는 실시예들에서는, 특히, 표준 스러스트 베어링 설계 기술들이 충분한 부하 용량을 제공하지 않을 수 있도록, 동작 동안의 기계 전력 밀도, 압력 상승, 및 회전 스피드들이 이루어지는, 초임계 이산화탄소를 활용하는 구현들에서, 임펠러(314)(또는 다른 구현들에서, 다른 압축기 휠)에 의해 생성되는 스러스트와 터빈 휠(310)에 의해 생성되는 스러스트를 밸런싱하는(balance) 것이 바람직할 수 있다.

[0097] [0101] 터보펌프(260)에 존재할 수 있는 높은 스러스트 부하들은 펌프 부분(262) 및/또는 터빈 휠(310) 상의

압력의 전개를 야기할 수 있으며, 시스템에 존재하는 압력들은 터보펌프(260)가 동작하고 있는 스피드들의 함수일 수 있다. 예컨대, 도 2b에 예시된 바와 같이, 일부 실시예들에서, 압력은 임펠러(314)의 앞뒤를 따른 그래디언트(gradient)들(318, 320, 및 322)로서 보일 수 있으며, 증가하는 스러스트 부하들을 야기할 수 있는데, 그 이유는 임펠러(314)가 회전할 때의 스피드가 동작 동안에 증가되기 때문이다. 추가적으로, 터보펌프(260)에 들어가고 이 터보펌프(260)를 떠나는 작동 유체의 모멘텀(momentum)에 의해, 증가되는 축방향 부하들이 생성될 수 있다. 이에 따라, 현재 개시된 실시예들은, 펌프 부분(262)에 의해 생성된 스러스트 부하들의 감소 및/또는 구동 터빈(264) 및 펌프 부분(262)에 의해 생성된 스러스트 부하들의 밸런싱을 가능하게 하는 시스템들 및 방법들을 제공할 수 있다. 예컨대, 일부 실시예들에서, 임펠러(314)의 뒷면(316) 상의 압력과 비교할 때 펌프 부분(262)의 앞면 상에 존재하는 압력들의 실질적인 차이가 있을 수 있으며, 앞면 상의 압력들을 보상하기 위해 뒷면(316) 상의 압력을 감소시키려고 시도할 때 어려움이 생길 수 있다. 그러므로, 현재 개시된 특정 실시예들은, 임펠러(314)의 뒷면(316)에 근접한 위치로부터 압력의 블리딩 또는 해제를 가능하게 할 수 있다.

[0098] [0102] 예컨대, 도 3에 예시된 일 실시예에서, 압력 해제 통로(300)는 임펠러(314)의 뒷면(316)에 또는 이 뒷면(316)에 가까이 제공될 수 있다. 더욱 구체적으로는, 하나 또는 그 초과의 실시예들에서, 압력 해제 통로(300)는 임펠러(314)의 끝(315)에 근접한 뒷면(316)에 또는 이 뒷면(316)에 가까이 제공될 수 있다. 따라서, 압력 해제 통로(300)는, 임펠러(314)의 뒷면(316)과 하우징(335) 사이에 일반적으로 배치되는 캐비티(337)에 유동적으로 커플링된다. 터보펌프(260)의 동작 동안에 생성되는 스러스트를 감소시키기 위해, 동작 동안에, 압력 해제 통로(300)는 예컨대 압력 해제 밸브(302)의 포지셔닝(positioning)의 선택적 제어를 통해 캐비티(337)로부터의 압력을 벤팅하기 위해 활용될 수 있다. 추가로, 일부 실시예들에서, 캐비티(337)로부터의 압력을 작동 유체 회로(202)의 저압측으로 벤팅하는 목적을 위해, 압력 해제 통로(300)는 예컨대 도 1에 도시된 관들(304 및 306)을 통해 작동 유체 회로(202)의 저압측에 유동적으로 커플링될 수 있다. 그러나, 다른 실시예들에서, 구현-특정 고려사항들에 따라, 압력 해제 통로(300)는 작동 유체 회로(202) 내의, 또는 작동 유체 회로(202) 외부의 임의의 원하는 위치에 커플링될 수 있다.

[0099] [0103] 주어진 애플리케이션(application)에 따라, 압력 해제 통로(300)는 펌프 부분(262)에 배치되며 다양한 적절한 방식들로 형성될 수 있다. 일부 실시예들에서, 압력 해제 통로(300)는 예컨대 제조 동안에 펌프 부분(262)에 일체형으로 형성될 수 있거나, 또는 펌프 부분(262)에서 사용 위치에 제공될 수 있다. 예컨대, 일 실시예에서, 압력 해제 통로(300)는 펌프 부분(262)의 하우징(335)에 드릴링될(drilled) 수 있다. 다른 실시예들에서, 압력 해제 통로(300)는 펌프 부분(262)의 하우징(335)에서 다른 적절한 위치에 드릴링되거나 또는 다른 방식으로 형성될 수 있다. 예컨대, 압력 해제 통로(300)의 위치는, 압력 해제 밸브(302)에 대한 필요가 감소되거나 또는 제거되도록 선택될 수 있다. 즉, 압력 해제 통로(300)가 적절하게 포지셔닝되면, 예컨대, 펌프 부분(262)의 테스팅(testing) 또는 동작 이전에, 스러스트 부하가 직접적으로 측정될 수 있으며, 일부 실시예들에서 압력 해제 밸브(302)에 대한 필요는 제거될 수 있다.

[0100] [0104] 예시된 실시예에서, 압력 해제 통로(300)는 리테이너(retainer)(332)에 의해 둘러싸인 레버린스 실(labyrinth seal)(330)에 근접한다. 특정 실시예들에서, 레버린스 실(330)은 임펠러(314)를 형성하기 위해 사용된 재료보다 더 부드러운 재료로 형성될 수 있다. 예컨대, 일 실시예에서, 레버린스 실(330)은 플라스틱(plastic)으로 형성될 수 있다. 추가로, 리테이너(332)는 레버린스 실(330)에 사용된 재료보다 더 단단한 재료로 형성될 수 있다. 이는, 작동 유체가 초임계 이산화탄소인 실시예들에서 바람직할 수 있는데, 그 이유는 작동 유체가, 더 부드러운 재료의 리테이너들에 더 큰 마모를 야기하는 연마제일 수 있기 때문이다. 일부 실시예들에서, 추가 레버린스 실(334)이 또한 임펠러(314)의 노스(nose) 부분(336)에 또는 이 노스 부분(336)에 가까이 제공될 수 있다.

[0101] [0105] 동작 동안에, 임펠러(314)가 작동 유체 회로(202)를 통해 작동 유체를 펌핑하기(pump) 위해 회전할 때, 압력은 임펠러(314)의 앞뒷면들 상에 축적되며, 앞뒷면들 상의 압력들의 불균형이 축방향 부하들을 유도할 수 있다. 추가적으로, 펌프 부분(262)의 임펠러(314)가 터빈 휠(310)과 대향하는 실시예들에서, 구동 터빈(264)이 또한 축방향 부하들을 생성한다. 추가로, 임펠러(314) 및/또는 터빈 휠(310)의 스피드가 증가할 때, 생성되는 스러스트 부하들이 증가한다. 그러므로, 현재 개시된 실시예들은 생성되는 스러스트 부하들의 적어도 부분을 밸런싱하기(balance) 위해 압력 해제 통로(300)를 통해 압력을 해제시키기 위한 방법을 제공할 수 있다. 예컨대, 일 실시예에서, 펌프 부분(262) 내에서 생성된 스러스트 부하들은 (예컨대, 임펠러(314)의 앞뒷면들 상의 압력들을 밸런싱함으로써) 구동 터빈(264)에 독립적으로 밸런싱될 수 있다. 그러나, 다른 실시예들에서, 전체 터보펌프(260), 예컨대, 위에서 논의된 터보펌프(260)를 형성하는 어셈블리의 스러스트 부하들이 밸런싱될 수 있다. 예컨대, 구동 터빈(264)에 의해 생성된 스러스트 부하들은 펌프 부분(262)에 의해 생성된 스러스트 부하

들과 비교되어 밸런싱될 수 있다. 그러나, 많은 애플리케이션들에서, 터보기계류(turbomachinery)와 연관된 동작 가변성이, 넷팅 제로 스러스트(netting zero thrust)가 동작 전체에 걸쳐 실질적으로 도달불가능하도록 이루어질 수 있음이 주목되어야 한다. 이에 따라, 특정 실시예들에서, 스러스트 부하들을 밸런싱하는 것은, 밸런싱되고 있는 스러스트 부하들 사이의 차이를 특정 범위 내로 유지시키는 것을 포함할 수 있다. 그러한 실시예들에서, 공정 제어 시스템(204)은, 시스템의 스러스트를 최소화시켜 이로써 스러스트 베어링 부하 용량을 최소화시키고 시스템 효율성을 증가시키기 위해, 압력 해제 통로(300)를 통한 압력의 해제를 제어하도록 동작할 수 있다.

[0102] [0106] 도 4는 스러스트 밸런싱 방법(340)의 실시예를 예시하는 흐름도이다. 예시된 실시예에서, 스러스트 밸런싱 방법(340)은 펌프 부분의 유입구에서의 압력을 측정하는 단계(블록(block) 342), 펌프 부분의 배출구에서의 압력을 측정하는 단계(블록 344), 및 펌프 부분의 하우징에 의해 정의되거나 또는 이 하우징에 형성된 압력 해제 통로 위치에서의 압력을 측정하는 단계(블록 346)를 포함한다. 그러나, 다른 실시예들에서, 다양한 적절한 위치들에서의 임의의 원하는 개수의 압력들이 측정될 수 있다. 예컨대, 주어진 애플리케이션 및 밸런싱되도록 원해지는 스러스트들에 따라, 압력들은 터보펌프(260)의 유입구 및 배출구에서 또는 펌프 부분(262)의 유입구 및 배출구에서 측정될 수 있다. 일단 측정되면, 압력들은 하나 또는 그 초과의 스러스트 부하들을 밸런싱하는 목적을 위해 직접적으로 또는 간접적으로 활용될 수 있으며, 측정된 값들은 제 1 데이터 세트(data set), 제 2 데이터 세트, 및 제 3 데이터 세트로서 공정 제어 시스템(204)에 통신될 수 있다. 그 목적을 위해, 스러스트 밸런싱 방법(340)은 또한, 측정 압력들 또는 측정 압력들로부터 도출된 하나 또는 그 초과의 매개변수들이 하나 또는 그 초과의 임계치 값들을 초과하는지 여부를 결정하는 단계(블록 348)를 포함한다. 예컨대, 측정 압력들은, 압력 프로파일들 또는 시스템의 스러스트 부하들에 대응하는 다른 매개변수들을 도출하기 위해, 공정 제어 시스템(204)에 의해 사용될 수 있다. 추가로, 일부 실시예들에서, 측정된 또는 도출된 값들과 비교되는 임계치 값들은 단일 고정 값이 아니라, 주어진 애플리케이션에서 터보기계류의 동작 가변성을 수용하기 위한 허용가능한 값들의 범위들일 수 있다.

[0103] [0107] 측정된 또는 도출된 값들이 임계치 값들을 초과하면, 스러스트 밸런싱 방법(340)을 구현하는 공정 제어 시스템(204)은 압력 해제 통로를 통해 압력을 해제시키도록 밸브를 제어함으로써(블록 350) 진행한다. 예컨대, 공정 제어 시스템(204)은 펌프 부분(262)에 배치된 압력 해제 통로(300)를 통해 작동 유체 회로(202)의 저압측으로 압력을 해제시키도록 압력 해제 밸브(302)를 제어할 수 있다. 이후, 스러스트 밸런싱 방법(340)을 구현하는 공정 제어 시스템(204)은, 스러스트 부하들이 밸런싱되었는지를 체킹(checking)하고(블록 352) 그리고 스러스트 부하들이 밸런싱되지 않았다면 추가 압력을 해제시킴으로써(블록 350) 진행한다. 여기서 다시, 스러스트 부하들을 밸런싱하는 것이 시스템의 스러스트 부하들 및/또는 압력들의 차이를 미리결정된 범위 내로 유지시키는 것을 포함할 수 있음이 주목되어야 한다.

[0104] [0108] 본 개시내용이 본 발명의 상이한 피처들, 구조들, 또는 기능들을 구현하기 위한 몇몇 예시적 실시예들을 설명하는 것이 이해될 것이다. 본 개시내용을 단순화시키기 위해 컴포넌트들, 어레인지먼트(arrangement)들, 및 구성들의 예시적 실시예들이 본원에 설명되지만, 이들 예시적 실시예들은 단지 예들로서 제공되며 본 발명의 범위를 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 추가적으로, 본 개시내용은 다양한 예시적 실시예들에서 그리고 본원에 제공된 도면들에 걸쳐 참조 부호들 및/또는 문자들을 반복할 수 있다. 이 반복은 단순성 및 명확성의 목적을 위한 것이며, 그 자체가 다양한 도면들에서 논의된 다양한 예시적 실시예들 및/또는 구성들 사이의 관계를 표시하지 않는다. 게다가, 본 개시내용에서 제 2 피처 상에서의 또는 제 2 피처 위에서의 제 1 피처의 형성은 제 1 피처 및 제 2 피처가 직접 접촉하게 형성되는 실시예들을 포함할 수 있으며, 제 1 피처와 제 2 피처 사이에 끼어드는 추가 피처들이 형성될 수 있어서 제 1 피처 및 제 2 피처가 직접 접촉하지 않을 수 있는 실시예들을 또한 포함할 수 있다. 마지막으로, 본원에 설명된 예시적 실시예들은 임의의 결합 방식들로 결합될 수 있는데, 즉, 본 개시내용의 범위로부터 벗어나지 않고, 일 예시적 실시예로부터의 임의의 엘리먼트(element)는 임의의 다른 예시적 실시예에서 사용될 수 있다.

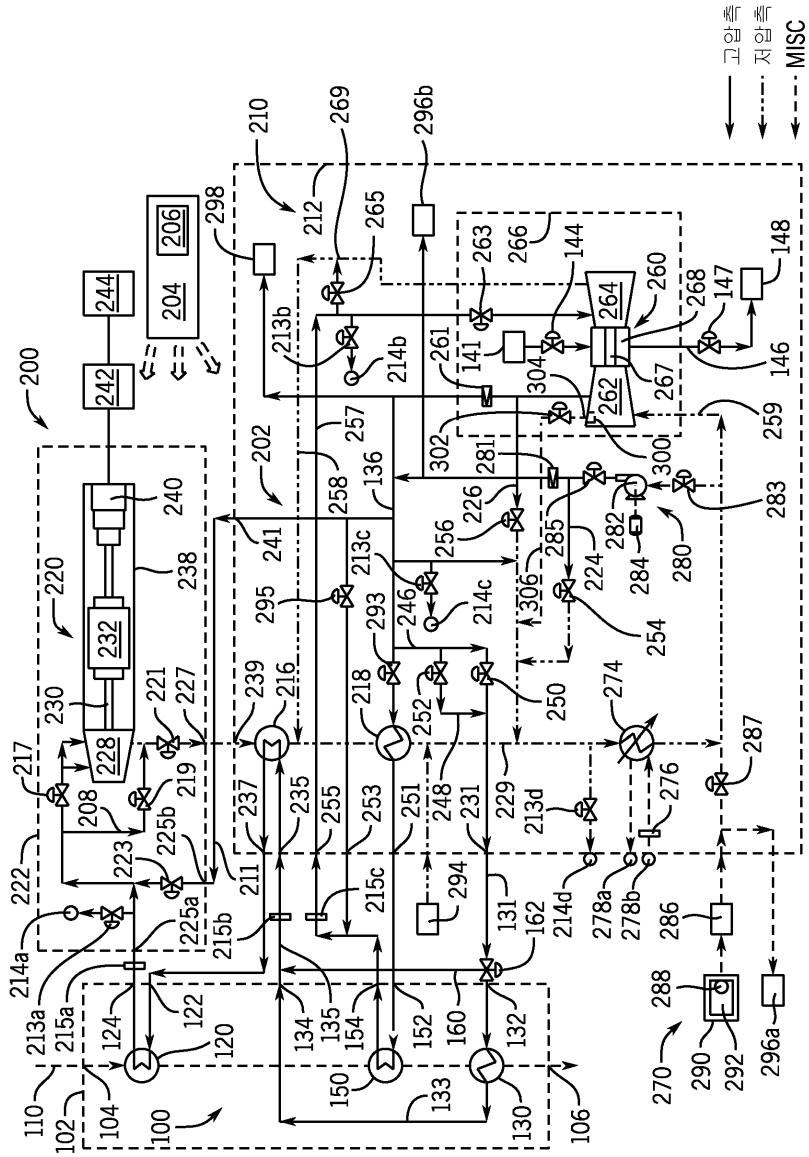
[0105] [0109] 추가적으로, 특정 용어들은, 본 개시내용 및 청구항들 전체에 걸쳐 특정 컴포넌트들을 지칭하도록 사용된다. 기술분야의 당업자가 인식할 바와 같이, 다양한 엔티티(entity)들은 상이한 이름들로 동일한 컴포넌트를 지칭할 수 있으며, 따라서 본원에서 달리 구체적으로 정의되지 않는 한, 본원에 설명된 엘리먼트들에 대한 명명 규칙은 본 발명의 범위를 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 추가로, 본원에 사용된 명명 규칙은, 이름이 상이하지만 기능은 상이하지 않은 컴포넌트들 사이를 구별하는 것으로 의도되지 않는다. 추가로, 본 개시내용에서 그리고 청구항들에서, "구비하는", "함유하는", 및 "포함하는"이란 용어들은 끝이 없는 방식으로 사용되며, 따라서 "~를 포함하지만, 이에 제한되지 않는"을 의미하는 것으로 해석되어야 한다. 달리 구체적으로 진술되지

않는 한, 본 개시내용의 모든 수치 값들은 정확한 또는 근사 값들일 수 있다. 이에 따라, 의도되는 범위로부터 벗어나지 않고, 본 개시내용의 다양한 실시예들은 본원에 개시된 숫자들, 값들, 및 범위들로부터 벗어날 수 있다. 추가로, 청구항들 또는 명세서에서 그것이 사용될 때, "또는"이란 용어는 배타적 경우와 포함적 경우 양쪽 모두를 포함하는 것으로 의도되는데, 즉, 본원에서 달리 명시적으로 특정되지 않는 한, "A 또는 B"는 "A 및 B 중 적어도 하나"와 동의어인 것으로 의도된다.

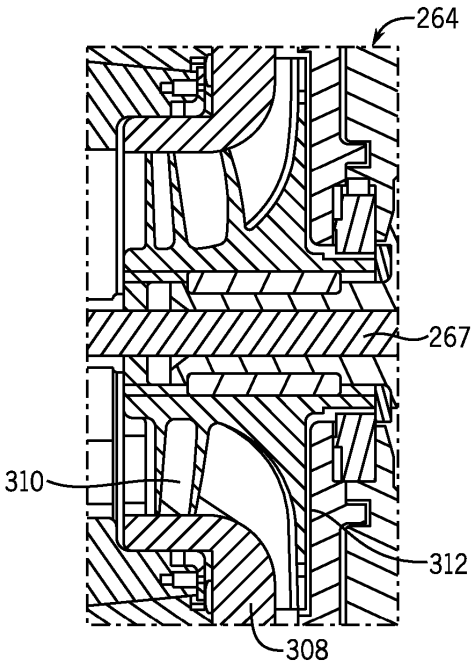
[0106] [0110] 전술된 내용은 기술분야의 당업자들이 본 개시내용을 더욱 잘 이해할 수 있도록 몇몇 실시예들의 피처들을 개설했다. 기술분야의 당업자들은, 동일한 목적들을 수행하기 위한 다른 공정들 및 구조들을 설계하거나 또는 수정하기 위한, 그리고/또는 본원에 도입된 실시예들의 동일한 장점들을 달성하기 위한 기반으로서 그들이 본 개시내용을 쉽게 사용할 수 있음을 인식해야 한다. 또한, 기술분야의 당업자들은 그러한 등가 구조들이 본 개시내용의 사상 및 범위로부터 벗어나지 않으며, 본 개시내용의 사상 및 범위로부터 벗어나지 않고, 그들이 본원의 다양한 변경들, 치환들 및 변형들을 만들 수 있음을 알아차려야 한다.

도면

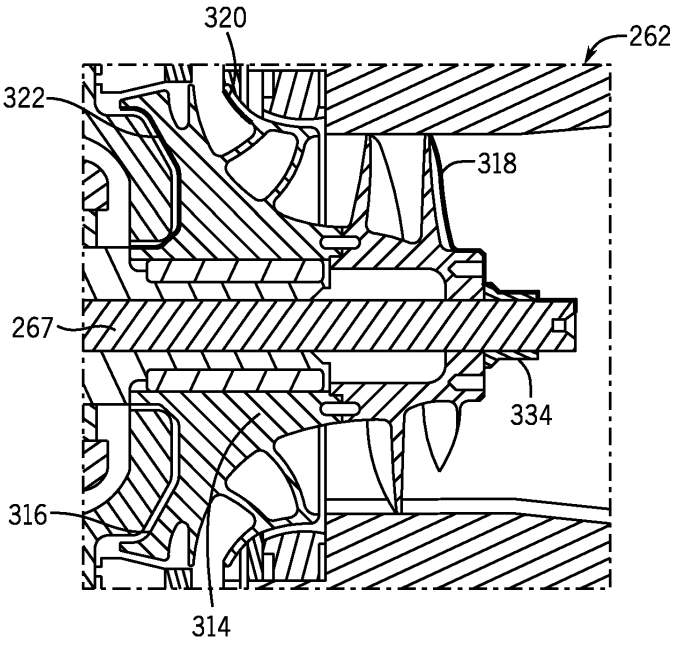
도면1



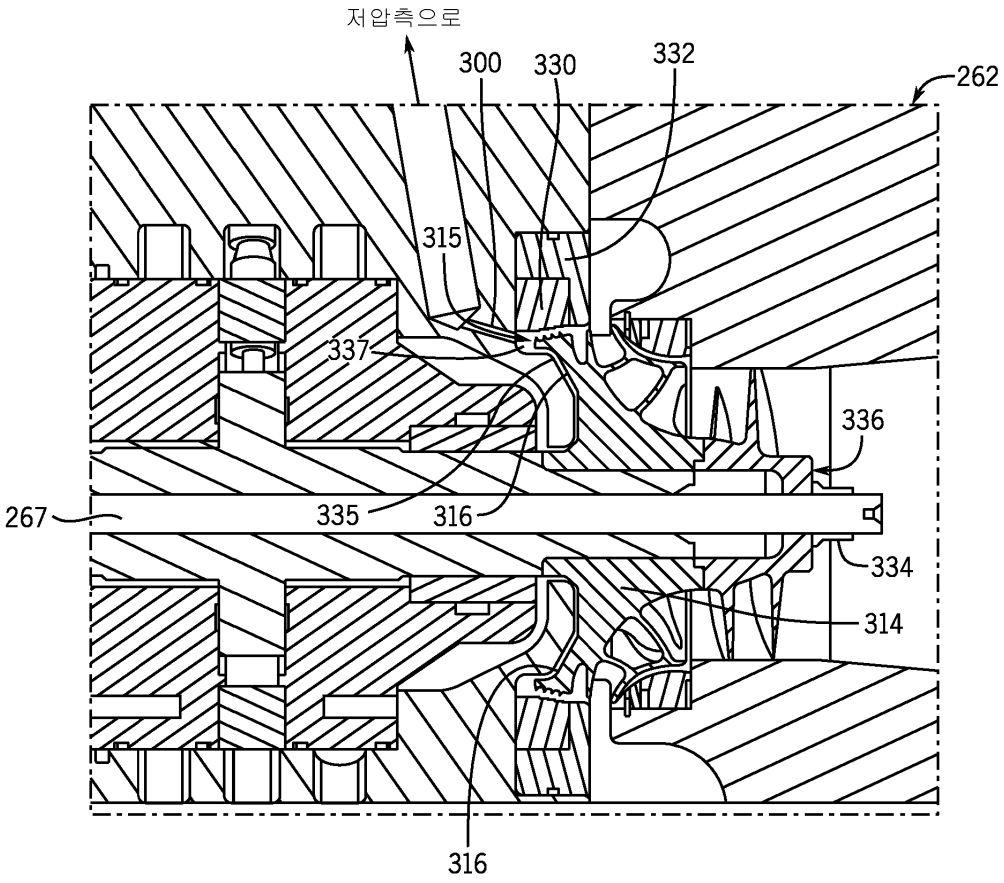
도면2a



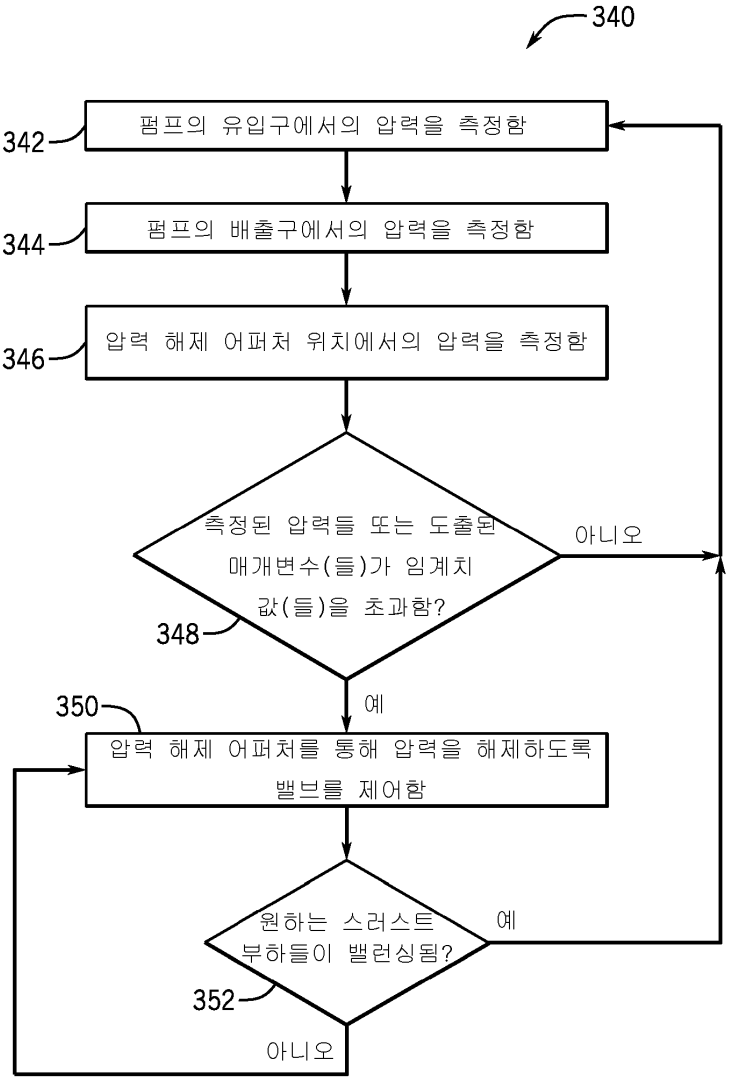
도면2b



도면3



도면4


340
342
펌프의 유입구에서의 압력을 측정함
344
펌프의 배출구에서의 압력을 측정함
346
압력 해제 어퍼처 위치에서의 압력을 측정함
측정된 압력들 또는 도출된 매개변수(들)가 임계치 값(들)을 초과함?
348
아니오
예
350
압력 해제 어퍼처를 통해 압력을 해제하도록 밸브를 제어함
원하는 스러스트 부하들이 밸런싱됨?
352
예
아니오