



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0069839
(43) 공개일자 2023년05월19일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 8/0662 (2016.01) H01M 8/04014 (2016.01)
H01M 8/04111 (2016.01) H01M 8/04302 (2016.01)
H01M 8/0432 (2016.01) H01M 8/04746 (2016.01)
H01M 8/12 (2016.01) H01M 8/2475 (2016.01)
- (52) CPC특허분류
H01M 8/0662 (2013.01)
H01M 8/04014 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2022-0147532
(22) 출원일자 2022년11월08일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
63/278,762 2021년11월12일 미국(US)
(뒷면에 계속)
- (71) 출원인
블룸 에너지 코퍼레이션
미국, 캘리포니아 95134, 산호세, 4353 노스 퍼스트 스트리트
- (72) 발명자
데이비드 바인개르트너
미국, 캘리포니아 95134, 산 호세, 4353 노스 퍼스트 스트리트, 씨/오 블룸 에너지 코퍼레이션
마이클 페트루차
미국, 캘리포니아 95134, 산 호세, 4353 노스 퍼스트 스트리트, 씨/오 블룸 에너지 코퍼레이션
- (74) 대리인
박경재

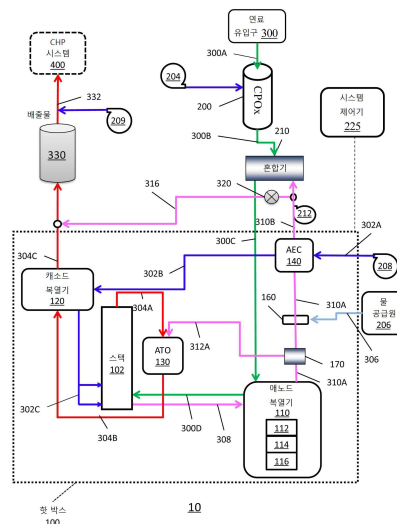
전체 청구항 수 : 총 25 항

(54) 발명의 명칭 애노드 배기 우회로를 포함하는 연료 전지 시스템 및 이의 동작 방법

(57) 요약

연료 전지 시스템의 동작 방법은, 핫 박스 내에 위치하는 연료 전지들의 스택에 연료 및 공기를 제공하는 단계, 스택을 동작시켜 애노드 배출물 및 캐소드 배출물을 생성하는 단계, 시동 모드에서, 제 1 양의 애노드 배출물 및 캐소드 배출물을 핫 박스 내에 위치하는 애노드 테일 가스 산화기(ATO)에 제공하여 애노드 배출물을 산화시키고 스택에 제공되는 열을 발생시키는 단계, 및 정상 상태 모드에서, 애노드 배출물을 ATO에 제공하는 것을 중지하거나 제 1 양보다 적은 제 2 양의 애노드 배출물을 ATO에 제공하고, 애노드 배출물 및 캐소드 배출물을 핫 박스 외부에 제공하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01M 8/04097 (2013.01)
H01M 8/04111 (2013.01)
H01M 8/04302 (2016.02)
H01M 8/0432 (2013.01)
H01M 8/04746 (2013.01)
H01M 8/2475 (2013.01)
H01M 2008/1293 (2013.01)
H01M 2250/407 (2013.01)

(30) 우선권주장

63/269,072 2022년03월09일 미국(US)
 63/364,843 2022년05월17일 미국(US)

명세서

청구범위

청구항 1

연료 전지 시스템으로서,

연료 전지들의 스택;

상기 스택으로부터 출력되는 애노드 배출물(anode exhaust)을 산화시키도록 구성된 애노드 테일 가스 산화기(anode tail gas oxidizer; ATO);

상기 연료 전지 시스템으로부터 상기 애노드 배출물을 출력하도록 구성된 배출물 도관;

상기 스택으로부터 출력되는 애노드 배출물을 상기 배출물 도관으로 전환(divert)시키도록 구성된 우회 도관;

상기 우회 도관을 통한 애노드 배출물 흐름을 제어하도록 구성된 우회 밸브; 및

상기 애노드 배출물을 상기 ATO에 제공하도록 구성된 ATO 도관;

을 포함하는, 연료 전지 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 스택에 의해 생성되는 애노드 배출물을 이용하여 상기 스택에 제공되는 연료를 가열하도록 구성된 애노드 복열기(anode recuperator); 및

상기 애노드 복열기로부터 출력되는 애노드 배출물을 이용하여 상기 스택에 제공되는 공기를 가열하도록 구성된 애노드 배출물 냉각기;

를 더 포함하고,

상기 우회 도관은, 상기 애노드 복열기를 통과한 또는 상기 애노드 복열기 및 상기 애노드 배출물 냉각기 둘 다를 통과한 상기 스택으로부터 출력되는 애노드 배출물을 전환시키도록 구성되는,

연료 전지 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 스택, 상기 ATO, 상기 애노드 복열기 및 상기 애노드 배출물 냉각기를 수용하는 핫 박스(hotbox); 및

상기 배출물 도관 내의 애노드 배출물을 산화시키도록 구성된 배출물 산화기;

를 더 포함하고,

상기 배출물 산화기는 상기 핫 박스 외부에 배치되는,

연료 전지 시스템.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

내부 방사상 측벽 및 상기 ATO 내로 연장되는 외부 측벽을 갖는 환형 공간을 포함하는 ATO 주입기 - 상기 외부

측벽은 상기 ATO 주입기의 내부 공간을 상기 ATO의 내부 공간에 유체적으로 연결하는 하나 이상의 개구를 포함 -;

상기 ATO 도관을 상기 ATO 주입기의 내부 공간에 유체적으로 연결하고, 상기 연료 전지 시스템의 중앙 컬럼을 통해 상기 ATO 주입기로 연장되는 적어도 하나의 컬럼 도관;

상기 애노드 배출물을 신선한 연료와 혼합하도록 구성된 혼합기;

상기 애노드 복열기의 배출구를 상기 애노드 배출물 냉각기의 유입구에 유체적으로 연결하는 제 1 재순환 도관;

상기 애노드 배출물 냉각기의 배출구를 상기 혼합기에 유체적으로 연결하는 제 2 재순환 도관; 및

상기 제 2 재순환 도관에 동작가능하게 연결된 애노드 재순환 송풍기;

를 더 포함하는, 연료 전지 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 우회 도관은, 상기 제 2 재순환 도관을 통한 애노드 배출물 흐름 방향에 대해 상기 애노드 재순환 송풍기의 상류에서 상기 제 2 재순환 도관에 유체적으로 연결되고,

상기 ATO 도관은 상기 우회 도관에 유체적으로 연결되는,

연료 전지 시스템.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 우회 도관은, 상기 제 2 재순환 도관을 통한 애노드 배출물 흐름 방향에 대해 상기 애노드 재순환 송풍기의 하류에서 상기 제 2 재순환 도관에 유체적으로 연결되는,

연료 전지 시스템.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제 1 재순환 도관을 통해 흐르는 애노드 배출물의 일부를 전환시키도록 구성된 분배기(splitter)를 더 포함하고,

상기 ATO 도관은 상기 분배기를 상기 ATO 주입기에 유체적으로 연결하는,

연료 전지 시스템.

청구항 8

제 4 항에 있어서,

상기 우회 도관은 상기 제 1 재순환 도관에 유체적으로 연결되고,

상기 ATO 도관은 상기 우회 도관을 상기 ATO 주입기에 유체적으로 연결하는,

연료 전지 시스템.

청구항 9

제 2 항에 있어서,

상기 애노드 배출물 냉각기를 통해 상기 스택에 공기를 제공하도록 구성된 시스템 공기 송풍기;

상기 핫 박스 외부에 위치하고, 상기 ATO 도관을 통한 애노드 배출물 흐름을 제어하도록 구성된 ATO 밸브; 및

상기 우회 밸브, 상기 ATO 밸브 및 상기 시스템 공기 송풍기를 제어하도록 구성된 시스템 제어기;

를 더 포함하는, 연료 전지 시스템.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 시스템 제어기는:

상기 연료 전지 시스템의 시동 모드 동안, 상기 ATO 밸브를 개방하고 상기 우회 밸브를 폐쇄하도록 구성되고,

상기 연료 전지 스택이 정상 상태 동작 온도에 도달한 이후의 상기 연료 전지 시스템의 정상 상태 모드 동안, 상기 ATO 밸브를 폐쇄하고 상기 우회 밸브를 개방하도록 구성되는,

연료 전지 시스템.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 시스템 제어기는, 상기 스택을 상기 정상 상태 동작 온도로 유지하기 위해 상기 정상 상태 모드 동안 상기 시스템 공기 송풍기의 동작 속도를 점진적으로 감소시키도록 구성되는,

연료 전지 시스템.

청구항 12

제 3 항에 있어서,

상기 배출물 도관은 상기 배출물 산화기의 배출구를 열병합발전(Combined Heat and Power; CHP) 시스템에 유체 적으로 연결하는,

연료 전지 시스템.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 CHP 시스템은:

상기 배출물 도관에 의해 제공되는 배출물로부터 추출되는 열을 이용하여 고온의 물 또는 스팀을 생성하도록 구성된 열 교환기;

보일러;

터빈; 및

발전기;

를 포함하는,

연료 전지 시스템.

청구항 14

제 1 항에 있어서,
상기 스택은 고체 산화물 연료 전지 스택을 포함하는,
연료 전지 시스템.

청구항 15

연료 전지 시스템의 동작 방법으로서,
핫 박스 내에 위치하는 연료 전지들의 스택에 연료 및 공기를 제공하는 단계;
상기 스택을 동작시켜 애노드 배출물 및 캐소드 배출물을 생성하는 단계;
시동 모드에서, 제 1 양의 애노드 배출물 및 상기 캐소드 배출물을 상기 핫 박스 내에 위치하는 애노드 테일 가스 산화기(anode tail gas oxidizer; ATO)에 제공하여 상기 애노드 배출물을 산화시키고 상기 스택에 제공되는 열을 발생시키는 단계; 및
정상 상태 모드에서, 상기 애노드 배출물을 상기 ATO에 제공하는 것을 중지하거나 상기 제 1 양보다 적은 제 2 양의 애노드 배출물을 상기 ATO에 제공하고, 상기 애노드 배출물 및 상기 캐소드 배출물을 상기 핫 박스 외부에 제공하는 단계;
를 포함하는, 방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,
상기 스택을 미리 결정된 정상 상태 동작 온도로 유지하기 위해 상기 정상 상태 모드에서 상기 스택에 제공되는 공기의 유량을 감소시키는 단계;
를 더 포함하는, 방법.

청구항 17

제 15 항에 있어서,
상기 핫 박스 외부에 위치하는 배출물 산화기에서 상기 캐소드 배출물로 상기 애노드 배출물을 산화시키는 단계; 및
상기 정상 상태 모드 동안 상기 배출물 산화기로부터의 배출물을 열병합발전(combined heat and power; CHP) 시스템에 제공하는 단계;
를 더 포함하는, 방법.

청구항 18

제 15 항에 있어서,
미리 결정된 정상 상태 스택 동작 온도를 유지하기에 불충분한 전류가 상기 스택으로부터 인출되는 저-전류 인출 정상 상태 모드에서, 상기 애노드 테일 가스 산화기(ATO)에 상기 애노드 배출물을 제공하는 단계;

를 더 포함하는, 방법.

청구항 19

제 15 항에 있어서,

상기 정상 상태 모드에서, 상기 애노드 배출물은 상기 ATO에 제공되지 않는, 방법.

청구항 20

제 15 항에 있어서,

상기 정상 상태 모드에서, 제 2 양의 애노드 배출물이 상기 ATO에 제공되는, 방법.

청구항 21

연료 전지 시스템의 동작 방법으로서,

핫 박스 내에 위치하는 연료 전지들의 스택에 연료 및 공기를 제공하는 단계;

상기 스택을 동작시켜 애노드 배출물 및 캐소드 배출물을 생성하는 단계;

미리 결정된 정상 상태 스택 동작 온도를 유지하기에 불충분한 전류가 상기 스택으로부터 인출되는 저-전류 인출 정상 상태 모드에서, 제 1 양의 애노드 배출물 및 상기 캐소드 배출물을 상기 핫 박스 내에 위치하는 애노드 테일 가스 산화기(anode tail gas oxidizer; ATO)에 제공하여 상기 애노드 배출물을 산화시키고 상기 스택에 제공되는 열을 발생시키는 단계; 및

상기 미리 결정된 정상 상태 스택 동작 온도를 유지하기에 충분한 전류가 상기 스택으로부터 인출되는 일반 정상 상태 모드에서, 상기 애노드 배출물을 상기 ATO에 제공하는 것을 중지하거나 상기 제 1 양보다 적은 제 2 양의 애노드 배출물을 상기 ATO에 제공하고, 상기 애노드 배출물 및 상기 캐소드 배출물을 상기 핫 박스 외부에 제공하는 단계;

를 포함하는, 방법.

청구항 22

제 21 항에 있어서,

상기 핫 박스 외부에 위치하는 배출물 산화기에서 상기 캐소드 배출물로 상기 애노드 배출물을 산화시키는 단계; 및

상기 일반 정상 상태 모드 동안 상기 배출물 산화기로부터의 배출물을 열병합발전(combined heat and power; CHP) 시스템에 제공하는 단계;

를 더 포함하는, 방법.

청구항 23

제 21 항에 있어서,

상기 저-전류 인출 정상 상태 모드 동안, 상기 애노드 배출물 및 상기 캐소드 배출물을 상기 ATO에 제공하는 단

계는:

상기 ATO에 상기 캐소드 배출물을 지속적으로 제공하는 단계; 및

상기 ATO에 상기 애노드 배출물을 주기적으로 제공하는 단계;

를 포함하는,

방법.

청구항 24

제 21 항에 있어서,

상기 일반 정상 상태 모드에서, 상기 애노드 배출물은 상기 ATO에 제공되지 않는,

방법.

청구항 25

제 21 항에 있어서,

상기 일반 정상 상태 모드에서, 상기 제 2 양의 애노드 배출물이 상기 ATO에 제공되는,

방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 양상들은 연료 전지 시스템들 및 방법들에 관한 것으로, 특히 애노드 배출물 전환 구성 요소들을 포함하는 연료 전지 시스템들에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 고체 산화물 연료 전지와 같은 연료 전지는 연료에 저장된 에너지를 높은 효율로 전기 에너지로 변환할 수 있는 전기화학적 장치이다. 고온 연료 전지들은 고체 산화물 연료 전지 및 용융 탄산염 연료 전지를 포함한다. 이러한 연료 전지들은 수소 및/또는 탄화수소 연료를 사용하여 동작할 수 있다. 전기 에너지를 입력으로 사용하여, 산화된 연료가 산화되지 않은 연료로 다시 환원될 수 있도록 역 동작도 허용하는, 고체 산화물 재생 연료 전지와 같은 연료 전지의 부류들이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0003] 다양한 실시 예들에 따르면, 연료 전지 시스템은, 연료 전지들의 스택, 스택으로부터 출력되는 애노드 배출물을 산화시키도록 구성된 애노드 테일 가스 산화기(ATO), 연료 전지 시스템으로부터 애노드 배출물을 출력하도록 구성된 배출물 도관, 스택으로부터 출력되는 애노드 배출물을 배출물 도관으로 전환시키도록 구성된 우회 도관, 우회 도관을 통한 애노드 배출물 흐름을 제어하도록 구성된 우회 밸브, 및 애노드 배출물을 ATO에 제공하도록 구성된 ATO 도관을 포함한다.

[0004] 다양한 실시 예들에 따르면, 연료 전지 시스템의 동작 방법은, 핫 박스 내에 위치하는 연료 전지들의 스택에 연료 및 공기를 제공하는 단계, 스택을 동작시켜 애노드 배출물 및 캐소드 배출물을 생성하는 단계, 시동 모드에서, 제 1 양의 애노드 배출물 및 캐소드 배출물을 핫 박스 내에 위치하는 애노드 테일 가스 산화기(ATO)에 제공

하여 애노드 배출물을 산화시키고 스택에 제공되는 열을 발생시키는 단계, 및 정상 상태 모드에서, 애노드 배출물을 AT0에 제공하는 것을 중지하거나 제 1 양보다 적은 제 2 양의 애노드 배출물을 AT0에 제공하고, 애노드 배출물 및 캐소드 배출물을 핫 박스 외부에 제공하는 단계를 포함한다.

[0005]

다양한 실시 예들에 따르면, 연료 전지 시스템의 동작 방법은, 핫 박스 내에 위치하는 연료 전지들의 스택에 연료 및 공기를 제공하는 단계, 스택을 동작시켜 애노드 배출물 및 캐소드 배출물을 생성하는 단계, 미리 결정된 정상 상태 스택 동작 온도를 유지하기에 불충분한 전류가 스택으로부터 인출되는 저-전류 인출 정상 상태 모드에서, 제 1 양의 애노드 배출물 및 캐소드 배출물을 핫 박스 내에 위치하는 애노드 테일 가스 산화기(AT0)에 제공하여 애노드 배출물을 산화시키고 스택에 제공되는 열을 발생시키는 단계, 및 미리 결정된 정상 상태 스택 동작 온도를 유지하기에 충분한 전류가 스택으로부터 인출되는 일반 정상 상태 모드에서, 애노드 배출물을 AT0에 제공하는 것을 중지하거나 제 1 양보다 적은 제 2 양의 애노드 배출물을 AT0에 제공하고, 애노드 배출물 및 캐소드 배출물을 핫 박스 외부에 제공하는 단계를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0006]

본원에 통합되고 본 명세서의 일부를 구성하는 첨부된 도면들은 전술한 일반적인 설명 및 후술되는 상세한 설명과 함께 본 발명의 예시적인 실시 예들을 예시한다.

도 1은 본 개시 내용의 제 1 실시 예에 따른 고체 산화물 연료 전지(SOFC) 시스템의 개략도이다.

도 2는 본 개시 내용의 제 2 실시 예에 따른 SOFC 시스템의 개략도이다.

도 3은 본 개시 내용의 제 3 실시 예에 따른 SOFC 시스템의 개략도이다.

도 4는 도 1, 도 2 및/또는 도 3의 SOFC 시스템들에 포함될 수 있는 중앙 컬럼(101)의 일부의 단면도이다.

도 5는 본 개시 내용의 다양한 실시 예들에 따른 연료 전지 시스템에 연결되는 열병합발전(CHP) 시스템의 개략도이다.

도 6은 본 개시 내용의 다양한 실시 예들에 따른 SOFC 시스템의 이용 방법을 나타내는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0007]

다양한 실시 예들이 첨부된 도면들을 참조하여 상세히 설명될 것이다. 가능한 한, 도면 전체에 걸쳐 동일한 참조 번호를 사용하여 동일하거나 유사한 부품을 나타낼 것이다. 특정 예들 및 구현들에 대해 이루어진 참조들은 예시적인 목적들을 위한 것이며, 본 발명 또는 청구범위의 범위를 제한하도록 의도되지 않는다.

[0008]

고체 산화물 연료 전지(solid oxide fuel cell; SOFC) 시스템에서, 연료 유입 스트림(fuel inlet stream)은 물-가스 전환 반응 및 스팀 개질과 같은 연료 개질 반응을 용이하게 하기 위해 가습될 수 있다. 또한, 시스템 시동, 정지 및 전력 그리드 중단 이벤트 동안, 촉매와 같은 시스템 구성 요소의 코킹(coking)을 방지하기 위해 연료 유입 스트림에 물이 추가될 수 있다. 통상적으로, 이러한 가습은 주름진 튜브를 포함하는 스팀 발생기에서 물을 기화시킴으로써 수행된다. 물은 주름진 튜브를 통해 흐르고 튜브의 외부 주위를 흐르는 캐소드 복열기 열교환기 배출물 스트림(cathode recuperator heat exchanger exhaust stream)에 의해 가열된다. 그러나, 상대적으로 저온의 캐소드 복열기 배출물 스트림을 이용하는 것은 일반적으로 물을 기화시키기에 충분한 열을 흡수하기 위해 상당한 길이의 주름진 튜브를 필요로 한다. 또한, 스팀 발생기는 비교적 크고 부피가 크며, 이는 또한 시스템 크기, 복잡성 및 제조 비용을 증가시킨다.

[0009]

대조적으로, 본 개시 내용의 실시 예들은 물을 스팀으로 기화시키고/시키거나 물을 애노드 배출물 스트림에 연행되기에(entrained) 충분히 작은 액적으로 에어로졸화시키기 위한 열을 제공하는 애노드 배출물 재순환 스트림에 직접 물을 주입하도록 구성된 물 주입기를 제공한다. 애노드 배출물 재순환 스트림은 연료 전지 스택에 제공되는 연료 유입 스트림으로 재순환되어, 가습된 연료가 연료 전지 스택의 연료 전지에 제공된다. 따라서, 종래 기술의 스팀 발생기는 시스템의 크기, 복잡도 및 비용을 감소시키기 위해 생략될 수 있다. 또한, 실시 예의 시스템은 비교적 짧은 주름이 없는 물 도관을 이용하여 동작할 수 있으며, 이는 시스템 응답 시간을 개선시키고 시스템 크기 및 비용을 감소시킬 수 있다.

[0010]

도 1은 본 개시 내용의 제 1 실시 예에 따른 SOFC 시스템(10)을 개략적으로 나타낸 도면이다. 도 1을 참조하면, 시스템(10)은 핫 박스(hotbox; 100) 및 이의 내부에 배치되거나 이에 인접하게 배치되는 다양한 구성 요소들을 포함한다. 핫 박스(100)는, 교번하는 연료 전지들 및 인터커넥트들(interconnects)을 포함하는 고체 산화물 연

료 전지 스택과 같은 적어도 하나의 연료 전지 스택(fuel cell stack; 102)을 포함할 수 있다. 스택의 하나의 고체 산화물 연료 전지는 이트리아 안정화 지르코니아(yttria stabilized zirconia; YSZ), 스칸디아 안정화 지르코니아(scandia stabilized zirconia; SSZ), 스칸디아 및 세리아(ceria) 안정화 지르코니아 또는 스칸디아, 이트리아 및 세리아 안정화 지르코니아와 같은 세라믹 전해질, 니켈-YSZ, 니켈-SSZ 또는 니켈 도핑된 세리아 서멧(cermet)과 같은 애노드 전극, 및 란타넘 스트론튬 망가나이트(lanthanum strontium manganite; LSM)와 같은 캐소드 전극을 포함한다. 인터커넥트들은 크롬-철 합금 인터커넥트들과 같은 금속 합금 인터커넥트들일 수 있다. 스택들(102)은 복수의 컬럼들(columns)로 서로 포개져 배열될 수 있다.

[0011] 핫 박스(100)는 또한 애노드 복열기 열 교환기(anode recuperator heat exchanger; 110), 캐소드 복열기 열 교환기(cathode recuperator heat exchanger; 120), 애노드 테일 가스 산화기(anode tail gas oxidizer; ATO; 130), 애노드 배출물 냉각기 열 교환기(anode exhaust cooler heat exchanger; 140), 선택적 분배기(splitter; 170) 및 물 주입기(water injector; 160)를 포함할 수 있다. 시스템(10)은 또한 핫 박스(100)의 외부에 배치될 수 있는 촉매 부분 산화(catalytic partial oxidation; CPOx) 반응기(reactor; 200), 혼합기(mixer; 210), CPOx 송풍기(blower; 204)(예를 들어, 공기 송풍기), 시스템 송풍기(system blower; 208)(예를 들어, 공기 송풍기) 및 애노드 재순환 송풍기(anode recycle blower; 212)를 포함할 수 있다. 그러나, 본 개시 내용은 핫 박스(100)에 대한 구성 요소들 각각에 대한 임의의 특정 위치에 제한되지 않는다.

[0012] CPOx 반응기(200)는 연료 도관(fuel conduit; 300A)을 통해 연료 유입구(fuel inlet; 300)로부터 연료 유입 스트림(fuel inlet stream)을 공급받는다. 연료 유입구(300)는 CPOx 반응기(200)에 제공되는 연료의 양을 조절하기 위한 밸브를 포함하는 유틸리티 천연 가스 라인 또는 연료 탱크일 수 있다. CPOx 송풍기(204)는 시스템 시동 동안 CPOx 반응기(202)에 공기를 제공할 수 있다. 연료 및/또는 공기는 연료 도관(300B)에 의해 혼합기(210)에 제공될 수 있다. 연료는 연료 도관(300C)을 통해 혼합기(210)로부터 애노드 복열기(110)로 흐른다. 연료는 연료 배출물(fuel exhaust)에 의해 애노드 복열기(110)에서 가열되고, 이후 연료는 연료 도관(300D)을 통해 애노드 복열기(110)로부터 스택(102)으로 흐른다.

[0013] 시스템 송풍기(208)는 공기 도관(air conduit; 302A)을 통해 애노드 배출물 냉각기(140)에 공기 스트림(예를 들어, 공기 유입 스트림)을 제공하도록 구성될 수 있다. 공기는 공기 도관(302B)을 통해 애노드 배출물 냉각기(140)로부터 캐소드 복열기(120)로 흐른다. 공기는 캐소드 복열기(120)에서 ATO 배출물에 의해 가열된다. 공기는 공기 도관(302C)을 통해 캐소드 복열기(120)로부터 스택(102)으로 흐른다.

[0014] 스택(102)에서 생성된 애노드 배출물(예를 들어, 연료 배출물 스트림)은 애노드 배출물 도관(anode exhaust conduit; 308)을 통해 애노드 복열기(110)에 제공된다. 애노드 배출물은 미반응(unreacted) 연료를 함유할 수 있으며, 또한 본 명세서에서 연료 배출물(fuel exhaust)로 지칭될 수 있다. 애노드 배출물은, 제 1 재순환 도관(310A) 및 제 2 재순환 도관(310B)을 포함할 수 있는 재순환 도관(recycling conduit; 310)에 의해 애노드 복열기(110)로부터 혼합기(210)로 제공될 수 있다. 특히, 제 1 재순환 도관(310A)은 애노드 복열기(110)의 배출구(outlet)를 애노드 배출물 냉각기(140)의 유입구(inlet)에 유체적으로(fluidly) 연결할 수 있다. 제 2 재순환 도관(310B)은 애노드 배출물 냉각기(140)의 배출구를 혼합기(210)의 유입구에 유체적으로 연결할 수 있다.

[0015] 물은 물 도관(306)을 통해 물 탱크 또는 송수관과 같은 물 공급원(206)으로부터 물 주입기(160)로 흐른다. 물 주입기(160)는 제 1 재순환 도관(310A)을 흐르는 애노드 배출물에 물을 주입하도록 구성될 수 있다. 애노드 배출물(재순환되는 애노드 배출물 스트림이라고도 함)의 열은 물을 기화시켜 애노드 배출물을 가습시키는 스팀을 생성한다. 가습된 애노드 배출물은 애노드 배출물 냉각기(140)에 제공된다. 애노드 배출물 냉각기(140)에 제공되는 애노드 배출물로부터의 열은 시스템 송풍기(208)로부터 캐소드 복열기(120)로 제공되는 공기 유입 스트림에 전달될 수 있다. 이후, 냉각되고 가습된 애노드 배출물은 제 2 재순환 도관(310B)을 통해 애노드 배출물 냉각기(140)로부터 혼합기(210)로 제공될 수 있다. 애노드 재순환 송풍기(212)는 제 2 재순환 도관(310B)을 통해 애노드 배출물을 이동시키도록 구성될 수 있다.

[0016] 혼합기(210)는 가습된 애노드 배출물을 신선한 연료(즉, 연료 유입 스트림)와 혼합하도록 구성된다. 이러한 가습된 연료 혼합물은, 스택(102)에 제공되기 이전에, 애노드 배출물에 의해 애노드 복열기(110)에서 가열될 수 있다. 시스템(10)은 또한 애노드 복열기(110)의 내부 및/또는 하류(downstream)에 위치하는 하나 이상의 연료 개질 촉매(fuel reforming catalyst; 112, 114, 116)를 포함할 수 있다. 개질 촉매(들)는 스택(102)에 제공되기 이전에 가습된 연료 혼합물을 개질한다.

[0017] 분배기(170)는 제 1 재순환 도관(310A)에 동작가능하게(operatively) 연결될 수 있고, ATO 도관(312A)을 통해 애노드 배출물의 일부를 ATO(130)로 전환(divert)시키도록 구성될 수 있다. ATO 도관(312A)은 캐소드 배출물 도

관(304A) 또는 ATO(130)에 유체적으로 연결될 수 있다.

- [0018] 스택(102)에서 발생된 캐소드 배출물은 캐소드 배출물 도관(304A)에 의해 ATO(130)에 제공된다. 캐소드 배출물은 ATO(130)에 제공되기 이전 또는 이후에 애노드 배출물과 혼합될 수 있다. 애노드 배출물과 캐소드 배출물의 혼합물은 ATO(130)에서 산화되어 ATO 배출물을 생성할 수 있다. ATO 배출물은 캐소드 배출물 도관(304B)을 통해 ATO(130)로부터 캐소드 복열기(120)로 흐른다. 배출물은 캐소드 배출물 도관(304C)을 통해 캐소드 복열기(120)로부터 핫 박스(100) 외부로 흐른다.
- [0019] 시스템(10)은 시스템(10)의 다양한 요소들을 제어하도록 구성된 시스템 제어기(225)를 더 포함할 수 있다. 제어기(225)는 저장된 명령어들을 실행하도록 구성된 중앙 처리 유닛을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제어기(225)는 연료 조성 데이터에 따라, 시스템(10)을 통한 연료 및/또는 공기 흐름을 제어하도록 구성될 수 있다.
- [0020] 본 발명자들은 연료 전지 스택에 충분한 전기 부하가 인가되는 경우 정상 상태(steady-state) 동작 동안, 원하는 SOFC 스택(102) 정상 상태 동작 온도(예를 들어 700°C 초과와 온도, 예를 들어 750 내지 900°C)를 유지하기 위해 ATO 열 발생이 필요하지 않을 수 있다고 판단하였다. 그러나, 통상적인 시스템들에서, ATO는 이에 제공되는 애노드 배출물에 존재하는 일산화탄소를 산화시키기 위해 정상 상태 모드 동안 여전히 동작될 수 있다. 그러나, 이러한 산화는 정상 상태 동작에 필요하지 않을 수 있는 상당한 양의 열의 방출을 초래할 수 있다.
- [0021] 통상적으로, 이러한 ATO 열 방출을 보상하기 위해 시스템 송풍기(208)에 의해 제공되는 시스템 공기 흐름(즉, 공기 유입 스트림)의 유량(flow rate)이 증가될 수 있다. 그러나, 공기 유량이 증가함에 따라, 스택 내의 연료 전지들의 온도 범위도 증가할 수 있다. 예를 들어, 더 많은 공기 유량은 특정 연료 전지들이 최적 온도보다 낮은 온도에서 동작하게끔 하여 전체 전력 생산을 감소시킬 수 있다. 또한, 더 많은 공기 유량은 공기 흐름 경로를 따라 더 높은 압력 강하를 초래할 수도 있다. 더 많은 공기 유량 및 더 높은 압력 강하 둘 다는 플랜트(plant) 전력 소비의 전체 시스템 균형을 높이고 전체 시스템 효율을 낮출 수 있다.
- [0022] 통상적인 시스템들의 전술한 및/또는 기타의 문제점들을 고려하여, 본 개시 내용의 일부 실시 예들에서, 적어도 시스템의 정상 상태 동작 동안, 애노드 배출물은 ATO에 제공되는 대신에, 핫 박스(100)를 떠나는 캐소드 배출물과 혼합되거나 또는 대안적인 신선한 공기 스트림과 혼합될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 애노드 배출물에 남아있는 일산화탄소, 탄화수소 연료 및/또는 수소의 산화를 지원하기 위해 촉매가 사용된다. 수소 연료만을 사용하는 대안적인 실시 예의 시스템들에서, 원하는 경우 애노드 배출물은 핫 박스(100)로부터 직접 배출(vent)될 수 있다. 열병합발전(combined heat and power; CHP) 구성의 경우, 애노드 배출물은 CHP 열 교환기 상류(upstream)의 캐소드 배출물 도관으로 배출되어 CHP 열 교환기에서의 회수를 위한 열을 생성할 수 있다.
- [0023] 다시 도 1을 참조하면, SOFC 시스템(10)은 우회 도관(bypass conduit; 316), 우회 밸브(bypass valve; 320) 및 배출물 산화기(exhaust oxidizer; 330)를 포함할 수 있다. 우회 도관(316)은 제 2 재순환 도관(310B)을 캐소드 배출물 도관(304C)에 유체적으로 연결한다. 일부 실시 예들에서, 우회 도관(316)은, 캐소드 배출물 도관(304C)에 추가적인 배출물 흐름 압력을 제공하기 위해, 제 2 재순환 도관(310B)을 통한 애노드 배출물 흐름 방향에 대해 애노드 재순환 송풍기(212)의 하류에서 제 2 재순환 도관(310B)에 연결될 수 있다. 그러나, 다른 실시 예들에서, 우회 도관(316)은 애노드 재순환 송풍기(212)의 상류에서 제 2 재순환 도관(310B)에 유체적으로 연결될 수 있다.
- [0024] 배출물 산화기(330)는 ATO(130)로부터 출력되는 ATO 배출물 및/또는 우회 도관(316)으로부터 출력되는 애노드 배출물을 산화시키도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 배출물 산화기(330)는 이산화탄소 및/또는 물 각각으로의 일산화탄소 및/또는 수소의 산화를 촉진하는 촉매를 함유하는 튜브 또는 도관을 포함할 수 있다. 일 실시 예에서, 배출물 산화기(330)는 핫 박스(100)의 외부에 위치한다. 따라서, 배출물 산화기(330)에 의해 발생된 열은 SOFC 스택(102)을 가열하는데 사용되지 않는다.
- [0025] ATO 도관(312A)은 분배기(170)로부터 출력되는 애노드 배출물(예를 들어, ATO 연료 스트림)을 ATO(130)에 제공한다. 애노드 재순환 송풍기(212)의 속도를 제어함으로써 ATO 도관(312A)을 통한 분배기(170)로부터의 애노드 배출물 흐름이 제어될 수 있다. 예를 들어, 더 높은 애노드 재순환 송풍기(212) 속도는 ATO(130)로의 더 낮은 애노드 배출물 흐름을 초래할 수 있는 반면, 더 낮은 애노드 재순환 송풍기(212) 속도는 ATO(130)로의 더 높은 애노드 배출물 흐름을 초래할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 애노드 재순환 송풍기(212)의 속도는, ATO 도관(312A)을 통해 분배기(170) 내로 캐소드 배출물이 역류하는 것을 방지하기 위해 제한될 수 있다.
- [0026] 우회 밸브(320)는, 핫 박스(100) 내부의 고온에 노출되어 우회 밸브(320)가 손상되는 것을 방지하기 위해 핫 박스(100)의 외부에 위치할 수 있다. 우회 밸브(320)는 애노드 배출물 도관(310)으로부터 우회 도관(316)을 통한

애노드 배출물 흐름을 제어하도록 구성될 수 있다. 특히, 시스템(10)의 시동 동안, 애노드 배출물이 배출물 산화기(330) 및 캐소드 배출물 도관(304C)에 제공되지 않도록 우회 밸브(320)가 폐쇄될 수 있고, ATO 연료 스트림이 ATO(130)에 제공되도록 애노드 재순환 송풍기(212)는 핫 박스(100) 외부로 모든 애노드 배출물을 끌어당기지 않는 속도로 동작될 수 있다. 따라서, ATO(130)는 시스템(10)의 시동 모드 동안 동작하여 캐소드 배출물을 이용하여 애노드 배출물을 산화시키고, 열을 발생시킨다. ATO 열은 스택(102)이 이의 정상 상태 동작 온도(예를 들어 700℃ 초과)의 온도, 예를 들어 750 내지 900℃)에 도달하기 이전의 시동 모드 동안 스택(102)의 온도를 증가시키는 데 사용된다.

[0027] 대조적으로, 스택(102)이 이의 정상 상태 동작 온도(예를 들어 700℃ 초과)의 온도, 예를 들어 750 내지 900℃)에 도달한 이후의 정상 상태 동작 동안, 우회 밸브(320)가 개방되어, 적어도 애노드 배출물의 일부가 우회 도관(316)을 통해 캐소드 배출물 도관(304C) 및 배출물 산화기(330)에 제공될 수 있고, 캐소드 배출물의 역류를 방지하면서 도관(312A)을 통해 ATO(130)에 제공되는 애노드 배출물의 양을 최소화하도록 애노드 재순환 송풍기(212)의 속도/유량이 증가될 수 있다.

[0028] 따라서, 스택(102)으로부터 충분한 전류가 인출(draw)되는 경우(즉, 스택이 스택(102)에 특정한 임계 값 초과)의 전력을 출력하는 경우), 스택(102)은 원하는 정상 상태 동작 온도를 유지하기 위해 정상 상태 모드 동안 충분한 열을 발생시키며, 스택(102)은 ATO 열을 필요로 하지 않는다. 일부 실시 예들에서, 원하는 정상 상태 동작 온도를 유지하기에 불충분한 전류가 스택(102)으로부터 인출되는 저-전류 인출 정상 상태 모드(low current draw steady-state mode) 동안 및/또는 시동 모드(start-up mode) 동안 ATO(130)에 애노드 배출물이 제공된다.

[0029] 예를 들어, 시스템 제어기(225)가 스택(102)으로부터 인출된 전류가 원하는 정상 상태 동작 온도(즉, 임계 온도 값(예를 들어 700℃ 초과)의 온도, 예를 들어 750 내지 900℃) 초과)의 스택 동작 온도 값을 유지하는데 필요한 미리 결정된 임계 전류 값 아래로 떨어지는 것을 검출하면, 애노드 배출물의 일부가 ATO(130)에 제공되어 ATO(130)에서 열을 발생시킨다. ATO 열은 스택(102)에 제공되어 스택을 임계 온도 값 초과로 유지한다. 임계 전류 값은 스택 크기, 연료 전지 조성, 스택에 제공되는 연료 조성, 스택 열화의 누적 수준 등에 따라 달라진다. 일 실시 예에서, 임계 전류 값은 10 내지 30 암페어(Amp), 예를 들어 20 내지 25 암페어를 포함할 수 있다. 애노드 배출물은 저-전류 인출 정상 상태 모드 동안 배출물 산화기(330)에 제공될 수도 있고 제공되지 않을 수도 있다.

[0030] 일단 시스템 제어기(225)가 스택을 임계 온도 값 초과로 유지하는데 필요한 임계 전류 값 이상의 충분한 전류가 스택(102) 상에 인출되는 것을 검출하면, 시스템(10)은 저-전류 인출 정상 상태 모드를 종료하고 일반 정상 상태 모드(regular steady-state mode)로 진입한다. 일반 정상 상태 모드에서, 애노드 재순환 송풍기(212)를 통한 애노드 배출물의 유량이 증가되고, 최소량의 애노드 배출물이 ATO(130)에 제공된다. 예를 들어, 일반 정상 상태 모드 동안, 애노드 배출물의 대부분이 핫 박스(100)로부터 끌어내져 배출물 산화기(330)에 제공되고, ATO(130)에 애노드 배출물이 전혀 제공되지 않도록 또는 애노드 배출물의 소량(예를 들어 20 부피 퍼센트 미만, 예를 들어 1 내지 10 부피 퍼센트)만이 제공되도록, 애노드 재순환 송풍기(212)는 비교적 고속으로 동작될 수 있다.

[0031] 일 실시 예에서, 우회 밸브(320)는 우회 도관(316)을 통한 애노드 배출물 유량을 제어하도록 구성된 비례 밸브(proportionate valve)일 수 있다. 일부 실시 예들에서, 시동에서 정상 상태 동작으로의 천이 동안 및/또는 정상 상태 동작 동안, 시스템 제어기(225)는 우회 밸브(320)를 점진적으로 개방하고 애노드 재순환 송풍기(212)의 속도를 점진적으로 증가시키도록 구성될 수 있다. 또한, 시스템 제어기(225)는 ATO(130)의 열 출력의 감소를 보상하기 위해 시스템 송풍기(208)의 속도를 점진적으로 감소시키도록 구성될 수 있다.

[0032] 배출물 산화기(330)는 산화 반응에 의해 발생하는 열이 시스템 구성 요소들을 불필요하게 가열하지 않도록 핫 박스(100)의 외부에 배치될 수 있다. 결과적으로, 전체 시스템 공기 흐름이 감소될 수 있다. 특히, 시스템 공기 송풍기(208)는, 정상 상태 동작 동안 애노드 배출물이 ATO(130)에 제공되었던 경우와 비교하여 더 낮은 속도로 동작될 수 있다. 다시 말해, 시스템 송풍기(208)의 정상 상태 전력 소모가 현저히 감소될 수 있다. 또한, 전지 간(cell-to-cell) 온도 변화가 감소될 수 있어, 전지 전압 및 효율이 증가될 수 있다.

[0033] 일부 실시 예들에서, 시스템(10)은 캐소드 배출물 도관(304C) 또는 시스템 배출물 도관(332)에 캐비닛 공기(cabinet air)를 제공하도록 구성된 캐비닛 공기 송풍기(209)를 선택적으로 포함할 수 있다. 특히, 냉각기 시스템 배출이 필요한 실시 예들에서, 시스템(10)은 캐비닛 내에 배치될 수 있고, 캐비닛 공기 송풍기(209)는 시스템(10)으로부터 출력되는 배출물을 냉각시키기 위해 캐비닛 공기를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0034] 다양한 다른 실시 예들에서, 시스템(10)은, 도 5와 관련하여 후술되는 바와 같이, 배출물 산화기(330)로부터 출

력되는 배출물을 열병합발전(CHP) 시스템(400)에 제공하도록 구성된 시스템 배출물 도관(332)을 포함할 수 있다. 도 1에 도시된 일 실시 예에서, 배출물 온도를 감소시키기 위해 캐비닛 공기 송풍기(209)에 의해 캐소드 배출물 도관(304C)으로 추가 공기가 제공될 수 있다.

- [0035] 일부 실시 예들에서, 시동 및 정상 상태 동작 모드들 동안 일부 애노드 배출물이 ATO(130)에 제공될 수 있다. 도 2 및 도 3에 도시된 다른 실시 예들에서, 분배기(170) 및 ATO 도관(312A)은 생략될 수 있다. 이러한 실시 예들에서, 어떠한 동작 모드 동안에도, 핫 박스(100) 내로부터 ATO(130)에 직접적으로 애노드 배출물이 제공되지 않는다.
- [0036] 도 2는 본 개시 내용의 제 2 실시 예에 따른 SOFC 시스템(12)을 개략적으로 나타낸 도면이다. SOFC 시스템(12)은 도 1의 SOFC 시스템(10)과 유사하다. 따라서, 이들 간의 차이점만이 상세히 논의될 것이다.
- [0037] 도 2를 참조하면, SOFC 시스템(12)은 우회 도관(316A), ATO 도관(312B) 및 ATO 밸브(324)를 포함할 수 있다. 우회 도관(316A)은 애노드 재순환 송풍기(212)의 상류에서 제 2 재순환 도관(310B)을 캐소드 배출물 도관(304C)에 유체적으로 연결할 수 있다. 그러나, 다른 실시 예들에서, 더 높은 애노드 배출물 유량이 필요한 경우, 우회 도관(316A)은 애노드 재순환 송풍기(212)의 하류에서 제 2 재순환 도관(310B)에 연결될 수 있다. ATO 도관(312B)은 우회 도관(316)을 ATO(130)에 유체적으로 연결할 수 있다.
- [0038] 우회 밸브(320)는 우회 도관(316A)을 통한 애노드 배출물 흐름을 제어하도록 구성될 수 있고, ATO 밸브(324)는 ATO 도관(312B)을 통한 ATO(130)로의 애노드 배출물(예를 들어, ATO 연료 스트림) 흐름을 제어하도록 구성될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 밸브들(320 및 324)은 각각의 도관들(316A 및 312B)을 통해 다양한 유량을 제공하도록 구성된 비례 밸브들일 수 있다. 특히, 시스템 시동 동안, ATO(130)에는 애노드 배출물이 제공되고 캐소드 배출물 도관(304C) 및 배출물 산화기(330)에는 애노드 배출물이 제공되지 않도록, 시스템 제어기(225)에 의해 우회 밸브(320)는 폐쇄될 수 있고 ATO 밸브(324)는 개방될 수 있다.
- [0039] 정상 상태 동작 동안, 제 2 재순환 도관(310B) 내의 애노드 배출물의 일부가 캐소드 배출물 도관(304C)으로 전환되어 배출물 산화기(330)에 제공되고, 애노드 배출물이 ATO 도관(312B)을 통해 ATO(130)에 제공되지 않도록, 시스템 제어기(225)에 의해 우회 밸브(320)는 개방될 수 있고 ATO 밸브(324)는 폐쇄될 수 있다.
- [0040] 일부 실시 예들에서, 시동에서 정상 상태 동작으로의 천이 동안 및/또는 정상 상태 동작 동안, 시스템 제어기(225)는 우회 밸브(320)를 점진적으로 개방하고 ATO 밸브(324)를 점진적으로 폐쇄하도록 구성될 수 있다. 또한, ATO 연료 스트림이 감소됨에 따라 및/또는 ATO 연료 스트림이 정지된 이후에, 시스템 제어기(225)는 ATO(130)의 열 출력의 감소를 보상하기 위해 시스템 송풍기(208)의 속도를 점진적으로 감소시키도록 구성될 수 있다.
- [0041] 도 3은 본 개시 내용의 제 3 실시 예에 따른 SOFC 시스템(14)을 개략적으로 나타낸 도면이다. SOFC 시스템(14)은 도 2의 SOFC 시스템(12)과 유사하다. 따라서, 이들 간의 차이점만이 상세히 논의될 것이다.
- [0042] 도 3을 참조하면, SOFC 시스템(14)은 제 1 재순환 도관(310A)을 캐소드 배출물 도관(304C)에 유체적으로 연결하는 우회 도관(316B)을 포함할 수 있다. 즉, 우회 도관(316B)은, 애노드 배출물의 일부가 애노드 배출물 냉각기(140)의 상류에서 배출물 산화기(330)로 전환되도록, 애노드 복열기(110)로부터 애노드 배출물 냉각기(140)로 흐르는 애노드 배출물을 캐소드 배출물 도관(304C)으로 전환시키도록 구성될 수 있다. 선택적인 ATO 도관(312B)은 우회 도관(316B)을 ATO(130)에 유체적으로 연결한다.
- [0043] 우회 밸브(320)는 우회 도관(316B)을 통한 애노드 배출물 흐름을 제어하도록 구성될 수 있고, ATO 밸브(324)는 ATO 도관(312B)을 통한 ATO(130)로의 애노드 배출물 흐름을 제어하도록 구성될 수 있다. 특히, 시스템 시동 동안, ATO(130)에는 애노드 배출물이 제공되고 캐소드 배출물 도관(304C) 및 배출물 산화기(330)에는 애노드 배출물이 제공되지 않도록, 시스템 제어기(225)에 의해 우회 밸브(320)는 폐쇄될 수 있고 ATO 밸브(324)는 개방될 수 있다. 정상 상태 동작 동안, 배출물 산화기(330)에는 애노드 배출물이 제공되고 ATO(130)에는 애노드 배출물이 제공되지 않도록, 시스템 제어기(225)에 의해 우회 밸브(320)는 개방될 수 있고 ATO 밸브(324)는 폐쇄될 수 있다.
- [0044] 일부 실시 예들에서, 시동에서 정상 상태 동작으로의 천이 동안 및/또는 정상 상태 동작 동안, 시스템 제어기(225)는 우회 밸브(320)를 점진적으로 개방하고 ATO 밸브(324)를 점진적으로 폐쇄하도록 구성될 수 있다. 또한, ATO 연료 스트림이 감소됨에 따라 및/또는 ATO 연료 스트림이 정지된 이후에, 시스템 제어기(225)는 ATO(130)의 열 출력의 감소를 보상하기 위해 시스템 송풍기(208)의 속도를 점진적으로 감소시키도록 구성될 수 있다.
- [0045] 도 4는 SOFC 시스템들(10, 12 및/또는 14)에 포함될 수 있는 중앙 컬럼(101)의 일부의 단면도이다. 도 1 내지

도 4를 참조하면, 중앙 컬럼(central column; 101)은 애노드 복열기(110), ATO(130) 및 애노드 배출물 냉각기(140)를 포함할 수 있다. 애노드 복열기(110)는 중앙 컬럼(101)의 코어에 위치한다. ATO(130)는 애노드 복열기(110)를 둘러싸는 ATO 촉매를 포함하는 도넛형 매니폴드(toroidal manifold)를 포함할 수 있다. 애노드 배출물 냉각기(140)는 애노드 복열기(110) 및 ATO(130) 위에 위치할 수 있다. 연료 전지 스택들(102)은 ATO(130)를 둘러쌀 수 있고, 캐소드 복열기(120)는 연료 전지 스택들(102)을 둘러쌀 수 있다.

[0046] 전술한 ATO 도관들(312A, 312B, 312C) 중 임의의 것일 수 있는 ATO 도관(312)은, 중앙 컬럼(101)의 상단으로부터 ATO 주입기(ATO injector; 172)로 연장되는 2개 이상의 컬럼 도관들(예를 들어, 2개 내지 6개의 매니폴드들의 파이프들)(314)으로 구획될(divided) 수 있다. ATO 주입기(172)는 컬럼 도관들(314)의 배출구들에 연결된 내부 방사상(radial) 측벽(174) 및 ATO(130)의 상단으로 돌출되는 외부 측벽(176)을 갖는 환형 공간을 포함할 수 있다. 일 실시 예에서, 외부 측벽(176)은 테이퍼형(tapered) 상단 및 하단 섹션들로부터 방사상 외측으로 돌출되는 중간 섹션을 갖는 곡선형 수직 프로파일을 가질 수 있다. 외부 측벽(176)은 중간 섹션에 위치하는 슬릿들과 같은 하나 이상의 개구(178)를 포함한다. 개구들(178)은 ATO 주입기(172)의 내부 공간을 ATO(130)의 내부 공간에 유체적으로 연결한다. 특히, 도 4에서 점선 화살표들로 나타낸 바와 같이, 컬럼 도관들(314)은 ATO 주입기(172)의 개구들(178)을 통해 ATO 도관(312)으로부터 ATO(130)로 복수의 애노드 배출물 스트림들을 제공하도록 구성될 수 있다. 애노드 배출물 스트림을 ATO 주입기에서 복수의 애노드 배출물 스트림들로 방사상 분리하는 것은, ATO(130)에서 애노드 배출물의 방사상 흐름 및 혼합을 개선한다.

[0047] 다시 도 1 내지 도 3을 참조하면, 제 1 내지 제 3 실시 예들에 따르면, SOFC 시스템들(10, 12, 14)이 수소를 연료 공급원으로서 이용하여 동작되는 경우, 배출물 산화기(330)는 생략될 수 있다. 도 1에 도시된 일 실시 예에서, 배출물 산화기(330)가 생략되는 경우, 배출물 온도를 감소시키기 위해 캐비닛 공기 송풍기(209)에 의해 캐소드 배출물 도관(304C)에 추가적인 공기가 제공될 수 있다.

[0048] 다양한 실시 예들에서, 배출물 산화기(330)는, 그 전체가 참조로서 본원에 통합되는 2021년 07월 12일에 출원된 미국 가특허 출원 제 63/220,659호에 기재된 바와 같은 산화 촉매(oxidation catalyst)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 산화 촉매는 금(Au)과 같은 D-블록 금속 및/또는 백금(Pt), 팔라듐(Pd), 로듐(Rh), 이리듐(Ir), 오스뮴(Os), 루테튬(Ru)과 같은 하나 이상의 백금족 금속, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 일부 실시 예들에서, Au, Pt, Pd 및 Rh는 가장 높은 촉매 활성을 나타낼 수 있다. 일부 실시 예들에서, 산화 촉매는 예를 들어 망가니즈(Mn), 철(Fe), 코발트(Co), 니켈(Ni) 및/또는 구리(Cu)와 같은 다른 금속으로 안정화된 백금족 금속 및/또는 Au를 포함할 수 있다.

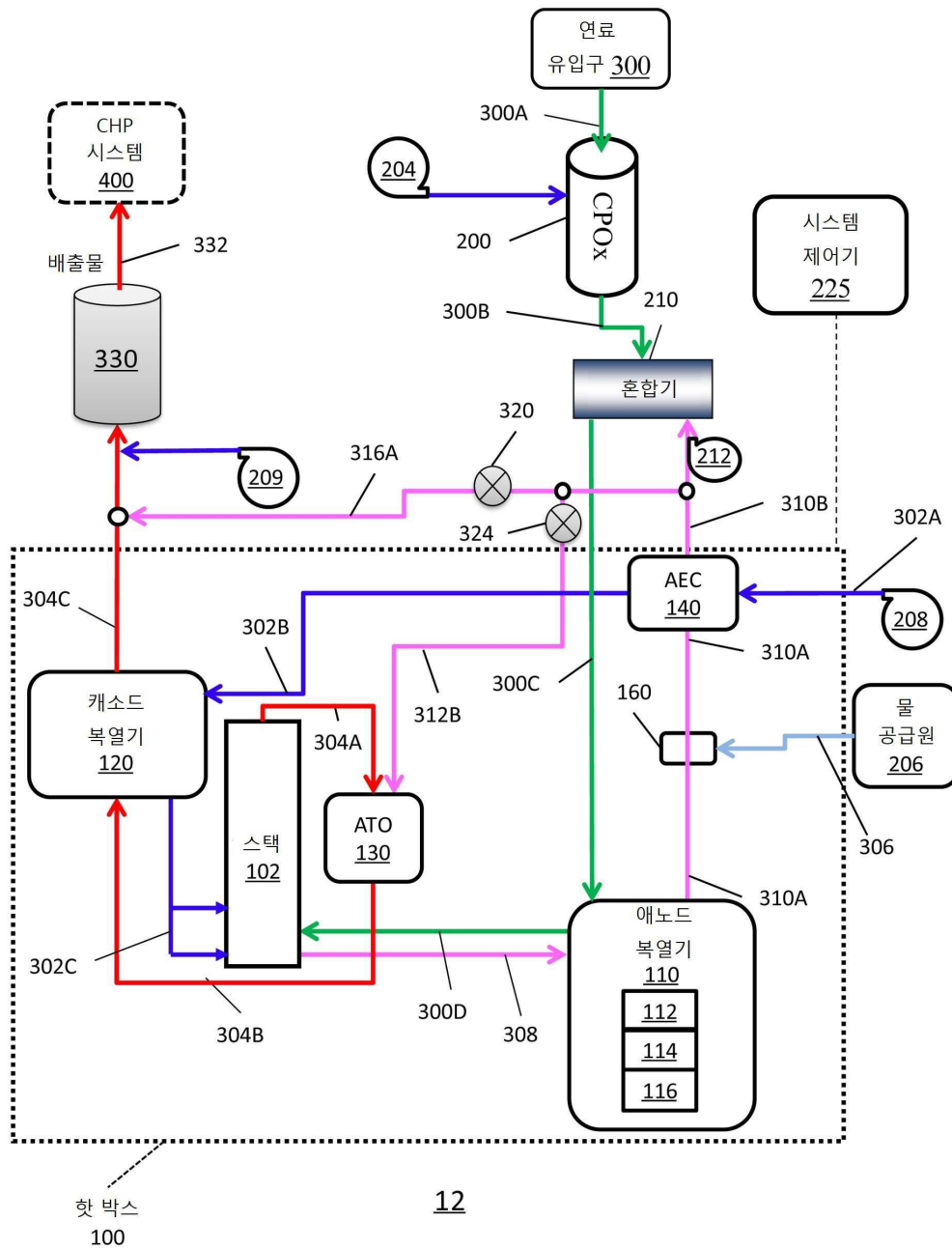
[0049] 다양한 실시 예들에서, 애노드 배출물은, 애노드 복열기(110)로부터 애노드 배출물 냉각기(140)로 흐르는 애노드 배출물 스트림으로부터, 또는 애노드 배출물 냉각기(140)로부터 출력되는 애노드 배출물 스트림으로부터 전환될 수 있고, 핫 박스(100)의 외부에 배치된 배출물 산화기(330)로 제공될 수 있다. ATO(130)로의 애노드 배출물 흐름은 ATO(130) 열 발생을 감소시키기 위해 정상 상태 동작 동안 감소 및/또는 차단될 수 있고, 시스템 공기 흐름은 이에 대응되게 감소될 수 있다. 이에 따라, 전체적인 시스템 온도 균일성 및 성능이 향상될 수 있다.

[0050] 일부 실시 예들에서, SOFC 시스템들(10, 12, 14)은 저-전류 부하 조건들 하에서 또는 전류 부하 조건들의 과도 상태(transient)에 응답하여 (예를 들어, 정상 상태 모드에서) 동작될 수 있고, 이에 따라 스택 동작 온도를 유지하기 위해 추가적인 열이 필요할 수 있다. 이러한 조건들에서, 애노드 배출물은 ATO(130)에 주기적으로 공급되어 핫 박스(100) 내의 온도를 주기적으로 증가시킬 수 있다. 예를 들어, 애노드 배출물은, 1분당 5 내지 20초, 매 10분마다 30초 내지 3분, 1시간당 5분 내지 15분 등과 같은, 스택 동작 온도를 유지하는 데 필요한 추가 가열량에 기초하는 스케줄에 따라 ATO에 공급될 수 있다. 이러한 실시 예들에서, 애노드 배출물의 일부가 ATO(130)에 제공되도록 정상 상태 모드 동안 밸브(320)는 주기적으로 폐쇄될 수 있고/있거나 밸브(324)(존재하는 경우)는 주기적으로 개방될 수 있다. 도관(312A 또는 312B)을 통해 ATO에 애노드 배출물이 제공된 이후, 밸브(320)는 개방될 수 있고/있거나 밸브(324)(존재하는 경우)는 폐쇄될 수 있다. 밸브(들)(320 및/또는 324)를 개방하고 폐쇄하는 이러한 단계들은 주기적으로 반복될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 애노드 재순환 송풍기(212)의 속도/유량은 ATO(130)에 제공되는 애노드 배출물의 양을 제어하기 위해 주기적으로 변할 수 있다. 예를 들어, ATO(130)에 제공되는 애노드 배출물의 양을 제공하거나 증가시키기 위해 제 1 시간 주기 동안 속도가 감소될 수 있다. 이후, ATO(130)로 흐르는 애노드 배출물의 양을 중지하거나 감소시키기 위해 제 2 시간 주기 동안 속도가 증가될 수 있다. 전술한 단계들은 낮은 출력 전류 또는 전류 과도 상태에 응답하여 주기적으로 반복될 수 있다. 낮은 출력 전류 또는 전류 과도 상태는 스택에 의해 출력되는 전류를 측정함으로써 및/또는 열전대(thermocouple) 또는 기타의 적절한 온도 센서를 이용하여 스택의 온도를 측정함으로써 검출될 수 있다.

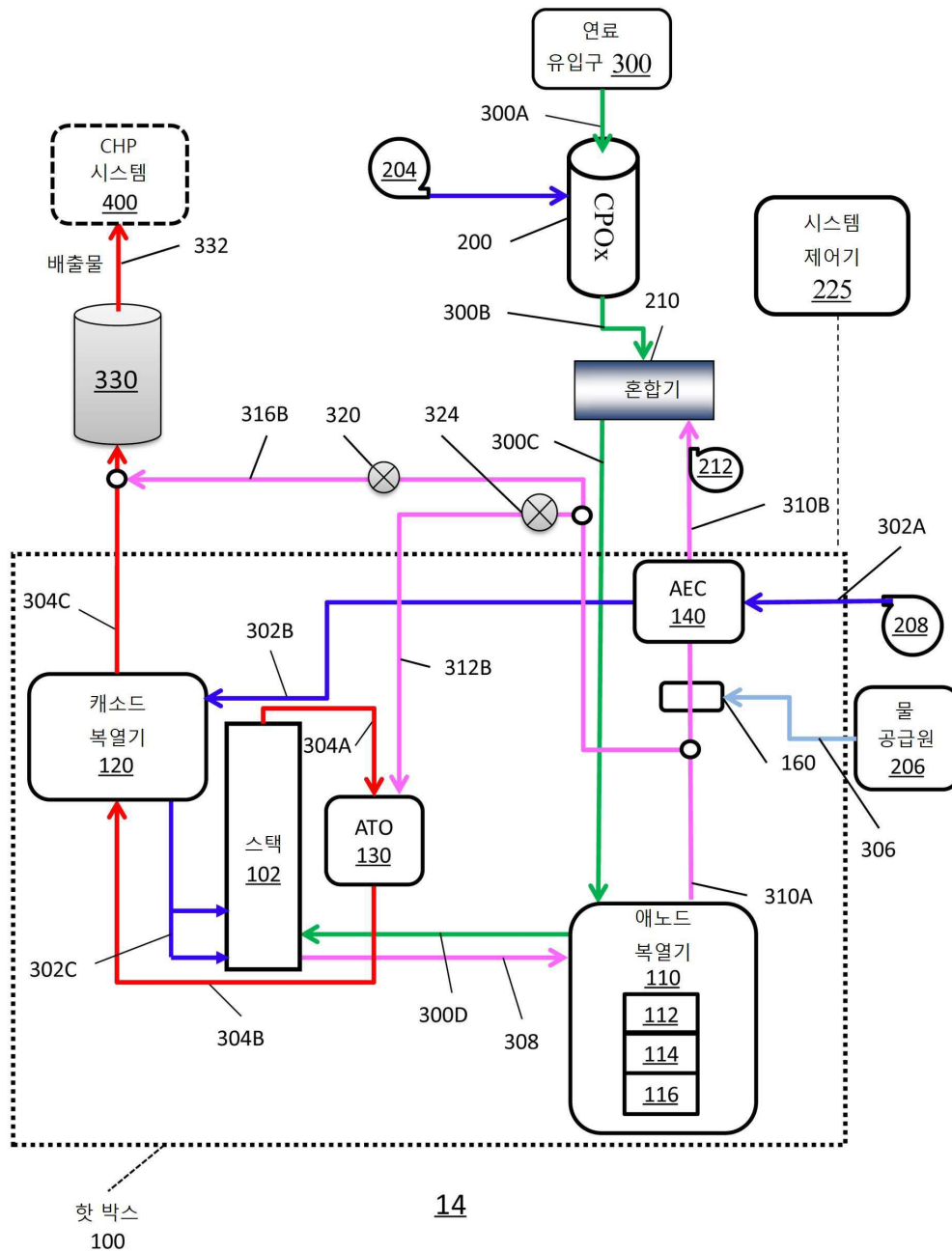
- [0051] 도 5는 본 개시 내용의 다양한 실시 예들에 따른 CHP 시스템(400)의 개략도이다. 도 5를 참조하면, CHP 시스템(400)은 열 교환기(heat exchanger; 410), 보일러(boiler; 420), 스팀 터빈(steam turbine; 422) 및 발전기(generator; 424)를 포함할 수 있다. 보일러(420)는 터빈(422)을 동작시키기 위한 스팀을 제공하고, 터빈(422)은 전기를 생성하기 위해 발전기(424)를 회전시킨다.
- [0052] 열 교환기(410)는 전술한 바와 같이, SOFC 시스템(10, 12 또는 14)의 도관(332)을 통해 배출물 산화기(330)로부터 출력되는 고온의 배출물 스트림 및 물 유입 도관(412)으로부터의 물을 공급받도록 구성될 수 있다. 특히, 열 교환기(410)는 물 유입 도관(412)으로부터 제공되는 물을 가열하여 스팀 및/또는 고온의 물을 생성하기 위해, 배출물 스트림으로부터 열을 추출하도록 구성될 수 있다. 가열된 물(또는 가열된 물과 스팀의 혼합물)은 보일러(420)에 제공될 수 있다. 대안적으로, 완전히 기화된(그리고 아마도 과열된) 스팀 스트림이 터빈(422)에 제공될 수 있다. 고온의 배출물 스트림은 열 교환기(410)에서 냉각되고, 배출 도관(414)을 통해 열 교환기(410)로부터 배출된다. 따라서, 열 교환기(410)는, SOFC 시스템으로부터 출력되는 열을 활용함으로써, 발전기(424)로부터 출력되는 주어진 전력량에 대해 보일러(420)의 연료 소비를 줄일 수 있다.
- [0053] 보일러(420)에는, 보일러에서 물을 끓여 보일러(420)로부터 스팀 터빈(422)으로 스팀을 제공하기 위한 추가적인 물 및 연료가 제공될 수 있다. 스팀 및/또는 고온의 물은 스팀 터빈(422)으로부터 구조물(432)(예를 들어, 공장과 같은 시설 또는 건물)의 냉각 또는 가열 시스템(430)으로 제공될 수 있다. 발전기(424)에 의해 생성되는 전기는 구조물(432) 및/또는 전력 그리드(434)에 제공된다. 일부 실시 예들에서, 스팀 과열기(superheater; 421)는 보일러(420)와 스팀 터빈(422) 사이에 유체적으로 연결될 수 있다. 스팀 과열기(421)는 보일러 연료를 연소시켜 발생하는 연소 배출물로부터 열을 추출하여 보일러(420)로부터 출력되는 스팀을 과열시키도록 구성될 수 있다.
- [0054] 도 6은 본 개시 내용의 다양한 실시 예들에 따른 연료 전지 시스템의 동작 방법의 단계들을 도시한 흐름도이다. 본 방법은 본 명세서에 개시된 연료 전지 시스템(10, 12, 14) 중 임의의 것과 관련하여 기술된 바와 같은 구성 요소들을 포함할 수 있는 일반적인 SOFC 시스템에 관하여 기술된다.
- [0055] 도 1 내지 도 6을 참조하면, 단계(502)에서, SOFC 시스템은 시동 모드에서 동작한다. 특히, 연료는 연료 유입구(300)로부터 스택(102)으로 제공될 수 있고, 공기는 시스템 공기 송풍기(208)에 의해 스택으로 제공될 수 있다. 또한, 스택(102)에 의해 생성되는 애노드 및 캐소드 배출물이 산화를 위해 ATO(130)에 제공될 수 있으며, 이는 스택(102)의 온도를 상승시키기 위한 열을 제공할 수 있다.
- [0056] 예를 들어, 애노드 재순환 송풍기(212)의 속도는 감소될 수 있고/있거나 ATO 밸브(324)는 개방되어 각각의 ATO 도관(312A 또는 312B)을 통해 ATO(130)에 애노드 배출물이 제공될 수 있다. 또한, 우회 밸브(320)는 애노드 배출물이 우회 도관(316)을 통해 흐르지 않도록 폐쇄될 수 있다. 일부 실시 예들에서, CPOx 반응기(200)는 시동 모드 동안 연료를 부분적으로 개질하도록 동작될 수 있다.
- [0057] 일단 스택(102)이 설정된 정상 상태 동작 온도에 도달하면, SOFC 시스템은 정상 상태 모드로 천이할 수 있다. 특히, 단계(504)에서, ATO(130)로의 애노드 배출물 흐름은 중지되거나 감소될 수 있다. 예를 들어, 애노드 재순환 송풍기(212)의 속도는 증가될 수 있고/있거나 ATO 밸브(324)는 폐쇄되어 각각의 ATO 도관(312A 또는 312B)을 통한 ATO(130)로의 애노드 배출물 흐름이 중지될 수 있다.
- [0058] 단계(506)에서, 스택(102)에 의해 생성되는 애노드 배출물의 일부는, 애노드 배출물과 캐소드 배출물의 혼합물이 반응하여 일산화탄소 및/또는 수소를 산화시키는 배출물 산화기(330)로 전환될 수 있다. 예를 들어, 우회 밸브(320)가 개방되어 애노드 배출물의 일부가 배출물 산화기(330)로 전환될 수 있다. 예를 들어, 애노드 배출물은 애노드 배출물 냉각기(140)의 상류 또는 하류에서 도관(310A 또는 310B)으로부터 전환될 수 있다.
- [0059] 애노드 배출물은 ATO 밸브(324)를 폐쇄함으로써 전환될 수 있고, 스택(102)에 의해 생성되는 애노드 배출물의 일부는 캐소드 배출물을 산화시키기 위해 배출물 산화기(330)로 전환될 수 있다. 예를 들어, 우회 밸브(320)가 개방되어, 애노드 배출물의 일부가 우회 도관(316, 316A 또는 316B)을 통해 도관(310A 또는 310B)으로부터 배출물 산화기(330)로 전환될 수 있다. 다양한 실시 예들에서, 정상 상태 동작 동안 배출물 산화기(330)로의 애노드 배출물의 유량은 시동 동작 동안 ATO(130)로의 애노드 배출물 유량보다 작을 수 있다.
- [0060] 단계(508)에서, SOFC 시스템의 온도 변화에 기초하여 시스템의 공기 유량이 선택적으로 조절될 수 있다. 예를 들어, 시스템 공기 송풍기(208)의 속도는 스택(102)의 온도에 기초하여 조절될 수 있다. 특히, ATO(130)의 열 출력의 감소로 인해 스택(102)의 온도가 감소되면, 이에 대응하여 시스템 공기 송풍기(208)의 공기 유량이 감소될 수 있다.

- [0061] 일부 실시 예들에서, 단계(510)에서, 방법은 배출물 산화기(330)로부터 출력되는 배출물을 열병합발전(CHP) 시스템(400)에 제공하는 단계를 선택적으로 포함할 수 있다. 예를 들어, 스팀 및/또는 고온의 물을 생성하기 위해 열 교환기(410)에 배출물이 제공될 수 있다.
- [0062] 일부 실시 예들에서, 방법은 SOFC 시스템을 저-전류 인출 정상 상태 모드에서 동작시키는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 스택에 인가되는 전류 부하가 미리 결정된 정상 상태 스택 동작 온도를 유지하기에 불충분한 경우, 단계(504)는 스택(102)에 공급되는 열을 발생시키기 위해 ATO(130)에 애노드 배출물을 주기적으로 제공하여 스택(102)의 온도가 선택된 동작 온도 범위 내에서 유지될 수 있도록 하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 애노드 배출물은 ATO에 주기적으로 제공될 수 있고, 여기서 애노드 배출물은 ATO(130)에 지속적으로 제공될 수 있는 캐소드 배출물과 혼합된다. 예를 들어, 애노드 배출물은 스케줄에 따라 제공될 수 있으며, 이 스케줄은 스택(102)을 특정 동작 온도 또는 온도 범위로 유지하기 위해 필요한 가열량에 기초할 수 있다. 예를 들어, 애노드 배출물은 Y의 시간 주기 동안 X분 동안 제공될 수 있으며, 여기서 X는 약 10초 내지 약 5분, 예를 들어 약 30초 내지 약 3분의 범위일 수 있고, Y는 약 5분 내지 약 1시간, 예를 들어 약 10분 내지 약 30분의 범위일 수 있다.
- [0063] 따라서, 미리 결정된 정상 상태 스택 동작 온도를 유지하기에 불충분한 전류가 스택으로부터 인출되는 저-전류 인출 정상 상태 모드 및/또는 시동 모드에서, 제 1 양(예를 들어, 제 1 부피 또는 유량)의 애노드 배출물 및 캐소드 배출물이, 애노드 배출물을 산화시키고 스택(120)에 제공되는 열을 발생시키기 위해 핫 박스(100)에 위치한 ATO(130)에 제공된다. 대조적으로, 미리 결정된 정상 상태 스택 동작 온도를 유지하기에 충분한 전류가 스택으로부터 인출되는 일반 정상 상태 모드에서, ATO로의 애노드 배출물 흐름이 중지되거나, 또는 제 1 양보다 적은 제 2 양(예를 들어, 제 2 부피 또는 유량)의 애노드 배출물이 ATO(130)에 제공되고, 캐소드 배출물 및 애노드 배출물의 다른 부분(즉, 양)이 핫 박스(100) 외부에 위치한 배출물 산화기(330)에 제공된다.
- [0064] 개시된 양상들에 대한 전술한 설명은 당업자가 본 발명을 만들거나 이용할 수 있게끔 하기 위해 제공된다. 이러한 양상들에 대한 다양한 변형들은 당업자들에게 용이하게 명백할 것이며, 본 명세서에 정의된 일반적인 원리들은 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 다른 양상들에 적용될 수 있다. 따라서, 본 발명은 본 명세서에 나타난 양상들로 제한되는 것이 아니라, 본 명세서에 개시된 원리들 및 신규 특징들과 일치되는 가장 넓은 범위를 갖도록 의도된다.

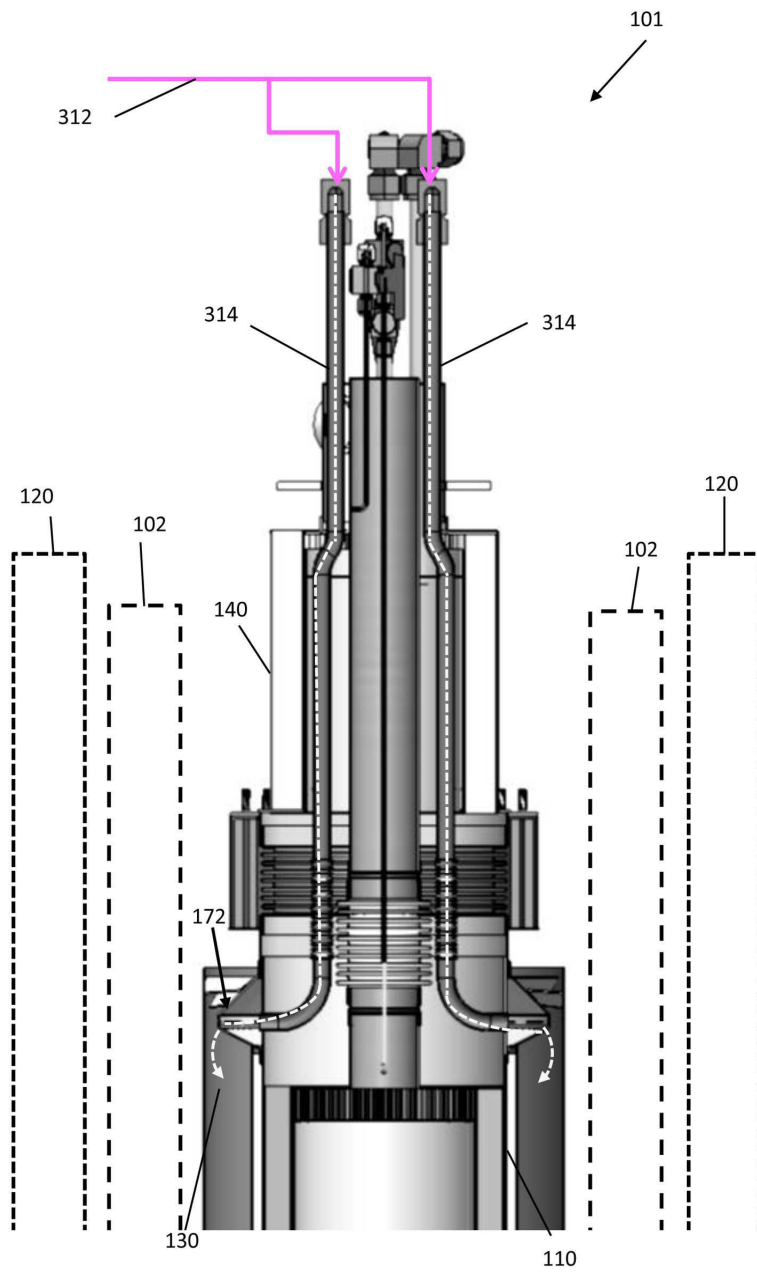
도면2



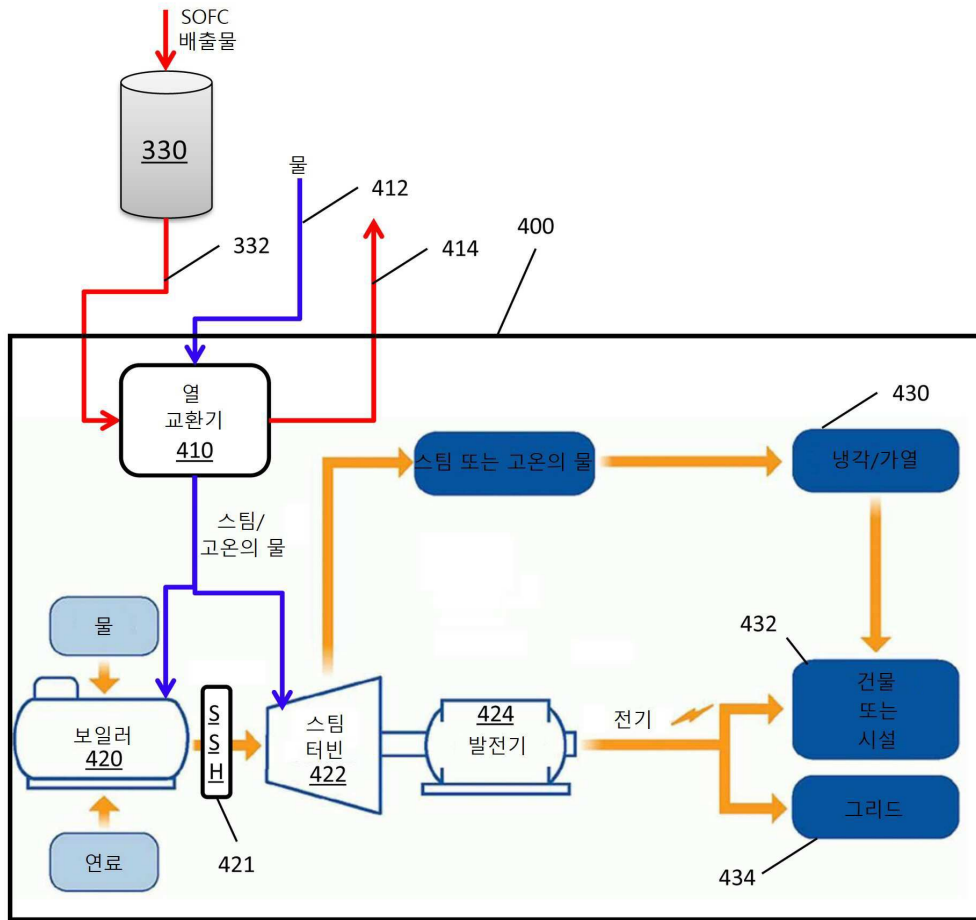
도면3



도면4



도면5



도면6

