



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년03월31일
(11) 등록번호 10-1379110
(24) 등록일자 2014년03월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F01K 25/08 (2006.01) F01K 27/00 (2006.01)
F01K 19/04 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2009-7014634
(22) 출원일자(국제) 2007년12월17일
심사청구일자 2012년07월17일
(85) 번역문제출일자 2009년07월14일
(65) 공개번호 10-2009-0099559
(43) 공개일자 2009년09월22일
(86) 국제출원번호 PCT/US2007/087735
(87) 국제공개번호 WO 2008/076963
국제공개일자 2008년06월26일
(30) 우선권주장
11/639,459 2006년12월15일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP06330708 A
JP2004516446 A
US06382958 B1
US20020073844 A1

(73) 특허권자
프랙스에어 테크놀로지, 인코포레이티드
미국 06810-5113 코네티컷 데인베리 올드 리지베리 로드 39
(72) 발명자
사호, 미니시, 마헨드라
미국 14051 뉴욕주, 이스트 암헤르스트, 에스오. 캐슬 록 레인 84
자말, 아wel
미국 14072 뉴욕주, 그랜드 아일랜드, 비숍스 게이트 로드 64
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
백만기, 양영준

전체 청구항 수 : 총 13 항

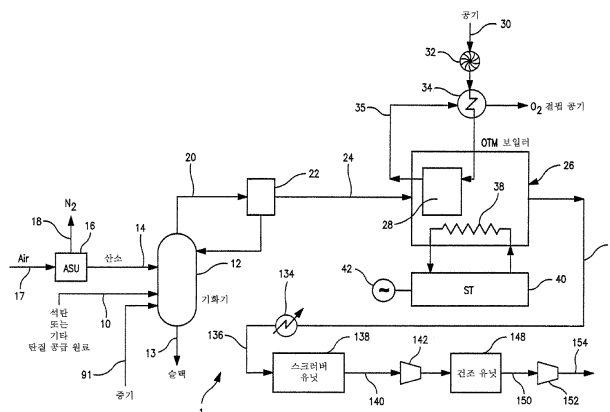
심사관 : 경천수

(54) 발명의 명칭 발전 방법

(57) 요약

본 발명은 기화기에서 생성된 합성 가스 스트림이 보일러의 산소 수송 막 시스템에서 연소되는 발전 방법에 관한 것이다. 연소는 열을 발생시켜 증기를 상승시키고, 이것은 다시 증기 터빈에 연결된 발전기에 의해 전기를 발생시킨다. 결과 얻어지는 연도 가스는 정제되어 이산화탄소 생성물을 생성할 수 있다.

대표도



(72) 발명자

드르네비치, 레이몬드, 프란시스

미국 14032 뉴욕주, 클라렌스 센터, 크리크뷰 드라이브 5850

반 하셀, 바트, 에이.

미국 14068 뉴욕주, 게츠빌, 호빌랜드 코트 49

크리스티, 게르바세, 맥스웰

미국 14213 뉴욕주, 버팔로, 리빙스톤 스트리트 103

고바야시, 히사시

미국 10579 뉴욕주, 부트납 벨리, 바거 스트리트 170

불, 로렌스, 이., III

미국 14052 뉴욕주, 이스트 오로라, 헌터스 크리크 로드 5420

특허청구의 범위

청구항 1

가스화기에서 합성 가스 스트림을 발생시키는 단계;

하나 이상의 부분 산화 스테이지에서 합성 가스 스트림을 부분적으로 산화시켜 합성 가스 스트림의 휘발성 내용물을 산화시키고 합성 가스 스트림을 가열시키는 단계 - 하나 이상의 부분 산화 스테이지는 합성 가스 스트림의 부분 산화에 사용된 산소를 발생시키는 산소 수송 막 반응기에 의해 형성됨 -;

하나 이상의 부분 산화 스테이지에서 가열된 후 하나 이상의 팽창 스테이지의 팽창기에서 합성 가스 스트림을 팽창시키고, 팽창기에 연결된 발전기로부터 전력을 발생시키는 단계;

팽창된 후 산소 수송 막 보일러 내에서 합성 가스 스트림을 연소시켜 열 및 연도 가스를 발생시키는 단계 - 합성 가스 스트림은 승온에 있는 동안 연소되고, 연도 가스는 이산화탄소를 함유하고, 합성 가스 스트림의 연소는 산소 수송 막 보일러 내의 보일러와 결합된 산소 수송 막 시스템 내에서 산소 함유 스트림으로부터 추가 산소를 분리시킴으로써 추가 산소를 이용함 -;

열을 보일러 공급수로 전달함으로써 보일러 내에서 증기를 생성시키는 단계;

산소 수송 막 보일러와 결합된 증기 사이클의 증기 터빈 시스템에 의해 증기로부터 에너지를 뽑아내고 이 에너지를 증기 터빈 시스템에 연결된 추가 전기 발전기에 의해 추가 전력으로 전환시키는 단계; 및

연도 가스 스트림을 정제하여 이산화탄소-풍부 스트림을 생성시키는 단계

를 포함하는 발전 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 하나 이상의 팽창 스테이지 및 하나 이상의 부분 산화 스테이지가 제1 부분 산화 스테이지와 이어지는 제1 팽창 스테이지, 제1 팽창 스테이지 후의 제2 부분 산화 스테이지, 및 제2 부분 산화 스테이지 후의 제2 팽창 스테이지인 발전 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

합성 가스 스트림의 연소가 불완전하여 연도 가스 스트림 내에 연료 종이 존재하는 결과를 초래하고;

연료 종은 연도 가스 스트림으로부터 분리되어 하나 이상의 부분 산화 스테이지로 재순환되는 발전 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 이산화탄소는

연도 가스 스트림을 냉각시켜 냉각된 연도 가스 스트림을 생성시키고;

냉각된 연도 가스 스트림으로부터 이산화탄소를 제거하고;

연도 가스 스트림으로부터 이산화탄소를 제거한 후에, 연도 가스 스트림을 압축시킨 다음 건조기에서 연도 가스 스트림을 건조시켜 90 부피% 이상의 순도를 갖는 이산화탄소 함유 스트림을 생성시키고;

이산화탄소 함유 스트림을 추가로 압축하여 이산화탄소 생성물 스트림을 생성시키는

것에 의해 정제되는 발전 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

합성 가스 스트림의 연소가 불완전하여 연도 가스 스트림 내에 연료 종이 존재하는 결과를 초래하고;

이산화탄소는

연도 가스 스트림을 냉각시켜 냉각된 연도 가스 스트림을 생성시키고;

냉각된 연도 가스 스트림으로부터 이산화황을 제거하고;

연도 가스 스트림으로부터 이산화황을 제거한 후에, 연도 가스 스트림을 압축시킨 다음 건조기에서 연도 가스 스트림을 건조시켜 90 부피% 이상의 순도를 갖는 이산화탄소 함유 스트림을 생성시키고;

이산화탄소 함유 스트림을 추가로 압축하여 이산화탄소 생성물 스트림을 생성시키는

것에 의해 정제되고;

연료 종은 건조된 후 그리고 추가로 압축되기 전에 연도 가스 스트림으로부터 분리되어 하나 이상의 부분 산화 스테이지로 재순환되는 발전 방법.

청구항 6

제4항에 있어서, 가스화기가 석탄의 가스화를 통해 합성 가스 스트림을 발생시키는 발전 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 석탄의 가스화는 증기 사이클에 의해 발생된 증기를 이용하는 이동층 가스화기에서 수행되는 발전 방법.

청구항 8

제4항에 있어서, 증기 사이클은 1000°F 이상의 온도 및 4000psia 이상의 압력에서의 증기를 이용하는 초임계 증기 사이클인 발전 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 가스화기가 석탄의 가스화를 통해 합성 가스 스트림을 발생시키는 발전 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 석탄의 가스화는 증기 사이클에 의해 발생된 증기를 이용하는 이동층 가스화기에서 수행되는 발전 방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 증기 사이클은 1000°F 이상의 온도 및 4000psia 이상의 압력에서의 증기를 이용하는 초임계 증기 사이클인 발전 방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

가스화기가 비말동반 유동(entrained flow) 가스화기이고;

합성 가스 스트림은 가열된 보일러 공급수 스트림과의 열 교환에 의해 냉각되어 증기 스트림을 생성시키고;

증기 스트림은 보일러 내에서 생성된 증기와 합쳐지는 발전 방법.

청구항 13

제1항에 있어서,

산소 수송 막 시스템 내 산소 함유 스트림으로부터 추가 산소를 분리시킴으로써 추가 산소를 이용하는 합성 가스 스트림의 연소는 불완전하고;

합성 가스 스트림의 연소는 추가 산소 함유 스트림의 첨가에 의해 완료되는 발전 방법.

청구항 14

삭제

명세서

기술분야

- [0001] 본 발명은 기화기에서 생성된 합성 가스 스트림이 연소되어 증기를 상승시키는데 사용되는 열을 발생시키고, 이것은 다시 증기 터빈에 사용되어 전력을 발생시키는 발전 방법에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 합성 가스 스트림이, 연소를 지지하기 위해 산소를 공급하는 산소 수송 막을 사용하고, 추가로 이용 또는 격리하기 위한 이산화탄소-풍부 스트림을 생성시키기 위해 결과 얻어지는 연도 가스의 정제를 제공하는 보일러에서 연소되는 발전 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 화력발전소는 전 세계적으로 전기를 발생시키는데 이용되고 있다. 전형적으로는, 석탄이 미분된 형태로 또는 슬러리 내에서 연소되어 보일러 내에 열을 발생시켜 증기를 상승시킨다. 증기는 증기 터빈을 통과하여 전력을 발생시킨다.
- [0003] 최근에는 석탄 및 다른 탄질(炭質) 공급원료, 예를 들면 아스팔트, 중질유, 석유 코크스, 생체물질 또는 천연 가스를 사용하는 발전소로부터 이산화탄소를 포획하는데 관심을 가져 왔다. 석탄 가스화 복합 발전(integrated gasification and combined cycle; IGCC)이 이산화탄소 포획이 요구될 때의 바람직한 발전 방법으로 제시되었다. IGCC에서는, 연료의 가스화가 주로 수소, 일산화탄소 및 이산화탄소와 함께 소량의 메탄 및 황 및 클로라이드 함유 불순물을 함유하는 합성 가스를 생성시킨다. 전형적인 기화기에서, 탄질 공급물은 증기 및 산소와 반응하여 합성 가스를 생성시킨다. 전형적으로, 공기가 증류탑 내에서 저온에서 정류되어 산소를 생성하는 극저온 정류 플랜트에 의해 산소가 기화기로 제공된다.
- [0004] 석탄 가스화 복합 발전에서, 가스화의 결과로 생성된 합성 가스는 합성 가스의 수소 및 이산화탄소 함량을 증가시키기 위한 수성 가스 전환 반응기에서의 추가의 가공처리에 적합한 온도로 냉각된다. 수성 가스 전환 반응기는 또한 대부분의 카르보닐 술파이드를 황화수소로 가수분해시킨다. 합성 가스는 이어서 합성 가스로부터 이산화탄소 및 황화수소 및 카르보닐 술파이드의 분리를 위해 물리적 또는 화학적 흡수를 사용하는 용매 스크러빙 플랜트 내에서의 이산화탄소 및 황화수소 분리를 위해 추가로 냉각된다. 이것은 합성 가스 내에 존재하는 이산화탄소의 포획 및 격리를 가능하게 한다. 결과 얻어지는 수소-풍부 가스는 이어서 전기를 발생시키는 발전기에 연결된 가스 터빈으로 공급된다. 원료 합성 가스 스트림의 냉각으로부터, 수성 가스 전환 반응기로부터의 가열된 방출물의 냉각으로부터, 및 증기를 상승시키고 증기 터빈으로부터 추가의 전력을 발생하는 가스 터빈으로부터의 배기가스의 냉각으로부터 열이 회수된다.
- [0005] 인식될 수 있는 바와 같이, 석탄 가스화 복합 발전은 깨끗한 연소 합성 가스 스트림이 가스 터빈의 동력 공급에 사용되는 동시에, 가스화에 의해 생성된 이산화탄소가 다른 공업적 가공처리에 사용하기 위해, 오일 회수를 증대시키기 위해 또는 격리시키기 위해 포획될 수 있다는 점에서 환경적으로 매우 유리하다. 이러한 발전의 단점은 공기 분리 및 용매 스크러빙 플랜트와 관련된 높은 에너지 패널티(energy penalty)이다. 추가적으로, 몇몇 스테이지에서의 열 에너지의 회수는, 이러한 열 회수가 항상 손실을 수반하고, 어떤 경우에서든 열은 저온에서 회수된다는 점에서 고유적으로 비효율적이다. 마지막으로, 용매 스크러빙 플랜트, 수성 가스 전환 반응기 및 가스 터빈의 사용은 그들의 취득 비용으로 볼 때 값비싼 제안이다.
- [0006] 극저온 공기 분리 플랜트 대신으로 산소 수송 막으로 기화 공정에 산소를 공급하는 것이 제안되어 왔다. 이러한 막에서는, 승온에서 산소 이온을 수송할 수 있는 세라믹 물질로 만들어진 기밀막의 사용으로 산소가 공기로부터 분리된다. 산소는 전자를 얻어 산소 이온을 형성함으로써 막의 한 표면 상에서 이온화된다. 부분압 차로 인한 구동력 하에서, 산소 이온은 막을 통과하여 연료와 반응하거나 또는 원소 산소와 다시 합쳐져 산소의 이온화에 사용된 전자를 유리시킨다.
- [0007] 막 재료가 혼합 도체인 경우, 전자가 막을 통해 수송된다. 단지 산소 이온만을 전도할 수 있는 이온성 도체를 사용하는 막에서는, 외부 전기 회로를 사용하여 전자가 수송된다.
- [0008] 증기 터빈을 포함하는 복합 발전과는 대조적으로, 정제소에 대한 또는 증기 메탄 재형성기에 대한 공급물로서 가치있는 생성물 증기를 발생시키는 보일러와 관련하여 세라믹 막 시스템의 사용이 또한 계획되어 왔다. 이러한 보일러에서는, 천연 가스와 같은 연료의 연소가 막 시스템 내에서 분리된 산소에 의해 지지된다. 이러한 연소는 이산화탄소 및 물이 풍부한 연도 가스를 생성시킬 것이기 때문에, 이산화탄소-풍부 스트림의 생성은 연도

가스로부터 물을 응축한 다음 스트림을 압축함으로써 달성될 수 있다.

[0009] 이산화탄소 포획을 갖는 상기 보일러에 대한 연구의 한 예가 명칭이 "Cost and Feasibility Study on the Praxair Advanced Boiler for CO Capture Project's Refinery Scenario"[Switzer et al.(2005) published by Elsevier]인 논문에서 나타나 있다. 이 논문에서는, 연료 및 재순환된 연도 가스가 막 시스템에 의해 생성된 보 유물로부터의 열을 보일러 공급수와 교환하여 포화된 증기를 상승시키는 열 회수 증기 발생기를 갖는 하우징을 통과하는 보일러가 개시된다. 연료 및 연도 가스 혼합물은 이어서 연소 및 연도 가스 생성용 막 시스템으로 이 동된다. 막 시스템과 섞여 있는 것은 포화된 증기를 과열시키고 이에 의해 생성물 증기를 생성시키는 다른 열 회수 증기 발생기이다. 열은 연도 가스로부터 회수되어 공기 및 보일러 공급수를 예열시킨다. 산소 수송 막을 포함하고 생성물 증기를 생성할 수 있는 다른 보일러 디자인은 미국 특허 제6,394,043호; 제6,382,958호 및 제 6,562,104호에 개시되어 있다.

[0010] 논의될 바와 같이, 본 발명은 합성 가스 스트림이 가스화에 의해 생성되고, 이어서 산소 수송 막에서 연소되어 열을 발생시키고, 이것은 다시 증기 터빈용 증기를 상승시키는 발전 방법을 제공한다. 자명하게 드러날 바와 같이, 본 발명의 방법은 이산화탄소 포획을 갖는 석탄 가스화 복합 발전보다 더 열 효율적인 방식으로 전력을 발생시키고, 값비싼 가스 터빈, 수성 가스 전환 반응기 및 이산화탄소 포획용 용매 회수 유닛의 사용을 요구하 지 않는다.

[0011] <발명의 개요>

[0012] 본 발명은 합성 가스 스트림이 기화기에서 발생하는 발전 방법을 제공한다. 합성 가스 스트림은 연소되어 열 및 연도 가스를 발생시킨다. 합성 가스 스트림은 승온으로 있는 동안에 연소되고 연도 가스는 이산화탄소를 함 유한다. 본원에서 및 특허 청구의 범위에서 사용되는 용어 "승온"은 합성 가스 스트림의 이슬점보다 약 50 °F 이상 더 높은 온도를 의미한다. 이와 관련하여, 보다 저온에서는 그의 연소를 위해 과량의 연료가 요구되고, 어떤 경우에서든, 당업자에게 인식될 수 있는 잠재적인 기계적 및 부식 문제 때문에 물 응축을 피해야 된다. 합성 가스 스트림의 연소는 보일러와 유효하게 결합된 산소 수송 막 시스템 내에서 산소 함유 스트림으로부터 산소를 분리시킴으로써 지지된다. 열을 간접적으로 보일러 공급수로 전달함으로써 보일러 내에서 증기가 생성 된다. 산소 수송 막 보일러와 유효하게 결합된 증기 사이클의 증기 터빈 시스템에 의해 증기로부터 에너지를 뽑아낸다. 에너지는 증기 터빈 시스템에 연결된 발전기에 의해 전력으로 전환된다. 이어서 연도 가스 스트림 은 정제되어 이산화탄소-풍부 스트림을 생성시킨다.

[0013] 상기한 본 발명의 설명으로부터 명백한 바와 같이, 합성 가스 스트림이 승온에 있는 동안에 연소되기 때문에, 본 발명의 방법은 이산화탄소 포획을 갖는 선행 기술의 석탄 가스화 복합 발전에서 발견될 수 있는 고유적인 열 비효율을 갖지 않는다. 이러한 열 비효율은 합성 가스가 상온 부근에서 냉각되어야 할 필요가 있고 용매 시스 템을 작동시키는데 에너지 유입이 필요한 용매 시스템에서 이산화탄소가 합성 가스로부터 제거된다는 사실에 기 인한다. 역시 논의될 바와 같이, 연도 가스 스트림은 하기에서 보다 상세하게 논의될, 용매 스크러빙 유닛의 사용을 포함하지 않는 방식으로 직접적으로 정제될 수 있다.

[0014] 유리하게는, 특히 바람직한 실시태양에서, 합성 가스 스트림은 합성 가스 스트림의 연소 전에 하나 이상의 팽창 스테이지를 갖는 팽창기 내에서 팽창될 수 있고, 합성 가스 스트림은 합성 가스 스트림의 팽창 전에 하나 이상 의 부분 산화 스테이지에서 부분적으로 산화될 수 있다. 부분 산화는 합성 가스 스트림의 휘발성 내용물을 산 화시키는 작용을 할 것이며, 추가로 합성 가스 스트림을 가열할 것이다. 팽창기는 다른 발전기에 연결되어 추 가적인 전력을 생성할 수 있다.

[0015] 바람직하게는, 부분 산화 스테이지는 합성 가스 스트림의 산화를 지지하기 위해 산소를 발생시키는 산소 수송 막 반응기에 의해 형성된다. 본 발명의 다른 실시태양에서, 하나 이상의 팽창 스테이지 및 하나 이상의 부분 산화 스테이지는 제1 부분 산화 스테이지에 이어지는 제1 팽창 스테이지, 제1 팽창 스테이지 후의 제2 부분 산 화 스테이지 및 이어서 제2 부분 산화 스테이지 후의 제2 팽창 스테이지일 수 있다.

[0016] 산소 수송 막 보일러 중에서의 합성 가스 스트림의 연소는 불완전하여 연료 종들이 연도 가스 스트림 내에 존재 하게 되는 결과를 초래할 수 있다. 이러한 경우에, 연료 종들은 연도 가스 스트림으로부터 분리되어 하나 이상 의 부분 산화 스테이지로 재활용될 수 있다. 다른 변형법은 산소 수송 막 시스템 내에서 산소 함유 스트림으로 부터 산소를 분리시킴으로써 지지되는 합성 가스 스트림의 연소가 완전하지 않도록 공정을 수행하는 것이다. 이러한 경우에, 합성 가스 스트림의 연소는 산소 함유 스트림의 첨가에 의해 완료될 수 있다. 이러한 실시태양 의 이점은 산소 수송 막 시스템 내 산소 수송 막으로부터 사용된 물질의 양을 보전하는 것이다.

- [0017] 유리하게는, 연도 가스 스트림을 냉각시켜 냉각된 연도 가스 스트림을 생성함으로써 이산화탄소가 정제될 수 있다. 이산화탄소를 제거한 후, 연도 가스 스트림은 압축된 다음 건조기 내에서 건조되어 약 90 부피% 이상의 순도를 갖는 이산화탄소 함유 스트림을 생성할 수 있다. 이산화탄소 함유 스트림은 추가로 압축되어 이산화탄소 생성물 스트림을 생성할 수 있다. 이산화탄소 생성물 스트림은 추가로 공지된 산업적 용도, 예를 들면 증대된 오일 회수를 갖는다. 어떤 경우든, 이산화탄소 생성물은 파이프라인에 의해 추가로 분배될 수 있다.
- [0018] 합성 가스 스트림의 연소가 연도 가스 스트림 내에 연료 종이 존재하는 결과를 초래하는 경우, 연료 종은 건조된 후 및 추가로 압축되기 전에 연도 가스 스트림으로부터 분리될 수 있다.
- [0019] 비록 다양한 상이한 가스화기 및 상이한 공급 원료가 가능하지만, 가스화기는 석탄의 가스화를 통해 합성 가스 스트림을 생성할 수 있다. 이와 관련하여, 석탄의 가스화는 증기 사이클에 의해 생성되는 증기를 이용하는 이동층 가스화기에 의해 수행될 수 있다. 본 발명의 임의의 실시태양에서, 증기 사이클은 초-임계 증기 사이클일 수 있다.
- [0020] 가스화기는 비말동반 유동(entrained flow) 가스화기일 수 있다. 상기 경우, 합성 가스 스트림은 가열된 보일러 공급수 스트림과 간접적인 열 교환에 의해 냉각되어 증기 스트림을 생성할 수 있다. 증기 스트림은 이어서 보일러 내에서 생성된 증기와 합쳐질 수 있다.
- 발명의 상세한 설명**
- [0030] 도 1을 참고하면, 본 발명은 석탄이 가스화되는 본 발명에 따른 방법을 수행하기 위한 장치를 예시한다. 이것은 상기 나타낸 바와 같이, 가스화되어야 하는 공급 원료가 다른 물질, 예를 들면 석탄, 아스팔트, 중질유, 석유 코크스, 생체물질 또는 천연 가스일 수 있기 때문에, 예시를 위한 것이다.
- [0031] 도 1에 따르면, 준비된 석탄 공급 스트림(10)이 산소 스트림(14)과 같은 가스화제의 첨가로 가스화기(12) 내에서 가스화된다. 산소 스트림(14)은 극저온 정류 유닛(16) 내에서 공기의 극저온 정류에 의해 생성된다. 이동층 가스화기와 같은 일부 가스화기에서는, 논의될 증기 스트림(91)과 같은 고압 스트림이 또한 가스화기로 주입된다.
- [0032] 극저온 정류 유닛(16)("ASU")는 공기 스트림(17)을 압축시키는 압축기 및 이산화탄소, 물 및 탄화수소와 같은 고비점 오염물질을 제거하는 정제기로 이루어진다. 결과 얻어지는 정제되고 압축된 스트림은 이어서 주 열교환기 내에서 공기의 분류된 성분, 즉 질소 및 산소로 이루어진 리턴 스트림에 대하여 냉각된다. 산소는 산소 스트림(14)로 배출되고 질소는 질소 스트림(18)로 배출된다. 필요한 경우, 산소 스트림(14)은 가스화기(12)로의 주입에 적합한 압력으로 압축될 수 있다.
- [0033] 대표적인 극저온 정류 유닛(16)에서, 공기는 일반적으로 응축기-리보일러에 의해 저압 탑과 유효하게 결합되어 있는 고압 탑을 갖는 이중 증류탑에서, 주 열교환기 내에서 그의 정류에 적합한 온도로 냉각된다. 고압 탑은 전형적으로는 약 5 바아의 절대압에서 작동하여 질소-풍부 오버헤드 및 산소-풍부 탑저부를 생성하게 될 것이다. 산소-풍부 탑저부는 일반적으로 약 1.2 바아의 절대압에서 작동하는 저압 탑 내에서 추가로 정련된다. 저압 탑의 탑저부는 산소가 풍부하다. 산소는 고압 탑에서 생성된 질소-풍부 타워 오버헤드의 응축에 대하여 기화된다. 결과 얻어지는 고압 탑의 응축물은 밸브 팽창되어 저압 탑을 환류하는데 사용된다.
- [0034] 산소 스트림(14)을 발생시키는 다른 대안이 가능하다. 예를 들면, 압축된 공기가 연소기 내에서 부분적으로 연소되어 당 업계에 공지된 방식으로 산소를 분리하기 위해 산소 수송 막 반응기 내로 도입될 수 있는 산소 수송 막 반응기가 있다.
- [0035] 가스화기(12)는 임의의 수많은 상업적으로 입수가 가능한 가스화 기술을 포함한다. 예를 들면, 향류 "고정"(또는 이동)층 유형의 가스화기에서, 아랫방향으로 흐르는 탄질 연료의 층이 이동층의 바닥에서 들어오는 산소 및 증기에 의해 발생된 가스화 생성물과 접촉된다. 가스화 생성물은 탄질 층에 대하여 향류 배열로 흐른다. 슬랙 또는 재(13)은 모든 가스화기에서 제거될 것이다. 예를 들면, 향류 고정층 가스화기에서, 도면 부호 (13)은 제거하기 위한 슬랙을 표시한다. 유동층 가스화기에서, 연료 입자들은 상의 바닥에서의 또는 그 부근에서의 증기 및 산소의 주입의 결과로서 유동화된다. 비말동반 유동 가스화기에서, 건조 미분 고체, 예를 들면 미분 석탄 또는 연료 슬러리가 병행류 흐름의 산소로 가스화된다.
- [0036] 가스화기(12) 내에서, 석탄 및 산소를 포함하는 공지된 반응은 수소, 일산화탄소, 메탄, 이산화탄소, 증기, 황 화합물 및 소량의 고급 탄화수소를 함유하는 합성 가스 스트림을 생성한다. 합성 가스 스트림(20)의 온도는 사용된 가스화기의 유형에 의존할 것이다. 가스화기(12)의 비말동반 유동 가스화기에서, 합성 가스는 약 1600 °F

내지 약 3500 °F의 온도에서 공정의 가스화 구역을 빠져나간다. 그러나, 다른 유형의 가스화기가 본 발명에 따라 통합되어 사용될 수 있고, 이 때문에 다른 유형의 가스화기에서는 합성 가스 스트림이 다른 온도 범위에서 생성될 것임에 주목해야 한다. 예를 들면, 고정층 가스화기에서, 합성 가스는 약 900 °F 내지 약 1000 °F의 온도에서 생성될 것이다.

[0037] 합성 가스 스트림(20)으로부터의 미립자 제거는 사이클론 또는 캔들 필터(22)를 포함하는 공지된 기술에 의해 수행될 수 있다. 캔들 필터(22)는 합성 가스 스트림(20)으로부터 상기 미립자 물질을 제거하는데 사용되는 세라믹 또는 금속 캔들 필터일 수 있다. 캔들 필터(22)는 어떤 경우든, 바람직하게는 약 700 °F, 더욱 바람직하게는 약 1000 °F에서 작동되어야 한다. 여과는 일반적으로 팽창기를 부식으로부터 보호하기 위해 제공된다는 점에서 임의선택적이다. 일부 가스화기에서는, 스트림이 그의 전방 단부로 재활용되어 탄소 전환율을 개선시킨다.

[0038] 결과 얻어진 여과된 합성가스 스트림(24)는 합성 가스를 함유하고, 이것은 이어서 산소 수송 막 보일러(26)으로 보내진다. 비록 특정 산소 수송 막 보일러가 바람직한 것은 아니지만, 임의의 이러한 장치에서, 여과된 합성 가스 스트림(24)은 상기한 바와 같이 혼합 도체 또는 이중상 도체일 수 있는 세라믹 물질로 만들어진 다수개의 튜브를 포함할 수 있는 산소 수송 막 시스템(28) 내로 도입된다. 산소 수송 막 시스템(28)은 튜브 이외의 형태의 산소 수송 막 요소, 예를 들면 역시 당 업계에 공지된 평면 요소를 사용할 수 있음을 알아야 한다. 산소 함유 가스, 예를 들면 공기가 송풍기(32)의 사용으로 공기 스트림(30)으로 튜브 내로 도입된다. 공기 스트림(30)은 산소 수송 막 튜브 내로 도입되기 이전에 폐열 회수 열 교환기(34)에 의해 예열된다. 산소 이온은 막을 통과하고 즉시 여과된 합성 가스 스트림(24)과 합쳐져서 여과된 합성 가스 스트림(24)의 연소를 지지한다. 산소 결합된 보유물은 보유물 스트림(35)로서 폐열 회수 열 교환기(34)를 통과하여 열 및 배출물을 회수한다.

[0039] 예시된 산소 수송 막 보일러(26)에서, 여과된 합성 가스 스트림(24)의 연소는 산소 수송 막 시스템(28) 내에서 산소 분리를 위한 구동력을 제공한다. 이 때문에, 공기 스트림(30)은 인식가능할 정도로 압축되지 않는다. 그러나, 본 발명에 따라 산소 함유 가스에 대한 압축을 이용하지 않는 산소 수송 막 보일러를 통합하는 것이 가능하지만, 이러한 통합은 이러한 압축에 관련된 전력 패널티로 인해 바람직하지 않다.

[0040] 바람직하게는, OTM 튜브의 표면 온도는 산소 수송 막 보일러(26) 전체에 걸쳐 약 1600 °F 내지 약 2000 °F로 유지된다. 연도 가스 스트림(36)은 바람직하게는 약 1600 °F 내지 약 2000 °F의 온도에서 산소 수송 막 보일러(26)으로부터 배출된다. 이것은 주로 물 및 이산화탄소와 소량의 질소, 아르곤 및 이산화황, 그리고 잠재적으로 잔류 산소로 이루어진다.

[0041] 산소 수송 막 보일러(26) 내에서 일어나는 연소에 의해 생성된 열은 증기가 발생하는, 일반적으로 도면 부호(38)로 나타내어지는 열 교환 네트워크에 의해 회수되고, 발전기(42)를 구동하는데 적용될 수 있는 전력을 생성시키기 위해 증기 터빈 시스템을 포함하는, 일반적으로 블록(40)으로 나타내어지는 증기 사이클("ST")에 이용된다. 본 발명과 관련하여 사용될 수 있는 많은 증기 사이클이 있으며, 사실상 증기 사이클의 디자인은 종종은 이러한 디자인을 구체적으로 생성시킬 수 있는 컴퓨터 프로그램에 의해 수행되는 일상적인 문제이다. 추후 논의될 바와 같이, 초임계 증기 사이클이 바람직하다. 그러나, 임계미만 및 과-임계 증기 사이클도 또한 가능하다. 게다가, 산소 수송 막 보일러(26)에 대하여 많은 디자인들이 가능하다. 이렇게 말했기에, 한 예로서, 산소 수송 막 보일러(26) 및 관련 증기 사이클(40)과 관련하여 사용될 수 있는 적합한 디자인에 대한 보다 상세한 설명이 도 2에 예시되어 있다.

[0042] 이제 구체적으로 도 2를 살펴보면, 산소 수송 막 보일러(26)는 이하에서 논의될 방식으로 변형된 종래의 상업적으로 입수가능한 유닛에 기초한다. 산소 수송 막 보일러(26)은 일반적으로 복사열 전달이 우세한 복사 구역(44) 및 열 전달이 대류성 열 전달에 의해 수행되는 대류 구역(46)으로 이루어진다. 산소 수송 막 보일러(26)은 증기 사이클(40)과 통합된다.

[0043] 복사 구역(44)는 산소 수송 막 보일러(26)의 산소 수송 막 시스템(28)을 형성하는 산소 수송 막 튜브(50)을 제 공함으로써 변형된다. 산소 수송 막 튜브(50)은 공기 스트림(30)을 수용하도록 병렬로 연결되고, 증기 사이클(40)을 위해 및 증기를 상승시키기 위한 열 교환 네트워크(38)의 일련의 증기 튜브(52, 54, 56 및 58) 형성 부분과 교대된다. 예시된 실시태양에서, 증기 튜브(52, 54, 56 및 58)는 직렬로 연결된다. 그러나, 실제로 이들은 복사 구역(44)가 균일한 온도를 갖는다는 점에서 복사 구역 내 어디에서나 위치할 수 있다. 비록 구체적으로 예시되진 않지만, 각각의 증기 튜브(52, 54, 56 및 58)는 한 어레이의 모든 증기 튜브, 예를 들면 증기 튜브(52)가 병렬로 연결되어 있는 보다 큰 교대되는 어레이의 일부일 것이다. 게다가, 역시 예시되어 있진 않지만, 증기 튜브(52) 내에 생성된 포화된 증기는 증기 튜브(54)로 도입되기 전에 증기 드럼에서 수집될 수 있다.

- [0044] 증기 사이클(40)에 관해서는, 초임계 증기 사이클이 바람직하며, 본원에서 및 특허 청구의 범위에서 사용된 바와 같이 약 1000 °F 이상의 온도 및 4000 psia 이상의 압력의 증기를 사용하는 사이클을 의미한다. 다음에 논의되는 증기 사이클(40)은 아래에서 논의되는 실시예 1 및 2에 적용할 수 있는 온도 및 압력을 이용한다.
- [0045] 증기 사이클(40)에 따라, 보일러 공급수 스트림(60)은 펌프(62)에 의해 펌핑됨으로써 가압되고 예열기(64, 66, 68 및 70) 및 열 교환기(72 및 74) 내에서 파이핑 손실이 더 적은 가압을 통해 부여된 약 4366 psia의 압력 및 약 650 °F의 온도로 예열된다. 논의될 열 교환기(72, 74 및 109) 및 증기 튜브(52, 54, 56 및 58)이 산소 수송 막 보일러(26)의 열 교환 그물구조(38)를 형성함에 주목해야 한다.
- [0046] 그 이후에, 보일러 공급수 스트림(60)은 증기 발생기로서 작용하는 증기 튜브(52)로 들어간 다음 증기 튜브(54)로 가서 발생된 증기를 과열시켜 약 1080 °F 온도 및 약 4050 psia 압력의 증기 스트림(76)을 생성시킨다. 증기 스트림(76)은 이어서 1226 psia로 팽창되는 고압 증기 터빈(78)("HPT") 내로 도입된다. 스트림(76)의 약 90%를 구성하는 팽창된 증기 약 2725 klb/hr은 스트림(80)으로, 스트림(80)이 약 1111 °F의 온도로 재가열되어 약 1170 psia의 압력을 갖는 스트림(82)을 생성시키는 재가열기로서 사용되는 증기 튜브(56)를 통과한다. 나머지 부분(84)는 예열기(68) 내로 도입된다.
- [0047] 재가열된 스트림(82)은 이어서 1차 중간압력 터빈(86)("PIPT") 내로 도입되어 약 822 °F의 온도 및 약 505 psia의 압력으로 팽창된다. 스트림(80)의 약 85%를 구성하는 이 증기 약 2328 klb/hr은 스트림(88)로, 약 1111 °F의 온도를 갖는 재가열된 스트림(90)을 생성시키는 제2 재가열기로서 사용되는 증기 튜브(58) 내로 도입된다. 나머지 팽창된 증기는 스트림(92)로 예열기(68)에 도입된다.
- [0048] 재가열된 스트림(90)은 이어서 중간 압력 증기 터빈(94)("IPT") 내로 도입된다. 스트림(96)은 이어서 저압 터빈(98)("LPT")에서 약 0.75 psia의 압력으로 팽창된다. 결과 얻어지는 스트림(100)은 이어서 응축기(102) 내로 간 다음 펌프(104)에 의해 일련의 저압 보일러-공급수 가열기(106, 108, 109, 110 및 112)로 펌핑되어 중간 압력 증기 터빈(94) 및 저압 터빈(98)로부터 얻은 추출된 증기 스트림(114, 116, 118 및 120)을 사용하여 약 210 °F로 가열된다. 추출된 스트림은 모두 합쳐져서, 펌프(105)에 의해 가압 펌핑되고 스트림(100)과 합쳐진다. 결과 얻어지는 가열된 공급수 스트림(122)는 중간압력 증기 터빈(94)로부터 추출된 스트림(130) 및 스트림(128)과 함께 탈기장치(126)에서 공급수 스트림(124)와 혼합되고 물로부터 휘발성 가스를 스트리핑하는데 사용된다. 스트림(128)은 스트림(92), 스트림(84) 및 1차 중간압력 증기 터빈(86)으로부터 추출된 스트림(132)로 구성된다. 탈기장치(126)으로부터의 스트림(60)은 펌프(62)에 의해 약 4452 psia의 압력으로 펌핑된다.
- [0049] 다시 도 1을 살펴보면, 연도 가스 스트림(36)은 이어서 먼저 물-냉각기(134) 내에서 약 160 °F 내지 약 300 °F의 온도로 냉각됨으로써 정제된다. 냉각된 스트림(136)은 이어서 당 업계에 공지되어 있고 이산화황 약 98 부피% 이상을 제거할 수 있는 연도 가스 탈황화 스크러버 유닛으로 보내진다. 연도 가스 탈황화 스크러버 유닛(138)은 각종 제조업체, 예를 들면 미국 44203-0351 오하이오주 에스. 반 뷰렌 애비뉴 바버톤 20의 밥콕 앤드 윌콕스 캄파니(Babcock & Wilcox Company)로부터 얻을 수 있는 공지된 시스템이다. 전형적으로, 연도 가스 탈황화 스크러버 유닛(138)은 대표적으로는 3개의 부분, 즉 석회석 취급 및 시약 제조를 포함하는데, 여기서 석회석은 불 밑에서 수용, 저장 및 분쇄되어 수성 슬러리를 생성한다. 제2 부분은 석회석 슬러리가 예시된 실시태양에서 스프레이-타워 탑에서 향류 방식으로 냉각된 스트림(136)일 수 있는 연도 가스와 접촉하게 되는 스크러버이다. 여기에는 부산물 탈수가 이어지는데, 여기서는 연도 가스 탈황화기 흡수제로부터의 블리드 슬러리가 탈수되고 석고가 분리되어 보관된다. 결과 얻어지는 부분적으로 정제된 연도 가스 스트림(140)은 주로 이산화탄소 및 약 10 내지 15 몰%의 물과 일부 잔량의 아르곤 및 질소, 산소 및 미량의 이산화황으로 이루어진다.
- [0050] 부분적으로 정제된 연도 가스 스트림(140)은 이어서 기본 하중 압축기(142)에서 약 300 psia 내지 약 500 psia의 압력으로 압축된 다음, 건조 유닛(148) 내에서 건조되어 습기를 제거한다. 건조 유닛은 대표적으로는 천연 가스를 건조시키는데 사용되는 공지된 시스템인 글리콜 시스템이다. 바람직하게는, 비록 예시되진 않았지만, 부분적으로 정제된 연도 가스 스트림(140)은 맨처음 상기 압축 전에 약 110 °F로 냉각되고, 임의의 응축물은 제거되어 압축 에너지를 보전한다. 기본 하중 압축기(142)는 일반적으로 추가적인 물을 제거하기 위한 낙-푹(knock-put) 드럼을 갖는 다단계 상호냉각된 압축 시스템임을 또한 알 수 있다. 글리콜 시스템은 미국 77092 텍사스주 휴스턴 스위트 750 노쓰 루프 웨스트 2950의 나트코 그룹 인크.(NATCO Group Inc.)를 포함하여 다양한 공급원으로부터 얻을 수 있다. 대표적인 글리콜 시스템에서, 압축 부분적으로 정제된 연도 가스 스트림(140)은 흡수탑 내 글리콜 용액에서 향류 방식으로 접촉된다. 건조된 가스는 흡수탑의 상부를 빠져나간다. 흡수된 물을 함유하는 글리콜 용액은 연결된 증류탑으로 보내진다. 물을 분리하기 위해 열이 제공되고 재생된 글리콜 용액은 펌프를 사용하여 흡수탑으로 다시 순환된다. 열 교환을 사용하여 두 탑 사이에서 흐르는 글리콜 용액들

사이에서 열이 교환된다. 물의 제거는 파이프라인을 부식시킬 수 있는 이산화탄소 생성물 내 탄산의 형성을 막는다. 보통, 이러한 목적으로 위하여 물량은 약 600 ppm(부피 기준) 이하로 감소되어야 한다.

[0051] 추가적으로, 물 함량의 감소는 대기압미만의 정제 공정과 같은 하류 공정에 사용될 때 동결을 막을 것이다. 비록 예시되진 않았지만, 이러한 목적을 위한 건조기는 분자체를 사용하는 흡착에 기초할 수 있다. 이러한 경우, 건조기는 층들 중 절반이 공급물이 건조되도록 가공시키고 나머지 절반은 재생을 행하는 다층 분자체 건조기 시스템을 포함할 수 있다. 생성물 가스의 생성물 일부는 층들로부터 습기를 제거하기 위해 가열기로 약 450 °F로 가열되는 재생 가스로서 사용된다. 층들이 습기가 없어진 후에, 상온 부근의 재생 가스는 층들을 통과하여 이들을 냉각시킨다. 재생 가스는 이어서 이러한 목적에 이용되는 마지막 스테이지의 상류 적절한 지점에서 기본 하중 이산화탄소 압축기(142)로 재활용될 수 있다.

[0052] 건조 유닛(148)로부터 건조된 스트림(150)은 이어서 부스터 압축기(152)로 가서 생성물 스트림(154)를 생성하고, 이것은 파이프라인 또는 증대된 오일 회수 또는 격리 목적으로 갈 수 있다. 부스터 압축기(152)는 다단계 상호냉각되는 기계이다. 생성물 스트림(154)는 바람직하게는 약 90 부피% 이상의 이산화탄소 함량을 갖고, 실시예에 나타난 바와 같이, 이산화탄소 함량은 약 92 또는 약 95 부피%일 수 있다.

[0053] 도 3을 살펴 보면, 산소 수송 막 부분 산화 반응기(160)을 이용하는 다른 실시태양이 예시된다. 이러한 특징은 다른 유형의 가스화기에 비하여 더 적은 산소를 이용하는 이동층 가스화기에서 석탄이 가스화되는 곳에 구체적인 적용가능성을 갖는다. 이러한 실시태양에서, 900 °F 내지 약 1000 °F의 온도에서 이동층 가스화기(12')에 의해 생성된 합성 가스 스트림(20)은 타르 및 오일과 같은 휘발성 물질을 함유한다. 증기가 또한 이러한 가스화기에서 이용되고, 도 2에 나타난 바와 같이, 중간 압력 증기 터빈(94) 또는 가능하게는 나타나있지 않은 다른 공급원의 중간 스테이지로부터 빠져나온 스트림(91)에 의해 얻어진다. 부분 산화 반응기(160)은 합성가스를 부분적으로 산화시켜 그의 온도를 약 1600 °F 내지 약 1800 °F로부터 상승시켜 수소, 일산화탄소, 메탄 및 이산화탄소로 산화되는 타르, 오일 및 페놀과 같은 휘발성 물질을 제거한다. 부분 산화 반응기(160)은 전형적으로 튜브 형태의 혼합 도체인 하나 이상의 산소 수송 막 엘레멘트를 사용한다. 약 1800 °F에서, 부분 산화 반응은 촉매의 부재 하에 진행될 것이다. 이와 관련하여, 합성 가스 스트림(20)은 종종 공지된 촉매독인 황을 함유할 것이고, 촉매 반응기가 사용되는 경우, 상류 처리 또는 황 내성 촉매가 요구될 것이다. 부분 산화 반응기의 대표적인 예들이 공지되어 있으며, 미국 특허 제5,820,654호; 제5,820,655호 및 제6,139,810호에 예시되어 있다.

[0054] 도 3에 예시된 바와 같은 실시태양에서, 공기 스트림(30)은 제1 및 제2 종속적인 산소 함유 스트림(162 및 164)로 나뉜다. 제1 종속적인 산소 함유 스트림(162)은 산소 수송 막 보일러(26)으로 공급된다. 제2 종속적인 산소 함유 스트림(164)은 부분 산화 반응기(160)의 산소 수송 막 엘레멘트의 내부에 공급된다. 여과된 합성 가스 스트림(24)은 상기 반응기의 외피의 외부로 공급되고 산소 이온이 휘발성물질과 반응하여 상기 언급된 반응 생성물을 생성한다. 다르게는, 유닛(32 및 34)와 유사한 열 교환기 및 송풍기와 함께 별도의 공기 공급을 사용하여 산화제를 유닛(26 및 160)에 공급할 수 있다.

[0055] 결과 얻어지는 합성 가스 스트림(166)은 산소 수송 막 부분 산화 반응기(160)에서 휘발성물질이 반응된 후에, 약 300 내지 약 1200 psia의 압력을 갖는다. 합성 가스 스트림은 이어서 추가적인 전력을 발생시키는 발전기(170)에 연결된 팽창기(168) 내에서 팽창된다. 장치(1)에 대한 총 산소 요구량의 약 60% 내지 약 80%는 전형적으로는 산소 수송 막 부분 산화 반응기(160) 및 산소 수송 막 보일러(26) 내에 함유된 산소 수송 막에 의해 공급될 것이다. 나머지는 극저온 분리 유닛(16)에 의해 가스화기(12')로 공급된다. 보유물 스트림(172)은 보유물 스트림(35)와 합쳐지고, 합쳐진 스트림은 열 회수 열 교환기(34)로 공급된다.

[0056] 간단히 도 4를 살펴보면, 비말동반 유동 또는 유동층 유형의 가스화기(12")를 이용하는 도 3의 다른 실시태양이 예시된다. 상기 가스화기에 의해 생성된 합성 가스 스트림(20')의 온도가 약 1800 °F이기 때문에, 고온 비등 공급수 스트림(155)로부터 증기 스트림(158)을 생성하도록 고압 증기 보일러(156)이 제공된다. 증기 스트림(158)은 도 2에 보다 상세하게 나타난 산소 수송 막 보일러(26) 내에 위치한 증기 튜브(54)로 들어가는 증기와 합쳐질 수 있다. 보일러(156)은 스트림(20')의 온도를 감소시켜 현재 약 1000 °F 이하의 작동 온도로 제한되는 고온 필터의 사용을 용이하게 한다. 이들 필터는 상기에서 언급된 바와 같이 고온 가스 팽창기 내 부식을 최소화하는데 사용된다.

[0057] 도 5를 살펴보면, 여과된 합성 가스 스트림(24)가 제1 부분 산화 반응기(180)에 의해 생성된 제1 부분 산화 스테이지로 도입된 후에 추가적인 전기를 발생시키는 발전기(184)에 연결된 팽창기(182)에 의해 제공된 팽창 스테이지 내에서 팽창된다. 그 후에, 팽창기(182) 후의 처리된 여과된 합성 가스 스트림(24)은 이어서 제2 부분 산화 반응기(186)에 의해 제공된 제2 부분 산화 스테이지로 도입된 후에 역시 추가적인 전력을 발생시키기 위한

추가적인 발전기(190)에 연결된 제2 팽창기(188)에 의해 제공된 제2 팽창 스테이지가 이어진다. 이러한 실시태양에서, 제2 종속적인 산소 함유 스트림(164)은 제1 부분 산화 반응기(180) 및 제2 부분 산화 반응기(186) 내로 공급되는 부분들(164a 및 164b)로 나뉜다. 결과 형성된 산소 결핍된 보유품 스트림(172a 및 172b)가 합쳐져서 합쳐진 스트림(172c)을 생성하고, 이것은 추가로 보유품 스트림(35)와 합쳐지고 열 회수 열 교환기(34)를 통과한다. 역시, 상기에서 논의된 바와 같이, 독립적인 공기 공급 시스템이 또한 가능하다.

[0058] 도 6을 살펴보면, 보일러(26)의 산소 수송 막 시스템(28) 내에서 연소가 완료되지 않는 실시태양이 예시된다. 전형적으로는, 완전 연소에 필수적인 산소 수송에 요구되는 면적이 매우 높다. 과도한 비용을 피하기 위하여, 연소는 합성 가스 스트림(20) 내에 함유된 연료 중의 약 80% 내지 약 90%의 정도로만 완료될 수 있다. 이러한 상황에서, 연도 가스 스트림(36)은 소량의 연료 중, 예를 들면 수소 및 일산화탄소를 함유할 것이다. 이산화탄소 스트림은 이어서 극저온 증류를 포함하는 정제 유닛(200) 내에서 추가로 정제될 수 있다. 외부 냉장과 함께 증류 공정을 포함하는 다른 정제 방법을 사용하여 정제 유닛(200)을 형성할 수 있다. 공지된 정제 공정들이 미국 특허 제5,927,103호; 제6,035,662호; 및 제6,070,471호에 예시되어 있다.

[0059] 도 7을 살펴보면, 부분적으로 정제된 연도 가스 스트림(140)을 정제하는 정제 유닛(200)의 구체적인 실시태양에 예시되어 있다. 부분적으로 정제된 연도 가스 스트림(140)은 압축기(202)에서 약 150 psia 내지 약 1000 psia의 압력으로 압축된다. 회수될 수 있는 이산화탄소의 양은 냉 박스에 제공된 공급물 압력의 함수이다. 알 수 있는 바와 같이, 이산화탄소 회수는 이러한 압력을 증가시킴으로써 증가될 수 있다. 그러나, 이러한 압력 증가는 보다 큰 생산비용을 초래할 것이다. 수냉 칠러(204) 내에서 냉각된 후, 부분적으로 정제된 연도 가스 스트림(140)은 이어서 상 분리기(205)로 도입되어 그의 수냉 칠러(204)에서 냉각된 성질에 의해 부분적으로 정제된 연도 가스 스트림(140) 내에서 응축된 물을 유리시킨다.

[0060] 부분적으로 정제된 연도 가스 스트림(140)은 이어서 건조기(206) 내로 도입된다. 건조기(206)은 바람직하게는 한 상이 습기 및 부분적으로 정제된 연도 가스 스트림(140)보다 더 높은 온도에서 비등하게 되는 중질 탄화수소와 같은 기타 불순물을 흡착하도록 작동하는 분자체 흡착제로 된 층들을 함유할 수 있는 흡착 시스템이다. 분자체 흡착제의 층들은 한 상이 상기 고비등 불순물들을 흡착할 때 다른 층은 재생되도록 상을 작동시킨다. 2개보다 큰 수의 짝수개의 층들이 또한 층들의 반이 흡착을 수행하는 동안 층들의 다른 반은 재생을 행하여 대량의 흐름에 대해 사용될 수 있다. 그의 압력을 저하시킴으로써 및/또는 그의 온도를 증가시킴으로써 흡착된 성분을 탈착시킨 다음 그 층을 흡착된 성분이 희박한 스트림으로 퍼어지게 한 층이 재생된다. 온도 스위칭을 사용하는 시스템에서는, 흡착된 성분이 희박한 스트림을 가열한 다음 이것을 재생될 층에 도입시켜 탈착을 야기시키고 탈착된 성분들을 멀리 운반하도록 함으로써 층이 재생된다. 이들 시스템은 가변적이지만 당 업계에 공지된 많은 예가 있다. 이와 관련하여, 비-흡착제 기재 시스템이 예를 들면 증류 업계에 공지된 역 열 교환기를 사용함으로써 가능하다.

[0061] 압축기(202)에 의해 압축되고 건조된 후 부분적으로 정제된 연도 가스 스트림(140)으로 이루어진 결과 생성된 건조된 공급물 스트림(208)은 이어서, 주 열교환기(210) 내로 도입되고, 여기서 이것은 부분적으로 냉각된 다음 스트리핑 컬럼(214) 내에서 상승되는 증기상을 비등시키거나 또는 개시하는 작용을 하는 리보일러(212) 내로 도입된다. 건조된 공급물 스트림(208)은 이어서 역시 주 열교환기(210) 내로 도입되고, 여기서 이것은 완전히 냉각되어 건조된 공급물 스트림(208)을 적어도 부분적으로 액화시킨다. 건조된 공급물 스트림(208)은 이어서 스트리핑 컬럼(214)로의 팽창 밸브(216) 내로 도입되어 상기 컬럼 내에서 하강하는 액체 상을 개시한다.

[0062] 당 업계에 공지된 바와 같이, 스트리핑 컬럼(214)는 바람직하게는 패키징을 통해 흐르는 상승하는 증기 상을 액체 상의 하강하는 액체 필름과 접촉시키는 구조화 패키징을 갖는다. 당 업계에 공지된 다른 증기-액체 접촉 엘레먼트, 예를 들면 체 트레이가 사용될 수 있다. 접촉의 결과, 하강하는 액체 상은 덜 휘발성 성분인 이산화탄소가 더욱 더 풍부하게 되고, 및 하강하는 증기 상은 이산화탄소보다 더 높은 휘발성을 갖는 불순물이 더 풍부하게 된다. 스트리핑 컬럼(214) 내에서, 남아있는 여과된 합성 가스 스트림(24)의 미연소 구성성분들, 즉 수소, 일산화탄소 및 메탄 및, 연소 대역 내로의 공기 유입물로부터 발생될 수 있는 임의의 불활성 구성성분, 즉 질소 및 아르곤(모두 이산화탄소보다 더 휘발성임)은 하강하는 액체로부터 스트리핑되어 이산화탄소-희박 탑 오버헤드 및 이산화탄소-풍부 액체 탑저부를 생성시키게 될 것이다.

[0063] 탑 오버헤드 스트림(218)은 이산화탄소-희박 탑 오버헤드로 구성된 스트리핑 컬럼(214)로부터 추출된 다음 보조 열 교환기(220) 내로 도입되어 이산화탄소 오버헤드 스트림(218)이 적어도 부분적으로는 액화되도록 할 수 있다. 이산화탄소 오버헤드 스트림(218)은 이어서 상 분리기(224) 내로 도입되어 이산화탄소-결핍된 증기 스트림(226) 및 이산화탄소-풍부 액체 스트림(228)을 생성시킨다. 이산화탄소-풍부 액체 스트림(228)은 팽창 밸브

(230) 내에 팽창된 다음 이산화탄소-결핍된 증기 스트림(226)과 함께 보조 열 교환기(220) 내로 간다. 팽창 밸브(230)은 이산화탄소 오버헤드 스트림(218)의 부분 액화에 대한 냉장을 제공한다.

[0064] 이산화탄소-결핍된 증기 스트림(226)은 주 열 교환기(210) 내로 간 다음 재활용되어 여과된 합성 가스 스트림(24)와 합쳐져서 산소 수송 막 부분 산화 반응기(160)으로의 합성 가스 공급물 스트림(24')를 제공할 수 있다. 당 업계의 통상의 숙련인에게 이해될 수 있는 바와 같이, 사용된 가스화기가 이산화탄소-결핍된 증기 스트림(226)보다 더 높은 압력에서 작동되는 경우, 재활용 압축기가 재활용을 달성하기 위해 제공되어야 한다. 소량의 스트림(226)은 루프 내에 질소 및 아르곤과 같은 불활성물질의 축적을 피하기 위하여 연료 스트림으로 공정으로부터 제거될 수 있다. 제거된 가스는 일산화탄소, 메탄 또는 다른 방출물들을 처리하기 위해 재화, 촉매적 산화 또는 다른 처리를 필요로 할 수 있다.

[0065] 주 열 교환기(210)를 통과한 후 이산화탄소 풍부 액체 스트림(228)은 기화될 것이고, 그대로 건조기를 재생하는데 사용될 수 있고, 예를 들면 상기 스트림은 가열된 다음 재생 목적을 위한 흡착상 내로 도입되고, 그 후에 재활용 스트림(236)으로 압축기(202)의 적절한 스테이지로 재도입되어 이산화탄소 회수를 증대시킬 수 있다.

[0066] 이산화탄소 풍부 액체 탐저부로 구성된 액체로서의 이산화탄소 생성물 스트림(240)이 스트리핑 컬럼 (214)로부터 추출될 수 있다. 이산화탄소 생성물 스트림은 이어서 팽창 밸브에서 팽창되어 공정을 위한 냉장을 생성시킬 수 있다. 유리하게는, 이산화탄소 생성물 스트림(240)은 종속적인 스트림(242 및 244)로 나뉘지고, 적어도 종속적인 스트림(244)는 팽창 밸브(246)의 사용으로 보다 낮은 압력으로 팽창되고, 임의로 스트림(242 및 244)는 모두 각각 팽창 밸브(246 및 248)의 사용에 의해 동시에 보다 낮은 및 보다 높은 압력으로 팽창된다. 종속적인 스트림(242 및 244)는 모두 이어서 주 열 교환기(210)에서 기화된다. 결과 얻어지는 저압 종속적인 스트림(242)는 생성물 압축기(250)의 유입구 내로 도입된다. 저압 종속적인 스트림(244)는 생성물 압축기(250)의 중간 스테이지 내로 도입된다. 생성물 압축기(250)는 스테이지 간 냉각을 갖는 다단계 압축기 일 수 있다. 비록 예시되지는 않았지만, 이산화탄소 생성물 중 일부는 이산화탄소 생성물 스트림으로부터 액체로서 얻어질 수 있음에 주목해야 한다.

[0067] 도 8을 살펴보면, 도 6의 다른 변형은 연료의 연소를 완료하기 위해 산소 수송 막 보일러(26)의 복사 구역(44) 내에서 보충적인 산소 함유 스트림(254)을 주입하는 것이다. 보충적인 산소 스트림(254)은 포획되어야 하는 이산화탄소 내에 질소의 축적을 막기 위해 약 40% 이상의 산소를 함유하는 산소 함유 스트림이다. 이러한 공정의 단점은 불활성물질이 연도 가스 스트림(36) 내로 도입되고, 이산화탄소의 순도가 이에 의해 손실될 것이라는 것이다. 이러한 실시태양에서, 구성성분의 특징에 따라 간단히 처리되거나 또는 배기될 부분적으로 정제된 연도 가스 스트림의 더욱 휘발성인 성분을 함유하는 생성물일 수 있다. 스트림(226')은 또한 산소를 함유할 수 있다. 그러므로, 비록 예시되지는 않았지만, 촉매적 산화가 산소 수송 막 보일러(26)의 대류 구역 또는 복사 구역의 끝에 포함될 수 있다. 이것은 또한 완전 연소를 달성하는데 필요한 산소의 양을 감소시킬 것이다. 이와 관련하여, 본 발명의 임의의 실시태양에서 임의의 과량의 산소가 존재한 정도까지, 상기 촉매적 산화가 정제와 함께 포함될 수 있다.

[0068] 도 3, 4 및 5에 나타난 장치는 상기 예시된 실시태양의 예측된 성능을 평가하기 위한 컴퓨터 프로그램을 사용하여 모델링되었다. 문헌[Carbon Capture and Sequestration Systems Analysis Guidelines, U.S. Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory, April 2005]에 기재된 지침을 문헌[EPRI 보고서, Holt, N., Updated Cost and Performance Estimates for Fossil Fuel Power Plants with CO₂ Removal, EPRI Report to DOE-NETL No. 1004483, 12월(2002), U.S.DOE/NETL, Pittsburgh and Holt, N., Evaluation of Innovative Fossil Fuel Power Plants with CO₂ Removal, EPRI Report to DOE-NETL No. 1000316, 12월(2000), U.S.DOE/NETL, Pittsburgh, PA]에 포함된 가정과 함께 사용하였다. 표 1에 열거된 구체적인 가정을 실시예에 사용하는데, 이것은 상기 지침과 상이할 수 있다.

[0069] 표 4, 5 및 6은 각각 도 3, 5 및 4에 나타난 공정을 위한 주요 스트림을 제공한다. 세가지 경우에 대한 성능 비교는 표 7에 요약된다.

표 1

공정 가정
1. IL # 6 석탄
2. ASU 산소 순도 : 95%
3. BGL 가스화기 압력 : 400 psig
4. E- 가스 가스화기 입력 : 800 psig
5. 습윤 FGD를 이용한 황 제거
6. 이중 재가열을 갖는 초임계 증기 사이클 : 4050 psia, 1080°F/1111°F/1111°F
7. 2204 psia로 압축된 CO ₂
8. 보일러로의 공기 누출 : 연도 가스의 1%

산소 수송 막 보일러(26) 내 산소 수송 막 시스템(28)의 디자인에 관하여, 주어진 크기의 보일러의 경우, 요구되는 산소 수송 막 튜브, 예를 들면 도 2의 산소 수송 막 튜브(50)의 수 및 표면적은 단일 튜브의 길이와 직경 및 튜브의 단위 면적 당 산소 플럭스에 의존한다. 예로서, 약 500 MWe의 순전력을 생성하는 산소 수송 막 보일러(26)를 디자인하기 위하여, 석탄의 양이 계산될 수 있다. 500 MWe의 경우, 일리노이수 6 석탄의 4838 tpd가 요구될 것이다. 이어서, 가스화의 작동을 모의하게 되는 많은 임의의 공지된 프로그램을 사용하여, 생성되게 되는 합성 가스의 양을 또한 요구될 산소의 양과 함께 계산할 수 있다. 일단 가스화기로부터 생성된 합성 가스의 양이 공지되어 있으면, 완전 연소를 위해 요구되는 산소의 양에 관한 계산이 형성될 수 있다. 공급 공기 중 단지 70%만이 산소 수송 막 튜브를 통해 전달될 것으로 가정하고, 연도 가스에 약 0.2 및 약 0.4 mol %의 산소가 남아있을 것으로 가정된다. 이로부터 실제 산소량 및 요구될 공급 공기의 양도 또한 계산될 수 있다. 일단 산소 수송 막 튜브를 통해 전달되어야 하는 산소의 양이 공지되면, 요구되는 산소 수송 막 튜브의 표면적이 계산될 수 있는데, 단 산소 수송 막 튜브를 통과하는 산소 플럭스의 양이 공지되어 있어야 한다. 예시용의 가정된 산소 플럭스는 약 20 scf/ft²/hr이다. 정확한 산소 플럭스는 물론 막 재료 성능에 의존한다. 그렇기 때문에, 저 산소 플럭스 시스템의 경우에는, 아래에 기재된 예시적인 결과를 달성하기 위해 보다 큰 막 면적이 요구될 것이다. 이것은 자본 비용을 증가시키지만, 효율은 감소시킨다. 이 플럭스를 사용하여, 표면적 요구치가 계산될 수 있으며, 상기 계산 샘플이 아래 표 2에 나타나 있다.

표 2

실시예 No.	O ₂ 요구량 (tpd)	O ₂ 요구량 (MM scf/hr)	OTM 튜브로부터의 O ₂ 플럭스 Scf/ft ² /hr	OTM 튜브 표면 (ft ²)
1	7051	6.97	20	348395.8
2	7051	6.97	20	348395.8
3	6335	6.26	20	312979.2

산소 수송 막 튜브의 실제 수는 튜브의 길이 및 외부 직경에 의존할 것이다. 2개의 상이한 튜브 길이에 의존하여, 3개의 실시예에 대해 요구되는 튜브의 수가 표 3에 제공되어 있다.

표 3

실시예	OTM 튜브의 수 (OD = 1 인치 길이 = 5 ft.)	OTM 튜브의 수 (OD = 1 인치 길이 = 20 ft.)
1	266048	66512
2	266048	66512
3	239002	59751

표 4

(도3 참조) :

파라미터/	단위	IL No. 6	가스화기로	가스화기로	OTM-Sys	O ₂	OTM POX	냉각기1로의	OTM 보일러	FGD로의	건조 및 압축	BOR 또는
성분		석탄	가는 O ₂	가는 증기	공급 공기	결합 공기	연료 가스	연료 가스	연료 가스	연료 가스	으로 가는	후속 부위로
		(St. 10)	(St. 14)	(St. 91)	(St. 30)	(St. 35)	(St. 24)	(St. 166)	(Exiting 168)	(St. 136)	조 CO ₂	가는 CO ₂
온도	F	77.0	254.0	600.0	77.0	215.0	1000.0	1799.8	705.2	163.3	154.0	110.0
압력	psia	414.7	500.0	514.7	14.7	14.7	410.0	410.0	16.0	14.8	14.7	2204.6
물 흐름	MMscfd		66.2		1150.0	982.8	345.7	376.5	376.5	314.6	270.2	208.2
질량 흐름	klb/hr	403.2	230.6	120.9	3656.6	3069.0	763.4	820.0	820.0	1208.6	1105.5	982.7
수소	mol%						25.53	32.62	32.62	0.00	0.00	0.00
CO	*						46.96	40.96	40.96	0.00	0.00	0.00
CO2	*						2.93	9.30	9.30	61.37	71.47	92.75
질소	*		1.40		78.17	91.47	2.80	2.70	2.70	3.88	4.52	5.86
아르곤	*		3.60		0.93	1.09	0.68	0.63	0.63	0.75	0.87	1.13
메탄	*						3.88	1.02	1.02	0.00	0.00	0.00
에탄	*						0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
프로판	*						0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-부탄	*						0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
페놀	*						0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
나프타	*						0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	*			100.00			15.60	11.91	11.91	32.83	22.94	0.00
H2S	*						0.77	0.76	0.76	0.00	0.00	0.00
COS	*						0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO2	*						0.00	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00
NH3	*						0.25	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
HCN	*						0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCl	*						0.09	0.08	0.08	0.09	0.00	0.00
산소	*		95.00		20.90	7.44	0.00	0.00	0.00	0.17	0.19	0.25

[0075]

표 5

(도5 참조) :

파라미터/	단위	IL No. 6	가스화기로	가스화기로	OTM-Sys	O ₂	OTM POX	냉각기1로의	OTM POX.2	냉각기2로의	OTM 보일러	FGD로의	건조 및 압축	BOR 또는
성분		석탄	가는 O ₂	가는 증기	공급 공기	결합 공기	연료 가스	연료 가스	연료 가스	연료 가스	연료 가스	연료 가스	으로 가는	후속 부위로
		(St. 10)	(St. 14)	(St. 91)	(St. 30)	(St. 35)	(St. 24)	(Exiting 180)	(Exiting 182)	(Exiting 186)	(Exiting 188)	(St. 136)	(St. 140)	(St. 154)
온도	F	77.0	254.0	600.0	77.0	215.0	1000.0	1799.8	1199.9	1802.6	1134.6	163.3	154.0	110.0
압력	psia	414.7	500.0	514.7	14.7	15.0	410.0	410.0	90.0	90.0	16.0	14.8	14.7	2204.6
물 흐름	MMscfd		66.2		1150.0	982.7	345.7	376.5	376.5	384.0	384.0	314.7	270.2	208.2
질량 흐름	klb/hr	403.2	230.6	120.9	3656.6	3069.0	763.4	820.0	820.0	856.4	856.4	1208.8	1105.7	982.9
수소	mol%						25.53	32.62	32.62	31.41	31.41	0.00	0.00	0.00
CO	*						46.96	40.96	40.96	39.24	39.24	0.00	0.00	0.00
CO2	*						2.93	9.30	9.30	11.01	11.01	61.36	71.46	92.72
질소	*		1.40		78.17	91.47	2.80	2.70	2.70	2.66	2.66	3.88	4.52	5.86
아르곤	*		3.60		0.93	1.09	0.68	0.63	0.63	0.61	0.61	0.75	0.87	1.13
메탄	*						3.88	1.02	1.02	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
에탄	*						0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
프로판	*						0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-부탄	*						0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
페놀	*						0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
나프타	*						0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	*			100.00			15.60	11.91	11.91	14.21	14.21	32.83	22.94	0.00
H2S	*						0.77	0.76	0.76	0.75	0.75	0.00	0.00	0.00
COS	*						0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO2	*						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00
NH3	*						0.25	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCN	*						0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCl	*						0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.00	0.00
산소	*		95.00		20.90	7.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.22	0.28

[0076]

표 6

(도 4 참조) :

파라미터/	단위	IL No. 6 석탄	가스화기로 가는 O ₂	가스화기로 가는 공기	O ₂ 결합 공기	Raw Syngas from 12"	OTM POX 로의 연료 가스	팽창기로의 연료 가스	OTM 보일러 로의 연료 가스	FGD 로의 연료 가스	건조 및 압축 으로 가는 조 CO ₂	BOR 또는 후속 부위로 가는 CO ₂
성분		(St. 10)	(St. 14)	(St. 30)	(St. 35)	(St. 20)	(St. 24)	(St. 166)	(Exiting 168)	(St. 136)	(St. 140)	(St. 154)
온도	F	77.0	274.2	77.0	215.0	1850.0	996.6	1801.6	590.9	163.3	154.0	110.0
압력	psia	814.7	978.0	14.7	15.0	810.0	800.0	800.0	16.0	14.6	14.7	2204.6
물 흐름	MMscfd		82.7	1025.0	874.8	367.8	367.8	364.9	364.9	303.6	280.6	200.8
질량 흐름	klb/hr	403.2	292.7	3259.1	2731.2	802.4	802.4	839.3	839.3	1177.5	1077.4	958.9
수소	mol%					32.74	32.74	28.78	28.78	0.00	0.00	0.00
CO	"					40.65	40.65	37.80	37.80	0.00	0.00	0.00
CO2	"					10.20	10.20	13.01	13.01	63.26	73.70	95.65
질소	"		1.40	78.17	91.60	0.76	0.76	0.91	0.91	1.75	2.04	2.65
아르곤	"		3.60	0.93	1.09	0.81	0.81	0.81	0.81	0.98	1.14	1.48
메탄	"					1.29	1.29	1.82	1.82	0.00	0.00	0.00
에탄	"					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
프로판	"					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-부탄	"					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
페놀	"					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
나프타	"					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	"					12.41	12.41	16.00	16.00	32.83	22.95	0.00
H2S	"					0.74	0.74	0.78	0.78	0.00	0.00	0.00
COS	"					0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO2	"					0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00
NH3	"					0.23	0.23	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
HCN	"					0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCl	"					0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.00	0.00
산소	"		95.00	20.90	7.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.17	0.22

표 7

파라미터	단위	실시예 1 OTM-POX를 갖는 BGL 도 3	실시예 2 OTM-POX를 갖는 BGL 도 5	실시예 3 OTM-POX를 갖는 E-가스 도 4
석탄 공급률	tpd	4,838	4,838	4,838
석탄으로 열 유입 (HHV)	MMBtu/hr	4,703	4,703	4,703
석탄으로 열 유입 (LHV)	MMBtu/hr	4,486	4,486	4,486
전체 전력 요약				
증기 터빈	MW	514.3	500.0	506.0
연료 가스 팽창기 -1	MW	111.4	62.8	123.5
연료 가스 팽창기 -2	MW	0.0	71.2	
발전기 손실	MW	6.3	6.3	6.3
전체 플랜트 전력	MW	619.4	627.7	623.2
전력 소비				
ASU	MW	35.0	35.0	58.0
CO2 포획 & 압축	MW	51.4	51.4	49.2
공기 송풍기	MW	22.5	22.5	20.0
기타 플랜트 Aux.	MW	21.0	21.0	29.9
총 보조 전력	MW	129.9	129.9	157.1
순 전력	MW	489.5	497.8	466.1
HHV 효율	%	35.5	36.1	33.8
LHV 효율	%	37.2	37.9	35.5

표 7로부터 명백한 바와 같이, 도 5의 실시태양이 가장 많은 순 전력을 제공하였고, 역시 가장 효율적이었다.

본 발명을 바람직한 실시태양에 대해 설명하였지만, 당 업계의 통상의 숙련인이 이해할 수 있는 바와 같이, 현재 계류중인 특허청구의 범위에 기재된, 본 발명의 본질 및 범위에서 벗어나지 않고서 수많은 변화 및 생략이 이루어질 수 있음을 알 것이다.

도면의 간단한 설명

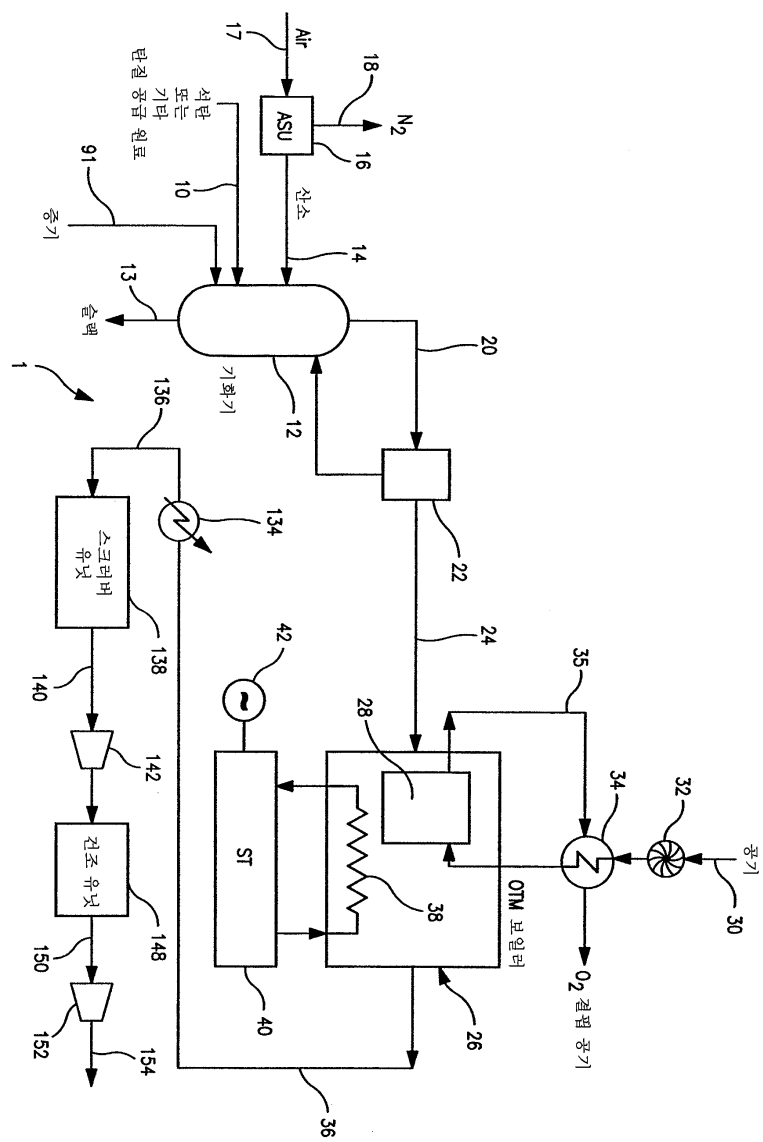
- 본 명세서에는 본 출원인들이 그들의 발명으로 간주하는 대상을 뚜렷하게 지적하는 특허 청구범위로 결론지워지지만, 다음과 같은 수반되는 도면과 관련하여 봤을 때 본 발명이 더욱 잘 이해될 것으로 생각된다.
- 도 1은 본 발명에 따른 발전 방법의 공정 흐름도이고;
- 도 2는 증기 사이클과 통합된 산소 수송 막 시스템을 포함하는 보일러의 개략도이고;
- 도 3은 도 1의 다른 실시태양이고;
- 도 4는 도 3의 다른 실시태양의 단편적인 도면이고;
- 도 5는 도 3의 다른 실시태양이고;
- 도 6은 도 3의 다른 실시태양이고;

[0028] 도 7은 도 6에 사용된 정제 유닛의 한 실시태양이고; 및

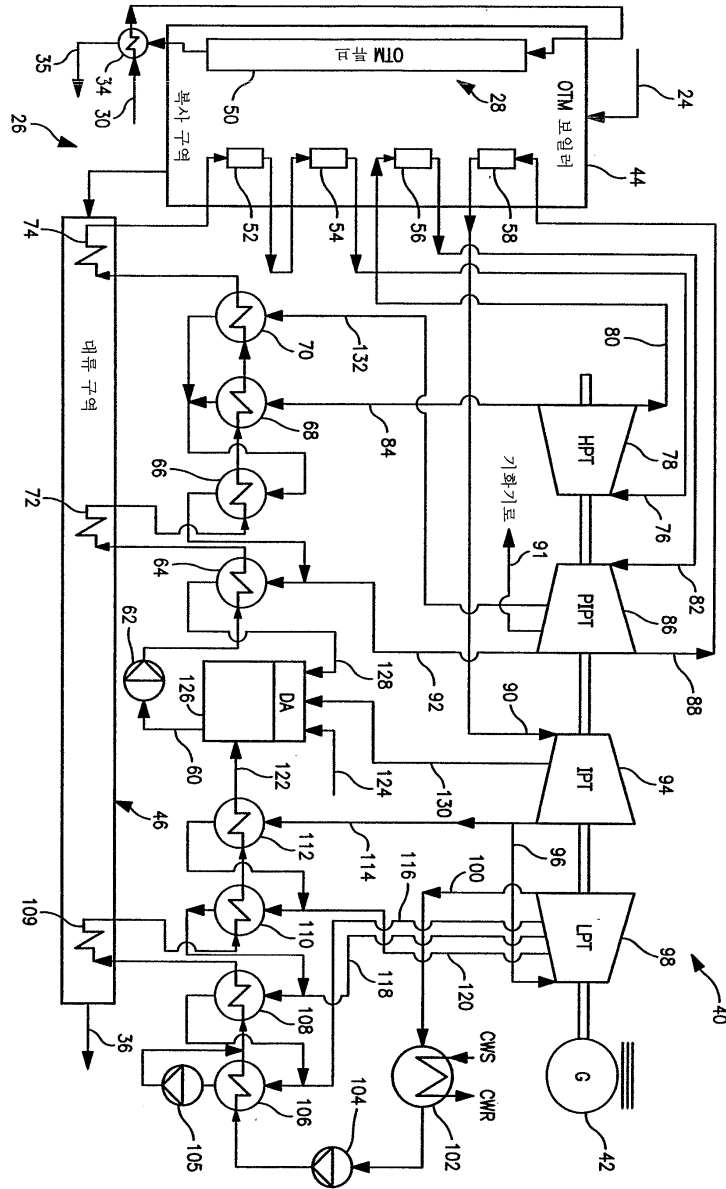
[0029] 도 8은 도 7의 다른 실시태양이다.

도면

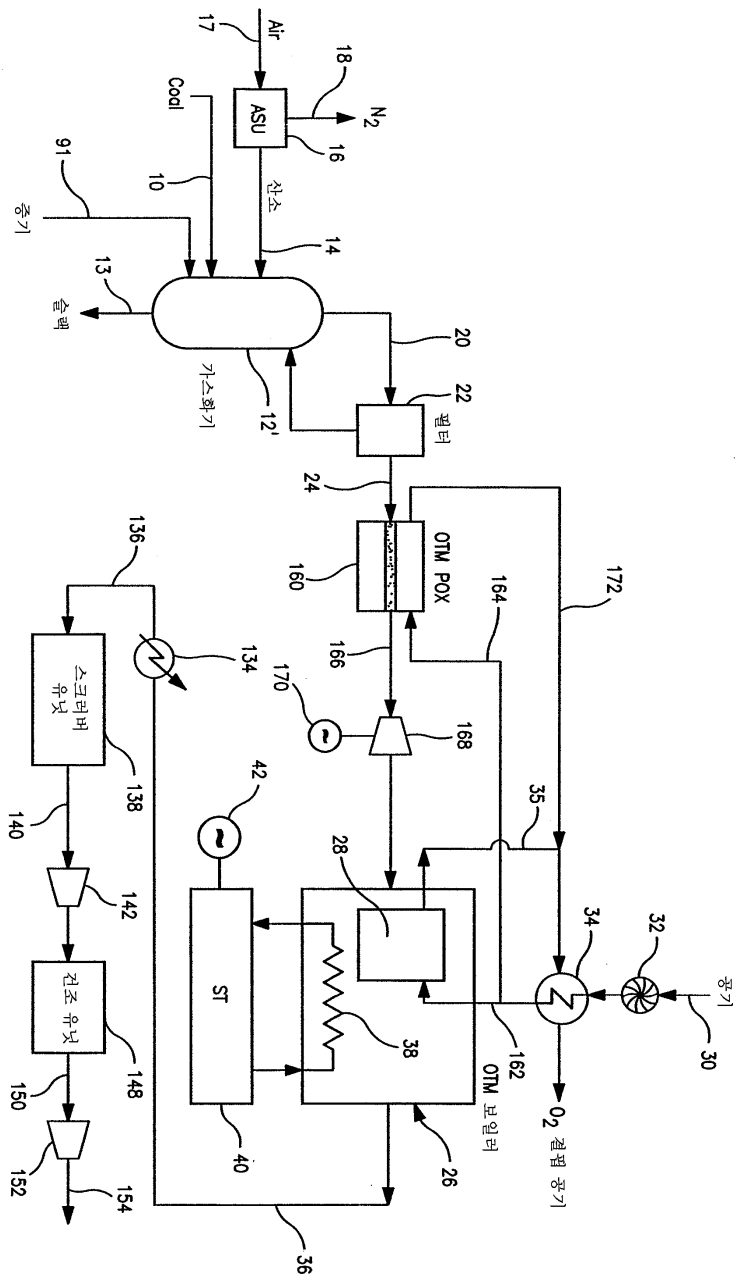
도면1



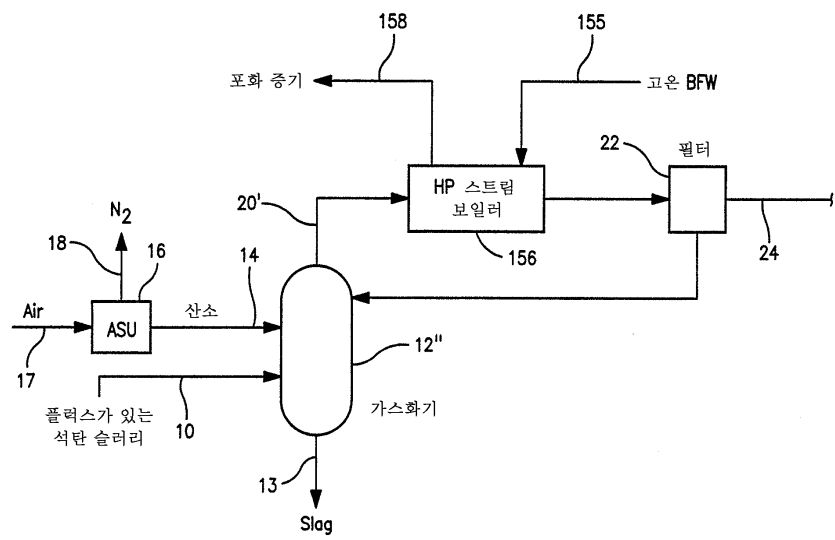
도면2



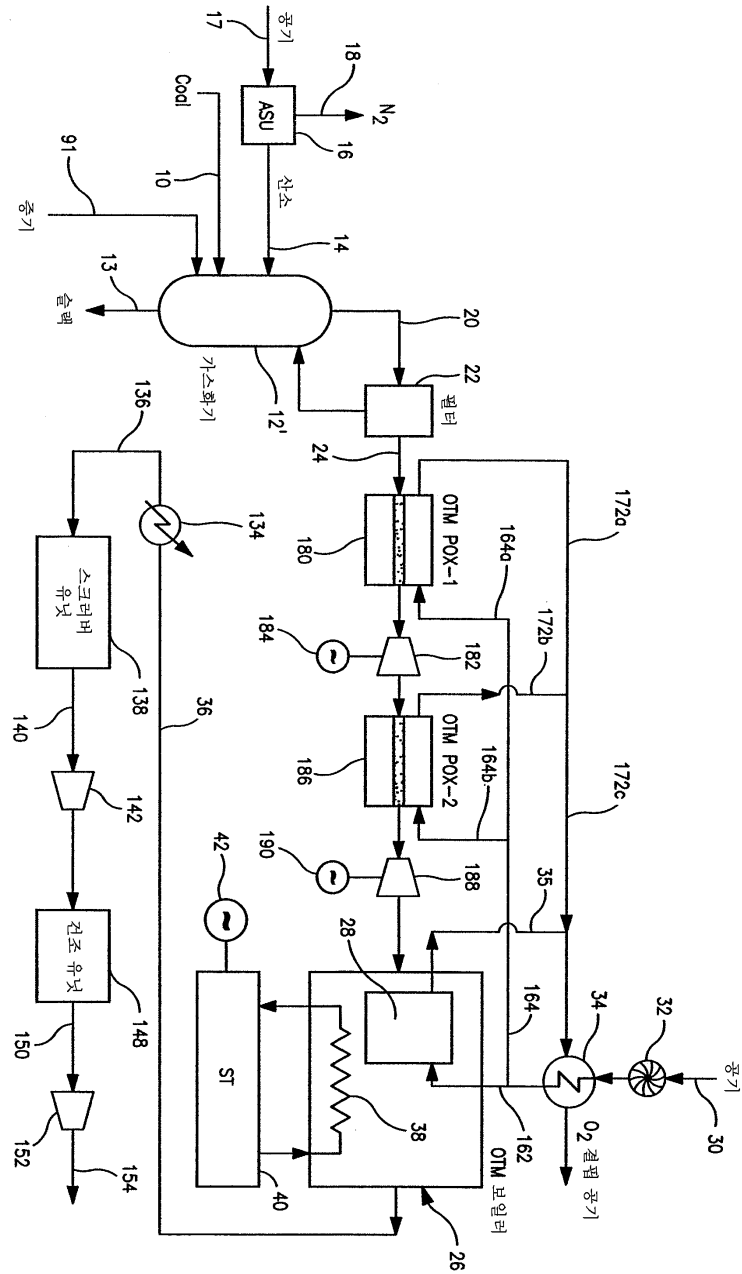
도면3



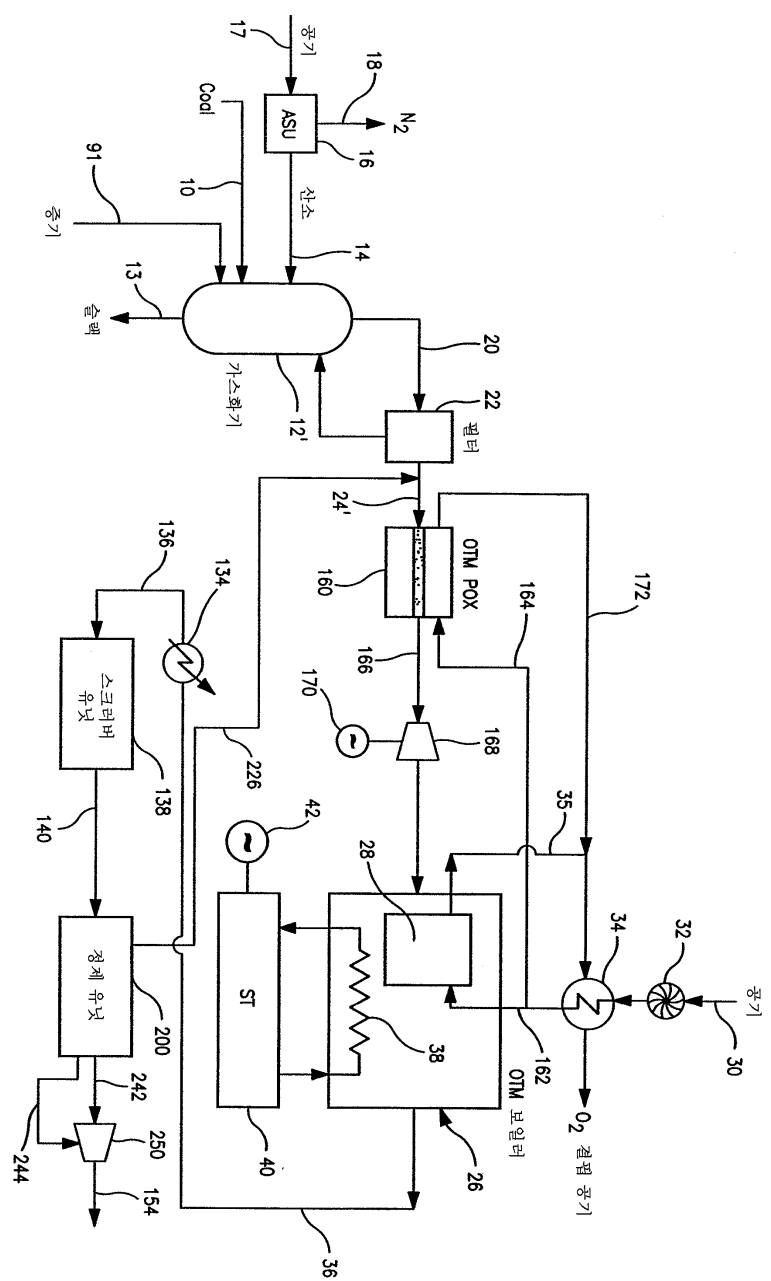
도면4



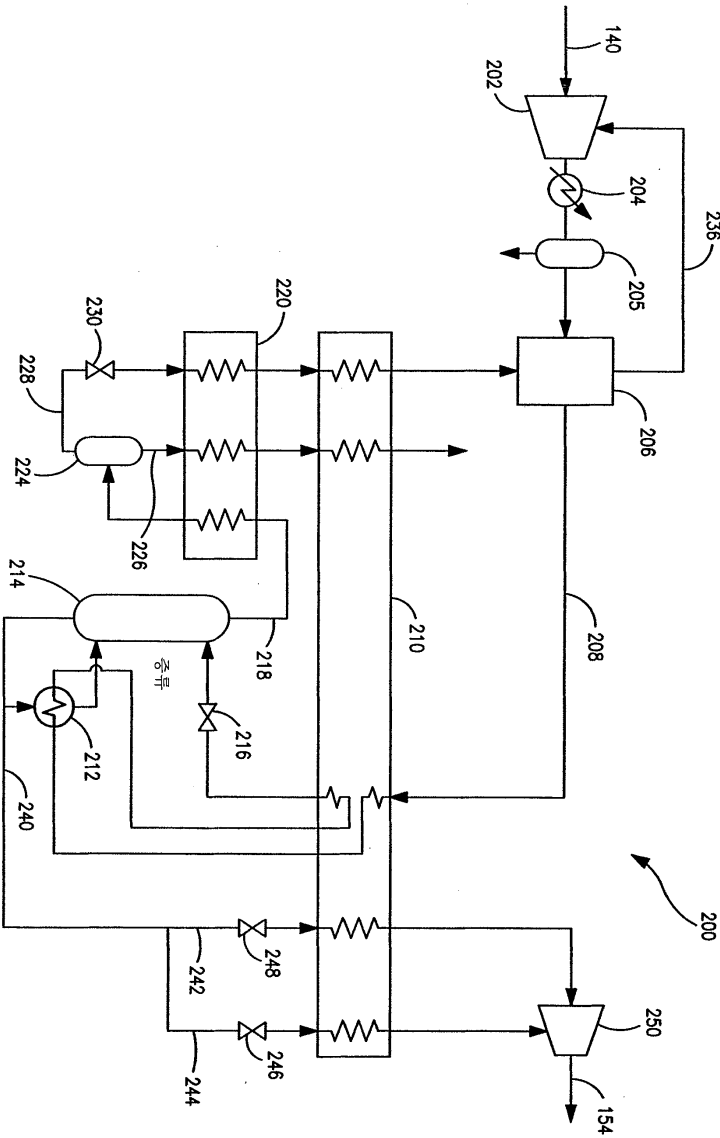
도면5



도면6



도면7



도면8

