(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0146073
(43) 공개일자 2024년10월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C01B 3/24 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C01B 3/24 (2013.01)
C01B 2203/0272 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7030989
(22) 출원일자(국제) 2023년02월17일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년09월13일
(86) 국제출원번호 PCT/GB2023/050370
(87) 국제공개번호 WO 2023/156792
국제공개일자 2023년08월24일
(30) 우선권주장
2202227.1 2022년02월18일 영국(GB)

(71) 출원인
하이록-엑스 디벨롭먼츠 리미티드
영국, 턴브릿지 웰스 티엔4 8에이에스, 넘버 22 마운트 에브라임
(72) 발명자
위캠프, 잔 헨드릭 에뜨
영국, 턴브릿지 웰스 티엔4 8에이에스, 넘버 22 마운트 에브라임 하이록-엑스 디벨롭먼츠 리미티드 내
(74) 대리인
조영현

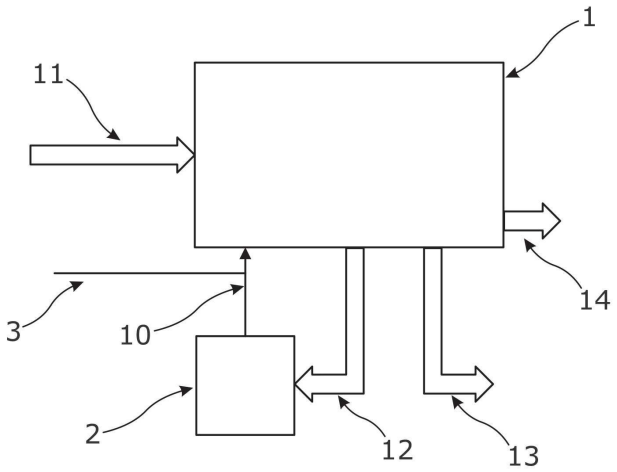
전체 청구항 수 : 총 25 항

(54) 발명의 명칭 **수소 생산 시스템 및 방법**

(57) 요 약

수소 생산 시스템은 탄화수소 입력, 전기 입력, 및 적어도 하나의 수소 출력을 갖는 탄화수소 열분해 반응기를 포함한다. 수소 생산 시스템은 또한 수소-연료 발전기를 포함한다. 적어도 하나의 수소 출력들 중 하나로부터의 수소의 일부를 수소-연료 발전기로 전달하는 수단이 제공된다. 그런 다음 수소-연료 발전기는 전기 출력을 생성하고, 전기 출력은 탄화수소 열분해 반응기의 전기 입력으로 전달된다. 수소 생산 시스템을 동작시키는 관련 방법도 기술된다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C01B 2203/043 (2013.01)
C01B 2203/066 (2013.01)
C01B 2203/0855 (2013.01)
C01B 2203/0861 (2013.01)
C01B 2203/0883 (2013.01)
Y02E 60/50 (2020.08)
Y02E 60/50 (2020.08)

명 세 서

청구범위

청구항 1

탄화수소 입력, 전기 입력, 및 적어도 하나의 수소 출력을 갖는 탄화수소 열분해 반응기;

연료 전지, 및 상기 적어도 하나의 수소 출력 중 하나로부터의 수소의 일부를 전기 출력을 생성하는 상기 연료 전지로 공급하는 수단; 및

상기 연료 전지의 상기 전기 출력을 상기 탄화수소 열분해 반응기의 전기 입력으로 공급하는 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 수소-연료 발전기는 엔진, 가스 터빈 및 연료 전지 중 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 수소-연료 발전기는 고체 산화물 연료 전지를 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 4

제1항 내지 제3항 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 탄화수소 열분해 반응기는 고순도의 제1 수소 출력 및 저순도의 제2 수소 출력을 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 수소 열분해 반응기는 수소 정화 스테이지를 포함하여 상기 제1 수소 출력 및 제2 수소 출력을 제공하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 수소 정화 스테이지는 압력 스윙 흡착 스테이지를 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 7

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 수소 생산 시스템은 열 교환기를 더 포함하되, 상기 수소 생산 시스템에 의해 출력된 수소는 상기 열 교환기를 통과하기 전 상기 수소 정화 스테이지를 통과하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 8

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 수소 생산 시스템은 열 교환기를 더 포함하되, 상기 수소 생산 시스템에 의해 출력된 수소는 상기 열 교환기를 통과한 후 상기 수소 정화 스테이지를 통과하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 9

제4항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 수소 출력의 일부는 상기 수소-연료 발전기에 대한 연료로 제공되는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 10

제4항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 수소 출력의 일부는 상기 수소 열분해 반응기에 대한 퍼지 가스로 제공되는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 11

제4항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 수소 출력은 실질적으로 7 나인 순도이고, 상기 제2 수소 출력은 실질적으로 1.5 나인 순도인 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 탄화수소 열분해 반응기는 플라즈마 토치를 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 탄화수소 열분해 반응기는 탄화수소의 열분해 및 반응 산출물의 분리를 위해 상기 플라즈마 토치 다음에 액체 금속 시스템을 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 14

제12 항에 있어서,

상기 탄화수소 열분해 반응기는 반응 산출물의 분리를 위해 상기 플라즈마 토치 다음에 퍼지 가스 및 분리 시스템을 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 15

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 탄화수소 입력은 메탄 입력인 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 16

제1항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 탄화수소 입력은 플레어 가스를 수용하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템.

청구항 17

수소 생산 시스템 동작 방법에 있어서,

탄화수소 입력 및 전기 입력을 사용하는 탄화수소 열분해 반응기를 가동하는 단계;

상기 수소 생산 시스템으로부터의 적어도 하나의 수소 출력을 공급하고, 상기 적어도 하나의 수소 출력 중 하나로부터의 수소를 수소-연료 발전기로 공급하는 단계;

상기 수소-연료 발전기에서 전기 전력을 생성하는 단계; 및

상기 수소-연료 발전기로부터의 전기 전력을 상기 수소 열분해 반응기에 대한 상기 전기 입력으로 공급하는 단

계를 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템 동작 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

적어도 하나의 수소 출력을 제공하는 단계는 제1 고순도 수소 출력 및 제2의 저순도 수소 출력을 공급하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템 동작 방법.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 제1 수소 출력 및 상기 제2 수소 출력은 수소 정화 스테이지에 의해 공급되는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템 동작 방법.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 수소 정화 스테이지는 압력 스윙 흡착 스테이지인 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템 동작 방법.

청구항 21

제18항 내지 제20항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 수소 출력의 일부를 상기 수소-연료 발전기에 대한 연료로 제공하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템 동작 방법.

청구항 22

제18항 내지 제21항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 수소 출력의 일부는 상기 수소 열분해 반응기용 퍼지 가스로 제공되는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템 동작 방법.

청구항 23

제17항 내지 제22항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 탄화수소 열분해 반응기는 플라즈마 토치를 포함하고, 상기 수소-연료 발전기로부터의 전기 전력을 공급하는 단계는 상기 플라즈마 토치에 전력을 공급하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템 동작 방법.

청구항 24

제17항 내지 제23항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 탄화수소 입력은 메탄 입력인 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템 동작 방법.

청구항 25

제17항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 탄화수소 입력은 플레어 가스를 수용하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 시스템 동작 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 수소 생산 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 건물 또는 다른 설비를 위한 전력과 난방은 주로 오일과 가스 형태의 탄화수소로 제공되어 왔지만, 그러한 목적을 위한 탄화수소 사용이 지금은 점차 감소하면서 이러한 방법에 대한 대안들이 모색되고 있다. 전기는 점점 더 재생가능 자원으로부터 제공되고 있지만, 이것이 항상 가장 효율적인 방법은 아니고 - 국소 전력 생성이 종종 비용 통제와 관리에 바람직하다. 수소는 에너지를 매우 효율적으로, 해로운 산업 폐기물이 없이 방출하므로 점점 더 연료로 사용하기에 매력적이 되고 있다. 건물에 사용하기 위한 수소 보일러는 현재 생산에 들어갔다. 전기는 또한, 예를 들어, 고체 산화물 연료 전지를 사용하여 수소로부터 생성될 수도 있다.

[0003] 탄화수소에서 수소를 얻기 위한 공정이 개발되었고 - 이는 보통 지금까지 대부분의 구축된 환경 내에서 사용하기에 적합하지 않은 대형 반응기에서 지금까지 진행되어 왔다. 수소를 외부에서 생산하거나 운송하지 않고, 수소를 환경에 공급할 수 있는 것이 바람직할 것이다. 특히 수소 생성 시스템에 가능한 한 다양한 방식으로 사용될 수 있게 하는 방식으로, 구축된 환경에서 및 수소의 사용이 이전에 고려되지 않을 수 있었던 맥락에서, 이를 수행하는 것이 바람직할 것이다.

발명의 내용

[0004] 제1 측면에서, 본 발명은 탄화수소 입력, 전기 입력 및 적어도 하나의 수소 출력을 갖는 탄화수소 열분해 반응기; 수소-연료 발전기(hydrogen-fuelled generator); 적어도 하나의 수소 출력들 중 하나로부터 수소 일부를 수소-연료 발전기로 제공하되, 수소-연료 발전기는 전기 출력을 생성하도록 구성는 수단; 및 수소-연료 발전기의 전기 출력을 탄화수소 열분해 반응기의 전기 입력으로 제공하는 수단을 포함한다.

[0005] 이러한 방법을 사용하여, 수소 생산 시스템은 사용시 효과적으로 자기 유지를 할 수 있고, 이는 시동을 위한 전기 에너지만을 필요로 한다. 이러한 방법을 사용하여, 보다 많은 수소가 수소-연료 발전기를 통과한다면, 잉여 전기가 다른 사용을 위해 생성될 수도 있다. 두 특징은 특정 환경에서 - 예를 들어, 수소 기반 난방 시스템을 운행하기 위해, 또는 탄화수소 가스가 존재하지만 일관되게 전기를 공급하지 않을 수 있는 지역에서(예를 들어, 플레어 가스가 사용가능한 오일 지역에서) 사용하기 위해, 수소 생산 시스템을 제공하는데 특히 유용할 수 있다. 실시예들에서, 수소-연료 발전기는 고체 산화 연료 전지와 같은 연료 전지일 수 있다. 다른 실시예들에서, 수소-연료 발전기는 수소-연료 모터 또는 수소-연료 가스 터빈을 포함할 수 있다.

[0006] 실시예들에서, 탄화수소 열분해 반응기는 제1 고순도 수소 출력 및 제2의 저순도 수소 출력을 가질 수 있다. 이 출력들은 수소 정화 스테이지에 의해 제공되어 제1 수소 출력 및 제2 수소 출력을 제공할 수 있다. 그러한 수소 정화 스테이지는 압력 스윙 흡착(pressure swing adsorption) 스테이지를 포함할 수 있다.

[0007] 수소 생산 시스템은 또한 열 교환기를 포함할 수 있고 - 수소 생산 시스템에 의해 출력된 수소는 바람직한 설계 선택에 따라 열 교환기를 통과하기 전후에 수소 정화 스테이지를 통과할 수 있다.

[0008] 이러한 방법을 사용하여, 제2 수소 출력의 일부는 수소-연료 발전기용 연료로서 제공될 수 있다. 제2 수소 출력의 다른 일부는 수소 열분해 반응기용 퍼지 가스로 제공될 수 있다.

[0009] 일실시예에서, 제1 수소 출력은 실질적으로 7 나인 순도일 수 있고 제2 수소 출력은 실질적으로 1.5 나인 순도일 수 있다. 수소 정화 스테이지가 사용된다면, 이는 각 수소 스트림에 대한 사용 요구사항에 따라 고순도 및 보다 낮은 순도의 수소를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0010] 탄화수소 열분해 반응기는 플라즈마 토치를 포함할 수 있다. 실시예들에서, 탄화수소 열분해 반응기는 또한 탄화수소 열분해 및 반응 산출물의 분리를 위해 플라즈마 토치 다음에 액체 금속 시스템을 포함한다.

[0011] 탄화수소 입력은 메탄 입력일 수 있다.

[0012] 제2 측면에서, 본 발명은 수소 생산 시스템의 동작 방법을 제공하고, 그 방법은: 탄화수소 입력 및 전기 출력을 사용하는 탄화수소 열분해 반응기를 가동하는 단계; 수소 생산 시스템으로부터의 적어도 하나의 수소 출력을 제공하고, 적어도 하나의 수소 출력 중 하나로부터의 수소를 수소-연료 발전기로 제공하는 단계; 수소-연료 발전기에서 전기 전력을 생성하고, 수소-연료 발전기로부터의 전기 전력을 수소 열분해 반응기의 전기 입력으로 제공하는 단계를 포함한다.

[0013] 적어도 하나의 수소 출력을 제공하는 단계는 제1 고순도 수소 출력 및 제2의 저순도 수소 출력을 제공하는 단계를 포함할 수 있다. 제1 수소 출력 및 제2 수소 출력은, 압력 스윙 흡착 스테이지일 수 있는 수소 정화 스테이지에 의해 제공될 수 있다.

[0014] 제2 수소 출력의 일부는 수소 열분해 반응기용 퍼지 가스로 제공된 제2 수소 출력의 다른 일부와 함께 수소-연

료 발전기용 연료로 제공될 수 있다.

[0015] 탄화수소 열분해 반응기는 플라즈마 토치를 포함할 수 있고, 수소-연료 발전기로부터의 전기 전력을 제공하는 스테이지를 플라즈마 토치에 전원을 공급하는 스테이지를 포함할 수 있다.

[0016] 탄화수소 입력은 메탄 입력일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 본 발명의 실시예들이 첨부된 도면을 참조하여 예시적으로 설명될 것이다:

도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 수소 생산 시스템을 도시한 것이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 수소 생산 시스템의 동작 방법을 도시한 것이다.

도 3은 예시적인 수소 생산 시스템으로부터 플라즈마 토치의 종단면을 도시한 것이다.

도 4는 애노드의 추가 요소들을 보여주고 탄소 축적을 방지하는 특징을 도시한 도 3의 플라즈마 토치로부터 상세 내용을 도시한 것이다.

도 5는 도 3의 플라즈마 토치를 통과한 반응 가스의 흐름을 도시한 것이다.

도 6a 및 6b는 도 3의 플라즈마 토치에서 사용하기 위한 피드스톡(feedstock) 가스의 입구용 링의 측 입면도 및 측면도를 각각 도시한 것이다.

도 7은 본 발명의 실시예들을 위한 수소 생산 시스템으로 사용하는데 적합한 반응기 구조의 반응 공정을 도시한 것이다.

도 8은 도 3 내지 7의 플라즈마 토치 시스템에 의해 구동되고 플라즈마 토치 시스템용 하우징을 포함하는 액체 금속 열분해 반응기를 도시한 것이다.

도 9a 및 9b는 플라즈마 토치에 의해 구동된 도 8의 반응기의 액체 금속 순환 시스템을 도시한 것이다.

도 10은 도 8의 액체 열분해 반응기를 보다 상세하게 도시한 것이다.

도 11은 도 10의 액체 열분해 반응기에 대한 피드 시스템을 탄소 출력과 함께 도시한 것이다.

도 12는 도 7의 반응 공정의 변형 버전을 사용하여 본 발명의 일실시예에 따른 수소 생산 시스템의 동작 공정을 개략적으로 도시한 것이다.

도 13은 도 12에 도시된 공정에 대한, 수소 생성 시스템의 동작 공정의 대안적인 실시예를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 본 발명의 일반적이고 특정 실시예가 도면을 참조하여 이하에서 설명될 것이다.

[0019] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 예시적인 수소 생산 시스템을 도시한 것이다. 반응기(1)는 탄화수소 입력(11)을 피드 가스로 수용하고, 전기 전력원(3)에 의해 공급될 수 있는 전기 전력 입력을 갖는다. 반응기는 이하에서 추가 논의된 설계의 플라즈마 토치 반응기일 수 있다. 반응기는 도시된 배열에서 수소를 출력으로서 생성하고, 이는 고순도의 수소 출력(13) 및 보다 저순도의 수소 출력(12)을 포함한다. 반응 공정의 다른 출력들(14)은, 예를 들어, 메탄이 피드 가스로 사용된다면, 탄소를 포함할 수 있다.

[0020] 수소 출력의 적어도 일부는 - 도시된 경우에서 이것이 저순도 수소 출력(12)의 전부이고, 다른 실시예에서 이 수소 중 일부는 반응기(1)로 재순환될 수 있지만 - 수소-연료 발전기(2)의 입력으로 제공된다. 이는 수소-연료 모터, 수소-연료 가스 터빈, 또는 (고체 산화물 연료 전지(solid oxide fuel cell, SOFC)와 같은) 연료 전지를 포함할 수 있다. 수소-연료 발전기로부터의 전기 출력(10)은 반응기(1)로 곧바로 되돌아가고 반응기(1) 자체의 동작에 전력을 제공하는데 사용된다 - 또는, 더 큰 비율의 수소 출력이 수소-연료 발전기(2)를 통과하여 바로 되돌아가는 경로를 가질 수 있고, 이는 다른 목적을 위해 추가 전기 출력을 제공할 수 있다. 이러한 방식으로, 동작 중에, 반응기는 대부분의 동작 주기 동안 중요 전기 전력 소비자 역할을 하지 않고 동작될 수 있다.

[0021] 방법면에서, 이는 도 2에 도시되어 있다. 먼저 탄화수소 열분해 반응기가 작동되고(22) - 이는 탄화수소 피드스톡의 입력이 필요하고, 또한 반응기를 동작시키는(예를 들어, 플라즈마 토치 반응기의 플라즈마 토치에 에너지를 공급하는) 전기 전력을 필요로 한다. 이는 주 전력 또는 전용 국소 시스템(예를 들어, 배터리 또는 생성기)

에 접근하여 필요한 전력 제공을 요구한다. 동작시, 수소 출력의 일부는 반응기에서 수소-원료 발전기로 직접 제공된다(24). 수소-연료 발전기는 수소를 연료 자원으로 사용하여 반응기에 전기 에너지 입력(28)을 직접 제공하게 하는 전기 전력을 생성한다(26). 이는 정상적인 실행에서 반응기가 전력에서 자체적으로 충분하다는 것을 의미한다.

[0022] 상술한 바와 같이, 반응기(1)는 탄화수소 입력을 수용하도록 구성되고 - 특별 실시예에서, 탄화수소 입력은 주로 메탄일 수 있다. 천연가스 입력은 주로 메탄, 가능하게는 적은 양의 다른 단쇄 탄화수소(short-chain hydrocarbon)를 포함하고, 단쇄 탄화수소는 (후술되는 실시예들에서 설명되는 것처럼) 유사한 방식으로 열분해될 것이다. 실시예들에서, 주로 탄화수소를 포함하는 다른 가스 입력들이 사용될 수 있고- 특히 관심 대상은 액상 탄화수소("오일")과 함께 발견되는 기체 탄화수소에 대한 일반 용어인 "플레어 가스"이다. 플레어 가스는 또한 크게는 메탄을 포함하지만, 대체로 단쇄 탄소를 포함할 것이고, 수증기, 황화수소(H_2S) 및 이산화탄소(CO_2), 및 질소(N_2)와 같은 다른 화합물을 포함할 수 있다. 반응기 종류에 따라, 이들 중 일부는 입력에 포함되어 열분해되거나, 아니면 하류에서 분리된 반응 산출물과 반응하는 반면, 나머지는 반응기에 입력되기 전 하나 이상의 분리 스테이지에서 플레어 가스와 분리될 수 있다. 예를 들어, 탈황 스테이지는 플레어 가스의 입력 전에 이뤄질 수 있다.

[0023] 수소 생산 시스템의 특히 적절한 실시예가 이하에서 설명될 것이다 - 이 방법은 플라즈마 토치를 사용하여 메탄을 수소와 탄소로 분리하는 것이다. 이하에서 상세하게 설명되는 실시예는 또한 액체 금속 시스템을 포함하여 수소 가스 출력 및 고체 탄소 출력으로의 분리를 위해 수소와 탄소를 제거한다. 본 발명의 다른 실시예는 액체 금속 시스템을 사용하지 않고, 분리를 위한 다른 방법을 채용한다 - 예를 들어, 다른 실시예에서, 질소와 같은 퍼지 가스가 사용되어 수소 및 탄소의 토치 출력을 운반하고, 그런 다음 하나 이상의 사이클론이 하류에 사용되어 탄소를 분리한다.

[0024] 그러한 수소 생산 시스템의 구성요소들 및 동작 원리들이 도 3 내지 11을 참조하여 설명될 것이다. 이 방법을 사용하는 반응기가 먼저 설명될 것이다. 반응기는 전기 입력을 갖는 압력 용기로 형성되어, 플라즈마 토치 또는 토치들(보다 상세한 내용이 도 8에 제공된다) 및 시스템에 입력될 기체 피드스톡용 가스 입력에 전력을 제공한다. 본 명세서에 도시된 예시적인 반응기는 다수의 스테이지를 갖는다 - 플라즈마 토치들은 하나의 반응기 스테이지로 동작하고, 액체 금속 잠재적으로 플라즈마 토치에 의해 생성된 열을 소비하는 추가 반응기 스테이지로 동작한다. 반응 산출물을 가열된 가스 - 이하에서 설명되는 주요 예에서는 수소 - 를 포함하고, 열 교환기는 예비 반응기 스테이지로 효과적으로 동작하면서, 가열된 가스를 사용하여 피드스톡 가스가, 반응에 맞는 온도가 되게 한다. 다른 실시예에서, 액체 금속 시스템 대신에 단일 반응기 스테이지 및 가스 퍼지가 있다.

[0025] 멀티스테이지 반응기 방법에서, 기체 입력들 - 예를 들어, 메탄 및 잠정적으로 추가적인 냉각 수소(이는 산출물로부터 재순환될 수 있지만)와 같은 탄화수소 - 이 플라즈마 토치로 입력되고, 플라즈마 토치는 탄소 및 수소와 같은 제1 산출물 세트를 제공하는 입력 피드스톡 가스를 소비한다. 이러한 제1 출력 산출물은 고온에서 액체 금속 반응기의 입력으로 통과하고, 그런 다음 추가 피드스톡 가스의 열분해를 제공한다. - 액체 금속을 통해 추출된 탄소 및 가스로 출력된 수소와 같은 - 최종 산출물은 분리 공정 후 액체 금속 반응기로부터 제공된다 - 이 최종 산출물은 액체 금속 반응기에서 열분해로 생산된 추가 출력 산출물과 함께 플라즈마 토치로부터의 제1 산물출을 포함한다. 열분해 반응은 흡열성(endothermic)이지만, 최종 기체 산출물은 저장에 필요한 것보다 훨씬 높은 온도에 있어 아직 충분한 열이 존재하므로 사용될 초과 열이 있다. 여기서 이 가열된 가스 출력은 반응기 공정의 상이한 스테이지용 피드스톡 가스의 온도를 제어하는 열 교환기에 의해 사용된다. 상술한 바와 같이 그리고 이하에서 설명되는 것처럼, 이 멀티스테이지 반응기는 단지 예시적인 수소 생산 시스템일 뿐이고 - 본 발명의 실시예들은 멀티스테이지 반응기에 대해 기술된 모든 특징을 필요로 하지 않는다.

[0026] 플라즈마 토치는 도 3 내지 5에 보다 상세하게 도시되어 있다. 도 3은 플라즈마 토치(30)의 종단면도이다. 플라즈마 토치(30)는 대체로 원통형이고, 본 발명의 실시예에서 사용된 배열에서, 플라즈마 토치는 (이하에서 추가 논의되는) 금속 순환 시스템(40)까지 확장되어 직접 액체 금속을 분출한다. 플라즈마 토치는 캐소드(31) 및 애노드(32)를 갖는 중앙 챔버(300)를 포함한다. 이들은 중앙 챔버(300) 내 조건에 적합한 임의의 도전성 물질을 가질 수 있고 - 탄소(흑연)이 사용될 수 있고, 또는 임의의 적절한 금속 또는 합금, 균일한 또는 적절한 삽입물 - 예를 들어, 하프늄 삽입물을 갖는 구리가 가능한 선택이 될 것이다. 여기서, 캐소드(31)는 액체 금속 반응기(39)로부터 원격에 있는 플라즈마 토치(30)의 끝을 향해 위치하고, 세라믹 컵 형상의 단부(38)는 플라즈마 토치의 끝부분이 된다. 대안적인 토치 설계에서, 전극들이 다른 방식으로 배치되거나, 교류 플라즈마 토치는 애노드 및 캐소드가 아닌 전극들에 대한 논의에서만 의미있게 사용될 수 있다. 애노드는 대체로 원통형이지만, 내면

(34)은 이하에서 상세하게 설명될 노즐(35) 및 분산부(36)를 포함하는 형태를 갖는다. 보호 전극(33)은 캐소드(31) 및 애노드(32) 사이에 배치될 수 있고 - 당업자는 전극 구조가 플라즈마 토치 챔버 내에서 원하는 필드 패턴을 달성하기 위해 다시 변경될 수 있고, 전극을 포함하지 않거나 하나 이상의 중간 전극들을 포함할 수 있음을 이해할 것이다 - 다수의 보호 전극들은 효과적인 점화를 위한 스파크 안정을 보조하거나 애노드의 마모를 방지하도록 연속되어 이어진다(cascaded). 가스 입구(37)는 기체 피드스톡을 - 도 3에 도시된 배열에서 - 반응기로 입력하도록 제공되고, 메탄은 보호 전극(33)에 배치된 가스 입구(37)로 들어간다. 이하에서 보다 상세하게 설명되는 것처럼, 본 발명의 상이한 실시예에서, 상이한 피드스톡 가스에 대한 상이한 가스 입구 위치들이 제공된다. 이하의 논의가 주로 메탄을 참조하지만, 다른 탄화수소도 동일하게 사용될 수 있음이 이해되어야 한다 - 예를 들어, 프로판은 액체 상태로 이송될 수 있지만 플라즈마 토치 반응기에서 반응을 위해 쉽게 기화되므로, 처리를 위한 다른 특별히 적합한 선택이 될 것이다.

[0027] 도 4는 도 3에 도시된 플라즈마 토치(30) 사용시 메탄을 분해하는 현상을 도시한 것이다. 이 반응에서, 메탄은 플라즈마 토치 스파크 반응을 통해 고온에서 수소 가스와 탄소로 분해되고, 이 스파크는 섭씨 6000도를 가질 수 있고, 순간 분해를 일으킨다. 실제 문제는 이로써 토치를 막을 탄소 침전물(41)이 만들어져 공정 효율에 상당히 영향을 주고, 유지보수를 위해 상당한 정지시간을 초래할 수 있다는 것이다. 그러한 탄소 축적을 방지하고 반응 산출물 모두가 플라즈마 토치(30)를 빠져나가게 하는 것이 바람직할 것이다. 이를 달성하기 위한 한 가지 특징은 축적을 방해할 가스로 애노드를 보호하는 것이다. 이는 애노드(32)를 다공성으로 만들어서 애노드 가스 출구(42)가 가스를 전달하는 것으로 달성될 수 있다 - 이 경우, 수소가 애노드를 통과하여 애노드 내부를 따라 보호 커튼을 제공하여 탄소 축적을 방지한다. 가스는 플라즈마 토치 출구로 향하는 속도 성분을 갖도록 애노드에 대해 일정 각도로 전달되어 이 보호 커튼을 달성한다 - 또는, 속도 성분이 플라즈마 토치 출구로부터 멀어지도록 제공되어 전극에 보호 커튼을 제공할 것이다. 보호 커튼을 제공하는 것 외에, 침전된 탄소가 수소에 의해 활발한 침식이 일어날 수 있다 - 수소는 메탄에 대한 반작용으로 탄소와 반응할 수 있어 침전된 탄소에 침식을 더 일으킬 수 있다. 수소는 또한 애노드가 열화되는 것을 방지하면서 애노드를 냉각시키는 기능을 한다. 이러한 방식으로 다공성 애노드를 사용하는 것 외에, 캐소드 또한 다공성으로 만들어져 유사한 방식으로 냉각될 수 있다.

[0028] 추가 방법이 사용되어 탄소 축적을 방지한다. 애노드의 형상은 또한 토치의 동작 중에 스파크 갭 영역에서 애노드에 탄소에 대한 유사 침전이 일어나도록 배열될 수 있다 - 그런 다음 스파크 동작이 탄소 축적을 더 침식시킬 수 있다.

[0029] 탄소 축적을 방지하는 다른 특징이 도 5에 도시되어 있다. 도 5는 플라즈마 토치 구조를 통과하는 가스 통로를 도시한 것이다. 여기서 메탄은 보호 전극 내 가스 입구(37)를 통해 접선방향을 따라 플라즈마 토치에 투입되고, 이러한 투입된 메탄은 대체로 나선형인 경로를 따라 캐소드를 향해 진행한다. 여기서 가스 입구(37)는 도 6a 및 6b에 상세하게 도시된 것처럼 세라믹 링(51)을 통해 제공된다. 대안적인 배열에서, 링은 금속일 수 있고, 캐소드 및/또는 애노드의 일부로 형성될 수 있다. 본 명세서에 기술된 흐름 배열을 가능 및 유지하도록 다양한 배열이 가능하다. 세라믹 링(51)은 링 주변의 투입 가스의 순환을 위한 갤러리(52)를 포함하여, 입력 가스를 다수(도시된 설계에서는 4개)의 채널들(53)로 보내고, 채널을 통해 입력 가스가 접선을 따라 챔버로 전달되어 챔버 벽에 인접한 출력 가스에 나선형 경로를 만들고 플라즈마 토치 챔버 내에도 소용돌이를 만든다. 이는 가스 종류, 흐름 조건, 입력 및 온도를 설명하는데 최적화되어 원하는 흐름 패턴을 달성할 수 있다. 벽 구조(특히 벽의 거칠기 및 기하구조)는 외부 가스 나선이 모멘텀을 유지하고 보다 빠르게 회전하는 내부 가스 나선과 분리되게 하고, 토치 기하구조는 가스가 보다 빠른 속도로 보다 빼곡한 내부 원을 그리는 내부 리턴 나선이 되게 한다. 가스는 캐소드와 애노드 사이에서 역으로 진행하는 이 빼곡한 나선을 그리고, 캐소드와 애노드 사이의 스파크 갭에서 탄소와 수소로 분해될 때 가열되는 동안 이러한 상태를 유지한다. 플라즈마는 빠르게 형성된다 - 보통 1 마이크로초 미만이다. 가스의 경우, 적절한 조정으로 가스가 (압력, 온도 및 밀도에 의해) 조정되게 하여 토네이도와 유사하게 나선들 사이에서 에너지 교환을 최소화한다. 이러한 구성은 출력 가스 -이 경우, 수소 - 에게 플라즈마 토치의 출구를 향해 상당한 속도를 부여하고, 또한 탄소가 플라즈마 토치 챔버 벽이 아닌 그 중심에서 형성될 때 탄소의 응집 및 축적을 방지할 것이다. 플라즈마는 근접 열평형(near thermal equilibrium) 상태에서 분자가 대개 원자들로 분해된 채 - 플라즈마 토치 내 온도와 압력의 동작 조건하에서 에너지 균형 상태에 있는 이온과 전자를 포함하고, 플라즈마로부터 응집된 안정된 탄소 상태는 가스이고, 탄소 분해 가능성은 감소한다. 플라즈마 토치 설계는 일반적으로 챔버 중심에서 반응을 촉진하고 벽에서는 방지하도록 이뤄지고, 따라서 반응 산출물은 우선적으로 플라즈마 토치에서 액체 금속 반응기로 전달된다. 외부 나선은 내부 나선 내 원자상태의 탄소가 벽에 응집되는 것을 방지하는 동안 벽을 냉각하여 절연시킨다. 반응에서 나온 수소는 노즐(35)을 통과하여 벤투리 효과(Venturi effect)에 따라 속도가 증가하고 압력이 감소하게 된다. 그런 다음 가스는 플라즈마 토치(30)에서 출력되어 높은 온도(및 운동 에너지)를 갖는 분산기(36)를 통과한다 - 플라즈마는 토치

에서 초음속으로 배출된다. 이 특징들의 누적 효과에 의해 탄소는 대체로 애노드 벽에 상당한 침전물 축적이 없이 플라즈마 토치 출구로 운반된다. 분산기(36)의 역할은 플라즈마 토치 출구의 압력을 다음 반응기 스테이지와 일치시키는 것으로, 이하에서 상세하게 설명될 것이다. 본 명세서에 상세하게 설명된 실시예에처럼, 다음 반응기 스테이지는 액체 금속 반응기- 여기서 액체 금속은 또한 이하에서 설명되는 것과 같이 토치와 직접적인 상호작용에 사용될 수 있다.

[0030] 이러한 배열은 매우 높은 기체 피드스톡 처리량을 갖는 토치 내 고압과 (섭씨 6000도 이상의 반응점에서의) 고온 동작을 허용한다. 섭씨 6000도의 반응점과 50 바의 압력, 대략 72 kg/hour의 메탄이 있는 영역에서 토치 챔버 내 동작온도을 갖는 플라즈마 토치로 200 kW 전력이 입력되는 경우 이러한 설계가 사용될 수 있다. 전극간 전압은 보통 150V와 600V 사이, 보통 약 250 V일 수 있고, 동작 전류는 100A와 500A 사이, 보통 약 200A일 것이다. 피드스톡 가스는 열 교환기를 사용하여 예열될 수 있고 - 애노드 냉각에 사용된 수소가 저온에서 제공될 것이지만, 열분해 반응(이하 설명 참조)을 빠져나온 열을 이용한다.

[0031] 멀티스테이지 반응에 대한 전체 반응 흐름은 도 7을 참조하여 설명될 것이다. 상술한 바와 같이, 이는 본 발명의 실시예들에 사용될 수 있는 단 하나의 예시적인 반응기 종류이고 - 다른 실시예에서, 플라즈마 토치는 유일한 반응기일 수 있고, 가스 퍼지 및 분리 스테이지가 이어질 수 있다. 이러한 반응 흐름은 메탄의 분해와 열분해에 특정되지만, 본 명세서에서는 보다 일반적으로 복합 반응기의 상이한 부분들에서 일어나는 상이한 반응 공정들의 설명에 사용된다. 예를 들어, 프로판과 같은 다른 탄화수소는 플라즈마 토치 반응기뿐만 아니라 액체 금속 반응기에서도 메탄 보다는 피드스톡 탄화수소로 사용될 수 있다.

[0032] 이 시스템으로의 두 입력: 전기(1101) 및 탄화수소(1102)(이 경우, 메탄)이 도시되어 있다. 두 출력: 수소(1103)(다른 반응의 경우, 다른 출력 가스가 제공되거나 대체될 수 있다 - 생성된 수소의 일부가 반응 공정에서 사용되도록 순환되는 것도 주지해야 한다) 및 카본 블랙(1104)이 도시되어 있다. 두 입력은 도 12를 참조하여 이하에서 지적되는 것처럼 상이하게 사용된다. 두 입력은 플라즈파 토치(1105)로 제공되고, - 전기 전력 및 탄화수소 피드스톡 외에, 수소가 입력으로 제공된다. 도시된 배열에서, (섭씨 200 내지 400도 범위 내로 도시된) 저온 수소 입력(1111) 은 애노드를 냉각하기 위해 플라즈마 토치(1105)로 제공되고, 반응 피드스톡으로 사용된, 예를 들어, (약 섭씨 700도로 도시된) 고온 탄화수소(1112)는 반응 챔버의 온도와 압력을 유지하고 플라즈마 토치를 통해 물질 흐름을 촉진하기 위해 플라즈마 토치(1105)로 제공된다. 플라즈마 토치가 전기 에너지를 소모하여 고온 출력을 생성하면서, 이는 제2 반응기(1122)에서 열분해 반응에 의해 부분적으로 소비된다. 제2 반응기로부터, 가열된 출력 가스는 섭씨 약 200도의 저온 탄화수소(1113)를 섭씨 약 700도의 플라즈마 토치 반응 온도의 고온 탄화수소(1112)로 높이도록 열교환기(1121)에 사용되어 탄화수소 피드스톡을 순환시킬 수 있다 - 열교환기(1121)는 또한 냉각기 온도의 수소를 플라즈마 토치로 제공할 수 있다. 따라서 이 열교환기(1121)는 효과적으로 제1 반응기 공정으로 동작하고 종료 공정의 열을 흡수하여 반응 스테이지에 필요한 가스가 정확한 온도가 되게 한다.

[0033] 플라즈마 토치(1105) 자체는 제2 반응기(1122)로 동작하여 고온 수소 및 (주로) 기화된 탄소를 출력(114)으로 제공한다. 반응 산출물을 통한 플라즈마 토치(1105)는 액체 금속 열분해 반응기(1123)인 다음 반응 스테이지에서 동작한다. 플라즈마 토치(1105)는 이 반응을 위해 열을 제공하여 금속(여기서는 납)을 반응 온도까지 가열하고, 납을 회전시켜 탄소가 반응기 중심에서 추출될 수 있게 한다. 더 고온의 탄화수소(1115)가 열교환기(1121)로부터 액체 금속 열분해 반응기(1123)에 대한 피드스톡으로 제공된다. 열분해 반응기에서 열 전기분해 반응으로 생성된 초과 열로부터 매우 고온(대략 섭씨 1200도)으로 제공된 수소 출력(1116)은 열교환기(1121)로 리턴되고, 주로 수소 가스 출구(1104)에서(보다 낮은 온도에서) 제공되는 동안 플라즈마 토치(1105)로 부분적으로 재순환된다.

[0034] 본 발명의 일부 실시예에서 사용된 액체 금속 열분해 반응기는 도 8 내지 11에서 보다 상세하게 설명된다. 도 8은 반응기 어셈블리의 주요 구성요소들을 도시한 것이다. 토치 마운팅(121)은 메인 반응기 볼륨(123)으로 피딩하는 액체 금속 레이스트랙(122)으로 직접 연결된다. 또한 소용돌이 챔버(125)를 포함하는 메인 반응기 볼륨(123)에 대한 가스 입구(124)가 있다. 액체(용융) 금속은 액체 금속 칼럼에 회전을 주도록 소용돌이 챔버(125)로 전달되어 액체 금속이 입력 가스에서 열분해 반응을 개시하고 원심 분리기로 동작하게 하여 반응 산출물을 회전 칼럼의 중심을 향해 분리한다. 그런 다음 탄소는 탄소 출구(126) 내 반응기의 베이스에서 추출가능하다. 수소는 액체 금속에서 생성되고 반응기 상부로부터 수소 출구(127)를 통해 배출된다. 반응은 높아진 온도와 압력(보통 섭씨 800 내지 1000도 및 50 바)에서 수행된다.

[0035] 이 기능은 액체 금속 시스템에 그 자체로는 반응기가 아니더라도 플라즈마 토치의 반응기와 유용하게 결합될 수

있고 - 이 경우, 분리기로서만 동작하여 반응 산출물을 플라즈파 토치 출구의 에너지에 의해 전력을 공급받는 플라즈마 토치로부터 분리한다. 그러나 이는 상당한 초과 열을 남기고, 액체 금속 시스템 자체를 추가 탄화수소의 흡열분해(endothermic pyrolysis)에 사용된 반응기로 만드는 것은 특히 효과적인 반응기 시스템을 유도한다.

[0036] 도 9a 및 9b는 상이한 각도로부터 플라즈마 토치 마운팅과 액체 금속 레이스트랙을 도시한 것이다. 액체 금속은 냉각될 때 반응 챔버를 통과하여 반응 산출물이 분리되고, 그런 다음 플라즈마 토치 마운팅(121)을 향해 엘보우 조인트(128)를 지나는 액체 금속 레이스트랙(122)을 통과하고, 거기서 플라즈마 토치 출력이 액체 금속으로 분사된다. 이는 액체 금속을 충분한 온도로 가열하여 메탄과 같은 탄화수소에서 열분해 반응을 개시하고, 또한 반응 산출물이 시스템으로부터 수집될 수 있도록(플라즈마 토치 젯으로부터 액체 금속 안으로 이동한 메탄도 이 지점에서 열분해됨) 플라즈마 토치 반응의 반응 산출물을 액체 금속 반응기로 운반한다. 가열된 금속은 액체 금속 레이스트랙의 나머지를 따라 이동하여 바닥으로부터 액체 금속 반응기 챔버로 들어간다. 결과로서의 레이스트랙 구조의 일부는 가열된 액체 금속으로부터의 나오는 고온을 견뎌야 할 필요가 있고, 또한 반응 공정과 외부 반응 공정에서의 상당한 온도 차에 의한 팽창하도록 구성될 필요가 있을 것이다. 예를들어, 조인트는 몰리브덴 소매를 사용하여 보호될 수 있다.

[0037] 플라즈마 토치는 액체 금속 레이스트랙(122)으로 효과적으로 분출하도록 설계되어 있다 - 특히 플라즈마 토치의 분산기는 토치 외부와 압력이 일치하도록 설계된다. 이는 액체 금속 레이스트랙에서 난류가 아닌 선형 흐름을 지원하는 잇점이 가질 것이다. 액체 금속은 플라즈마 제트를 안정화하도록 동작할 소용돌이 또는 와류가 될 수 있다. 플라즈마 토치로부터의 반응 산출물 - 도시된 예에서 수소와 탄소 -은 이하에서 설명되는 것처럼 액체 금속 반응기 안팎에서 후속 분리를 위해 액체 금속 내에서 운반될 것이다.

[0038] 액체 금속 시스템은 또한 플라즈마 토치 반응기의 출구에서 불순물을 제거하는 역할을 할 수 있다. 예를 들어, 에틸렌은 부산물로 생성될 수 있지만, 그런 다음 액체 금속 시스템에서 다시 분해될 수 있다. 액체 금속 시스템에서 나온 액체 금속은 다른 가능을 가질 수 있다. 예를 들어, 플라즈마 토치의 분산기는 액체 금속 레이스트랙까지 충분히 멀리 연장되어 액체 금속이 분산기를 청소하고 탄소 축적을 금지하도록 동작할 것이다 - 실시예들에서, 분산부는 부분적으로 다공성이어서 액체 금속 흐름을 지원할 수 있다. 원한다면, 레이스트랙에서 나온 액체 금속은 플라즈마 토치가 넘칠 때까지 흐를 수 있고, 빠르게 반응을 냉각시키거나 동작을 중단시킨다. 따라서 액체 금속은 다공성 애노드(사용된다면, 캐소드) 구조를 넘치게 하고 - 청소하는데 사용될 수 있다.

[0039] 납과 같은 낮은 융점의 구성요소 또는 주로 납을 포함하는 낮은 융점 혼합물이 액체 금속 시스템에서 액체 금속으로 사용될 수 있다. 납은 높은 수증기 장력을 갖지 않는 반응 온도에 있는 액체로서 적절한 선택이고, 대부분의 다른 적절한 금속보다 독성 문제를 덜 일으킨다. 갈륨은 다른 가능한 선택이다. 비스무스-주석과 같은 다른 낮은 융점 합금도 적절한 선택이다.

[0040] 상술한 바와 같이, 여기서 액체 금속 시스템은 이 구조로 설계되어 분리기로 동작하지만 반응기로도 동작할 수 있다. 도 10은 액체 금속 열분해 반응기용 반응 챔버를 형성하는 소용돌이 챔버(125)를 도시한 것이다. 가열된 액체 금속은 입력 가스를 따라 하부로부터 이 챔버로 전달되고, 소용돌이 챔버(125) 내 순환은 원심 분리 동작에 의해 분리된 반응 산출물이 순환하는 액체 금속 칼럼의 중앙에 있게 하고, 탄소와 수소가 초기에는 반응기 상부에 있는 해트(hat) 구조물(151)에서 수집되게 하는 분리를 유도한다. 이는 깨끗한 수소 수집에 사용되고 - 이는 이 지점에서의 유일한 가스가 될 것이고, 단순히 플로트 밸브(float valve)를 통해 배출될 수 있다. 이 구조에서 액체 소금 구조물은 납과 탄소 혼합물이 퍼지게 하기 위해 제공된다 - 이는 탄소를 납으로부터 분리시키게 될 것이고, 그 공정은 중력에 의해 보다 가벼운 탄소가 보다 무거운 납과 소금 위에 플로팅한 상태로 완료된다. 이는 탄소가 챔버의 중앙 지역에서 활송(chute)를 통해 드롭하여 분리될 수 있게 한다. 소용돌이 챔버(125) 아래의 베이스 플레이트(152)는 기체 입력을 위한 쓰루 홀을 갖는다. 냉각 금속은 소용돌이 챔버(125) 측면의 쓰루홀을 통과해 냉각 금속이 순환하는 베이스 플레이트(152)를 통해 도 13 및 14에 도시된 액체 금속 레이스트랙까지 하부로 전달된다.

[0041] 소용돌이 챔버(125)에 대한 보다 상세한 내용이 도 11에 도시되어 있다. 도 11은 반응이 일어나는 소용돌이 챔버(125) 아래의 액체 금속 반응기 관의 하부를 보여준다. 플라즈마 토치로부터 가열된 뜨거운 금속이, 반응 가스가 가스 주입구(162)를 통해 주입되는 상태에서 하부로부터 금속 주입구(161)를 통해 주입된다. 탄소는 탄소 출구(163) 내 반응기 바닥을 통해 출력된다. 수소는 소용돌이 챔버(125) 상부에서의 후속 순환과 수집을 위해 소용돌이 챔버의 베이스 플레이트(152)를 통해 순환된다.

[0042] 상술한 바와 같이, 열 교환기 시스템은, 반응에 사용하기 위해 입력 가스를 정확한 온도에서 제공하도록 반응에

서 생성된 열이 사용되게 한다. 액체 금속 반응기에서 출력된 높은 온도(섭씨 1200도)의 수소는 플라즈마 토치와 액체 금속 열분해 반응기로 공급하기 위한 메탄 피드스톡을 가열하는데 사용된다. 이 수소 출력의 일부는 상당히 낮은 온도(예를 들어, 섭씨 200 내지 400도)까지 냉각되어 상술한 바와 같이 플라즈마 토치의 애노드 및 캐소드 냉각에 사용된다.

[0043] 본 명세서에 기술된 반응기의 실시예가 메탄의 열분해에 사용되는 반면, 이 반응기 구조는 다수의 반응에 채용될 수 있다. 피드스톡 시스템에 대한 논의에서 주지된 것처럼, 예를 들어, 다양한 입력 가스가 상이한 반응에 사용될 수 있고, 플라즈마 토치 전체에서 정확한 가스 순환을 달성하도록 가스의 입력 위치가 선택된다. 유사하게, 상이한 반응을 달성하도록 단순한 메탄이 아닌 상이한 입력들이 액체 금속 반응기에 제공될 수 있다.

[0044] 상술한 특정 반응기 구조는 단지 본 발명의 실시예에서 사용하기에 적합한 수소 생성 시스템의 예시임이 강조되어야 한다. 특히, 멀티스테이지 또는 복합 반응기 구조는 필요하지 않다 - 필요한 것은 수소와 적당하게 형성된 탄소를 적당한 규모로 생성하는 효과적인 방식으로, 이는 탄화수소를 수소와 탄소로 분리하기 위한 플라즈마 토치를, 효과적인 분리를 달성하게 위한 액체 금속 시스템 또는 다른 적당한 시스템과 함께 사용하여 달성될 수 있다.

[0045] 도 12는 본 발명의 실시예에서 사용하기 위한 도 7의 반응 시스템의 변형된 버전을 도시한 것이다. 이러한 반응 흐름은 메탄의 분해와 열분해에 특정되지만, 본 명세서에서는 보다 일반적으로 복합 반응기의 상이한 부분에서 일어나는 상이한 반응 공정들의 설명에 사용된다. 예를 들어, 프로판과 같은 다른 탄화수소는 플라즈마 토치 반응기뿐만 아니라 액체 금속 반응기에서도 메탄 보다는 피드스톡 탄화수소로 사용될 수 있다.

[0046] 이 시스템으로의 두 입력: 전기(2101) 및 탄화수소(2102)(이 경우, 메탄)이 도시되어 있다. 전기 투입은 전기 공급 시스템(2205)을 통해 제공되고, 이는 이하에서 더 설명되는 것처럼 둘 이상의 소스로부터 전기 전력을 제공할 수 있다. 두 출력: 수소(2103)(다른 반응의 경우 다른 출력 가스가 제공되거나 대체될 수 있다 - 생성된 수소의 일부가 반응 공정에 사용되도록 순환되는 것도 유의) 및 카본 블랙(2104)이 도시되어 있다. 이 출력들은 보통 상이하게 사용될 것이다 - 주로 연료로서 수소를 사용하는 반면, 카본 블랙은 여러 다른 응용에 사용될 수 있다. 두 입력은 플라즈파 토치(2105)로 제공되고 - 전기 전력 및 탄화수소 피드스톡 외에, 수소가 입력으로 제공된다. 도시된 배열에서, , 반응 피드스톡으로 사용되어 반응 챔버의 온도와 압력을 유지하고 플라즈마 토치를 통해 물질 흐름을 촉진하기 위한 예를 들어, (약 섭씨 700도로 도시된) 고온 탄화수소(2112)와 함께, 애노드를 냉각하기 위한(섭씨 200 내지 400도 범위 내로 도시된) 저온 수소 입력(2111)이 플라즈마 토치(2105)로 공급된다. 플라즈마 토치가 전기 에너지를 소모하여 고온 출력을 생성하면서, 이는 제1 반응기(2122)에서 열분해 반응에 의해 부분적으로 소비된다. 가열된 출력 가스는 섭씨 약 700도의 플라즈마 토치 반응 온도에서 섭씨 약 200도의 저온 탄화수소(2113)를 섭씨 약 700도의 고온 탄화수소로 높이도록 열교환기(2121)에 사용되어 탄화수소 피드스톡을 순환시킬 수 있다 - 열교환기(2121)는 또한 냉각기 온도의 수소를 플라즈마 토치로 공급할 수 있다. 따라서 이 열교환기(2121)는 효과적으로 제1 반응기 공정으로 동작하고 종료 공정의 열을 흡수하여 반응 스테이지에 필요한 가스가 정확한 온도가 되게 한다. 이하에서 설명되는 것처럼, 이 배열에서, 열 교환기(2121)는 반응기로부터 다수의 수소 출력들을 얻는다.

[0047] 플라즈마 토치(2105) 자체는 제1 반응기(2122)로 동작하여 고온 수소 및 (주로) 기화된 탄소를 출력(2114)으로 제공한다. 반응 산출물을 통해 플라즈마 토치(2105)는 다음 반응기 스테이지 - 이 경우, 상술한 것처럼, 액체 금속 반응기 대신 액체 금속 열분해 반응기(2123) -에서 동작하고, 플라즈마 토치 및 분리 스테이지 다음에 탄소와 수소를 분리하기 위해 단순히 가스를 제거하는 것일 수 있다. 플라즈마 토치(2105)는 이 반응에 열을 공급하여 금속(여기서는 납)을 반응 온도까지 가열하고, 납을 회전시켜 탄소가 반응기 중심에서 추출되게 한다. 더 고온의 탄화수소(2115)가 열교환기(2121)로부터 액체 금속 열분해 반응기(2123)용 피드스톡으로 제공된다.

[0048] 도 7의 배열과 달리, 여기서는 수소가 액체 금속 열분해 반응기(2123)(또는 다른 스테이지)로부터 두 출력 스트림 - 고순도 출력(2201) 및 저순도 출력(2202)으로 출력되도록 추가 분리 스테이지(2200)가 있다. 각 출력의 순도는 사용된 추출, 분리 및 정화 과정에 의해 결정될 수 있고, 당업자에게 이해될 수 있는 것처럼 - 산업 공정에서 수소 정화의 표준 방법은 압력 스윙 흡착 방식(pressure swing adsorption)이다. 상술한 반응기 과정의 경우, 적정하게 2 나인(nines)(99% 순도)의 수소가 예상되고, 그런 다음 추가 분리 상태(2200)는 이를 7 나인(99.99999% 순도)의 고순도 출력과 1.5 나인(98.5% 순도)의 저순도 출력으로 분리할 수 있다. 이 저순도 출력은 반응기에 대해 퍼지 가스로 사용될 수 있지만 후술되는 것처럼 연료 전지에 전력을 제공하는 것으로 사용될 수 있다. 상술한 것처럼, 액체 금속 반응기가 아닌 시스템은 분리 목적을 위해 사용될 수 있음 주지되어야 한다 - 예를 들어, (질소와 같은) 적당한 퍼지 가스는 수소 분리 및 압력 스윙 흡착 이전에 반응 산출물을 플라즈마 토

치로부터 제거하는 데 사용될 수 있다. 플레어 가스의 경우, 이 가스는 대부분 메탄일 수 있는 반면, 상당한 불순물이 있을 수 있다. 액체 금속 시스템의 경우, 이들은 액체 금속에 의해 효과적으로 분리될 수 있지만, 다른 경우, 추가 분리 단계들이(또는 반응기에 대해 피드스톡 가스로 사용되기 전 어떤 불순물의 제거도) 사용될 수 있다.

[0049] 이 수소 출력들은 열분해 반응기에서 발열 반응으로부터 매우 높은 온도(대략 섭씨 1200도)로 제공되고, 열 교환기(2121)로 리턴된다. 여기서, 고순도 출력이 반응기 시스템의 수소 출력(2103)으로 제공된다. 저순도 출력은 반응기 시스템 내에서 소비되어 부분적으로 플라즈마 토지(2105)에 저온 수소 입력(2111)을 부분적으로 제공하지만, 수소 연료 전지 스트림(2203)에서도 수소-연료 발전기(2204)에 제공된다. 이 저순도 수소는 이 수소-연료 발전기(2204)에 전력제공에 사용되어 전기 공급 시스템(2205)에 전기를 제공한다. 이러한 방식으로, (예를 들어, 주전원, 배터리 시스템 또는 생성기 시스템으로부터의) 초기 전기 전력은 초기에 반응기 가동에 필요하지만, 정상 상태(steady state) 동작에서 플라즈마 토치(2105)의 동작에 필요한 전기 입력은 수소-연료 발전기(2204)에 의해 공급되고, 따라서 정상 상태 동작에서 수소 생산 시스템은 반드시 자기 유지형(self-sustaining)이다.

[0050] 도 13에 보인 대안적인 실시예에서, 분리 스테이지(2300)는 열 교환기(2121) 앞이 아닌 뒤에 위치할 수 있다 - 이 경우, 수소 라인은 열 교환기(2121)까지 하나의 라인(2301)으로 결합될 수 있고, 그 뒤의 분리 스테이지(2300)에 의해 저순도 및 고순도 수소로만 분리될 수 있다. 이러한 접근 방식은 분리 스테이지(2300)에 저온 가스가 존재 하게 하는 것이다. 다음으로, 분리 스테이지로부터 출력은 열 교환기로부터의 저순도 및 고순도 수소 스트림에 대해 상술한 바와 같이 동일한 출력으로 제공될 것이다.

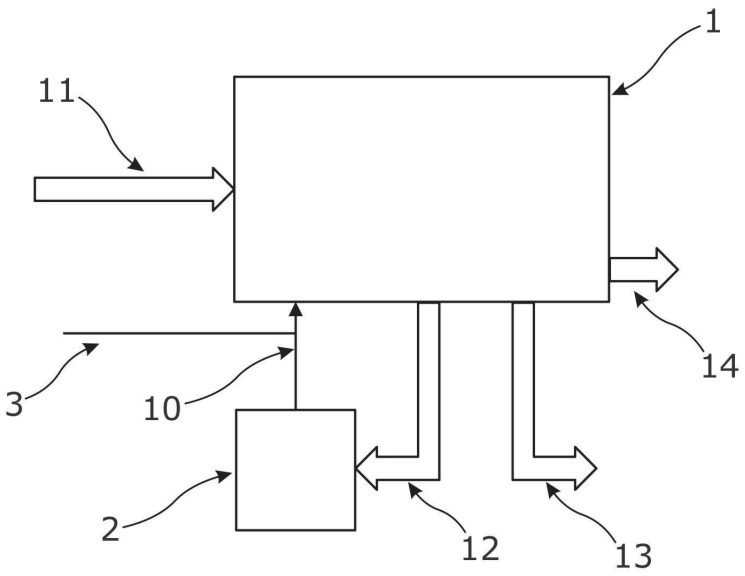
[0051] 이 시스템에서 사용하기 위한 수소-연료 발전기의 선택은 중요하지는 않지만, 반응기 동작에 필요한 전기 전력 출력 및 사용가능한 입력 연료(본 명세서에서 논의된 배열에서 적당한 순도의 수소)에 따라 결정되어야 한다. 한 가지 선택으로는 고체 산화물 연료 전지(solid oxide fuel cell, SOFC)나, 다른 열분해가 있는 연료 전지도 사용될 수 있다. 고체 산화물 연료 전지 구성요소는 다수의 적층된 층(주로 세라믹)을 포함하고, 고체 산화물 연료 전지는 보통 직렬로 연결된 그러한 연료 전지 구성요소 스택을 포함한다. 고체 산화물 연료 전지는 보통 상대적으로 높은 동작 온도 - 섭씨 500 내지 1000도 -를 갖지만, 발열 반응기 근처에서 이를 달성하기는 어렵지 않다. 또는, 상업적으로 사용가능한 수소 연료 엔지 및 수소 연료 가스 터빈은 그러한 수소 공급으로부터 전력을 얻는다.

[0052] 이러한 종류의 플라즈마 토치 반응기를 동작시키는 것은 보통 전기 전력의 200 kW의 단위를 필요로 한다. 고체 산화물 연료 전지의 일반적인 효율에서, 이 전력 출력은 대략 1.5 나인 순도의 9kg/hr의 수소를 소비하여 달성될 수 있다. 이는 ("저순도" 스트림의 대략 절반으로 예상되는) 전체 수소 출력의 일부이고, 따라서 이는 상당한 외부 전기 전력을 공급하지 않아도 반응기가 충분히 정상상태로 동작할 수 있게 한다.

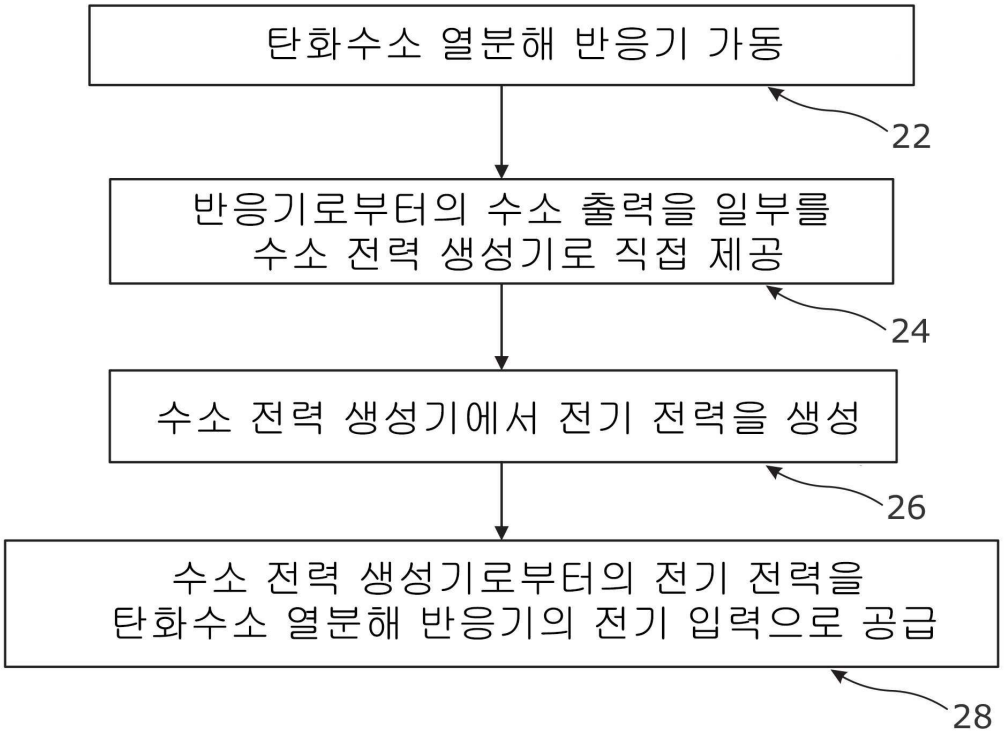
[0053] 본 명세서의 접근 방법은, 수소와 탄소가 출력으로 제공된다면, 특정 종류의 수소 생산 시스템을 사용하는 것에 좌우되지 않음을 당업자는 이해할 것이다. 당업자는 또한 본 명세서에 기재된 기본적인 개념에서 벗어나지 않고 이러한 접근방식에 대한 변경 - 예를 들어, 수소에 대한 대안적인 출력 가스는, 수소가 적절한 생성기에서 연료로 소비될 수 있다면, 변형된 "수소 생산 시스템"에 의해 생산될 수 있음을 이해할 것이다.

도면

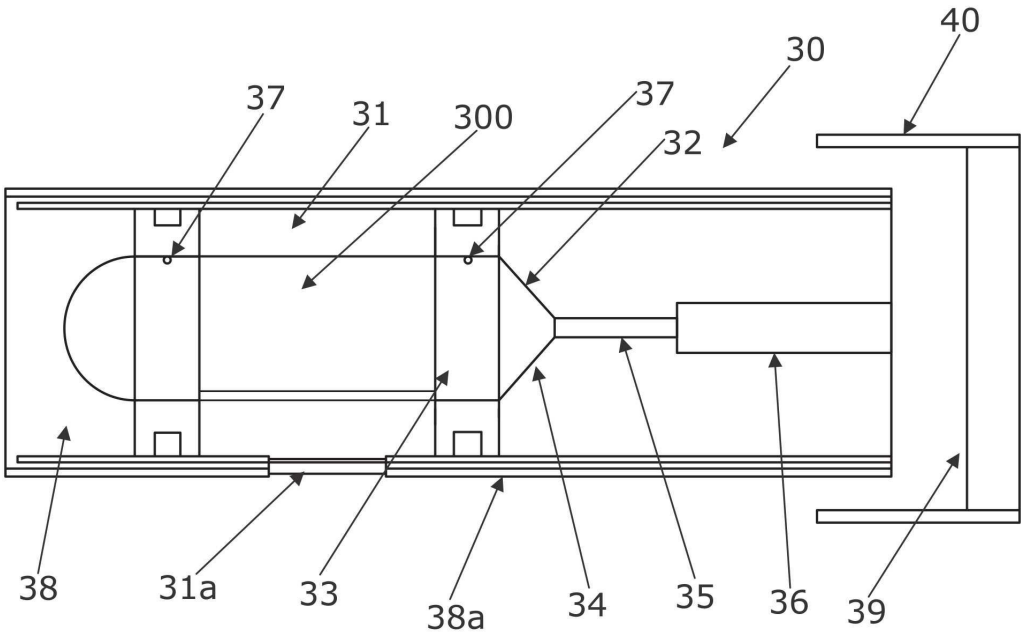
도면1


1
11
14
3
10
2
12
13

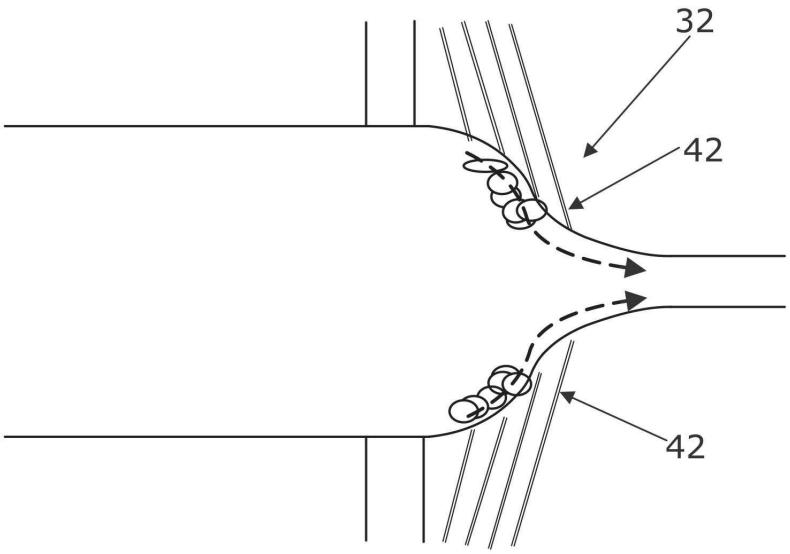
도면2


탄화수소 열분해 반응기 가동
22
반응기로부터의 수소 출력을 일부를
수소 전력 생성기로 직접 제공
24
수소 전력 생성기에서 전기 전력을 생성
26
수소 전력 생성기로부터의 전기 전력을
탄화수소 열분해 반응기의 전기 입력으로 공급
28

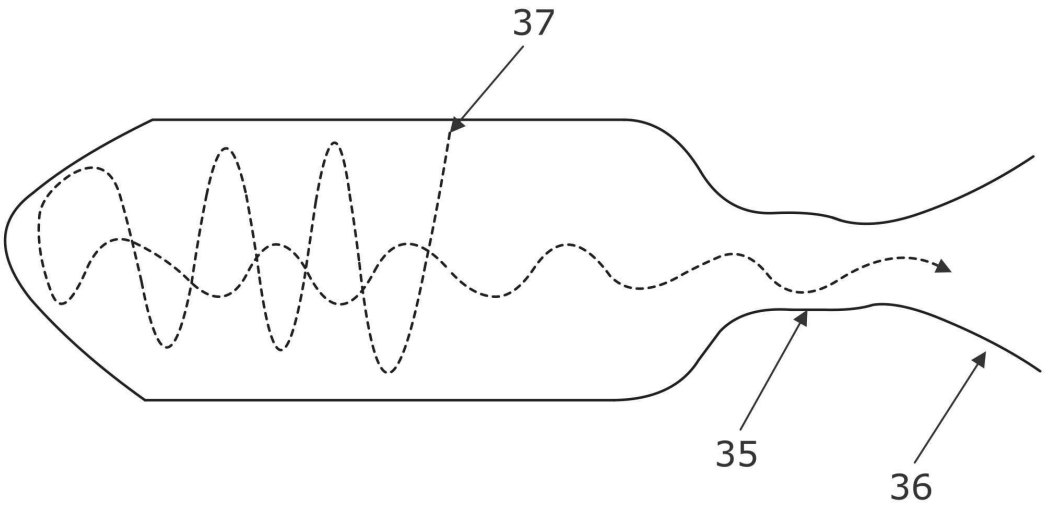
도면3



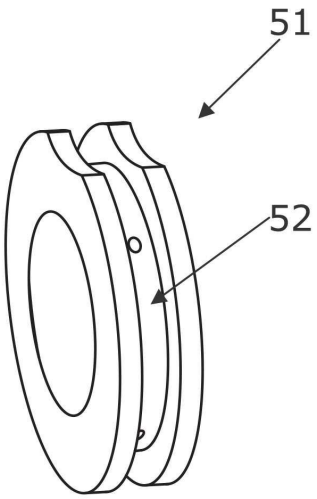
도면4



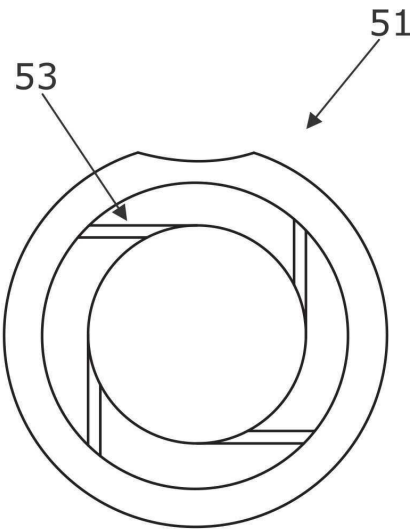
도면5



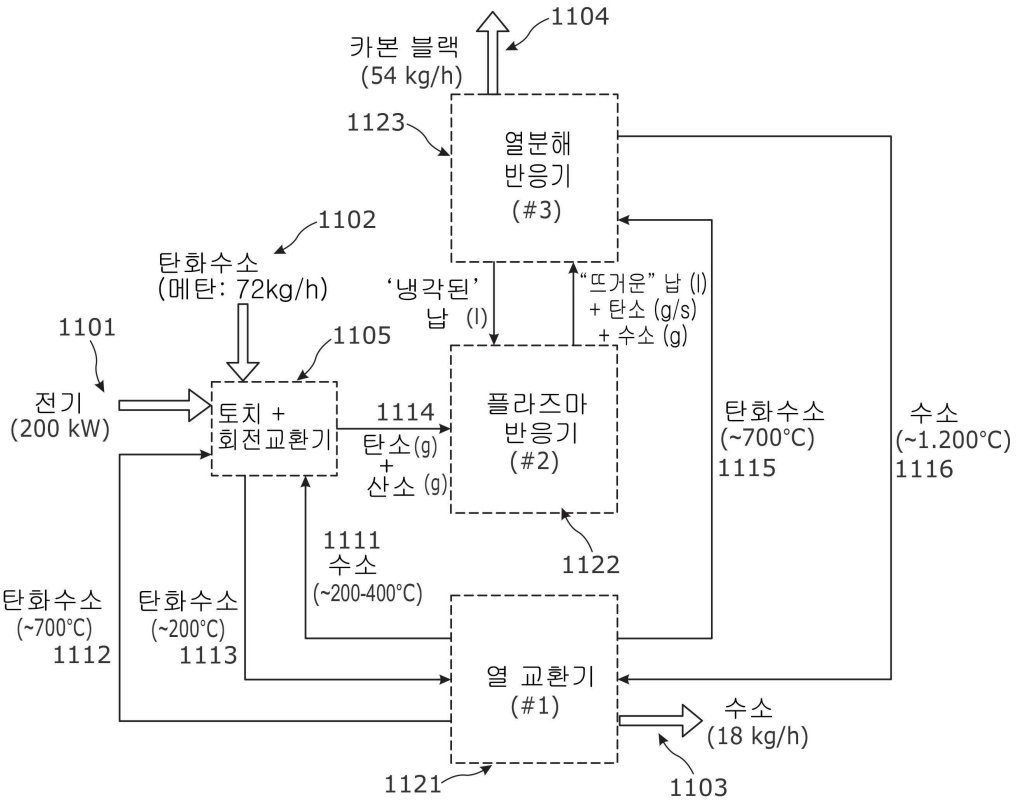
도면6a



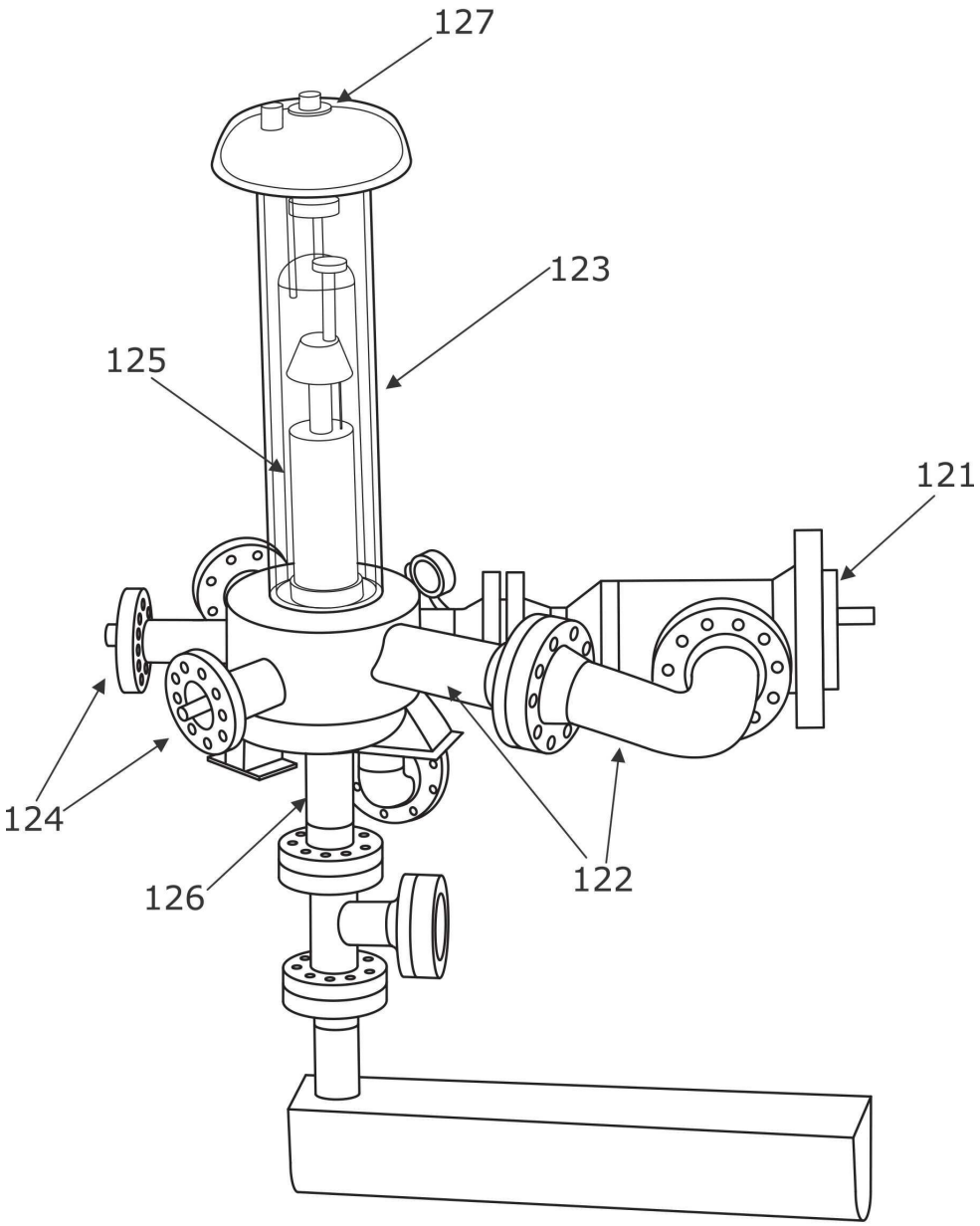
도면6b


51
53

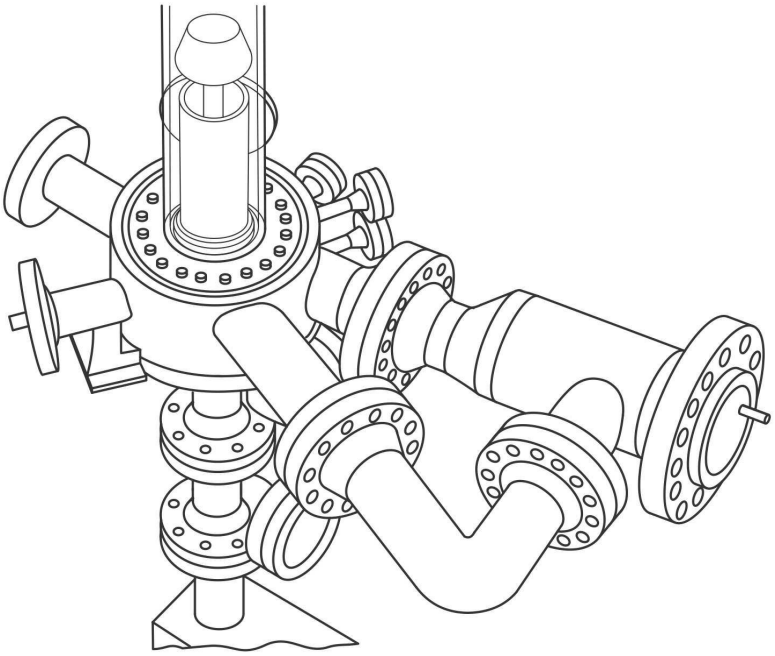
도면7


1104
카본 블랙
(54 kg/h)
1123
열분해
반응기
(#3)
1102
탄화수소
(메탄: 72kg/h)
'냉각된'
납 (l)
"뜨거운" 납 (l)
+ 탄소 (g/s)
+ 수소 (g)
1101
1105
전기
(200 kW)
토치 +
회전교환기
1114
탄소(g)
+
산소 (g)
플라즈마
반응기
(#2)
탄화수소
(~700°C)
1115
수소
(~1.200°C)
1116
1111
수소
(~200-400°C)
1122
탄화수소
(~700°C)
1112
탄화수소
(~200°C)
1113
열 교환기
(#1)
수소
(18 kg/h)
1121
1103

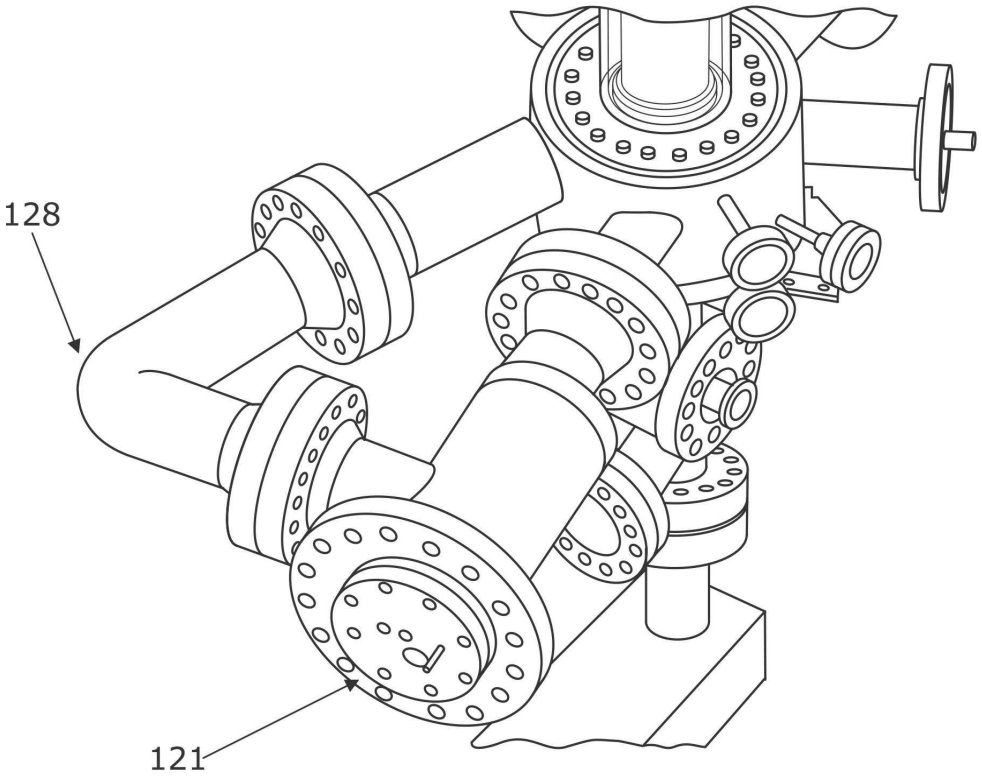
도면8



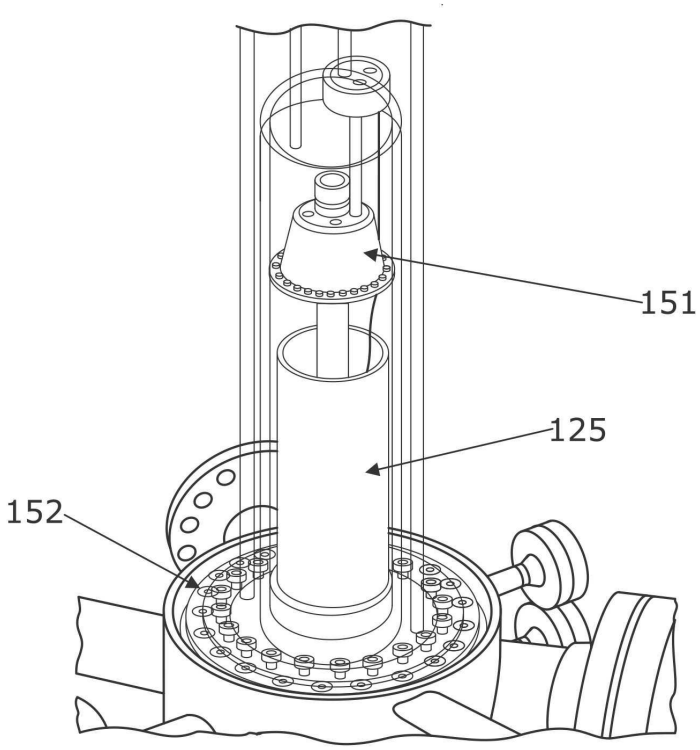
도면9a



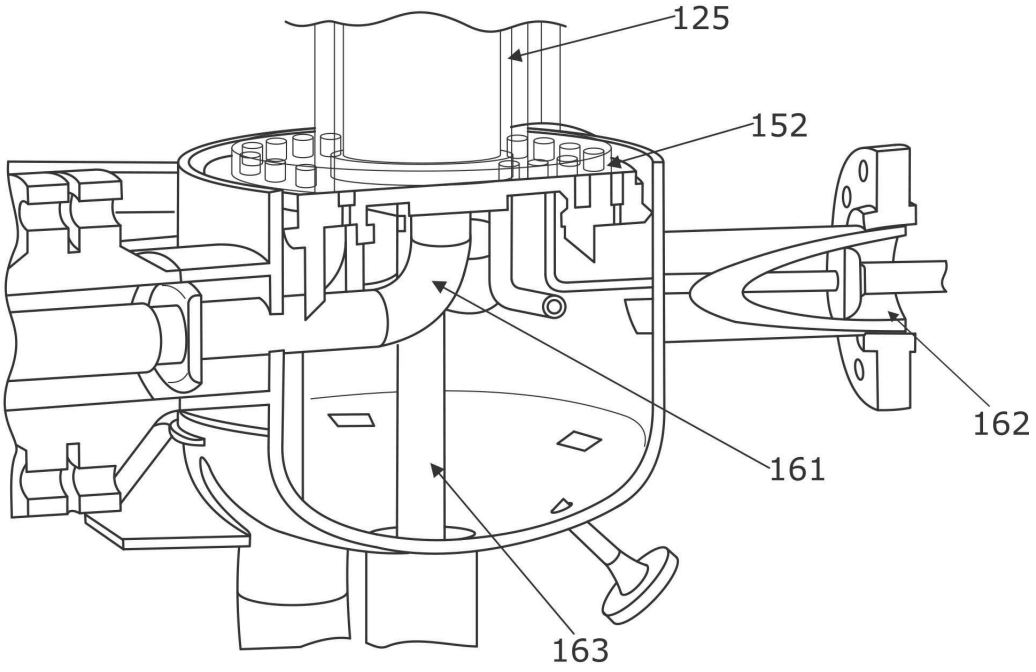
도면9b



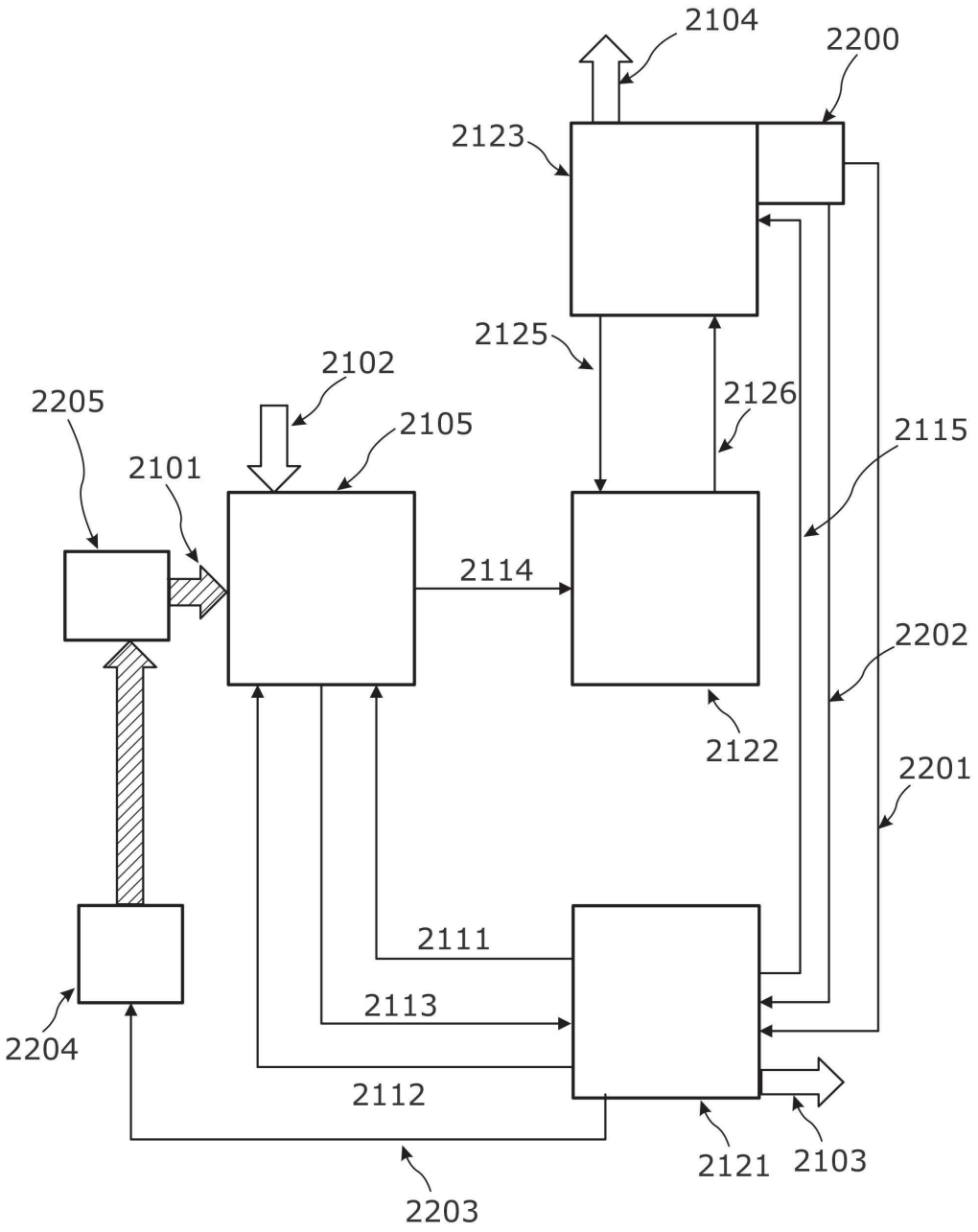
도면10



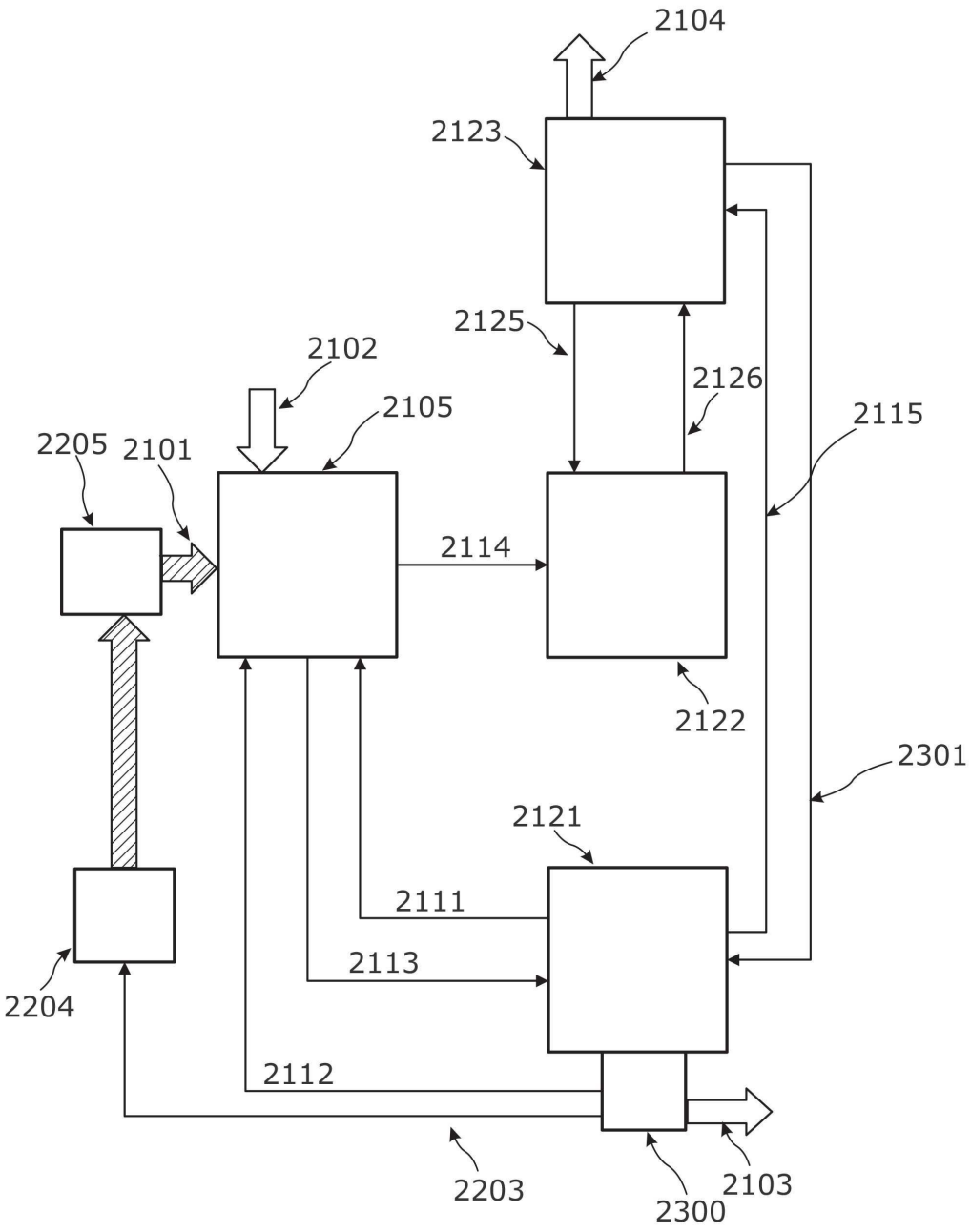
도면11



도면12


2104
2200
2123
2125
2102
2205
2105
2126
2115
2101
2114
2202
2122
2201
2111
2113
2204
2112
2121
2103
2203

도면13


2104
2123
2125
2102
2126
2105
2115
2205
2101
2114
2122
2301
2121
2111
2113
2204
2112
2203
2300
2103