(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0156624
(43) 공개일자 2024년10월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C01B 3/26 (2006.01) *B01J 38/30* (2006.01)
B01J 8/02 (2006.01) *B01J 8/06* (2006.01)
B01J 8/26 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C01B 3/26 (2013.01)
B01J 38/30 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7032472
(22) 출원일자(국제) 2023년03월01일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년09월27일
(86) 국제출원번호 PCT/US2023/014278
(87) 국제공개번호 WO 2023/167928
국제공개일자 2023년09월07일
(30) 우선권주장
17/683,964 2022년03월01일 미국(US)

(71) 출원인
셰브런 유.에스.에이.인크.
미합중국 94583 캘리포니아주 샌래몬 볼링거 캐년 로드 6001
(72) 발명자
루오, 허펑
미국 캘리포니아주 94583-0806 샌래몬 볼링거 캐년 로드 6001 셰브런 유.에스.에이. 아이엔씨. 내
리, 린
미국 캘리포니아주 94583-0806 샌래몬 볼링거 캐년 로드 6001 셰브런 유.에스.에이. 아이엔씨. 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인충정

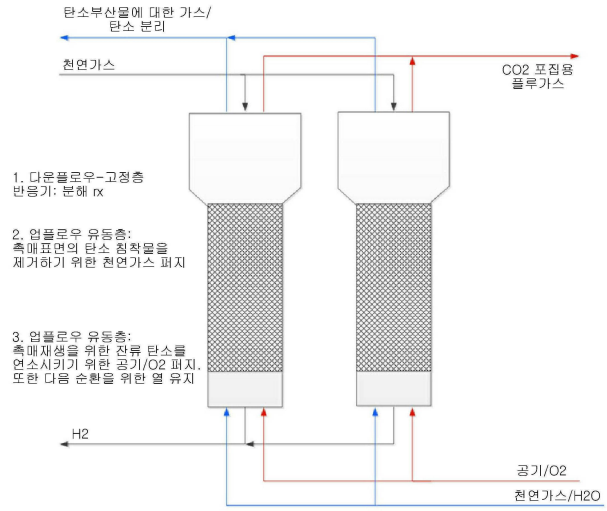
전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 **교대 고정 및 유동층 반응기 시스템 및 공정**

(57) 요 약

본 개시내용은 다른 생성물 중에서 수소를 생산하기 위한 시스템 및 방법을 언급한다. 일부 구현예에서, 이 방법은 고정층 모드에서 분해 단계를 순차적으로 수행하고 유동층 모드에서 유동 단계를 수행하는 것을 포함한다. 이러한 순차적인 공정은 예를 들어 유동층 모드에서 촉매를 재생하여 흡열 분해 단계에서 사용하기 위한 유익한 열을 생성하는 것을 포함한 여러 가지 이점을 가져올 수 있다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
B01J 8/025 (2013.01)
B01J 8/065 (2013.01)
B01J 8/26 (2013.01)
C01B 2203/0277 (2013.01)
C01B 2203/0405 (2013.01)
C01B 2203/0475 (2013.01)
C01B 2203/049 (2013.01)
C01B 2203/1011 (2013.01)
C01B 2203/1047 (2013.01)
(72) 발명자
쿠퍼만, 알렉산더
미국 캘리포니아주 94583-0806 샌래몬 볼링거 캐년 로드 6001 셰브런 유.에스.에이. 아이엔씨. 내
오우양, 샤오잉
미국 캘리포니아주 94583-0806 샌래몬 볼링거 캐년 로드 6001 셰브런 유.에스.에이. 아이엔씨. 내

명 세 서

청구범위

청구항 1

수소와 고체 탄소를 생산하는 공정으로서,

적어도 (1) 수소와 (2) 촉매 표면에 침착된 탄소 부산물을 생산하기에 적합한 조건 하에 촉매의 존재 하에 반응기에서 경질 탄화수소 스트림을 분해하는 단계로서, 상기 경질 탄화수소 스트림이 아래로 흐르고 상기 반응기가 고정층 반응기 모드에 있는 상기 단계;

상기 반응기를 통해 경질 탄화수소 가스, 과열 증기, 불활성 가스 또는 이들의 혼합물을 위로 흐르게 하는 유동 단계로서, 상기 반응기가 유동 반응기 모드에 있고, 상기 조건은 촉매 표면에서 침착된 탄소 부산물의 적어도 일부에서 전부를 분리하기에 적합한 상기 단계; 및

산화제를 탄소 부산물과 반응시켜 촉매를 재생하는 단계를 포함하는 공정.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 단계가 순차적으로 수행되는 공정.

청구항 3

제1항에 있어서, 재생에서 상기 분해까지 열을 사용하는 것을 추가로 포함하는 공정.

청구항 4

제1항에 있어서, 재생 촉매로부터 적어도 상기 열의 일부를 사용하여 상기 경질 탄화수소를 분해하는 것을 추가로 포함하는 공정.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 촉매 표면에서 상기 침착된 탄소 부산물의 적어도 일부 이상에서 전부를 분리하기에 적합한 상기 조건이 초당 약 0.05 내지 약 5미터의 표면 속도를 포함하는 공정.

[청구항 3]

제1항에 있어서, 상기 제1 반응기와 병렬로 작동하는 제2 반응기를 사용하는 것을 추가로 포함하는 공정.

[청구항 4]

제3항에 있어서, 상기 제1 반응기는 생산 모드에서 작동하는 반면 상기 제2 반응기는 재생 모드에서 작동하는 것을 포함하는 공정.

[청구항 5]

제3항에 있어서, 상기 제1 반응기는 재생 모드에서 작동하는 반면 상기 제2 반응기는 생산 모드에서 작동하는 것을 포함하는 공정.

청구항 6

제1항에 있어서, 제2 반응기와 제3 반응기를 사용하는 것을 추가로 포함하는 공정으로서, 각 반응기는 상기 제1 반응기와 병렬로 작동하고, 상기 제1, 제2 및 제3 반응기 중 적어도 하나는 재생 모드에서 작동하는 반면 나머지 제1, 제2 및 제3 반응기 중 적어도 하나는 생산 모드에서 작동하는 것을 포함하는 공정.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 불활성 가스가 질소인 공정.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 반응기가 고정층 반응기 모드와 유동 반응기 모드 사이를 교대로 작동하는 공정.

청구항 9

제1항에 있어서, 미반응 경질 탄화수소 가스, 과열 증기, 불활성 가스 또는 이들의 혼합물로부터 수소를 분리하는 것을 추가로 포함하는 공정.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 분해 단계 동안 수소를 분리하는 단계;

상기 유동 단계 동안 분리된 탄소 부산물을 분리하는 단계; 및

상기 재생 단계에서 형성된 임의의 이산화탄소의 적어도 일부에서 거의 전부를 분리 또는 포집하는 단계를 추가로 더 포함하는 공정.

청구항 11

제9항에 있어서, 반응하지 않은 경질 탄화수소 가스, 과열 증기, 불활성 가스 또는 이들의 혼합물을 상기 반응기 입구로 재순환시키는 것을 추가로 포함하는 공정.

청구항 12

제1항에 있어서, 반응하지 않은 경질 탄화수소 가스를 전처리하여 촉매 오염 불순물의 상당 부분을 제거하는 것을 추가로 포함하는 공정.

청구항 13

제1항에 있어서, 생성된 이산화탄소의 상당량을 포집하는 것을 추가로 포함하는 공정.

청구항 14

수소를 생산하는 공정으로서,

(1) 고정층 모드에서 분해 단계를 순차적으로 수행하고 유동층 모드에서 유동 단계를 첫 번째 반응기에서 수행하는 단계로서,

상기 분해 단계는 촉매의 존재 하에 반응기에서 메탄을 포함하는 경질 탄화수소 스트림을 분해하는 것을 포함하며, 적어도 (1) 수소 및 (2) 촉매 표면에 침착된 탄소 부산물을 생성하기에 적합한 조건 하에 촉매의 존재 하에 반응기에서 수행하며, 여기서 메탄을 포함하는 상기 경질 탄화수소 스트림은 아래로 흐르고 상기 반응기는 고정층 반응기 모드에 있는 단계;

여기서 상기 유동 단계는 메탄, 과열 증기, 불활성 가스 또는 이들의 혼합물을 포함하는 경질 탄화수소 가스를 상기 반응기를 통해 위쪽으로 유동시키는 것을 포함하며, 상기 반응기는 유동 반응기 모드에 있으며 상기 유동의 표면 속도는 촉매 표면에서 침전된 탄소 부산물의 적어도 일부에서 전부를 분리하기에 충분한 단계; 및

(2) 상기 유동 단계 동안 산화제를 상기 탄소 부산물과 반응시켜 상기 분해 단계에서 사용할 열을 생성함으로써 상기 촉매를 재생하는 단계를 포함하는 공정.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 제1 반응기와 병렬로 제2 반응기를 작동시키는 것을 추가로 포함하는 공정으로서, 상기 제2 반응기는 고정층 모드에서 분해 단계를 수행하는 반면 상기 제1 반응기는 유동 단계를 수행하는 공정.

청구항 16

반응기 시스템으로서,

고정층 구성의 경질 탄화수소 촉매를 포함하는 반응기 용기;

여기서 상기 반응기 용기는 아래로 흐르는 경질 탄화수소 공급물을 수용하여 수소를 생성하고 탄소 부산물이 촉

매 표면에 증착되도록 하며;

여기서 상기 반응기 용기는 경질 탄화수소 촉매를 유동화하기 위해 위로 흐르는 경질 탄화수소 가스, 과열 증기 또는 불활성 가스를 수용하고 그 후 침착된 탄소 부산물을 제거하기 위해 산화제를 수용하도록 구성되며;

여기서 상기 반응기 시스템은 고정층 반응기 모드와 유동층 반응기 모드 사이를 순차적으로 번갈아 가며 작동하도록 구성되는 것을 포함하는 반응기 시스템.

청구항 17

제16항에 있어서, 병렬로 작동 가능하게 연결된 제2 반응기를 추가로 포함하는 반응기 시스템.

청구항 18

제16항에 있어서, 상기 반응기 용기는 가스 분리 구역을 포함하는 반응기 시스템.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 가스 분리 구역은 상기 반응기 용기가 유동화되는 동안 가스와 고체를 분리하거나 촉매를 감소시키거나 둘 다 하도록 구성된 용기 직경을 포함하는 반응기 시스템.

청구항 20

제16항에 있어서, 수소를 경질 탄화수소, 천연 가스 또는 둘 다로부터 분리하도록 구성된 분리기를 추가로 포함하는 반응기 용기.

청구항 21

제16항에 있어서, 열교환기를 추가로 포함하는 반응기 시스템.

청구항 22

제16항에 있어서, 병렬로 작동 가능하게 연결된 제2 반응기 및 제3 반응기를 추가로 포함하는 반응기 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시내용은 교대로 고정 및 유동 반응기 시스템 및 공정을 사용하여 수소 및/또는 기타 생성물을 생산하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 수소는 미래의 청정 에너지에 대한 더욱 중요한 옵션 중 하나이다. 불행히도, 수소를 생산하는 많은 기존 방법 및 시스템은 비용 효율적이지 않거나 이산화탄소와 같은 온실 가스 배출을 초래한다. 필요한 것은 비용 효율적인 방식으로 수소를 생산하는 솔루션이다. 그러한 솔루션이 에너지 집약적이지 않거나 포집할 수 없는 이산화탄소를 상당량 생성하지 않는다면 더욱 유리할 것이다.

발명의 내용

[0003] 유리하게도, 본 출원은 비용 효율적인 방식으로 수소를 유리하게 생산하고, 에너지 집약적이지 않으며/또는 포집할 수 없는 이산화탄소를 상당량 생산하지 않는 새로운 시스템 및 방법에 관한 것이다.

[0004] 일 구현예에서, 본 출원은 수소 및/또는 고체 탄소를 생산하는 공정에 관한 것이다. 이 공정은 촉매의 존재 하에 반응기에서 경질 탄화수소 스트림을 분해하여 적어도 (1) 수소 및 (2) 촉매 표면에 침착된 탄소 부산물을 생산하기에 적합한 조건 하에 분해하는 것을 포함한다. 경질 탄화수소 스트림은 일반적으로 아래로 흐르고 반응기는 일반적으로 분해 중 작동의 첫 번째 단계에서 고정층 반응기 모드에 있다. 반응이 지속됨에 따라 반응기 층 전체의 압력 강하는 고체 탄소 부산물의 축적으로 인해 증가하고 촉매도 시간이 지남에 따라 비활성화될 수 있다. 경질 탄화수소의 전환율이 20% 이상, 또는 30% 이상, 또는 50% 이상 감소하거나 반응기 전체의 압력 강하가

5psi 이상, 또는 10psi 이상, 또는 20psi 이상, 또는 50psi 이상으로 증가하면, 제1 단계의 작동이 비교적 완료되고 제2 단계의 작동이 시작될 수 있다. 제2 단계의 작동에서 반응기가 유동 반응기 모드에 있고 촉매 표면에서 침착된 탄소 부산물의 적어도 일부에서 전부를 분리하기에 적합한 조건일 때 , 경질 탄화수소 가스, 과열 증기, 불활성 가스 또는 이들의 혼합물이 반응기를 통해 위로 흐른다. 촉매 표면에서 제거되는 고체 탄소 부산물의 양이 상당히 감소하거나 중단되면 제2 단계의 작동이 완료되고 제3 단계의 작동이 시작된다. 세 번째 작동 단계에서는 공기, 산소 또는 적합한 산화제의 혼합물을 반응기를 통해 위로 흐르게 하여 산화제와 탄소 부산물을 반응시켜 촉매를 재생한다.

[0005] 다른 구현예에서 본 출원은 수소를 생산하는 공정에 관한 것으로, 먼저 고정층 모드에서 분해 단계를 순차적으로 수행한 다음, 첫 번째 반응기에서 유동층 모드에서 유동 단계를 수행하는 것을 포함한다. 분해 단계는 일반적으로 적어도 (1) 수소 및 (2) 탄소 부산물을 생산하기에 적합한 조건 하에 촉매의 존재 하에 반응기에서 메탄을 포함하는 경질 탄화수소 스트림을 분해하는 것을 포함한다. 메탄을 포함하는 경질 탄화수소 스트림은 아래로 흐르고 반응기는 고정층 반응기 모드에 있다. 탄소 및 촉매 분리 단계는 일반적으로 메탄, 과열 증기, 불활성 가스 또는 이들의 혼합물을 포함하는 경질 탄화수소 가스를 반응기를 통해 위로 흐르게 하는 것을 포함한다. 반응기는 유동 반응기 모드에 있고, 유동의 표면 속도는 촉매 표면에서 침착된 탄소 부산물의 적어도 일부에서 실질적으로 전부 또는 전부를 분리할 수 있을 만큼 충분하다. 촉매 재생 단계는 공기, 산소, 증기 또는 기타 산화제와 같은 산화제를 흘려 보내어 산화제와 탄소 부산물을 반응시켜 분해 단계에서 사용할 열을 생성함으로써 촉매를 재생하는 단계를 포함한다.

[0006] 또 다른 구현예에서 본 출원은 고정층 구성의 경질 탄화수소 촉매를 포함하는 반응기 용기를 포함하는 반응기 시스템에 관한 것이다. 반응기 용기는 아래로 흐르는 경질 탄화수소 공급물을 수용하여 수소를 생산하고 탄소 부산물이 촉매 표면에 증착되도록 한다. 반응기 용기는 경질 탄화수소 촉매를 유동화하기 위해 위로 흐르는 경질 탄화수소 가스, 과열 증기 또는 불활성 가스를 수용하고 그 후 산화제를 수용하여 침착된 탄소 부산물을 제거하도록 구성된다. 반응기 시스템은 고정층 반응기 모드와 유동층 반응기 모드 사이를 순차적으로 번갈아 가며 진행하도록 구성된다.

[0007] 본 개시내용의 구현예의 이러한 및 다른 목적, 특징 및 이점은 첨부된 청구항과 함께 고려될 때 본 개시내용의 구현예에 대한 다음의 상세한 설명을 읽으면 명확해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0008] 본 개시내용의 다양한 구현예는 추가적인 목적 및 이점과 함께 첨부 도면과 함께 다음 설명을 참조하여 가장 잘 이해될 수 있다.

도 1은 병렬로 연결된 두 개의 반응기를 갖는 반응기 시스템 및/또는 공정의 대표적인 구현예를 도시한다.

도 2는 분리기 및 하나 이상의 열교환기를 갖는 반응기 시스템 및/또는 공정의 대표적인 구현예를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 이하의 구현예 설명은 발명의 다양한 측면의 특징과 교시를 특별히 설명하기 위해 숫자를 참조하는 비제한적인 대표적 예를 제공한다. 기재된 구현예는 구현예 설명에서 다른 구현예와 별도로 또는 조합하여 구현할 수 있는 것으로 인식되어야 한다. 구현예 설명을 검토하는 해당 분야의 통상의 기술자는 발명의 다양한 기재된 측면을 배우고 이해할 수 있어야 한다. 구현예 설명은 구체적으로 다루지 않지만 구현예 설명을 읽은 해당 분야의 기술자의 지식 내에 있는 다른 구현이 발명의 적용과 일치하는 것으로 이해될 정도로 발명에 대한 이해를 용이하게 해야 한다.

[0010] 본 출원은 잠재적인 다른 생성물 중에서 수소 및/또는 고체 탄소를 생산하는 공정 및 시스템에 관한 것이다.

[0011] **분해 단계**

[0012] 이 공정은 일반적으로 촉매의 존재 하에 반응기에서 경질 탄화수소 스트림을 분해하여 적어도 (1) 수소 및 (2) 촉매 표면에 침착된 탄소 부산물을 생성하기에 적합한 조건에서 수행하는 것을 포함한다. 사용될 경질 탄화수소는 특별히 제한되지 않으며, 예를 들어 메탄, 에탄 또는 천연 가스와 같은 C_1-C_6 또는 C_1-C_4 또는 C_1-C_2 알칸을 순수하거나 이산화탄소, H_2S와 같은 황 화합물, 물, 질소 및 이들의 혼합물과 같은 다른 성분을 잠재적으로 소량 포함하는 임의의 적합한 혼합물로 포함할 수 있다. 일부 구현예에서 경질 탄화수소 스트림은 또한 증기, 과열

증기, 질소와 같은 불활성 가스 또는 이들의 임의의 혼합물을 포함할 수 있다. 즉, 사용될 경질 탄화수소 또는 혼합물은 결과 생성물이 적어도 수소를 포함하고 잠재적으로 촉매 표면에 침착된 탄소 부산물을 포함하도록 임의의 적합한 조성을 포함할 수 있다. 특히 유용한 조성물은 메탄 또는 천연 가스를 포함하는 경질 탄화수소 스트림, 예를 들어 약 80% 이상, 또는 약 90% 이상, 또는 약 95% 이상, 또는 약 99% 이상의 메탄을 포함하는 경질 탄화수소 스트림을 포함할 수 있다.

[0013] 적합한 분해 촉매 및 관련 적합한 조건은 시스템의 구성, 출발 물질, 원하는 생성물 및 기타 요인에 따라 다를 수 있다. 일반적으로 적합한 경질 탄화수소 분해 촉매 및 관련 적합한 조건은 더 중질 탄화수소 또는 탄화수소를 더 경질 탄화수소, 탄소 또는 이들의 혼합물로 전환하는 모든 촉매 및 조건을 포함한다. 적합한 촉매 및 반응 조건은 예를 들어 활성탄, 철광석 또는 니켈 기반 또는 철 기반 촉매와 같은 금속 열분해 촉매, 알루미나, TiO_2 또는 SiO_2와 같은 지지체에 Ni, La, Fe, Mo, Co, Pd와 같은 금속을 갖는 금속 기반 촉매, 지지되지 않은 Fe, 철광석(폐기물), 활성탄 등과 같은 물질을 포함할 수 있으며, 반응 방정식에 따라 약 500° C 이상, 또는 약 600° C 이상, 또는 약 700° C 이상, 또는 약 1000° C 이상의 온도를 갖는다:

[0014] $$CH_4 \rightarrow C + 2H_2 \quad \Delta_R H^\circ = 74.91\ \text{kJ mol}^{-1}$$

[0015] 일반적으로, 반응기는 분해 단계 동안 고정층 반응기 모드에 있다. 즉, 경질 탄화수소 스트림은 가열되는 동안 반응기에서 아래로 흐르고, 상기 설명한 조건 하에 일련의 트레이와 같은 고정된 위치에서 일련의 촉매 위로 통과하여 (1) 수소와 (2) 촉매 표면에 침착된 탄소 부산물을 형성한다. 수소는 편리한 방식으로 분리될 수 있다. 한 구체예에서, 막 분리기와 같은 분리기를 사용하여 미반응 경질 탄화수소 스트림에서 생성물 수소를 분리할 수 있다. 미반응 경질 탄화수소 스트림은 반응기의 입구로 재순환될 수 있다. 필요한 경우, 재순환하기 전에 미반응 경질 탄화수소 스트림을 처리하여 촉매를 오염시킬 수 있는 상당한 양의 불순물을 제거할 수 있다. 수소는 운송, 보관 또는 사용을 위해 냉각 및/또는 추가 정제될 수 있다. 아래에서 더 자세히 설명하는 바와 같이, 촉매를 재생하는 데서 나오는 열은 분해 단계에 사용될 수 있다.

[0016] **유동 및 재생 단계**

[0017] 고정 반응기 모드에서 분해한 후, 반응기 모드는 유동 반응기 모드로 교대로 전환된다. 이러한 교대는 유동화 재생 단계 후 반응기 모드가 고정 반응기 모드로 다시 교대될 수 있도록 순차적으로 수행될 수 있다. 유동 반응기 모드에서 경질 탄화수소 가스, 증기, 과열 증기, 불활성 가스 또는 이들의 혼합물은 촉매 표면에서 침착된 탄소 부산물의 일부 또는 전부를 분리하기에 적합한 조건 하에 반응기를 통해 위로 흐른다. 이어서, 촉매는 산화제와 탄소 부산물을 반응시켜 재생된다. 일반적으로 CO_2를 형성하기 위해 반응하기 전에 상당한 양의 고체 탄소를 제거하는 것이 바람직할 수 있다.

[0018] 침착된 탄소 부산물을 분리하고 산화제를 반응시키는 조건은 특정 반응기, 반응물, 원하는 생성물 등에 따라 달라질 수 있다. 일부 구현예에서 촉매 표면에서 침착된 탄소 부산물의 일부 이상에서 전부를 분리하기에 적합한 조건은 적절한 난류 강도를 사용하여 파손 또는 전단을 허용하여 촉매 표면에서 탄소 침착물을 분리하는 것을 포함한다. 이러한 난류는 초당 약 0.05, 약 0.1, 또는 약 0.5 또는 약 1에서 약 5까지 또는 약 4미터까지의 상향 흐름의 표면 속도를 사용하는 것과 같은 편리한 방식으로 생성될 수 있다. 원하는 경우, 분리된(detached) 탄소 부산물은 편리한 방식으로 분리될 수 있다.

[0019] 촉매를 재생하는 데 사용되는 산화제는 효율적인 촉매 재생이 달성되는 한 특별히 중요하지 않다. 일부 구현예에서 공기 또는 순수 산소는 경질 탄화수소 가스, 증기, 과열 증기, 불활성 가스 또는 이들의 혼합물의 상향 유동 스트림과 함께 도입되거나 대안적으로 이후에 추가될 수 있다. 재생 반응은 일반적으로 발열 반응이며, 생성된 열의 적어도 일부는 원하는 경우 분해 단계에서 사용될 수 있다. 재생 반응에서 생성된 이산화탄소의 적어도 일부에서 전부 또는 거의 전부는 예를 들어 이산화탄소 포집 및 격리 장치를 통해 분리되거나 포집될 수 있다.

[0020] 일부 구현예에서, 유동 반응기 모드에 있는 동안 가스 분리 구역 (disengagement zone)이 사용될 수 있다. 존재하는 경우, 이러한 가스 분리 구역은 예를 들어, 반응기가 유동화되는 동안 가스와 고체를 분리하거나 촉매를 감소시키거나 둘 다 수행하도록 구성된 용기 직경을 포함할 수 있다.

[0021] 일부 구현예에서, 분리 구역은 탄소 생성물을 촉매 입자에서 분리할 수 있도록 구성될 수 있다. 적절한 가스 속도에서, 촉매 입자는 가벼운 탄소 생성물이 가스 스트림에 의해 운반되는 동안 유동층 구역으로 다시 낙하할 수 있다. 그런 다음, 원하는 경우 고체 탄소 생성물을 가스-고체 분리 공정에서 가스에서 분리할 수 있다.

[0022] 일부 구현예에서, 하나 이상의 열교환기가 사용될 수 있다. 하나 이상의 열교환기의 유형 및 위치는 특정 공정

조건 및 장비에 따라 달라질 수 있다. 일부 구현예에서, 하나 이상의 열교환기는 저온 경질 탄화수소 공급물과 고온 분해 생성물 사이에 위치하여 열을 회수함으로써 순 에너지 요구량을 줄일 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 낮은 온도의 경질 탄화수소 공급물과 높은 온도의 촉매 재생 생성물 사이에 하나 이상의 열교환기가 있어 열을 회수하고, 이를 통해 순 에너지 요구량을 줄일 수 있다.

[0023] **다중 반응기**

[0024] 일부 구현예에서는 상기 설명한 방법을 수행하는 병렬로 작동하는 두 개 또는 세 개 이상의 반응기를 갖는 것이 바람직할 수 있다. 이러한 방식으로 첫 번째 반응기는 생산 모드에서 작동하는 반면 두 번째 반응기는 재생 모드에서 작동하거나 그 반대의 경우도 마찬가지다. 반대 모드에서 두 개 이상의 병렬 반응기를 작동시키면 열을 공유하여 공정을 보다 효율적으로 만들 수 있다. 예를 들어, 재생 모드에서 작동하는 반응기에서 생성된 열은 열이 필요한 생산 또는 분해 모드에서 작동하는 반응기로 전달될 수 있다. 필요에 따라 열교환기 또는 기타 메커니즘을 사용하여 반응기 간에 열을 전달할 수 있다.

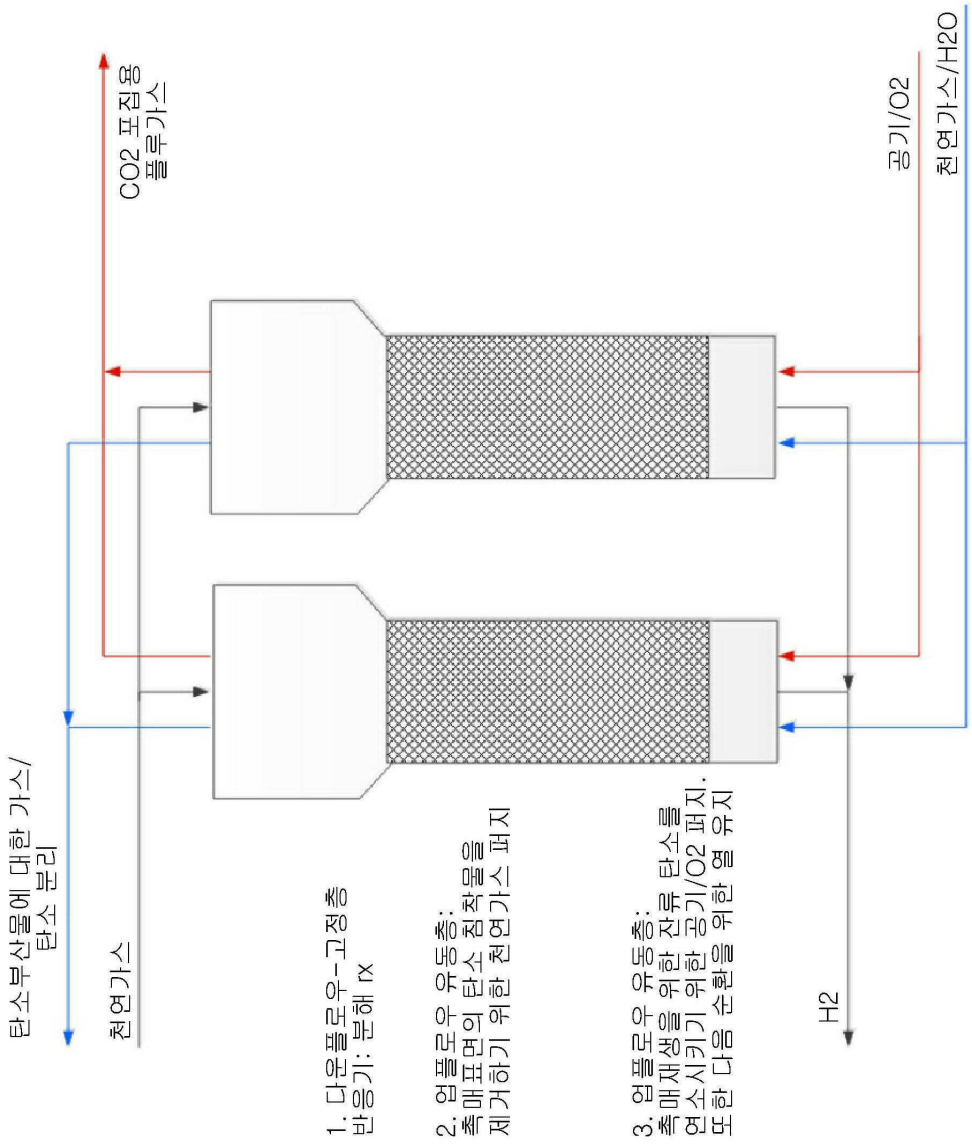
[0025] **특정 구현예**

[0026] 도 1은 상기 설명한 방법의 구현예를 사용하는 두 개의 병렬 반응기를 보여준다. 즉, 천연 가스는 반응기 상단에서 입력되어 아래로 흐르고 고정 촉매층 모드에서 분해된다. 유동 모드에서 위쪽으로 흐르면 촉매 표면에서 탄소 침착물이 제거되고 공기 또는 산소 퍼지는 열을 생성하는 동안 촉매를 재생한다. 두 반응기의 모드는 교대로 진행되어 하나는 생산 또는 분해 고정 모드에 있는 동안 다른 하나는 유동 또는 재생 모드에 있다. 도 2는 천연 가스의 전처리 및/또는 가열, 막 분리기, 천연 가스 재순환, 열 회수, 수소 정제, 이산화탄소 포집 및/또는 고체 탄소 분리와 같이 사용될 수 있는 추가적인 잠재적인 구현예를 보여준다.

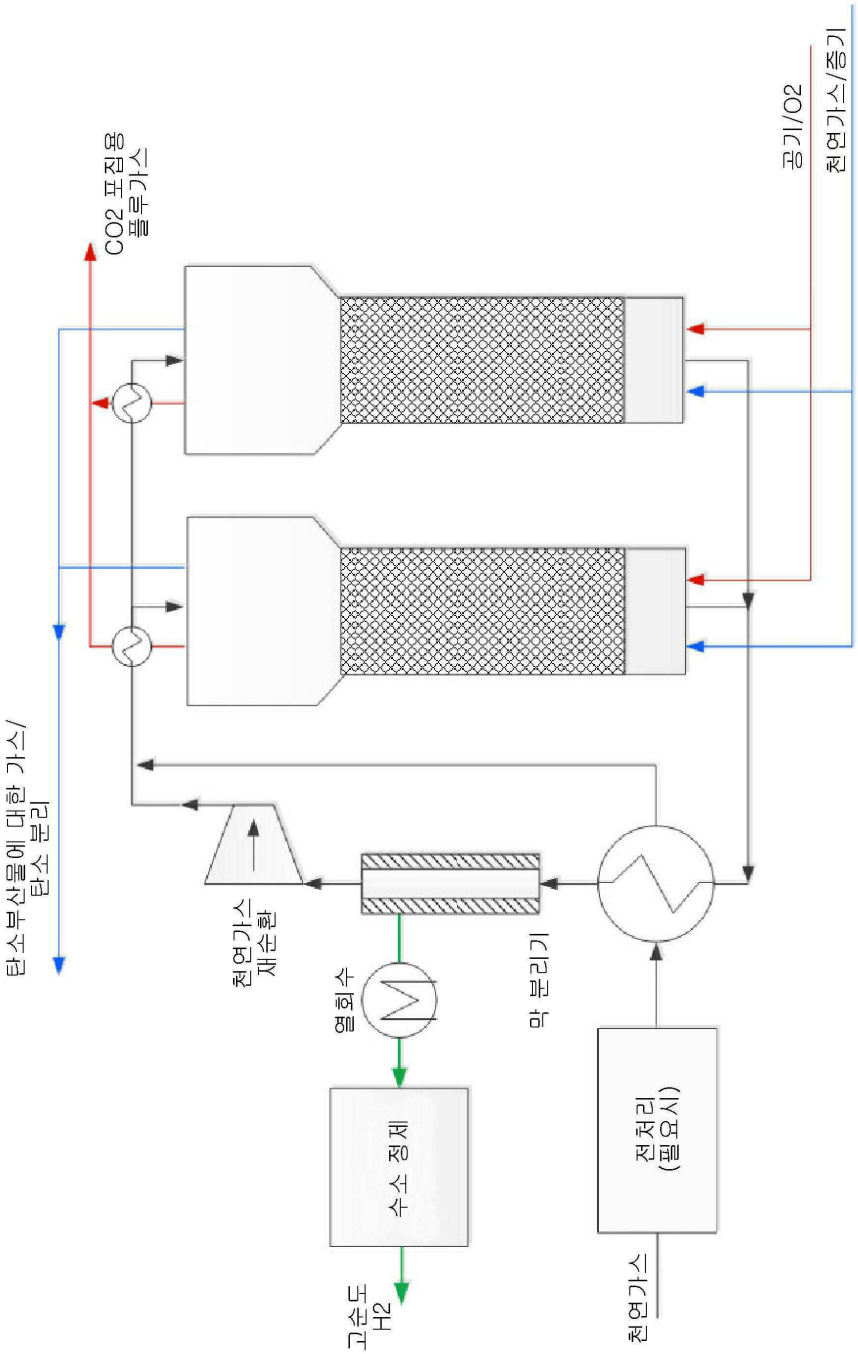
[0027] 앞의 명세서에서, 다양한 구현예가 첨부 도면을 참조하여 설명되었다. 그러나 다양한 수정 및 변경이 이에 이루어질 수 있고, 추가 구현예가 구현될 수 있으며, 이어지는 청구항에 명시된 발명의 더 광범위한 범위를 벗어나지 않을 수 있음이 분명할 것이다. 따라서 명세서 및 도면은 제한적인 의미보다는 설명적인 의미로 간주되어야 한다.

도면

도면1


CO2 포집용
플루가스
공기/O2
천연가스/H2O
탄소부산물에 대한 가스/
탄소 분리
천연가스
1. 다운플로우-고정층
반응기: 분해 rx
2. 업플로우 유동층:
촉매표면의 탄소 침착물을
제거하기 위한 천연가스 퍼지
3. 업플로우 유동층:
촉매재생을 위한 잔류 탄소를
연소시키기 위한 공기/O2 퍼지.
또한 다음 순환을 위한 열 유지
H2

도면2


CO2 포집용
플루가스
공기/O2
천연가스/증기
탄소부산물에 대한 가스/
탄소 분리
천연가스
재순환
열회수
막 분리기
수소 정제
전처리
(필요시)
고순도
H2
천연가스