



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2019년08월13일  
 (11) 등록번호 10-1966578  
 (24) 등록일자 2019년04월01일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*F23C 10/01* (2006.01) *F23C 10/10* (2006.01)  
*F23C 6/04* (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
*F23C 10/01* (2013.01)  
*F23C 10/10* (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2017-7029774
- (22) 출원일자(국제) 2016년03월01일  
 심사청구일자 2018년03월13일
- (85) 번역문제출일자 2017년10월16일
- (65) 공개번호 10-2017-0129213
- (43) 공개일자 2017년11월24일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2016/020154
- (87) 국제공개번호 WO 2016/148893  
 국제공개일자 2016년09월22일
- (30) 우선권주장  
 14/660,477 2015년03월17일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
 US20130143167 A1\*  
 KR1020110074551 A\*  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자  
 사우디 아라비아 오일 컴퍼니  
 사우디 아라비아 31311 다란 포스트 오피스 박스 5000
- (72) 발명자  
 호테이트, 알리  
 프랑스, 59800 릴, 뒤 뒤 포부루 데 루베 240
- (74) 대리인  
 청운특허법인

전체 청구항 수 : 총 6 항

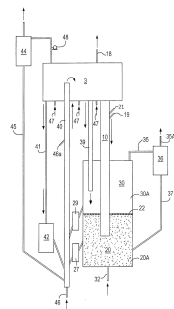
심사관 : 이새봄

**(54) 발명의 명칭 다양한 연료 반응 존 및 산화된 입자의 중력 공급을 이용한 화학적 루핑 연소 공정**

**(57) 요약**

개선된 화학적 루핑 연소 (CLC) 공정 및 시스템은, 산소 캐리어 입자, 예를 들어, 금속 산화물을 함유하는 호퍼를 포함하며, 상기 금속 산화물은, (a) 시스템에 공급되는 모든 탄화수소 연료와 상기 금속 산화물이 혼합되는 일반적으로 수직형 하향류 반응기, 및 (b) 복수의 단단식 유동화 반응기 베드와 연통하는 하나 이상의 배수탑으로, 상기 호퍼로부터 조절된 유속으로 중력 공급되고, 상기 시스템으로 도입된 산소 캐리어 입자의 양은 화학량론적으로 미리 결정되어 H<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub>의 합성가스 혼합물을 생성시키거나; 또는 연료를 CO<sub>2</sub> 및 수증기로 완전 연소시켜, 이에 의해 실질적으로 순수한 형태로 생성된 대부분의 CO<sub>2</sub>의 포획을 가능하게 한다.

**대표도 - 도1**



(52) CPC특허분류

*F23C 6/042* (2013.01)

*F23C 2900/99008* (2013.01)

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

- a. 예열된 탄화수소 피드를 아토마이징(atomization)하는 단계, 여기서, 상기 예열된 탄화수소 피드는 혼합 존에서 분산 스팀과 긴밀하게 혼합되고, 및 하향류 반응기의 상부 부분으로 도입됨;
- b. 상기 아토마이징된 탄화수소 피드 및 스팀 혼합물을 상기 하향류 반응기의 상부 부분으로 중력 공급에 의해 도입되는 미리 결정된 양의 금속 산화물의 고온의 산화된 입자와 접촉시키는 단계, 여기서, 상기 탄화수소 피드는 기화되고, 금속 산화물과 반응하며, 이에 의해 상기 금속 산화물의 산화 상태를 환원시켜 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O를 포함하는 반응 생성물, 및 코크스를 함유하는 환원된 금속 산화물 입자를 생성함;
- c. 상기 반응 생성물 및 환원된 금속 산화물을 하향류 반응기로부터 새로운 산화된 금속 산화물 입자를 함유하는 제1 유동화 연료 반응기로 통과시키는 단계, 여기서, 금속 산화물 입자상에 형성된 코크스는 가스화되어, 상기 금속 산화물과 더욱 반응하는 CO 및 H<sub>2</sub>를 포함하는 가스화 생성물을 결과함;
- d. 상기 하향류 반응기 및 제1 유동화 연료 반응기로부터의 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 및 미반응 가스 및 임의의 미반응 연료를 포함하는 반응 생성물을, 상기 금속 산화물 입자를 보유하도록 구성되고 치수가 정해진 다공관을 거쳐, 및 임의의 미반응 가스가 반응되는 산화된 금속 산화물의 새로운 입자를 함유하는 제2 유동화 연료 반응기로 통과시키는 단계;
- e. 상기 제2 유동화 연료 반응기로부터의 가스 반응 생성물 및 임의의 비말 동반된 미립자 물질을 상기 가스 반응 생성물이 미립자 물질로부터 분리되고 및 생성물 스트림으로서 회수되며, 및 상기 미립자 물질이 제1 유동화 연료 반응기로 재순환되는 분리 장치로 통과시키는 단계;
- f. 제1 및 제2 유동화 연료 반응기로부터의 환원된 금속 산화물의 입자를 분리 베드 홀더 루프 쉘을 통과시켜, 환원된 금속 산화물의 입자가 공기 반응기로 통과되고 및 산소를 함유한 가스의 이동 스트림과 접촉하여 환원된 금속을 산화시키는, 통과 단계;
- g. 상기 공기 반응기로부터의 새롭게 산화된 금속 산화물의 입자를 호퍼로 통과시켜, 상기 금속 산화물이 미리 결정된 조절된 속도로 다음 중 각각으로 중력 공급되는, 통과 단계:
  - i. (a) 단계의 하향류 반응기;
  - ii. (c) 단계의 제1 유동화 연료 반응기;
  - iii. (e) 단계의 제2 유동화 연료 반응기; 및
  - iv. 선택적으로, 금속 산화물로부터의 임의의 가스를 분리하는 분리 장치를 통한 공기 반응기; 및
- h. 순수한 CO<sub>2</sub>의 스트림을 회수하는 단계를 포함하는 CO<sub>2</sub>를 회수하기 위한 화학적 루핑 연소 공정.

**청구항 2**

청구항 1에 있어서,

상기 호퍼 내의 금속 산화물 입자는 유동화 상태로 유지되는 CO<sub>2</sub>를 회수하기 위한 화학적 루핑 연소 공정.

**청구항 3**

청구항 1에 있어서,

(a) 하향류 반응기, (b) 제1 유동화 연료 반응기, 및 (c) 제2 유동화 연료 반응기 각각으로의 상기 산화된 금속 입자의 통과 속도는, 입자 공급 장치들 각각이 하향류 반응기의 상부 부분 및 제1 및 제2 유동화 연료 반응기에 대한 배수탑과 연통하는, 입자 공급 장치들에 작동 가능하게 연결된 미리 프로그램된 프로세서 또는 컨트롤러에

의해 조절되는 CO<sub>2</sub>를 회수하기 위한 화학적 루핑 연소 공정.

**청구항 4**

청구항 1에 있어서,

상기 공기 반응기의 방출 단부에서 분리 장치는 사이클론 분리장치인 CO<sub>2</sub>를 회수하기 위한 화학적 루핑 연소 공정.

**청구항 5**

- a. 예열된 탄화수소 피드를 분산 스팀과 혼합 및 아토마이징하고, 상기 혼합물을 하향류 반응기의 상부 부분으로 도입시키는 단계;
- b. 상기 아토마이징된 탄화수소 피드 및 스팀 혼합물을 하향류 반응기의 상부 부분에서 금속 산화물의 고온의 입자와 접촉시키는 단계, 여기서, 상기 탄화수소 피드는 기화되고 금속 산화물과 반응하며, 이에 의해 상기 금속 산화물 입자의 산화 상태를 환원시키고, 및 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O를 포함하는 반응 생성물, 및 환원된 금속 산화물 입자를 생성시킴;
- c. 상기 하향류 반응기로부터의 상기 반응 생성물 및 환원된 금속 산화물 입자를 유동화 연료 반응기로 통과시키는 단계, 여기서, 임의의 미반응된 탄화수소 가스는 하향류 반응기의 출구에서의 가스 수집기에서 수집되고, 및 나머지 반응 생성물 및 금속 산화물의 입자는, 상기 금속 산화물 상에 형성된 임의의 코크스가 가스화되는, 유동화 연료 반응기의 하부 부분으로 통과됨;
- d. 수집된 미반응 가스를 상기 수집된 가스에 대향류로 통과되는 산화된 금속 산화물의 입자와 접촉시켜, 부가적인 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O를 생성시키는, 접촉 단계;
- e. 상기 유동화 연료 반응기로부터의 반응 가스를 분리 장치로 통과시키고, 여기서, 상기 반응 생성물에 비말 동반된 임의의 입자는 반응 생성물로부터 분리되고 및 상기 입자가 유동화 연료 반응기로 재순환되는, 통과 단계;
- f. 생성물 스트림으로서 상기 반응 생성물을 회수하는 단계;
- g. 상기 유동화 연료 반응기로부터의 환원된 금속 산화물 입자를 베드 홀더 루프 쉘로 통과시켜, 환원된 금속 산화물 입자가 공기 반응기로 통과되어 환원된 금속 산화물을 산화시키는, 통과 단계; 및
- h. 상기 공기 반응기로부터의 새롭게 산화된 금속 산화물의 입자를 호퍼로 통과시켜, 상기 금속 산화물이 미리 결정된 조절된 속도로 다음 중 각각으로 중력 공급되는, 통과 단계를 포함하는 화학적 루핑 연소 공정:
  - i. (a) 단계의 하향류 반응기;
  - ii. (c) 단계의 제1 유동화 연료 반응기;
  - iii. (e) 단계의 제2 유동화 연료 반응기; 및
  - iv. 선택적으로, 금속 산화물로부터의 임의의 가스를 분리하는 분리 장치를 통한 공기 반응기.

**청구항 6**

아토마이징된 탄화수소 피드스트림과 유동화 호퍼로부터 통과된 고온의 산화된 금속 산화물 입자를 수용하고 접촉하기 위한 수단을 구비한 하향류 반응기;

상기 호퍼로부터의 새로운 고온의 산화된 금속 산화물 입자를 수용하도록 위치되며, 상기 하향류 반응기 반응 생성물을 수용하기 위해 상기 하향류 반응기와 유체 연통하고 및 금속 산화물의 분리된 입자를 수용하기 위해 분리 장치와 유체 연통하는, 제1 유동화 연료 반응기;

상기 제1 유동화 연료 반응기를 제2 유동화 연료 반응기와 분리시키며, 금속 산화물의 입자의 통과를 방지하고 및 상기 제1 유동화 연료 반응기로부터의 반응 생성물을 제2 유동화 연료 반응기로 통과시키도록 구성되고 치수가 정해진, 다공판;

상기 호퍼로부터의 산화된 금속 산화물의 입자를 수용하고 및 상기 금속 산화물의 입자를 상기 제1 유동화 연료

반응기로부터의 반응 생성물과 접촉시키는 수단을 구비한 제2 유동화 연료 반응기;

상기 제2 유동화 연료 반응기와 유체 연통하고, 및 임의의 비말 동반된 미립자 물질로부터 반응 생성물을 수용하고 분리하도록 구성되고 치수가 정해진, 분리 장치;

상기 제1 유동화 연료 반응기로부터의 환원된 금속 산화물 입자의 입자를 수용하도록 개조된 제1 유동화 연료 반응기와 유체 연통하는 제1 베드 홀더 셸, 및 상기 제2 유동화 연료 반응기로부터의 환원된 금속 입자의 입자를 수용하도록 개조된 제2 유동화 연료 반응기와 유체 연통하는 제2 베드 홀더 셸로서, 상기 환원된 금속 산화물 입자를 산화시키고 및 상기 산화된 입자를 호퍼로 방출시키도록 개조된 공기 반응기에 작동 가능하게 연결된 제1 및 제2 베드 홀더 셸; 및

상기 공기 반응기로부터의 새롭게 산화된 금속 산화물의 입자를 호퍼로 통과시켜, 상기 금속 산화물이 미리 결정된 조절된 속도로 다음 중 각각으로 중력 공급되는, 수단을 포함하는 화학적 루핑 연소 반응기 시스템:

- i. 하향류 반응기;
- ii. 제1 유동화 연료 반응기;
- iii. 제2 유동화 연료 반응기; 및
- iv. 선택적으로, 금속 산화물로부터의 임의의 가스를 분리하는 분리 장치를 통한 공기 반응기.

**청구항 7**

삭제

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은, 고체 산소 전달 물질 (solid oxygen transfer material), 예를 들어, 금속 산화물 입자와 직접 접촉하는 하향류 반응기 (downflow reactor)로 중질 액체 탄화수소 연료를 주입하는 화학적 루핑 연소 공정 (chemical looping combustion processes)의 작동에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 탄소 포획 및 저장 (CCS)은 온실 가스 배출을 감소시켜 지구 온난화로 인한 바람직하지 않은 영향을 완화하기 위한 중장기 조치로 제안되고 어느 정도까지 채택되었다. 특히 고정형 발전소 (stationary power plants) 분야에서, 누락된 중요한 요소는, 탄소 포획 시스템을 작동하기 위한 기술적으로 실현 가능하고 경제적으로 건설할 수 있다. 연소 장치 유래의 순수한 스트림에서 CO<sub>2</sub>를 얻는데 사용될 수 있는 몇 가지 다른 기술은 현재 존재한다. 가장 많이 언급되는 세 가지는, 후-처리, O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 소성 (firing), 또는 산소연료 (oxyfuel) 및 CO-시프트 (CO-shift)이다.

[0003] 중유는 석유의 일종이다. 종래의 석유의 소위 "배럴의 버텀 (bottom of the barrel)"과 같이, 중유는 탄소가 상당히 풍부하고 그 자체로 밀도가 매우 높다. 2030년에 중유 생산량은 200% 증가할 것으로 추산된다. 세계의 총 석유 매장량 중, 추정된 53%는, 중유 또는 역청의 형태로 존재하고, 이 용어들은 실온에서 높은 점성, 고체 또는 고체에 가까운, 예를 들어, 타르 또는 아스팔트이고, 상대적으로 낮은 수소 함량을 가지며, 및 또한 높은 질량 밀도, 예를 들어, 20 degrees 이하의 API 비중을 갖는, 오일을 묘사하는 위해 상호교환적으로 사용된다. 중질 액체 연료의 기화 (Vaporization)는, 이들 연료의 조성 및 물리적 특성으로 인해 항상 실현 가능하지 않으며, 및 중질 연료유 (heavy fuel oil)의 기화는, 직접 액체 연료유 공급 시스템 (direct liquid fuel oil feeding system)보다 비용이 많이 드는 복잡한 공급 시스템을 요구할 수 있다.

[0004] 중유의 정제는 기술적 도전을 야기한다. 그러나, 경질 원유의 가격이 상승함에 따라, 중유를 합성 원유 (synthetic crude oil)로 업그레이드하기 위한 경제성은, 계속해서 개선되고 있다. 그러나, 다양한 타입의 중유를 업그레이드하기 위해 단일 기술을 사용하는 것은 어렵다. 이들은 통상적인 액체 연료에 비해 매우 점도가 높고 및 점도는 온도에 따라 급격히 변화한다. 300 내지 400℃에서 물처럼 흐르지만 실온에서 고체 상태를 유지하는 감압 증류 버텀 (Vacuum distillation bottoms)은, 취급 및 운반이 가장 어려운 정제 물질 중 하나이다. 이들 중유는 보통 상승된 온도에서 액체 형태로 정유 공정에서 나오며 및 이 형태로 연소장치에 직접 도입되어야

한다. 순환 유동층 보일러 ("CFB")는 정제 부산물을 효율적이고 깨끗하게 연소시킬 수 있다. 상기 CFB 공정은 유동화된 입자의 순환을 이용한다.

[0005] 화학적 루핑 연소 ("CLC")는, 10년 이상 동안 주목을 받아온 또 하나의 공정이다. 화학적 루핑 연소는, 예를 들어, 발전을 위한, 가열 에너지를 생산하기 위해 탄화수소 연료를 전환하는데 사용될 수 있고, 및 이 공정으로부터 실질적으로 순수한 CO<sub>2</sub> 스트림은 분리 및 회수될 수 있다. 화학적 루핑 연소는, 이 공정의 전반적인 작동과 관련된 비교적 낮은 에너지 손실 때문에 경제적 관심이 증가하고 있다.

[0006] CLC 공정은 산소 캐리어가 공기와 연료의 직접적인 접촉 없이 대기 (atmospheric air)와 연료 사이에 산소를 운반하는 매개물로서 역할을 할 수 있다는 원리에 기초한다. 주요 장점은, 연소 존으로부터, 따라서 생성된 연소 가스로부터, 질소 및 과량의 산소를 제거하는 것이다. 금속 산화물과 같은 고체 산소 캐리어는, 연료를 산화시켜, CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O를 생산을 결과한다. 산소 캐리어의 환원된 형태는 그 다음 공기 반응기 (air reactor)로 전달되고, 여기서 환원된 입자는 대기에 의해 접촉되고 및 이들의 초기 상태로 산화되며, 및 그 다음 연소 챔버 또는 반응기로 반송된다. 화학적 루핑 공정의 총괄 열은, 두 개의 열 상태, 즉, 연료의 산화 동안의 발열 및 환원 동안의 흡열의 합이며, 및 상기 합은 전통적인 연소 반응에서 방출된 열과 동일하다. 탄소 포획 공정의 전반적인 맥락에서, 화학적 루핑 공정의 주요 장점은, 최소의 부가적인 에너지가 CO<sub>2</sub> 포획을 달성하는데 요구된다는 점이다. 전체적인 연소 효율은, 전통적인 연소 공정과 비슷한데, 즉, 2-3%의 전체 효율 손실을 결과하는 것으로 추정되는 CO<sub>2</sub> 포획에 대한 최소 에너지 불이익이 있다. 게다가, NO<sub>x</sub> 형성이 상당히 증가하는 1200°C 이하의 온도 및 연료의 부재하에 공기 반응기에서 산화가 일어나기 때문에, NO<sub>x</sub> 형성은 이 공정에서 감소된다.

[0007] 상기 CCS 공정은, 환경적 및 경제적 이점 모두에서 이중 장점을 갖는다. 예를 들어, CO<sub>2</sub>는 포획된 후에 다른 산업 적용에 사용될 수 있다. 석유 생산을 증가시키기 위해 유전 (oil reservoirs)으로 CO<sub>2</sub>의 주입에 의한 향상된 오일 회수 (CO<sub>2</sub>-EOR)는, 약 40년 동안 상업적으로 적용되어 온 CO<sub>2</sub>에 대한 하나의 확립된 산업적 용도이다. CO<sub>2</sub>는 주로 천연 공급원에서 주로 유래되며, 및 이의 가능성은, 탄화수소 저장조로 이의 조절된 주입 및 CO<sub>2</sub>의 수송의 경제성의 측면에서 인정되어 왔다.

[0008] 발명의 명칭이 "Optimized Method and Device Loop Combustion on Liquid Hydrocarbon Feedstock"인 미국 공개특허 제2011/0171588호는, 분무된 액체 피드의 공압 가스 속도 (superficial gas velocity)가 금속 산화물 입자의 수송 속도 (transport velocity)를 초과하도록 선택된 유속에서 및 수송 존으로 언급되는 라이저 반응기 (riser reactor)에서 총 금속 산화물 입자의 적어도 일부와 접촉하여 분무되고, 및 아토마이징 가스 (atomization gas)와 혼합되는 적어도 하나의 액체 탄화수소 피드의 화학적 루핑 연소를 활용하여 에너지 생산 및 CO<sub>2</sub> 포획을 위한 장치 및 방법을 기재한다. 이후, 수송 존 유래의 유출액은, 적어도 하나의 밀집-상 유동층 (dense-phase fluidized bed)을 포함하는 연소 존으로 도입되고, 여기서 금속 산화물 입자의 부가적인 양은 환원되고 및 연료의 연소는 완성된다. 열 크래킹 (thermal cracking)은 발생하고, 및 코크스는 금속 산화물 입자상에 침착된다. 몇몇 구체 예에서, 연소는 입자로부터 코크스를 연소시키기 위해 직렬의 3개까지의 개별 반응기에서 완성된다. 기재된 공정은, 연소 반응기에서 입자상에 침착된 코크스의 연소의 대부분을 달성하고, 및 산화 반응기의 가스 유출액은, 전체 연소 공정 동안 생성된 총 CO<sub>2</sub>의 최대 10%를 포함한다.

[0009] 다양한 금속이 산소 캐리어로서 사용될 수 있는 것으로 알려져 있다. 니켈, 구리, 코발트, 철 및 망간과 같은 전이 금속 산화물은, 이들의 유리한 환원/산화 열역학적 특성 때문에 바람직하다.

[0010] 반응기의 선택 및 디자인은, CLC 시스템의 전반적인 효율에 중요할 수 있다. 예를 들어, 고체 산화물 촉매와 접촉하여 액체 탄화수소 오일을 주입하는 종래의 FCC 공정과 같은, 라이저 반응기에서, 역-혼합 (back-mixing)으로 언급되는 현상은 일어날 수 있으며, 이것은 함께-유동적으로 이동하는 고체 및 피드의 분포 및 접촉 시간에 악영향을 미친다. 역-혼합이 발생하는 경우, 반응기 부피 전체적으로 촉매/가스 체류 시간의 분포가 광범위하게 변화할 수 있다. 부가적으로, 반응기 내에 촉매 농도의 방사상 분포는 균일하지 않다. 역-혼합으로부터 결과하는 라이저 반응기 내에 속도/농도 분포의 편차는, 유속이 높은 경우, 즉, 반응기가 정제공장의 사양을 충족하도록 최대 생산을 위해 작동되는 경우 특히 심각할 수 있다.

[0011] 본 발명에 의해 다루어질 문제는, 더 적은 구성요소를 갖는 더 간단한 시스템을 제공함으로써 CLC 장치의 구성 및 장치의 일상적인 작동 및 유지 비용과 관련된 자본 비용을 절감하는 것을 포함하는, 실질적으로 순수한 CO<sub>2</sub> 스트림의 포획을 위한 종래 기술의 화학적 루핑 공정의 전체 효율을 어떻게 더욱 개선하는가에 관한 것이다.

[0012] 다루어질 관련된 문제는, 연소 단계로부터 회수된 CO<sub>2</sub>의 비를 증가시키고, 및 시스템에서 순환되는 산화된 산소 캐리어의 양에 비해 발생된 에너지의 양을 증가시키는 것이다.

[0013] 본 발명에 의해 다루어진 또 다른 문제점은, 어떻게 요구된 열 에너지 출력을 달성하기 위해 순환되어야 하고, 및 또한 종래 기술의 반응기로 연관된 역-혼합의 알려진 문제점을 회피하여야 하는 산소 캐리어 입자의 체류 시간 및 산소 캐리어의 양을 모두 최소화하는, CLC 시스템을 구성하고 및 작동하는 방법이다.

[0014] 여기에 사용된 바와 같은, 용어 "금속 산화물 입자", "산소 캐리어 입자", "금속 산화물", "산소 캐리어" 및 "산소 전달 물질"은 상호교환 가능하게 사용되고, 및 임의의 반응성 산화물 성분을, 단독으로, 또는 미래에 개발되거나 또는 지금 알려진 가역적으로 환원 및 산화될 수 있는, 산소 캐리어를 위한 물리적 캐리어로서 역할을 하는, 다른 물질과 조합하여 형성된 임의의 반응성 산화물 성분을 포함한다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0015] 산화된 입자가, 저장 용기, 또는 호퍼로부터, 연소 가능한 피드가 산소 캐리어의 산소의 일부 또는 전부와 반응을 위해 주입되는, 수직으로 위치한 하향류 반응기의 상단부로, 조절된 흐름 및 중력 공급 (gravity feed)에 의해 통과되는, CLC 공정을 광범위하게 포괄하는 본 개시의 공정 및 시스템에 의해 상기 문제점은 해결되고 및 다른 장점 및 이점은 달성된다. 연료 피드의 완전 연소에 필요한 부가적인 산소 운반 입자는 또한 호퍼로부터 조절된 흐름으로 방출되고 및 중력의 영향하에서 호퍼 아래에 위치한 복수의 순차적 또는 다단식 반응 존으로 떨어진다. 3개의 연소 존으로 도입된 산소 캐리어 입자의 총량은, 연료의 완전 연소에 대한 화학양론적 요건을 충족시키도록, 연료의 탄소 함량에 기초하여, 미리 결정된다. 상기 호퍼는, 대기에 의해 입자의 산화 후에 공기 반응기에서 방출되는 재생된 새롭게 산화된 입자에 의해 공급된다.

**과제의 해결 수단**

[0016] 스택 및 연소 가스의 팽창 및 중력의 영향하에서 하향류 반응기를 통해 통과하는 산소 캐리어 입자와 원료 피드 (raw feed)의 접촉 시간은, 종래의 기술 공정과 비교하여 상대적으로 짧다. 더 짧은 접촉 시간의 바람직한 효과는, 입자상에 형성된 코크스의 양의 감소이다. 역-혼합과 관련된 잠재적 비효율성은 또한 초기 연소 단계를 위한 하향류 반응기의 사용에 의해 제거된다.

[0017] 잔여 비연소된 피드 및 하향류 반응기로부터 방출된 완전히 또는 부분적으로 환원된 입자는, 반응기 베드 (reactor bed) 위의 자유 공간에서 경계를 이루는 하나 이상의 배수탑 (standpipes)에 의해 조절된 유속으로 호퍼로부터 중력 공급되는 부가적인 새로운 산화된 입자로 공급되는, 다단식 유동층 반응기로 통과된다. 반응 존으로 산화된 입자의 도입은, 연료 피드를 CO<sub>2</sub> 및 수증기로 완전히 연소시키거나 또는, H<sub>2</sub> 및 CO로 이루어진, 합성 가스, 또는 신가스 (syngas)를 생성하는 것을 결과하도록 미리 결정된다.

[0018] 따라서, 하나의 관점에서, 산소 캐리어의 완전히 산화된 고체 입자는, 미리 결정된 비율로, 또는 미리 결정된 비율의 범위 내에서 도입되고, 및 하향류 반응 존으로, 및 그 후 적어도 하나의 연료 반응 존으로, 그러나 바람직하게는 복수의 연속적인 연료 반응 존으로, 미리 결정된 체적 유량에서 알려진 연소 특성을 갖는 탄화수소 연료와 혼합되며, 상기 반응 존 또는 존들은, 연소 생성물이 통과되고 및 부분적으로 또는 완전히 환원된 고체 산소 캐리어 입자가 보유되는, 분리 장치에 의해 부분적으로 한정되고, 상기 환원된 고체 입자는, 이들이 공기 산화 반응기를 통해 통과하는 대기에 함유된 산소에 의해 바람직하게는 이의 최대 산화 상태로 산화되는 공기 산화 반응기로 하나 이상의 쉘을 통해 통과한다. CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O로 주로 이루어진 최종 연소 반응 생성물은 별도의 스트림으로 회수된다.

[0019] CLC 공정 유닛은 연료 주입 시스템, 하향류 반응기, 제1단계 연료 반응기, 제2단계 연료 반응기, 유동층 열교환기, 고체 산소 캐리어 입자 트랜스퍼 라인 (transfer lines), 공기 산화 반응기, 산화된 입자 수집 호퍼, 및 압력 조절 베드로 이루어진다. 상기 입자 수집 호퍼는, 하향류 반응기의 상부 부분 및 제1 및 제2단계 반응기 위에 위치하여 산화된 입자가 유리하게는 미리 결정된 조절 속도로 중력 공급되고, 상기 속도는 산소 캐리어의 실질적으로 완전한 환원을 달성하기 위해 플라이 (fly) 상에서 조정될 수 있다.

[0020] 탄화수소 연료는 하향류 반응기의 업스트림에 위치한 피드 주입기로 펌핑되고 및 복수의 피드 주입 노즐로 통과된다. 산화된 산소 전달 물질은 호퍼로부터 하향류 반응기로 전달되고 및 중력의 영향하에 하강한다. 이하 더욱

상세하게 기재되는 바와 같이, 호퍼는 산화 단계 후에 공기 반응기로부터 완전히 산화된 입자를 수집한다.

[0021] 하향류 반응기에서 피드와 반응한 후, 금속 산화물 산소 입자의 입자는, 연료 반응기로 떨어지고 및 반응 가스로 지칭되는, CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O, 및 미반응된 가스로 지칭되는, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, 및 소량의 다른 탄화수소 가스를 함유하는 발생 가스 (generated gas)는 가스 수집 장치로 흐른다. 가스 수집 장치는 연료 반응기보다 더 작은 직경을 가지며 및 내-열성 내화 물질로 라이닝된다. 가스 수집 장치는 반응 및 미반응 가스 생성물을 수집한다. 가스 수집 장치가 반응 및 미반응 가스를 분리할 수 없기 때문에, 이들 가스는, 금속 산화물 입자, 미반응 가스들 및 스톱 사이에 접촉을 향상시키는 대향류 (counter-current flow)에서 라인을 통해 도입된 금속 산화물 입자의 완전 산화된 형태와 반응한다. 가스 수집 장치는, 새롭게 산화된 금속 산화물 입자와 대향류 접촉으로 미반응 가스를 철저히 혼합하는 기능을 제공한다.

[0022] 하향류 반응기의 사용은, 탄화수소 가스와 상대적으로 짧은 체류 시간으로 인해 산소 전달 입자상에 코크스 침착 (coke deposition)을 감소시킨다. 하향류 반응기로부터의 가스는, 연료 반응기의 버텀으로부터 도입되고 및 버텀으로부터 상승하는 유동화 가스 및 금속 산소 입자상에 코크스 침착물의 가스화의 생성물과 혼합된다.

[0023] 공기 반응기 및 하향류 반응기는, 호퍼에 의해 연결되고 및 가스 기밀성 (gas tightness)은, 호퍼 내에 산화된 고체 입자의 베드에 의해 제공된다. 가능한 최대로, 연료 및 대기 및 이의 가스 산소 사이에 직접적인 접촉은 피해야 한다. 본 발명에서 반응물의 연속적인 순환은, 유닛 내에 압력 균형을 조절하여 유지된다. 대향류는, 호퍼 내에 압력과 각각의 섹션 내에 고체 입자의 높이를 통해 조절되는 연료 반응기 내에 압력 사이에 압력의 조절을 통해 유지된다. 따라서, 본 발명은 고체 취급 장비 구성요소 및 투입의 수를 감소시킨다. 반응기 내 및 반응기를 통한 고체 입자의 흐름은, 당 업계에 공지된 방법 및 장치에 따라 시스템의 압력 균형에 의해 조절된다. 산업적 규모의 반응기 디자인을 위한 압력 균형 모델 및 방법은, 개발되고 공개되어 있다. 예를 들어, Pressure Balance of a Multiple-Loop Chemical Reactor, Hadley et al., The 13<sup>th</sup> Int'l Conf. on Fluidization (2010), ECI Digital Archives를 참조하고, 이의 개시는 참조로서 여기에 혼입된다.

[0024] 예를 들어, 순환 유동층 루프 시스템에서 가장 낮은 압력은, 가스-고체 분리장치의 영역에 위치되며, 여기서 고체 입자는 가스-고체 분리장치로부터 회수되고 및 하향류 배수탑으로 통과된다. 여기서, 압력은 가스-고체 분리장치의 영역 및 배수탑의 말단에서 실질적으로 변화되지 않는다. 배수탑에 유입 후에, 고체 입자는 유동화 조건 하에 있다. 배수탑에 따른 압력 강하 (pressure drop)는, 베드 높이에 비례하며, 및 상기 압력은 하향류 배수탑의 베드 수준으로부터 배수탑의 버텀으로 선형으로 증가한다. 하강하는 고체 입자가 배수탑의 하부 말단으로부터 상향으로 흐르는 공기 반응기로 전달되는 경우, 압력 강하가 극복될 필요가 있기 때문에, 압력은 배수탑의 버텀으로부터 공기 반응기의 버텀으로 감소한다. 입자가 버텀으로부터 상부로 상승됨에 따라, 압력은 공기 반응기에서 점진적으로 감소한다. 상기 공기 반응기와 상기 호퍼의 상부 사이에서 압력 감소는, 호퍼 자체를 가로지르는 압력 강하에 의해 생성된다.

[0025] 본 개시는, 연료 반응기에서 산소 캐리어의 체류 시간, 또는 체류 시간을 증가시키기 위한 연료 반응기의 크기의 증가에 의존하지 않는, 산소 캐리어의 완전한 또는 개선된 환원을 제공한다.

[0026] 부가적으로, 산소 캐리어의 순환 속도는, 고체 금속 산화물 산소 캐리어의 상대적으로 높은 순환 속도에서 작동하는 디자인에 의해 하향류 반응기에서, 및 순차적인 연료 반응기에서, 산소 캐리어 입자의 실질적으로 완전한 환원을 달성하면서 떨어질 수 있다. 이는 산소 캐리어의 더 빠른 동역학 및 더 에너지-효율적인 환원을 결과한다. 따라서, 본 개시는, 더 작은 반응기, 예를 들어, 다단식 연료 반응기 및/또는 공기 반응기, 또는 낮은 산소 캐리어 순환 속도, 또는 모두를 활용하면서 산소 캐리어의 완전한 또는 상당히 개선된 환원을 가능하게 만든다.

[0027] 본 발명의 방법은, 사이클론 (cyclones) 및 루프 쉘을 포함하여, 요구된 고체 취급 장비 구성요소의 수를 감소시켜 종래 기술의 화학적 루핑 공정의 비용을 감소시킨다. 본 발명은 또한 액체 연료를 처리하기 위한 종래 기술의 화학적 루핑 구성의 많은 제한을 제거하거나 또는 크게 줄이고 및 중질 액체 탄화수소 및 감압 잔사유, 및 석탄의 연소를 위한 최대 유연성을 제공한다.

**도면의 간단한 설명**

[0028] 이하, 본 발명은, 동일하거나 유사한 요소가 동일한 번호로 지칭되는 첨부된 도면을 참조하여 더욱 상세히 설명될 것이고, 여기서:

도 1은 2개의 연료 반응기를 갖는 본 발명의 CLC의 하나의 구체 예의 개략도이다;



도 2는 단일 반응기를 갖는 본 발명의 CLC의 또 다른 구체 예의 개략도이다; 및

도 3은 본 발명의 CPC 공정의 실행에 사용하기에 적절한 쉘 타입을 대표하는 종래 기술의 루프 쉘 (loop seal) 의 개략도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0029] 도 1을 참조하면, 중질 액체 탄화수소 연료의 연소를 위한 본 발명의 구체 예에 따른 CLC 공정 유닛 (1)은, 개략적으로 예시된다. 예열된 연료는, 하향류 반응기 (10)의 업스트림에 위치한 연료 주입기 (fuel injector: 19)로 펌핑되고, 및 복수의 공급 노즐에 의해 동일한 흐름으로 분할되며, 여기서 이것은 스팀 주입기 (21)를 통해 도입되고 및 하향류 반응기 (10)으로 주입된 분산 스팀으로 공급 노즐에서 미세하게 아토마이징되고 혼합된다. 중질 탄화수소 연료의 급속 기화 (vaporization)는, 이에 의해 촉진되고 및 액상 코킹 반응을 최소화시킨다. 화학적 루핑 연소에서, 반응은 증기 상으로 발생하고, 및 가능한 한 가장 짧은 시간에서 연료의 최대 기화는, 유닛 작동의 전체 효율을 최대화하는데 중요하다. 액상에 잔류하는 큰 오일 액적 (oil droplets)은, 급속 산화물 입자를 둘러싸고 및 활성 산화 표면적을 효과적으로 차단할 수 있다. 따라서, 피드의 느린 기화는 이것이 코크스의 형성을 촉진하기 때문에 바람직하지 않다.
- [0030] 급속 산화물의 흐름으로의 오일 주입의 방향은 가속 급속 산화물 입자의 이동과 동일한 방향으로 하향한다. 이 주입 패턴은 열전달을 최대화하기 위해 피드 액적과 고온 산화 급속 산화물 사이에 접촉을 촉진한다.
- [0031] 균일한 피드 분배 및 급속 기화는 또한 다른 이점을 갖는다. 하향류 반응기 (10)의 상부 부분에서, 급속 산화물은 주입된 스팀에 의해 하향으로 향하게 되고, 그 다음 산화된 입자는 스팀 주입의 수단(21)에 의해 안정화되며 및 연료 주입 지점에서 아토마이징된 연료/스팀 미스트를 만난다. 잘 분포된, 빠르게 기화하는 피드는 부드러운 방식으로 반응 혼합물을 이의 최종 속도로 가속시키는 것을 돕는다. 급속 산화물 입자의 슬리피지 (slippage) 및 역-혼합은 입자상에 코크스 침착을 촉진하기 때문에 바람직하지 않다.
- [0032] 종래 기술의 공급 주입 노즐은 고 에너지 전단 작용에 의해 액체 중질 탄화수소 오일 피드를 아토마이징시킨다. 주입기는 미리 결정된 각에서 선단부로부터 퍼지는 웨지-형상의 분무 (wedge-shaped spray)를 방출한다. 공급 노즐의 조합된 작용은 측벽에 충돌없이 하향류 반응기의 단면의 균일한 피복을 제공한다. 고속 스팀 제트는 오일을 더욱 전단하여 미세한 미스트 또는 증기를 형성한다.
- [0033] 스팀 주입기는, 급속 산화물 입자가 큰 난류 및 불균일한 산화물 입자 흐름 패턴이 발생할 수 있는 영역에서 하향류 반응기 (10)로 통과하는 호퍼 (3)의 버팀으로부터 미리 결정된 거리에 위치된다. 따라서, 고밀도 존은 충격을 흡수하고 및 고체 흐름을 안정화시키기 위해서는 제공되어야 한다. 이 안정화 존은 리버스 쉘 (reverse seal)로 작용을 한다. 압력 바운스 (pressure bounce)가 발생하는 경우, 쉘은 흐름 반전 (flow reversal)의 잠재적 위험을 감소시킬 것이다. 아토마이징 스팀은, 연료의 특성에 의존하여, 연료 피드의 1 내지 10 중량%, 바람직하게는 2 내지 5 중량%이다.
- [0034] 스팀은 피드 주입 지점에서 급속 산화물 입자의 부드럽고 균질한 흐름을 촉진하기 위해 하향류 반응기 (10)에 주입된다. 스팀은 복수의 주입기 (19), 예를 들어, 2 내지 10개의 주입기, 및 바람직하게는 2 내지 6개의 주입기를 통해 도입된다. 주입기는 수직축으로부터 다운스트림 방향으로 10° 내지 45°, 및 바람직하게는 15° 내지 30° 로 배향된다. 스팀의 양은 0.1-1.5 m/s, 및 바람직하게는 0.2 내지 1.2 m/s의 반응기 공압 속도에 기초한다.
- [0035] 연료 주입기 (19)는 안정화 스팀 주입기 (21) 아래에 위치된다. 주입기의 각도는 수직에서 15° 내지 60°, 및 바람직하게는 25° 내지 45° 이며, 및 아래 방향으로 향한다. 하향류 반응기 (10)의 축 상에 피드 주입기의 투사 지점 (projection point)은, 안정화 스팀 주입기 (21)의 것보다 높아야 한다. 하향류 반응기에서 양호한 피드 분배를 위해서, 주입기의 수는, 장치의 물리적 크기의 제약을 고려하여, 가능한 한 많아야 한다.
- [0036] 아토마이징된 연료 액적은, 고온의 산화 급속 산화물 입자와 접촉하고, 기화된다. 기화된 오일은 기상 연료를 분해하는 급속 산화물 입자와 밀접하게 혼합되고 및 생성 가스는 급속 산화물의 산소와 반응하며, 이는 이에 의해 환원된다. 반응의 생성물인, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, 및 기타 미반응 가스는, 급속 산화물을 운반하면서 하향류 반응기 (10) 아래로 이동한다.
- [0037] 하향류 반응기 (10)의 출구에서, 급속 산화물 입자는, 난류 유동화 레짐 (turbulent fluidization regime)에서 작동되는 제1 유동화 연료 반응기 (20) 내로 중력에 의해 떨어진다. 급속 산화물 입자는, 즉, 제1 유동층 반응

기에서 이동하는 입자의 표면 위로 프리보드 영역 (freeboard region)에서 중력에 의해 가스로부터 분리된다. 분리된 입자는 비말동반된 (entrained) 미반응 탄화수소 가스를 함유할 수 있다. 미반응 가스의 연소는, 종래의 유동 링 (fluidizing rings) 및 이와 유사한 것을 통해 도입된 스팀 라인 (32)에 의해 유동화되고, 및 바람직하게는 고밀도 또는 난류 레짐에서 작동되는, 금속 산화물 입자의 유동층에서 완성될 것이다. 제1 유동화 연료 반응기 (20)는, 코크스 가스화를 향상시키기 위해 이 반응기에서 양호한 혼합 및 금속 산화물 입자 분포를 촉진하기 위해 난류 레짐에서 작동되어 CO 및 H<sub>2</sub>를 형성하고, 이는 그 다음 금속 산화물과 반응한다. 코크스 침착은 하향류 반응기 (10)에서 발생할 수 있다. 유동층에서 스팀의 존재하에서 코크스된 금속 산화물 입자는, 가스화되고 및 생성 가스 및 CO, H<sub>2</sub>는, 부가적인 열, CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O를 생성하기 위해 산소 캐리어 입자와 더욱 반응한다.

[0038] 본 발명의 제1 유동화 연료 반응기에서, 금속 산화물 입자상에 코크스는, 850°C 내지 1200°C, 바람직하게는 950°C 내지 1100°C의 온도에서 가스화된다. 가스화 생성물은, 비환원되거나 또는 부분적으로 환원된 금속 산화물 입자와 반응할 것이다. 제1 유동화 연료 반응기 (20)에서 입자의 체류 시간은 1 내지 15분, 및 바람직하게는 3 내지 10분이다.

[0039] 제1 연료 반응기 (20)의 설계 직경은, 가스 공탑 속도에 기초하여 결정된다. 버텀 섹션 (20A)에서 금속 산화물 입자의 균일한 혼합 및 양호한 유동화 가스 분포를 위해, 속도는 0.3 내지 1.25 m/s의 범위, 바람직하게는 0.5 내지 0.75 m/s의 범위일 수 있다. 고체 산화물 입자 이외에 더 많은 가스가 존재하는 디싱게이징 존 (disengaging zone)에서, 속도는 제1 연료 반응기 (20)의 밖으로 입자 수송을 최소화하기 위해 약 0.75 m/s를 초과하지 않아야 한다. 배플 및 특정 패킹 형상 및 크기의 선택은, 유동층에서 수직으로 혼합되는 경향 및 바이-패싱 (by-passing)을 억제하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 가스 속도의 한정된 범위 내에서, 배플은 가스 버블을 조절, 분해 및 재생하여, 이에 의해 베드를 통한 가스-고체 접촉 및 균일한 유동화를 실질적으로 개선하는데 사용된다. 이것은, CLC 공정이 베드를 통한 수직 흐름 채널 및 다른 불균형을 피하거나 또는 최소화하기 위해 깊은 베드를 갖는 큰 직경의 칼럼에서 작동되는 경우 특히 중요하다.

[0040] 유동화 라인 (32)을 통해 베드의 버텀으로 도입된 유동화 매체 (fluidization medium)는 스팀 또는 스팀 및 CO<sub>2</sub>의 혼합물일 수 있다. 제1 연료 반응기 (20)에서 반응의 생성물은, 하향류 반응기 (10)로부터 유래하는 미반응 및 반응된 가스를 결합할 것이다.

[0041] 금속 산화물 입자의 베드는, 제2 유동화 연료 반응기 (30)의 하부 부분에서 수평으로 연장되는 다공판 (22) 상에 배치되고, 및 지지된다. 베드는 배수탑 (39)에 의해 또는 임의의 다른 공지된 방식으로 제2 연료 반응기 (30)로 도입되는 금속 산화물 물질의 개별 입자 (discrete particles)로 이루어질 수 있다. 예를 들어, 배수탑 (39)은 호퍼 (3)로부터 연장되고, 흐름은 스크류 컨베이어 (screw conveyor)를 작동시켜 배수탑 (39)으로 입자를 도입하는 가변 속도 모터에 작동 가능하게 연결된 프로그램화된 프로세서/컨트롤러에 의해 조절될 수 있고, 여기서 이들은 중력의 영향하에서 떨어진다.

[0042] 석회석 (limestone)과 같은, 황-흡수 물질은 또한, 유사한 방식으로, 예를 들어, 석탄과 같은 황-함유 연료의 버닝 (burning)에 의해 발생한 황을 흡수하기 위해 외부 저장 용기 (도시되지 않음)로부터 배수탑을 통해, 제2 연료 반응기 (30)로 조절된 속도에서 도입될 수 있다.

[0043] 다공판 (22)은, 제1 연료 반응기 (20) 및 하향류 반응기 (10)에서 생성된 연소 가스가 또 다른 다단식 연료 반응기인 제2 연료 반응기 (30)로 통과하도록 하여, 여기서 하향류 반응기 (10)로부터 미반응된 가스의 연소, 및 반응기 (20)로부터 스팀 및 CO<sub>2</sub>는, 존재하는 금속 산화물 입자와 반응할 수 있다. 환원된 산화물 입자는, 다공판 (22)에 의해 제1 반응기 (20)에 보유되고, 및 공기 반응기 (40)의 버텀으로 전달하기 위해 루프 쉘 (27)을 통해 회수된다. 따라서, 다공판 (22)은 2 단식 반응기 베드 (20, 30)를 분리하고, 및 환원된 산화물 입자가 다른 것과 융합하는 (co-mingling) 것을 실질적으로 방지하는 역할을 한다. 미립자 (particle fines)의 몇몇 통로는, 유동화에 의한 이들의 속성에 기인하여 발생할 수 있다.

[0044] 반응기 (20) 내 및 하향류 반응기 (10)로부터 주입된 스팀 (32)은, 반응기 (30) 내의 입자 베드의 유동화를 위해 사용된다. 유동화 가스의 필요한 부피가 반응기 (20) 및 하향류 반응기 (10)의 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O 반응 생성물에 의해 제공되기 때문에, 반응기 (30)의 안정한 작동을 유지하기 위한 임의의 부가적인 유동화 매체를 도입할 필요가 없다. 그 결과, 스팀 발생의 유동화와 관련된 자본 및 작동 비용은 감소된다.

[0045] 제2 연료 반응기 (30)의 설계 직경 및 기타 파라미터는, 공탑 가스 속도에 기초하여 결정된다. 양호한 유동화 가스 분포 및 양호한 금속 산화물 입자 혼합을 위해, 버텀 섹션 (30A)에서의 속도는 0.15m/s 내지 0.8m/s, 및

바람직하게는 0.5 내지 0.75m/s이다. 디싱케이징 섹션에서, 속도는 제2 반응기로부터 금속 산화물의 수송을 최소화하기 위해 0.75 m/s를 초과하지 않아야 한다.

- [0046] 다음 요인 및 설계 파라미터는 베드의 유동화와 연관된다. 유동화될 전체 표면적은, 섹션 각각이 동일한 표면적인 복수의 섹션으로 분할된다. 각 섹션은 링 상에 노즐에 상응하는 하나의 유동화 제트로 분무된다. 노즐의 출구로부터 방출된 유동화 가스는, 주어진 침투 (penetration)를 위한 이의 초기 배향을 유지하고, 그 다음, 이것이 분산됨에 따라 수직 방향으로 상향으로 흐른다. 제트 밀도 (jet density)는 15 jets/m<sup>2</sup> 내지 45 jets/m<sup>2</sup>, 및 바람직하게는 20 내지 40 jets/m<sup>2</sup>의 링 표면적에 기초하여 선택된다.
- [0047] 오리피스를 갖는 노즐은 유동화를 위해 바람직하게 사용되는데, 이는 가스 분배가 최대 노즐 출구 속도를 초과하지 않고 노즐을 통한 현저한 압력 강하를 요구하기 때문이다. 오리피스는 약 0.1 내지 0.4 bar, 바람직하게는 0.15-0.3 bar의 압력 강하를 제공한다. 노즐 오리피스는 20-60 m/s, 바람직하게는 45-55 m/s의 최대 출구 속도를 제공하도록 선택된다. 모든 노즐은, 바람직하게는 동일한 직경을 가지며, 및 결과적으로 가스는 고르게 분포되고, 및 각 노즐을 통한 유량은, 전체 유량을 노즐의 전체 수로 나눈 값에 상응한다. 노즐 출구 속도의 한도의 초과는, 고체 입자의 더 빨리 소모를 결과할 것이다.
- [0048] 연도 라인 (35)을 통한 제2 연료 반응기 (30)로부터 배출되는 고온 연도 가스는, 상대적으로 작은 미립자 물질의 일부를 비말동반할 수 있고, 및 연도 (35A)를 통해 방출된 연소 가스로부터 비말동반된 미립자 물질을 분리하기 위해 종래의 방식으로 기능을 하는 사이클론, U-빔 또는 다른 연료 분리장치를 포함할 수 있는 분리 존 (36)으로 통과된다. 분리된 미립자는, 그 다음 수송 도관 (37)을 경유하여 연료 반응기 (20)로 재순환될 것이다.
- [0049] 적절한 종래의 도관 및 가스/고체 분리 장치, 예를 들어, 사이클론 및 U-빔 분리장치 시스템 (도시되지 않음)이, 금속 산화물 입자 및 이들의 미세입자가 제1 연료 반응기 (20)로부터 제2 반응기 (30)로 통과하는 것을 방지하도록 제공된다는 것은 기술분야의 당업자에게는 이해될 것이다.
- [0050] 환원된 금속 산화물은, 측면 도관을 통해 연료 반응기 (20)로부터, 기술분야에서 알려진 방법에 따라 환원된 금속 산화물 베드 홀더 링 다기관 (ring manifold) (도시되지 않음)으로부터 유동화 스팀의 조절된 흐름의 도입에 의해 미리 결정된 적당한 배수탑 밀도에서 정적 베드 (quiescent bed)로 유지되는, 환원된 금속 산화물 베드 홀더 셸 (27)로 흐른다.
- [0051] 배수탑 아래로 금속 산화물의 안정한 흐름은, 고체 입자 및 가스의 균일한 유동화 상태를 균일하게 형성하기 위해 배수탑 상에 몇몇의 고도에서 스팀의 주입에 의해 제공된다. 헤드 압력 (head pressure)이 배수탑 아래로 증가하고 및 금속 산화물 흐름이 압축됨에 따라, 스팀 주입 지점은, "손실" 부피를 효과적으로 대체하여, 환원된 금속 산화물 입자의 유체-유사 흐름 (fluid-like flow)의 연속성을 보장한다.
- [0052] 환원된 금속 산화물 입자 배수탑 (39)의 버텀에서, 환원된 금속 산화물 베드 홀더 루프 셸 (29)은, 환원된 입자가 공기 반응기 (40)로 통과되기 전에 베드의 가스 기밀성을 유리하게 조절한다. 환원된 금속 산화물 베드 홀더는 또한 제2 연료 반응기 (20)와 공기 반응기 (40) 사이에서 안정한 작동 흐름을 유지하도록 기능한다.
- [0053] 베드 홀더 루프는 공기 반응기와 연료 반응기 사이에 가스 누설을 방지하기 위해 제공된다. 본 발명에서, 베드 홀더 루프 셸은, 대기로 균일하게 방출되는 공기 반응기에서 공기 흐름에 존재하는 질소와 연료 반응기에서 생성된 CO<sub>2</sub>의 혼합을 피한다. 이는 공기 반응기 (40)와 연료 반응기 (20, 30) 사이에 가스 기밀성 또는 셸이 호퍼 (3)에서 금속 산화물 입자 베드에 의해 제공되기 때문에, 본 발명의 방법의 또 다른 장점이다. H<sub>2</sub>O 및 CO<sub>2</sub> 또는 CO 및 H<sub>2</sub>를 포함하는 연소 가스는, 가스 연도 (18)를 통해 호퍼 (3)로부터 방출된다.
- [0054] 환원된 금속 산화물 입자는, 공기 반응기 (40)의 기저부로 통과하고, 여기서 이들은 제1 공기 링에 의해 유동화된다. 상기 공기 반응기의 기저부는, 대기 및 유입된 환원된 금속 산화물 입자의 철저한 혼합을 달성하기 위해 난류 유동화 레짐에서 작동한다. 상기 공기 반응기 기저부 내에 유동화 출구는, 제2 공기 주입 지점 (46a)으로 금속 산화물 입자의 흐름이 안정하도록 보장한다. 금속 산화물의 입자는 제2 공기 주입 위치로 수송되고, 여기서 2차 공기의 주입은, 발열 반응을 나누고, 및 공기 반응기에서 온도 프로파일을 조절하기 위한 수단을 제공한다. 환원된 금속 산화물의 산화는 완성되고 및 환원된 금속 산화물의 산화의 발열 반응, 따라서 방출되는 열의 양은 최적이다.
- [0055] 공기의 존재하에 금속 산화물 입자는 산화되고, 및 호퍼 (3)까지 들어올리기에 충분한 속도로 운반되며, 여기서 이들은 완전히 산화된 상태로 방출된다. 반응기들 사이에서 입자의 이동하는 동안, 이들은 마멸 및/또는 파쇄에

적용되고, 따라서, 호퍼로 방출된 입자는 크기의 분포를 포함한다. 더 작은 입자, 예를 들어, 50 microns 미만의 입자는, 가스에 의해 수송될 수 있고 및 사이클론 (44)에 의해 회수될 수 있으며 및 배수탑 (45)을 통해 공기 반응기 (40)의 버팀으로 다시 수송된다. 공기 반응기 (40)로부터 방출된 가스를 이용하는 시스템으로부터 입자의 손실을 줄이기 위해 이 루프를 갖는 것이 중요하다.

[0056] 따라서, 더 작은 입자는 사이클론 (44)으로 이루어진 분리 섹션을 통해 공기 반응기 (40)의 기저부로 재순환되고, 여기서 입자는 가스로부터 분리되고, 및 상기 입자는 배수탑 (45)을 재순환하도록 통과되며, 및 공기 반응기 (40)의 기저부로 중력에 의해 하강된다. 금속 산화물 입자는 또한 환원된 금속 산화물의 완전 산화를 보장하기 위해 배수탑 (41) 및 루프 쉘 (42)를 통해 호퍼 (3)로부터 공기 반응기 (40)의 버팀으로 재순환될 수 있다.

[0057] 루프 쉘은 고체 순환 루프 시스템에서 필요한 압력 차이를 조절하는데 사용할 수 있어, 입자는, 바람직하지 않은 역가스 흐름 (inverse gas flow) 없이, 사이클론과 같은 저압의 존으로부터 고압 존으로, 예를 들어, 가열로 또는 라이저 반응기로 흐를 수 있다. 루프 쉘은 유동층 시스템에서 광범위하게 사용된다. 통상적인 루프 쉘은: 공급 챔버, 재순환 챔버, 및 재순환 파이프의 3가지 주요 구성요소를 포함한다. 다른 구성 (configurations)은, 공급 챔버 및 재순환 파이프의 연결에 기초한 루프-셸에 대해 존재하며, 및 챔버들 사이에 간단한 슬릿 개구 (slit opening) 또는 두 섹션들 사이에 수평 파이프 연결의 사용을 포함한다. 루프 쉘은 일반적으로, 이들 두 챔버들 사이에 외벽을 갖지 않도록 특별히 설계되지 않은 한, 수평 파이프를 갖는다. 몇몇 산업용 고체 흐름 장치 (solid flow units)에서, 2개의 재순환 파이프는 루프 쉘에서 최대 고체 유속을 증가시키는데 사용된다. 이 기술은 소위 트윈-출구 루프 쉘 (twin-exit loop seal)이라 불린다.

[0058] 도 3을 참조하면, 본 개시에 따른 CLC 공정의 실행에 사용하기에 적절한 일반적인 타입의 쉘 (42)은 개략적으로 예시된다. 루프 쉘 (42)은 일반적으로 도 1의 시스템에 나타내며, 여기서 하향류 재순환 파이프 (41)는, 중력하에서 고체 산화물 입자를, 쉘 하우징의 대립 벽들 사이에서 확장하는 웨어 (weir: 60)에 의해 한정된 재순환 챔버 (54)와 연통하는 하부 개구부 (52)를 갖는 공급 챔버 (50)로 도입시킨다. 기술분야의 당업자에 의해 이해되는 바와 같이, 웨어의 높이는, 부분적으로, 고체 산화물 입자가 웨어 (60)를 넘어 통과한 후에 흐르는 재순환 파이프 (43)에서 압력을 결정한다. 하나 이상의 공기 박스 (58)와 유체 연통하는 복수의 분산 노즐 (68)을 갖는 다기관 (66)은, 순환 챔버 (54) 내에 금속 산화물 입자가 지지되는 유동화 그리드 (56)를 통해 유동화 가스 흐름을 도입한다. 유동화 공기 유입 다기관 (66)의 흐름 및 압력은 또한 쉘 (42)을 가로지르는 압력 강하에 대한 원인이다.

[0059] 본 개시의 CLC 시스템에서 장점으로 사용될 수 있는 루프 쉘의 하나의 변형은, 루프 쉘의 내부에 열교환기를 설치하는 것이다. 이러한 배열은, 예를 들어, 마멸로 손실된 물질을 대체하기 위해 첨가되기 전에 액체 연료 및/또는 새로운 금속 산화물 입자를 예열하기 위해, 시스템 내의 다른 곳에서 사용될 수 있는 고온의 입자로부터 열을 회수하는 것이 가능하다.

[0060] 입자는 배수탑을 통해 공급 챔버로 흐른 다음, 재순환 챔버로 흐른다. 고체는 재순환 챔버에서 유동화 상태로 있고 및 수평 통로 또는 웨어를 통해 재순환 파이프로 넘쳐 흐르며, 여기서 이들은 라이저 또는 반응기일 수 있는 시스템 내에 후속 유닛으로 전달된다.

[0061] 공정의 작동을 감시 및 조절하기 위해, 샘플링 장치 (48)에 의해 산화된 입자로부터 분리 후에 공기 반응기를 빠져나가는 가스 스트림의 자동 샘플링 및 분석은, 산화가 완성되었는지를 결정하기 위해 수행될 수 있다. 구체예에서, 입자의 산화 상태는, 공기 반응기 (40)를 빠져나가는 가스 내에 산소 함량의 분석에 의해 간접적으로 결정되거나 또는 추론될 수 있다. 산소-결핍 공기에서 산소의 농도가 낮아질수록, 금속 산화물 입자의 산화 상태는 더 높다.

[0062] 호퍼 (3)에서 회수된 산화된 금속 산화물 입자는, 미반응 가스와 반응하기 위해 배수탑 (39)을 통해 반응기 (30)의 프리보드로 방출될 수 있다. 부가적으로, 종래 기술의 설계 및 작동에서, 연료 반응기(들) 및/또는 공기 반응기를 활용하여, 및/또는 산소 캐리어 순환 속도를 낮추어, 산소 캐리어의 실질적으로 완전 환원을 달성하기 위해 고체 금속 산화물 산소 캐리어의 상대적으로 큰 순환 속도에 의존하는, 제1 및 제2 연료 반응기 및 하향류 반응기에서 산소 캐리어의 실질적으로 완전 환원을 달성하면서, 산소 캐리어의 순환 속도는 감소될 수 있다.

[0063] 진술한 바와 같이, 반응으로 인한 가스 부피의 증가는, 연료 반응기에서 가스의 속도를 증가시킨다. 가스 스트림의 속도의 증가는, 가스 스트림에 의해 반응기 밖으로 운반되는 금속 산화물 입자의 비말동반을 결과할 수 있다. 하나 이상의 사이클론과 같은, 분리 장치는, 입자를 회수하고 및 이들을 연료 반응기로 되돌리는데 사용될 수 있다.

- [0064] 이하, 도 2를 참조하면, 금속 산화물 입자의 환원이 단일 반응기 (200)에 발생하는, 본 발명의 CLC 공정의 또 다른 구체 예 (100)가, 개략적으로 예시된다. 유동화 연료 반응기 (200)의 기하학적 구조 및 설계는, 하향류 반응기 (10)로부터 도입된 액체 연료의 완전 전환을 보장하도록 치수가 지정되고 및 구성된다. 도 1의 구체 예에서와 같이, 호퍼 (3)로부터 산화 금속 산화물 입자는, 하향류 반응기 (10)로 강하되고, 여기서 액체 연료는 주입되고, 기화되며, 및 주입된 탄화수소 연료의 전체 부피의 완전 연소를 위해 요구된 바와 같이 화학양론적으로 결정된 총 금속 산화물의 5 내지 30 퍼센트, 및 바람직하게는 금속 산화물의 8 내지 15 퍼센트와 접촉시 반응한다.
- [0065] 하향류 반응기 (10)의 출구에서 미반응 가스는, 연료 반응기 (200) 내에 중간 위치 (200A)에 위치한 가스 수집 장치 (220)의 유입구로 통과된다. 소량의 코크스를 함유할 수 있는 하향류 반응기 (10)로부터의 환원된 금속 산화물은, 연료 반응기 (200)의 버팀으로 낙하하고, 여기서 이들은 도 1과 관련하여 전술된 바와 같은, 링, 버블 캡, 또는 하나 이상의 다공판과 같은, 전통적인 유동화 장치를 사용하여 스팀 주입에 의해 유동화 및 가스화된다. 하향류 반응기 (10) 내로 주입된 액체 연료의 총량의 완전한 화학양론적 전환을 위해 필요한 금속 산화물 입자의 잔류량은, 기술분야에 잘 알려진 방법에 따른 시스템의 압력 균형을 조정하여, 예를 들어, 시스템 내에 고체 입자 및/또는 가스의 유속을 변화시켜, 하향류 반응기 (10)을 통해 도입된 산소 캐리어 입자를 고려하여, 2개의 배수탑 (224A 및 224B)를 통해 도입된다. 전술한 바와 같이, 호퍼 (3)로부터 각각의 CLC 시스템 반응기로의 산화된 입자의 도입량 및 속도는, 몰 (molar) 또는 다른 편리한 기준으로 탄소 함량의 미리 결정된 분석 및 하향류 반응기로 액체 또는 고체 연료 피드의 부피 또는 중량에 의해 유속을 나타내는 실시간에서 데이터를 또한 수신하는 프로그램화된 프로세서/컨트롤러에 의해 조절될 수 있다.
- [0066] 배수탑들 (224A 및 224B)로부터의 산화된 금속 산화물 입자는, 가스 및 금속 산화물의 입자의 철저한 혼합을 보장하기 위해 가스에 대한 대향류 (counter-current)로 가스 수집기 (220)의 상부 부분으로 도입된다. 환원 반응 후에, 연료 반응기 (200) 내에 환원된 금속 산화물은, 루프 쉘 (27)을 통해 공기 반응기 (40)로 통과된다. 금속 산화물의 환원으로부터 결과하는 산화의 열은, 하향류 반응기 (10) 및 연료 반응기 (200)로 요구된 열을 나중에 공급할 금속 산화물 입자에 의해 보유된다.
- [0067] 본 발명의 CLC 유닛 공정의 질량 및 열 균형은, 반응이 2개의 다른 준들 사이에서 나뉘지기 때문에, 종래 기술의 액체 연료 시스템에서 단일-단계 금속 산화물 환원보다 훨씬 더 유연하다. 액체 연료 기화 및 코크스 가스화 및 미반응 가스 반응은, 개별적으로 조절된다. 코크스 연소 반응은, 유동화 연료 반응기의 제1단계 반응기에서 보장되는 반면, 미반응 연료의 완전한 전환은 제2단계 반응 준에서 달성된다.
- [0068] 구체 예에 따르면, 두 위치에서 증질 액체 연료의 양 또는 상대적 비율은, 신가스가 원하는 최종 생성물인 경우, 다른 비율의 수소-대-일산화탄소를 발생시키기 위해 변화될 수 있다. 산화된 고체 입자에 의해 제공된 산소의 양에 대하여 증질 연료의 상대적 비율 또는 양을 조절하는 것은, 신가스가 원하는 생성물인 경우, 수소-대-일산화탄소의 비를 증가시키는데 사용될 수 있다. 시스템에 존재하는 산소의 양에 비해 증질 액체 연료의 양의 증가는, 부분 연소를 결과하여 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub> 대신에 H<sub>2</sub> 및 CO를 생성한다. 피드 주입, 즉, 산소 캐리어가 부분적으로 산화된 산소 캐리어를 제공하기 위해 환원될 수 있는 다른 위치에서 및 수준에서 주입이 단계적인 경우, 산소 캐리어의 환원된 형태가 제2 주입 지점의 수준에서 주입된 피드와 접촉될 가능성은 높다. 산소 캐리어의 부분적으로 산화된 형태와 피드 사이에 접촉은 신가스, H<sub>2</sub> 및 CO의 생성을 유도할 것이다.
- [0069] 수소 반응의 반응 속도가 화학적 루핑 연소 공정에서 금속 산화물을 금속으로 환원시에 일산화탄소 또는 경질 탄화수소 가스의 반응 속도보다 빠르다는 것은 잘 알려져 있다. 경질 탄화수소 가스는 1 내지 4개의 탄소 원자를 갖는 것들, 및 둘 이상의 탄소 원자를 갖는 올레핀으로 정의된다.
- [0070] 본 구체 예의 시스템의 구성은, 체류 시간을 증가시키기 위해 연료 반응기의 크기에서 증가를 요구하지 않고, 및 연료 반응기 내에 산소 캐리어의 체류 시간에 의해 제한되지 않는 산소 캐리어의 완전하거나 또는 실질적으로 완전한 환원을 달성하도록 조절될 수 있기 때문에, 연료를 연료 반응기 및/또는 수송 준으로 단순 도입하는 것보다 개선점을 제공한다. 대신에, 그 결과는, 시스템의 내부 압력 균형을 조절하여 산소 캐리어 물질의 유속을 조절하여 달성된다.
- [0071] 본 발명은 또한, 사이클론 및 루프 쉘과 같은, 고체 취급 시스템에서 구성요소의 수를 감소시키는데, 이는 공기 반응기와 연료 반응기 사이의 고체 순환 및 가스 누설이, 호퍼의 하부 영역으로 도입된 스팀으로 유동화되는 호퍼 (3)을 통해, 예를 들어, 전술된 것과 비슷한 관련 노즐 및 내부 분포 다기관과 연통하는 복수의 호퍼 유동화 스팀 라인 (47)을 통해 달성되기 때문이다.

[0072] 도 1 및 도 2에 예시된 시스템 구체 예들 사이에 차이는, 두 연료 반응기들 (20, 30) 사이에 연결이다. 제1 구체 예에서, 제1 유동화 연료 반응기 (20) 및 제2 유동화 연료 반응기 (30)는 2개의 존이 분리되는 다공판 (22)을 통해 연결된다. 제1 연료 반응기 (20)로부터의 미반응 가스는 제2 반응기 (30) 내에 금속 산화물 입자와 반응하기 위해 다공판 (22)을 통해 통과해야 한다.

[0073] 도 2에 예시된 바와 같은 제2 구체 예를 계속 참조하면, 도관 (220)을 통해 연료 반응기 (200)와 연결된다. 완전히 산화된 상태의 금속 산화물은, 반응기 (200) 및 하향류 반응기 (10)에서 나오는 미반응 가스와 반응을 위해 복수의 배수탑 (224A 및 224B)를 통해 호퍼 (3)로부터 반응기 (200)로 통과된다. 도 2의 구체 예에서, 제1 구체 예에 기재된 다공판 (22)은 필요하지 않다. 두 구체 예들 사이에 원리적 차이는, 제1 유동화된 반응기 (20, 200) 및 하향류 (10) 유래의 미반응된 가스가 금속 산화물 산소 캐리어를 접촉한다는 점에 있다. 제1 구체 예에서, 미반응된 가스들 사이의 접촉의 모드는 동시 흐름하에 있고; 제2 구체 예에서, 미반응된 가스 및 금속 산화물 입자는 대향류로 이동한다.

[0074] 실시 예

[0075] 하기 실시 예는 도 1에 예시된 시스템의 작동을 설명한다. 미립자 산소 캐리어 (OC)는 2725 kg/m<sup>3</sup>의 밀도 및 약 10.9 wt%의 산소 수송 용량 RO를 갖는 니켈/알루미늄 지지체 상에 산화니켈이지만, 산소의 약 13.6%만이 반응에 참여하여, 약 1.5 wt%의 실제 산소 수송 용량을 산출하며, 이는 하기 수학적 식 1과 같이 계산된다:

[0076] [수학적 식 1]

[0077]  $RO \text{ wt\%} \times OC \text{의 } Wt = \text{이용 가능한 } O_2$

[0078] 하향류 반응기 (10)에 도입되는 액체 탄화수소 증질 연료유 (HFO)의 조성은 하기 표 1과 같다:

표 1

조성	Wt%
C	82.7
H	10
N	0.6
S	5.7
O	1

[0080] HFO의 특징은 다음과 같다:

[0081] 25°C에서 밀도 = 1019.9 kg/m<sup>3</sup>

[0082] 유동점 = + 15°C

[0083] 연화점 < 30°C

[0084] HHV = 40,925 MJ/kg

[0085] LHV = 38,775 MJ/kg

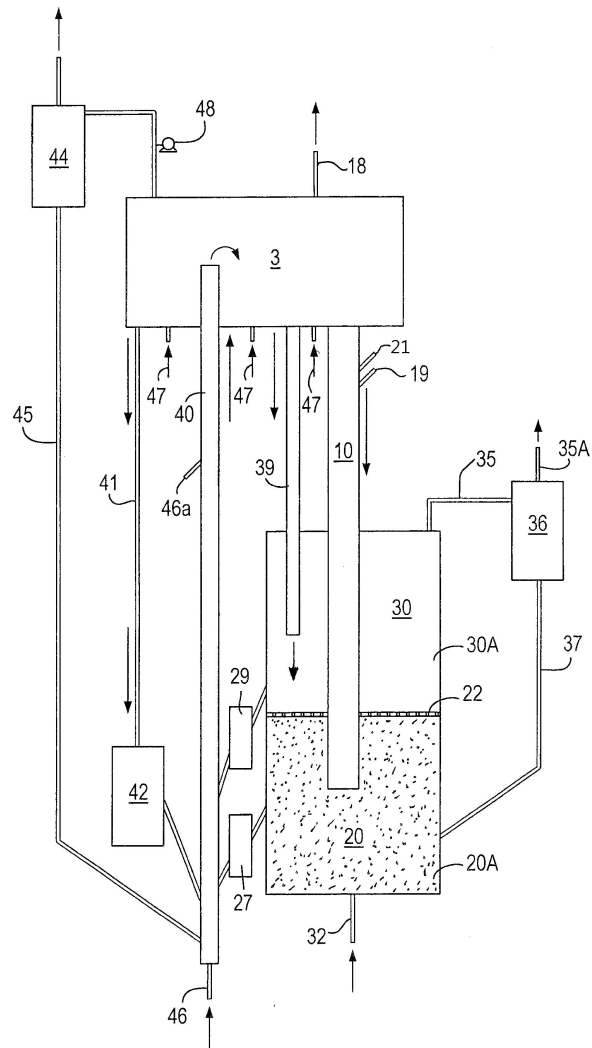
[0086] 피드는 6.126 kg/s로 주입된다. 주입된 연료의 완전 연소를 위해 필요한 산소를 제공하기 위해 요구된 산화니켈은 984.6 kg/s이다. 금속 산화물의 흐름은 세 부분으로 나누어지고, 제1부분 98.5 kg/s는 호퍼 (3)로부터 하향류 반응기 (10)로 전달된 다음, 제1 연료 반응기 (20)에서 회수된다. 모든 연료는 하향류 반응기 (10)를 통해 시스템으로 도입되며, 이의 온도는 약 1000°C이고, 체류 시간은 약 2 내지 4초이다. 하향류 반응기 (10)의 출구에서 연도 가스의 조성은, 25-30% CO<sub>2</sub>, 4% CO, 대략 3% H<sub>2</sub>, 8-10% CH<sub>4</sub> 및 49-60%의 C2-C9 화합물로 구성된 것으로 추정된다.

[0087] 환원된 금속 산화물은 68.7 kg/s의 NiO/NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 및 27.8 kg/s의 Ni/NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>를 포함하는 혼합물이다. 금속 산화물 입자는 중력에 의해 미전환 가스로부터 분리된다. 금속 산화물 입자는 중력하에서 반응기 (20)로 하강하고, 여기서 이들은, 예를 들어, 도관 (32)을 통해 도입되고 및 공기 반응기 (40)에 수송된 스템에 의해 유동화된다. 연료 반응기 (20)에서 250 내지 380초의 체류 시간이 금속 산화물 입자상에 존재한 임의의 코크스의 전환을 보장하기 때문에, 공기 반응기 (40)로 통과되는 CO<sub>2</sub>는 없다. 미전환 가스는 반응기 (30)를 통해 흘러나와, 새로운

또는 재생된 금속 산화물 입자와 반응한다.

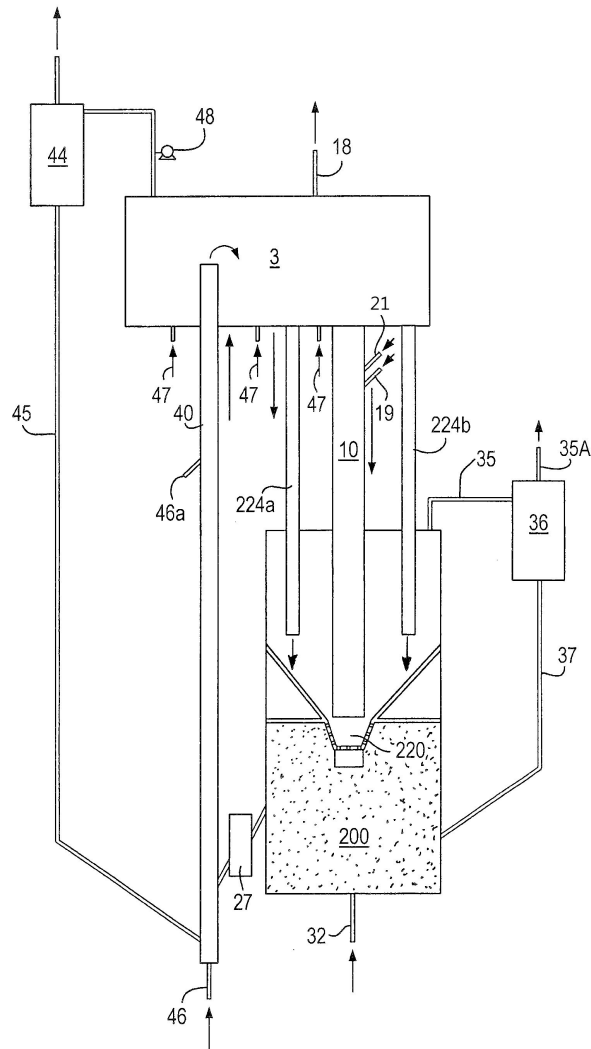
- [0088] 호퍼 (3)로부터 반응기 (30)로의 886.1 kg/s의 금속 산화물 입자의 흐름은, 가스의 완전 전환을 보장한다. 반응기 (30)에서 체류 시간은 380 내지 600초이다. 반응기 (30)의 온도는, 약 1000℃이며, 및 호퍼 (3) 유래의 고온의 산화된 금속 산화물 입자의 순환에 의해 달성된다.
- [0089] 반응기 (30)의 출구에서, 입자는 618.8 kg/s의 NiO/NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 및 250.26 kg/s의 Ni/NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>의 혼합물을 포함한다.
- [0090] 공기 반응기 (40)로 유입되는 금속 산화물 입자의 혼합물의 조성은, 687.59 kg/s의 NiO/NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 및 278.07 kg/s의 Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub>이다. 금속 산화물 입자의 주입구 온도는, 공기 반응기 (40)와 연료 반응기 사이에 위치한 유동층 열교환기 (도시되지 않음)에서 열 교환 후에 869℃이고, 여기서 125 MW의 에너지는 고체-가스 교환으로부터 회수된다.
- [0091] 공기 반응기 (40)의 출구에서, 배출 가스의 온도는, 1060℃이고 및 89.4 MW는 회수된다. 연료 반응기 (30)의 출구에서 고온의 가스로부터, 44.01 MW는 회수된다. 시스템으로부터 회수된 총 에너지는 258.41 MW로 계산된다. 유동층 열교환기로부터의 에너지 회수의 효율은 약 48%이다.
- [0092] 금속 산화물 입자상에 코크스의 생성 및 잔류가 최소화되기 때문에, 현존하는 액체 화학적 루핑 연소 시스템과 비교하여, CO<sub>2</sub> 포획율은 2 내지 4 퍼센트로 증가된다. CO<sub>2</sub> 포획 효율은, 상기 시험에 기초하여, 94% 내지 96%로 계산된다. 밸런스 (balance)는 포획된 총 CO<sub>2</sub>의 양을 감소시키기 위해 연료 반응기로부터 공기 반응기로 빠져나오는 탄소 함량의 퍼센트로 구성된다.
- [0093] 기화 연료 및 미반응 가스의 다단식 순차적 연소를 위해 각각의 세 개의 다른 연소 존으로 조절된 중력 공급에 의해 미리 결정된 화학당론적 요구된 산소 캐리어 물질의 양을 도입하는 것은, 연소/반응 공정의 조절을 제공한다. 하향류 반응기 (10), 제1 연료 반응기 (20) 및 제2 연료 반응기 (30) 내에 3개의 반응 존들 사이에서 연료 및 이의 미반응 부산물 가스의 연소를 분할하면, 탄화수소 연료의 완전 또는 거의 완전한 연소를 결과하고 이는 결국 CO<sub>2</sub> 포획율을 증가시킨다. 본 발명의 시스템 및 방법은, 사이클론 및 루프 쉘과 같은, 보조 장비 구성요소의 필요한 수를 감소시키고, 연료 반응 존으로부터 공기 반응기로 CO<sub>2</sub> 누설을 피하며, 및 CLC 공정의 전체 효율을 개선한다.
- [0094] 본 발명에 따른 화학적 루핑 공정은, 액체 및 고체 연료 모두에 대한 종래의 CLC 공정 및 시스템의 제약을 제거하거나 또는 대단히 감소시키고, 및 가스, 액체 및 고체 연료를 포함하는 다른 타입의 연료를 주입하는 최대 용통성, 구체적으로 감압 잔사유와 같은 중질 액체 탄화수소 연료, 및 석탄의 연소를 제공한다.

도면  
도면1

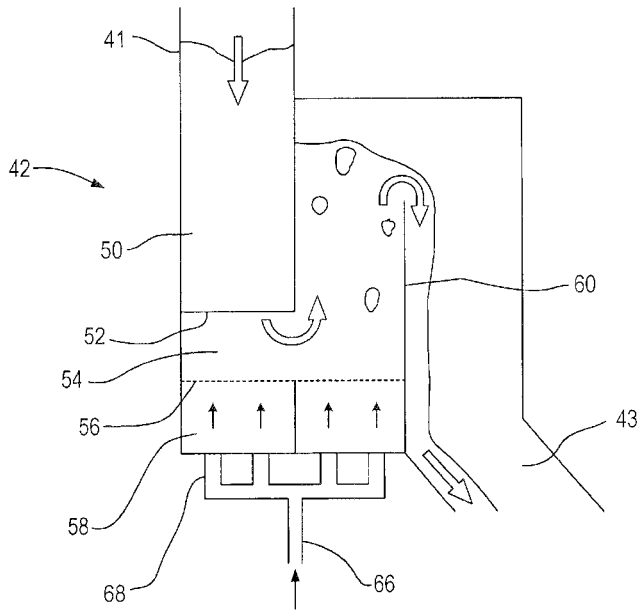




도면2



도면3



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 [청구항 3], 5-6째줄

【변경전】

마이크로프로세서/컨트롤러

【변경후】

프로세서 또는 컨트롤러

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 [청구항 1], 25째줄

【변경전】

산소-함유 가스의

【변경후】

산소를 함유한 가스의