



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0005780  
(43) 공개일자 2024년01월12일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 C10L 5/44 (2006.01) C10B 53/02 (2006.01)  
 C10B 57/02 (2006.01) C10B 57/14 (2006.01)  
 C10K 3/00 (2006.01) C10L 5/10 (2006.01)  
 C10L 5/36 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
 C10L 5/447 (2013.01)  
 C10B 53/02 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2023-7040787
- (22) 출원일자(국제) 2022년04월27일  
 심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2023년11월27일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2022/026591
- (87) 국제공개번호 WO 2022/232311  
 국제공개일자 2022년11월03일
- (30) 우선권주장  
 63/180,240 2021년04월27일 미국(US)
- (71) 출원인  
 카본 테크놀로지 홀딩스, 엘엘씨  
 미국 55128 미네소타 오크데일 이메이션 웨이 1
- (72) 발명자  
 멘델, 제임스, 에이.  
 미국 84121 유타 브라이언 이. 빅 코튼우드 캐년  
 로드 12080  
 슬랙, 더스틴  
 미국 49841 미시간 그윈 프로바이더 스트리트 108  
 다우가드, 데런  
 미국 65550 미주리 뉴버그 7250 카운티 로드  
 16191
- (74) 대리인  
 양영준, 이상남

전체 청구항 수 : 총 100 항

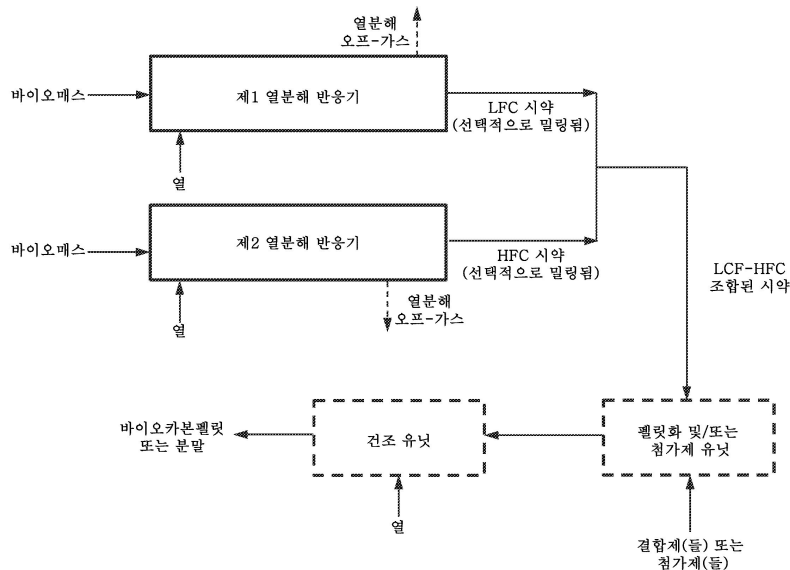
(54) 발명의 명칭 최적화된 고정 탄소를 갖는 바이오카본 조성물 및 이를 생산하는 프로세스

(57) 요약

일부 변형예에서, 본 발명은 바이오카본 조성물을 제공하며, 이는 20 wt% 내지 55 wt%의 고정 탄소 농도를 갖는 저 고정 탄소 물질; 50 wt% 내지 100 wt%의(그리고, 저 고정 탄소 물질의 고정 탄소 농도보다 더 높은) 고정 탄소 농도를 갖는 고 고정 탄소 물질; 0 wt% 내지 30 wt%의 습기; 0 wt% 내지 15 wt%의 회분; 및 0 wt% 내지 20

(뒷면에 계속)

대표도



wt%의 하나 이상의 첨가제(예컨대, 결합제)를 포함한다. 일부 변형예는 바이오카본 조성물의 생산 프로세스를 제공하며, 프로세스는 제1 바이오매스 함유 공급원료를 열분해하여 저 고정 탄소 물질을 생성하는 단계; 제2 바이오매스 함유 공급원료를 별도로 열분해하여 고 고정 탄소 물질을 생성하는 단계; 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 블렌딩하여 중간 물질을 생성하는 단계; 선택적으로, 하나 이상의 첨가제를 중간 물질에 블렌딩하는 단계; 선택적으로, 중간 물질을 건조시키는 단계; 및 중간 물질 또는 이의 열처리된 형태를 함유하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

*C10B 57/02* (2013.01)

*C10B 57/14* (2013.01)

*C10K 3/005* (2013.01)

*C10L 5/10* (2013.01)

*C10L 5/363* (2013.01)

*C10L 5/366* (2013.01)

*C10L 2290/02* (2013.01)

*C10L 2290/04* (2013.01)

*C10L 2290/08* (2013.01)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

바이오카본 조성물(biocarbon composition)을 생산하는 프로세스에 있어서, 상기 프로세스는,

(a) 저 고정 탄소 물질 및 제1 열분해 오프-가스를 생성하기 위해 제1 바이오매스 함유 공급원료(biomass-containing feedstock)를 열분해하는 단계- 상기 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 10 wt% 내지 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 가짐 -;

(b) 단계 (a)와 별개로, 고 고정 탄소 물질 및 제2 열분해 오프-가스를 생성하기 위해 제2 바이오매스 함유 공급원료를 열분해하는 단계- 상기 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내지 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 갖고, 상기 제2 고정 탄소 농도는 상기 제1 고정 탄소 농도보다 더 큼 -;

(c) 상기 저 고정 탄소 물질의 적어도 일부와 상기 고 고정 탄소 물질의 적어도 일부를 블렌딩(blending)하여 중간 물질을 생성하는 단계;

(d) 선택적으로, 하나 이상의 첨가제를 상기 중간 물질에 블렌딩하는 단계(blending);

(e) 선택적으로, 상기 중간 물질을 건조시키는 단계; 및

(f) 상기 중간 물질 또는 이의 열처리된 형태를 함유하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계(recovering)를 포함하는, 프로세스.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 바이오매스 함유 공급원료와 상기 제2 바이오매스 함유 공급원료는 동일한 유형의 공급원료인, 프로세스.

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제1 바이오매스 함유 공급원료와 상기 제2 바이오매스 함유 공급원료는 상이한 유형의 공급원료인, 프로세스.

#### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 바이오매스 함유 공급원료는 침엽수 칩, 경목 칩, 목재 수확 잔류물, 나뭇가지, 나무 그루터기, 잎, 나무껍질, 톱밥, 옥수수, 옥수수대, 밀, 밀짚, 벼, 벼짚, 사탕수수, 사탕수수 버게스, 사탕수수 짚, 에너지 수수, 사탕무, 사탕무 펄프, 해바라기, 수수, 캐놀라, 조류, 억새, 알팔파, 스위치그래스, 과일, 과일 각피, 과병, 과일 껍질, 과일 씨, 채소, 채소 각피, 채소 줄기, 채소 껍질, 채소 씨, 포도 경석, 아몬드 각피, 피칸 각피, 코코넛 각피, 커피 찌꺼기, 음식물 쓰레기, 상업 폐기물, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 종이 펄프, 종이 포장, 종이 자투리, 식품 포장, 건설 및/또는 철거 폐기물, 철도 침목, 리그닌, 동물 분뇨, 도시 고형 폐기물, 도시 하수 또는 이의 조합으로부터 선택되는, 프로세스.

#### 청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 바이오매스 함유 공급원료는 침엽수 칩, 경목 칩, 목재 수확 잔류물, 나뭇가지, 나무 그루터기, 잎, 나무껍질, 톱밥, 옥수수, 옥수수대, 밀, 밀짚, 벼, 벼짚, 사탕수수, 사탕수수 버게스, 사탕수수 짚, 에너지 수수, 사탕무, 사탕무 펄프, 해바라기, 수수, 캐놀라, 조류, 억새, 알팔파, 스위치그래스, 과일, 과일 각피, 과병, 과일 껍질, 과일 씨, 채소, 채소 각피, 채소 줄기, 채소 껍질, 채소 씨, 포도 경석, 아몬드 각피, 피칸 각피, 코코넛 각피, 커피 찌꺼기, 음식물 쓰레기, 상업 폐기물, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 종이 펄프, 종이 포장, 종이 자투리, 식품 포장, 건설 및/또는 철거 폐기물, 철도 침목, 리그닌, 동물 분뇨, 도

시 고품 폐기물, 도시 하수 또는 이의 조합으로부터 선택되는, 프로세스.

**청구항 6**

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,  
단계 (a) 및 (b)는 별개의 열분해 반응기에서 수행되는, 프로세스.

**청구항 7**

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,  
단계 (a) 및 (b)는 별개의 캠페인(campaign)내에서 상이한 순간에 공통 열분해 반응기에서 수행되는, 프로세스.

**청구항 8**

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,  
본질적으로 단계 (a)로부터의 상기 저 고정 탄소 농도의 전부는 상기 중간 물질로 블렌딩되는, 프로세스.

**청구항 9**

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,  
본질적으로 단계 (b)로부터의 상기 고 고정 탄소 농도의 전부는 상기 중간 물질로 블렌딩되는, 프로세스.

**청구항 10**

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,  
단계 (d)는 단계 (c) 동안에 수행되는, 프로세스.

**청구항 11**

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,  
단계 (d)는 단계 (c) 후에 수행되는, 프로세스.

**청구항 12**

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,  
단계 (e)는 단계 (c) 동안에 수행되는, 프로세스.

**청구항 13**

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,  
단계 (e)는 단계 (d) 동안에 수행되는, 프로세스.

**청구항 14**

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,  
단계 (e)는 단계 (d) 후에 수행되는, 프로세스.

**청구항 15**

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 바이오카본 조성물은 약 1 wt% 내지 약 99 wt%의 상기 저 고정 탄소 물질, 약 1 wt% 내지 약 99 wt%의 상기 고 고정 탄소 물질, 약 0 내지 약 30 wt% 습기; 약 0 내지 약 15 wt% 회분(ash); 및 약 0 내지 약 20 wt%의 하나 이상의 첨가제를 포함하는, 프로세스.

**청구항 16**

제1항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

단계 (a)는 약 250℃ 내지 약 1250℃에서 선택된 제1 열분해 온도에서 수행되고, 선택적으로, 상기 제1 열분해 온도는 약 300℃ 내지 약 700℃에서 선택된, 프로세스.

#### 청구항 17

제1항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서,

단계 (b)는 약 250℃ 내지 약 1250℃에서 선택된 제2 열분해 온도에서 수행되고, 선택적으로, 상기 제2 열분해 온도는 약 300℃ 내지 약 700℃에서 선택된, 프로세스.

#### 청구항 18

제1항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서,

단계 (a)는 약 10초 내지 약 24시간에서 선택된 제1 열분해 시간 동안 수행되는, 프로세스.

#### 청구항 19

제1항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서,

단계 (b)는 약 10초 내지 약 24시간에서 선택된 제2 열분해 시간 동안 수행되는, 프로세스.

#### 청구항 20

제1항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 열분해 오프-가스는 적어도 부분적으로 산화되어 열을 생성하고, 상기 열은 선택적으로 상기 프로세스 내에서 사용되는, 프로세스.

#### 청구항 21

제1항 내지 제20항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 열분해 오프-가스는 적어도 부분적으로 산화되어 열을 생성하고, 상기 열은 선택적으로 상기 프로세스 내에서 사용되는, 프로세스.

#### 청구항 22

제1항 내지 제21항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 열분해 오프-가스는 적어도 부분적으로 산화되어, 수소 및/또는 일산화탄소를 포함하는 환원 가스를 생성하는, 프로세스.

#### 청구항 23

제1항 내지 제22항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 열분해 오프-가스는 적어도 부분적으로 산화되어, 수소 및/또는 일산화탄소를 포함하는 환원 가스를 생성하는, 프로세스.

#### 청구항 24

제1항 내지 제23항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 저 고정 탄소 물질은 단계 (c)전에 제1 밀링을 진행하고, 상기 제1 밀링은 해머 밀, 압출기, 마모 밀, 디스크 밀, 핀 밀, 볼 밀, 원추 파쇄기, 조오 파쇄기(jaw crusher) 또는 이의 조합에서 선택된 기계적 처리 장치를 사용하는, 프로세스.

#### 청구항 25

제1항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 저 고정 탄소 물질은 단계 (c)전에 제2 밀링을 진행하고, 상기 제2 밀링은 해머 밀, 압출기, 마모 밀, 디스크 밀, 핀 밀, 볼 밀, 원추 파쇄기, 조오 파쇄기 또는 이의 조합에서 선택된 기계적 처리 장치를 사용하는, 프로세스.

**청구항 26**

제1항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서,

단계 (c)는 해머 밀, 압출기, 마모 밀, 디스크 밀, 핀 밀, 볼 밀, 원추 파쇄기, 조오 파쇄기 또는 이의 조합에서 선택된 기계적 처리 장치를 사용하는, 프로세스.

**청구항 27**

제1항 내지 제26항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 저 고정 탄소 물질과 상기 고 고정 탄소 물질은 균질의(homogenous) 물리적 블렌드(blend)로서 상기 바이오카본 조성물에 존재하는, 프로세스.

**청구항 28**

제1항 내지 제27항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 고정 탄소 농도는 상기 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일한, 프로세스.

**청구항 29**

제1항 내지 제28항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 고정 탄소 농도는 상기 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일한, 프로세스.

**청구항 30**

제1항 내지 제29항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 고정 탄소 농도 및 상기 제2 고정 탄소 농도 둘 모두는 상기 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일한, 프로세스.

**청구항 31**

제1항 내지 제26항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 저 고정 탄소 물질과 상기 고 고정 탄소 물질은 이종의(heterogeneous) 물리적 블렌드로서 상기 바이오카본 조성물에 존재하는, 프로세스.

**청구항 32**

제1항 내지 제26항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 저 고정 탄소 물질과 상기 고 고정 탄소 물질은 상기 바이오카본 조성물 내에 별개의 층으로 존재하는, 프로세스.

**청구항 33**

제1항 내지 제26항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 저 고정 탄소 물질은 상기 고 고정 탄소 물질을 포함하는 코어 주위의 셸 또는 코팅 내에 함유되어 있는, 프로세스.

**청구항 34**

제1항 내지 제26항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 고 고정 탄소 물질은 상기 저 고정 탄소 물질을 포함하는 코어 주위의 셸 또는 코팅 내에 함유되어 있는, 프로세스.

**청구항 35**

제1항 내지 제26항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 고 고정 탄소 물질은 상기 저 고정 탄소 물질의 연속 상(continuous phase) 미립자 형태인, 프로세스.

**청구항 36**

제1항 내지 제26항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 저 고정 탄소 물질은 상기 고 고정 탄소 물질의 연속 상 미립

자 형태인, 프로세스.

**청구항 37**

제1항 내지 제36항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 약 10 wt% 내지 약 90 wt%의 상기 저 고정 탄소 물질을 포함하는, 프로세스.

**청구항 38**

제1항 내지 제37항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 약 10 wt% 내지 약 90 wt%의 상기 고 고정 탄소 물질을 포함하는, 프로세스.

**청구항 39**

제1항 내지 제38항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 저 고정 탄소 물질 대 상기 고 고정 탄소 물질의 중량비는 약 0.1 내지 약 10에서 선택되는, 프로세스.

**청구항 40**

제1항 내지 제39항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 저 고정 탄소 물질 대 상기 고 고정 탄소 물질의 중량비는 약 0.2 내지 약 5에서 선택되는, 프로세스.

**청구항 41**

제1항 내지 제40항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 저 고정 탄소 물질 대 상기 고 고정 탄소 물질의 중량비는 약 0.5 내지 약 2에서 선택되는, 프로세스.

**청구항 42**

제1항 내지 제41항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 저 고정 탄소 물질 대 상기 고 고정 탄소 물질의 중량비는 약 0.8 내지 약 1.2에서 선택되는, 프로세스.

**청구항 43**

제1항 내지 제42항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 고정 탄소 농도는 약 15 wt% 내지 약 40 wt%인, 프로세스.

**청구항 44**

제1항 내지 제42항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 고정 탄소 농도는 약 20 wt% 내지 약 50 wt%인, 프로세스.

**청구항 45**

제1항 내지 제42항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 고정 탄소 농도는 약 30 wt% 내지 약 55 wt%인, 프로세스.

**청구항 46**

제1항 내지 제45항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 고정 탄소 농도는 약 80 wt% 내지 약 100 wt%인, 프로세스.

**청구항 47**

제1항 내지 제45항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 고정 탄소 농도는 약 70 wt% 내지 약 95 wt%인, 프로세스.

**청구항 48**

제1항 내지 제45항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 고정 탄소 농도는 약 60 wt% 내지 약 90 wt%인, 프로세스.

**청구항 49**

제1항 내지 제48항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 고정 탄소 농도와 상기 제2 고정 탄소 농도의 비가중 평균(unweighted average)은 약 30 wt% 내지 약 90 wt%인, 프로세스.

**청구항 50**

제1항 내지 제49항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 고정 탄소 농도와 상기 제2 고정 탄소 농도의 비가중 평균은 약 40 wt% 내지 약 80 wt%인, 프로세스.

**청구항 51**

제1항 내지 제50항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 절대 기준으로 약 25 wt% 내지 약 95 wt%의 전체 고정 탄소 농도를 함유하는, 프로세스.

**청구항 52**

제1항 내지 제51항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 절대 기준으로 약 35 wt% 내지 약 85 wt%의 전체 고정 탄소 농도를 함유하는, 프로세스.

**청구항 53**

제1항 내지 제52항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 약 45 wt% 내지 약 80 wt%의 휘발성 탄소를 함유하는, 프로세스.

**청구항 54**

제1항 내지 제53항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 약 0 내지 약 50 wt%의 휘발성 탄소를 함유하는, 프로세스.

**청구항 55**

제1항 내지 제54항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 약 0.1 wt% 내지 약 20 wt%의 습기를 포함하는, 프로세스.

**청구항 56**

제1항 내지 제55항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 약 0.1 wt% 내지 약 10 wt%의 회분을 포함하는, 프로세스.

**청구항 57**

제1항 내지 제56항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 약 0.1 wt% 내지 약 10 wt%의 상기 하나 이상의 첨가제를 포함하는, 프로세스.

**청구항 58**

제1항 내지 제56항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 약 1 wt% 내지 약 15 wt%의 상기 하나 이상의 첨가제를 포함하는, 프로세스.

**청구항 59**

제1항 내지 제56항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 약 3 wt% 내지 약 18 wt%의 상기 하나 이상의 첨가제를 포함하는, 프로세스.

**청구항 60**

제1항 내지 제59항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 첨가제는 유기 첨가제를 포함하는, 프로세스.

**청구항 61**

제1항 내지 제60항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 첨가제는 무기 첨가제를 포함하는, 프로세스.

**청구항 62**

제1항 내지 제61항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 첨가제는 재생 가능한 물질(renewable material)을 포함하는, 프로세스.

**청구항 63**

제1항 내지 제62항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 첨가제는 부분적으로 산화 및/또는 연소될 수 있는 물질을 포함하는, 프로세스.

**청구항 64**

제1항 내지 제63항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 첨가제는 결합제(binder)를 포함하는, 프로세스.

**청구항 65**

제64항에 있어서,

상기 프로세스는 압축기, 링 다이 펠릿 밀, 플랫 다이 펠릿 밀, 롤 압축기, 롤 브리켓터(roll briquetter), 습식 응집 밀, 건식 응집 밀, 또는 이의 조합에서 선택된 펠릿화 장치를 사용하는, 프로세스.

**청구항 66**

제64항에 있어서, 상기 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 폴리머, 셀룰로스, 셀룰로스 에테르, 헤미셀룰로스, 메틸셀룰로스, 키토산, 리그닌, 유당, 수크로스, 텍스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 대두 가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미립자, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 농축물, 실리카 흡, 석고, 포트랜드 시멘트, 구아검, 잔탄검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 성글, 재활용 타이어, 이들의 유도체 또는 그 임의의 조합으로부터 선택되는, 프로세스.

**청구항 67**

제66항에 있어서, 상기 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 폴리머, 그 유도체, 또는 그 임의의 조합으로부터 선택되는, 프로세스.

**청구항 68**

제67항에 있어서, 상기 결합제는 선택적으로 가교결합된 열가소성 전분인, 프로세스.

**청구항 69**

제68항에 있어서, 상기 열가소성 전분은 전분과 폴리올의 반응 생성물인, 프로세스.

**청구항 70**

제69항에 있어서, 상기 폴리올은 에틸렌 글리콜, 프로필렌 글리콜, 글리세롤, 부탄디올, 부탄트리올, 에리트리톨, 자일리톨, 소르비톨, 또는 이의 조합으로부터 선택되는, 프로세스.

**청구항 71**

제69항에 있어서, 상기 반응 생성물은 산에 의해 촉매되는 반응으로부터 형성되는, 프로세스.

**청구항 72**

제71항에 있어서, 상기 산은 포름산, 아세트산, 젯산, 시트르산, 옥살산, 우론산, 글루쿠론산, 또는 이의 조합으로부터 선택되는, 프로세스.

**청구항 73**

제69항에 있어서, 상기 반응 생성물은 염기에 의해 촉매되는 반응으로부터 형성되는, 프로세스.

**청구항 74**

제1항 내지 제73항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 첨가제는 상기 하나 이상의 첨가제가 없고 그 외에는 동등한(otherwise-equivalent) 바이오카본 조성물과 비교하여 상기 바이오카본 조성물의 반응성을 감소시키는, 프로세스.

**청구항 75**

제74항에 있어서, 상기 반응성은 열 반응성인, 프로세스.

**청구항 76**

제75항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 상기 하나 이상의 첨가제가 없고 그 외에는 동등한 상기 바이오카본 조성물과 비교하여 더 낮은 자체 발열을 갖는, 프로세스.

**청구항 77**

제74항에 있어서, 상기 반응성은 산소와의 화학 반응성인, 프로세스.

**청구항 78**

제74항에 있어서, 상기 반응성은 물과의 화학 반응성인, 프로세스.

**청구항 79**

제74항에 있어서, 상기 반응성은 수소와의 화학 반응성인, 프로세스.

**청구항 80**

제74항에 있어서, 상기 반응성은 일산화탄소와의 화학 반응성인, 프로세스.

**청구항 81**

제74항에 있어서, 상기 반응성은 금속과의 화학 반응성인, 프로세스.

**청구항 82**

제81항에 있어서, 상기 금속은 철을 포함하는, 프로세스.

**청구항 83**

제1항 내지 제82항 중 어느 한 항에 있어서,  
단계 (d)가 수행되고, 상기 하나 이상의 첨가제는 상기 저 고정 탄소 물질 내의 공극을 충전하는, 프로세스.

**청구항 84**

제1항 내지 제83항 중 어느 한 항에 있어서,  
단계 (d)가 수행되고, 상기 하나 이상의 첨가제는 상기 고 고정 탄소 물질 내의 공극을 충전하는, 프로세스.

**청구항 85**

제1항 내지 제84항 중 어느 한 항에 있어서,  
단계 (d)가 수행되고, 상기 하나 이상의 첨가제는 상기 저 고정 탄소 물질과 상기 고 고정 탄소 물질 둘 모두 내의 공극을 충전하는, 프로세스.

**청구항 86**

제1항 내지 제85항 중 어느 한 항에 있어서,

단계 (d)가 수행되고, 상기 하나 이상의 첨가제는 상기 바이오카본 조성물의 외부 표면에 배치된, 프로세스.

**청구항 87**

제1항 내지 제86항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 분말 형태인, 프로세스.

**청구항 88**

제1항 내지 제86항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 펠릿(pellet) 형태인, 프로세스.

**청구항 89**

제88항에 있어서,

단계 (d)가 수행되고, 상기 하나 이상의 첨가제는 상기 펠릿을 위한 결합제를 포함하는, 프로세스.

**청구항 90**

제88항 또는 제89항에 있어서, 상기 펠릿은 상기 저 고정 탄소 물질을 상기 펠릿 내의 결합제로서 이용하는, 프로세스.

**청구항 91**

제1항 내지 제90항 중 어느 한 항에 있어서,

단계 (d)가 수행되고, 상기 하나 이상의 첨가제는 상기 저 고정 탄소 물질 또는 상기 고 고정 탄소 물질 중 하나 내에 우선적으로 위치되는, 프로세스.

**청구항 92**

제1항 내지 제91항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 *Manual of Tests and Criteria*(Seventh revised edition 2019, United Nations, Page 375, 33.4.6) Test N.4: "Test method for self-heating substances"에 따라 자체 발열 테스트를 받을 때 비-자체-발열성을 특징으로 하는, 프로세스.

**청구항 93**

제1항 내지 제92항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 적어도 50% 재생 가능한, 프로세스.

**청구항 94**

제1항 내지 제93항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 적어도 90% 재생 가능한, 프로세스.

**청구항 95**

제1항 내지 제94항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 완전히 재생 가능한, 프로세스.

**청구항 96**

바이오카본 조성물(biocarbon composition)을 생산하는 프로세스에 있어서, 상기 프로세스는,

(a) 저 고정 탄소 물질을 제공하는 단계- 상기 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 10 wt% 내지 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 가짐 -;

(b) 고 고정 탄소 물질을 제공하는 단계- 상기 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내지 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 갖고, 상기 제2 고정 탄소 농도는 상기 제1 고정 탄소 농도보다 더 큼 -;

(c) 상기 저 고정 탄소 물질의 적어도 일부와 상기 고 고정 탄소 물질의 적어도 일부를 블렌딩하여 중간 물질을 생성하는 단계;

(d) 선택적으로, 하나 이상의 첨가제를 상기 중간 물질에 블렌딩하는 단계(blending);

(e) 선택적으로, 상기 중간 물질을 건조시키는 단계; 및

(f) 상기 중간 물질 또는 이의 열처리된 형태를 함유하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계를 포함하는, 프로세스.

**청구항 97**

제96항에 있어서, 상기 저 고정 탄소 물질은 열분해되지 않은 바이오매스, 열분해된 바이오매스, 열분해되지 않은 폴리머, 열분해된 폴리머, 또는 이의 조합으로부터 선택되는, 프로세스.

**청구항 98**

제96또는 제97 있어서, 상기 고 고정 탄소 물질은 열분해된 바이오매스, 석탄(coal), 열분해된 석탄, 코크스(coke), 석유 코크스, 야금 코크스, 활성탄, 카본 블랙, 흑연, 그래핀, 열분해된 폴리머 또는 이의 조합으로부터 선택되는, 프로세스.

**청구항 99**

제96내지 제98중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 상기 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 적어도 50% 재생 가능한, 프로세스.

**청구항 100**

제96항 내지 제99항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 상기 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 적어도 90%가 재생 가능한, 프로세스.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 2021년 4월 27일자로 출원된 미국 가특허 출원 번호 63/180,240의 이익을 주장하며, 이는 그 전체 내용이 참조로 본 출원에 통합된다.

[0003] 기술 분야

[0004] 본 발명은 전반적으로 다양한 화학적, 물리적 특성에 최적화된 바이오카본 조성물, 그리고 이러한 바이오카본 조성물을 제조하고 사용하는 프로세스에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0005] 탄소는 다양한 산업의 플랫폼 요소이며 수많은 화학, 재료 및 연료 용도로 사용된다. 탄소는 전기를 비롯한 에너지를 생산하는 데 좋은 연료이다. 탄소는 또한 금속, 금속 합금, 복합재, 탄소 섬유, 전극 및 촉매 지지체를 비롯한 다양한 상품 및 첨단 재료에 대한 엄청난 화학적 가치를 가지고 있다. 금속 제조의 경우, 탄소는 처리 중에 금속 산화물을 금속으로 환원시키기 위한 반응물로서; 처리를 위한 열을 제공하기 위한 연료로서; 그리고 금속 합금의 성분으로서 유용하다.

[0006] 탄소질 물질에는 일반적으로 천연 가스, 석유, 석탄, 갈탄과 같은 화석 자원이 포함된다. 리그노셀룰로스 바이오매스와 다양한 탄소가 풍부한 폐기물 물질의 사용 증가에 대한 관심이 있다.

[0007] 공급원료를 산업적 용도를 위한 탄소 재료로 변환하는 다양한 기술이 존재한다. 열분해는 산화제(공기 또는 산소)가 전혀 없거나, 공급이 제한되어 산화가 인지할 수 있는 정도로 발생하지 않는 상태에서 고체 물질을 열 변환하는 프로세스이다. 처리 조건 및 첨가제에 따라, 바이오매스 열분해를 조절하여 매우 다양한 양의 기체, 액체 및 고체를 생산할 수 있다. 더 낮은 처리 온도와 더 긴 증기 체류 시간은 고체 생산에 유리하다. 더 높은 온도와 더 긴 체류 시간은 공급원료의 합성 가스 변환을 증가시키는 반면, 적당한 온도와 짧은 증기 체류 시간은 일반적으로 액체 생산에 최적이다. 역사적으로, 목재의 느린 열분해는 배출 제어 없이 간단한 회분식 프로세스로 큰 더미로 수행되었다. 전통적인 차콜 제조 기술은 에너지 비효율적일 뿐만 아니라 오염도가 높다.

[0008] 안정성, 반응성(예를 들어, 열 반응성 및 자체 발열), 소수성, 에너지 함량, 전체 수율 및 고정 탄소, 회분, 습기를 포함하는 최종 조성을 개선하거나 최적화할 수 있는 개선되거나 최적화된 바이오카본 조성물, 및 바이오카본 조성물 제조 프로세스에 대한 요구가 있다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

#### 과제의 해결 수단

[0009] 바이오카본 조성물이 본 출원에 개시되어 있다. 본 개시의 바이오카본 조성물은 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 99 wt%의 저 고정 탄소 물질- 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 20 wt% 내지 최대 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 포함함 -; 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 99 wt%의 고 고정 탄소 물질- 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내지 최대 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 포함하고, 및 제2 고정 탄소 농도는 제1 고정 탄소 농도보다 더 큼 -; 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 30 wt% 습기; 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 15 wt% 회분; 및 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 20 wt%의 첨가제를 포함하고; 저 고정 탄소 물질, 고 고정 탄소 물질, 습기, 회분 및 첨가제의 합으로서 계산된 총 wt%는 최대 100 wt%이다.

[0010] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 균질의 물리적 블렌드(blend)를 포함한다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일하게 분산된다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일하게 분산된다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질은 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일하게 분산된다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 이종 물리적 블렌드를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 별개의 층을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 코어와 셸을 포함하며, 코어는 셸 내에 포함되고, 코어는 고 고정 탄소 물질을 포함하고, 셸은 저 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 코어와 셸을 포함하며, 코어는 셸 내에 포함되고, 코어는 저 고정 탄소 물질을 포함하고, 셸은 고 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 저 고정 탄소 물질의 연속 상의 미립자 형태이다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 고 고정 탄소 물질의 연속 상의 미립자 형태이다.

[0011] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 90 wt%의 저 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 90 wt%의 고 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비는 적어도 약 0.1 내지 최대 약 10이다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비는 적어도 약 0.2 내지 최대 약 5이다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비는 적어도 약 0.5 내지 최대 약 2이다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비는 적어도 약 0.8 내지 최대 약 1.2이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도는 적어도 약 20 wt% 내지 최대 약 40 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도는 적어도 약 25 wt% 내지 최대 약 50 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도는 적어도 약 30 wt% 내지 최대 약 55 wt%이다. 일부 실시예에서, 제2 고정 탄소 농도는 적어도 약 80 wt% 내지 최대 약 100 wt%이다. 일부 실시예에서, 제2 고정 탄소 농도는 적어도 약 70 wt% 내지 최대 약 95 wt%이다. 일부 실시예에서, 제2 고정 탄소 농도는 적어도 약 60 wt% 내지 최대 약 90 wt%이다.

[0012] 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도와 제2 고정 탄소 농도의 비가중 평균은 적어도 약 30 wt% 내지 최대 약 90 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도와 제2 고정 탄소 농도의 비가중 평균은 적어도 약 40 wt% 내지 최대 약 80 wt%이다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 절대 기준으로 적어도 약 25 wt% 내지 최대 약

95 wt%의 총 고정 탄소 농도를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 절대 기준으로 적어도 약 35 wt% 내지 최대 약 85 wt%의 총 고정 탄소 농도를 포함한다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 45 wt% 내지 최대 약 80 wt%의 휘발성 탄소를 포함한다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 50 wt%의 휘발성 탄소를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 0.1 wt% 내지 최대 약 20 wt%의 습기를 포함한다. 바이오카본 조성물은 완전히 건조되거나, 0.1 wt% 미만의 습기, 0.01 wt% 미만의 습기 또는 본질적으로 습기가 없을 수 있다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 0.1 wt% 내지 최대 약 10 wt%의 회분을 포함한다.

[0013] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 0.1 wt% 내지 최대 약 10 wt%의 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 15 wt%의 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 3 wt% 내지 최대 약 18 wt%의 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 유기 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 무기 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 재생 가능한 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 산화되거나 연소될 수 있는 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 결합제를 포함한다. 일부 실시예에서, 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 폴리머, 셀룰로스, 셀룰로스 에테르, 헤미셀룰로스, 메틸셀룰로스, 키토산, 리그닌, 유당, 수크로스, 텍스트로스, 말토 텍스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 대두 가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미립자, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 농축물, 실리카 흙, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아검, 잔탄검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 싱글, 재활용 타이어 또는 이들의 유도체 또는 이의 조합을 포함한다.

[0014] 일부 실시예에서, 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 폴리머, 그 유도체, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 결합제는 열가소성 전분을 포함한다. 일부 실시예에서, 열가소성 전분은 가교결합된다. 일부 실시예에서, 열가소성 전분은 전분과 폴리올의 반응 생성물이다. 일부 실시예에서, 전분을 생산하기 위한 반응의 폴리올은 에틸렌 글리콜, 프로필렌 글리콜, 글리세롤, 부탄디올, 부탄트리올, 에리트리톨, 자일리톨, 소르비톨, 또는 이의 조합일 수 있다. 일부 실시예에서, 열가소성 전분은 산에 의해 촉매되는 반응으로부터 형성된다. 일부 실시예에서, 산은 포름산, 아세트산, 젓산, 시트르산, 옥살산, 우론산, 글루쿠론산, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 열가소성 전분은 염기에 의해 촉매되는 반응으로부터 형성된다.

[0015] 첨가제를 첨가함으로써 바이오카본 조성물의 안정성을 증가시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 첨가제는 첨가제가 없는 그 외에는 동등한 바이오카본 조성물과 비교하여 바이오카본 조성물의 반응성을 감소시킨다. 일부 실시예에서, 반응성은 열 반응성이다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 첨가제가 없는 그 외에는 동등한 바이오카본 조성물에 비교하여 더 낮은 자체 발열을 포함한다. 일부 실시예에서, 반응성은 산소와의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 반응성은 물과의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 반응성은 수소와의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 반응성은 일산화탄소와의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 반응성은 금속과의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 금속은 철을 포함한다.

[0016] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 0 wt% 초과 첨가제를 포함한다. 달리 말해서, 첨가제가 조성물에 존재하는 실시예가 있다. 저 고정 탄소 물질은 공극을 포함할 수 있고, 공극은 첨가제를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 첨가제를 포함하는 공극을 포함하고, 저 고정 탄소 물질은 첨가제를 포함하는 공극을 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 바이오카본 조성물의 표면에 존재한다.

[0017] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 분말 형태이다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 펠릿 형태이다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 펠릿 형태이며 첨가제를 포함하고, 첨가제는 결합제를 포함한다. 일부 실시예에서, 결합제는 저 고정 탄소 물질이다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 첨가제를 포함하며, 저 고정 탄소 물질이 첨가제를 포함하거나 고 고정 탄소 물질이 첨가제를 포함한다.

[0018] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 *Manual of Tests and Criteria*(Seventh revised edition 2019, United Nations, Page 375, 33.4.6) Test N.4: "Test method for self-heating substances"에 따라 자체 발열 테스트를 받을 때 비-자체-발열성을 특징으로 한다.

[0019] 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 에너지 함량을 최적화하도록 선택된다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 벌크 밀도를 최적화하도록 선택된다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 소수

성을 최적화하도록 선택된다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 공극 크기를 최적화하도록 선택된다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 공극 크기의 비율을 최적화하도록 선택된다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 표면적을 최적화하도록 선택된다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 반응성을 최적화하도록 선택된다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 이온 교환능을 최적화하도록 선택된다.

[0020] 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 및 선택적으로 첨가제 유형 및/또는 농도는 펠릿과 연관된 하드그로브 분쇄성 지수를 최적화하도록 선택된다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 펠릿과 연관된 펠릿 내구성 지수를 최적화하도록 선택된다.

[0021] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 펠릿 형태이고, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도 및 선택적으로 첨가제 유형 또는 농도는 펠릿과 연관된 펠릿 내구성 지수를 최적화하도록 선택된다.

[0022] 본 개시의 바이오카본 조성물은 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 99 wt%의 저 고정 탄소 물질- 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 포함함 -; 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 99 wt%의 고 고정 탄소 물질- 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내지 최대 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 포함하고, 제2 고정 탄소 농도는 제1 고정 탄소 농도보다 더 큼 -; 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 30 wt% 습기; 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 15 wt% 회분; 및 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 20 wt%의 첨가제를 포함하고; 저 고정 탄소 물질 또는 고 고정 탄소 물질은 생물기원 탄소를 포함하고; 및 저 고정 탄소 물질, 고 고정 탄소 물질, 습기, 회분 및 첨가제의 합으로서 계산된 총 wt%는 최대 100 wt%이다.

[0023] 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 열분해되지 않은 바이오매스, 열분해된 바이오매스, 열분해되지 않은 폴리머, 열분해된 폴리머, 석탄, 열분해된 석탄, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 열분해된 바이오매스, 석탄, 열분해된 석탄, 코크스, 석유 코크스, 야금 코크스, 활성탄, 카본 블랙, 흑연, 그래핀, 열분해된 폴리머, 또는 이의 조합을 포함한다.

[0024] 본 개시의 모든 실시예, 조성물 및 조성물 제조 프로세스에서, 바이오카본 조성물은 총 탄소를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소의 적어도 50%는 생물기원 탄소를 본질적으로 구성된다. 일부 실시예에서, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소의 적어도 50%는 생물기원 탄소를 본질적으로 구성된다. 일부 실시예에서, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소의 적어도 90%는 생물기원 탄소를 본질적으로 구성된다. 일부 실시예에서, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소는 생물기원 탄소를 본질적으로 구성된다.

[0025] 바이오카본 조성물을 생산하는 프로세스가 본 출원에 개시되어 있다. 본 개시의 프로세스는 제1 공급원료를 열분해하는 단계- 제1 공급원료는 바이오매스를 포함하여 저 고정 탄소 물질 및 제1 열분해 오프-가스를 생성하고, 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 20 wt% 내지 최대 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 포함함 -; 제2 공급원료를 열분해하는 단계- 제2 공급원료는 바이오매스를 포함하여 고 고정 탄소 물질 및 제2 열분해 오프-가스를 생성하고, 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내지 최대 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 포함하고, 및 제2 고정 탄소 농도는 제1 고정 탄소 농도보다 더 큼 -; 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 블렌딩하여 중간 물질을 생성하는 단계; 및 중간 물질 또는 중간 물질의 열처리된 유도체를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계를 포함한다.

[0026] 일부 실시예에서, 프로세스는 중간 물질을 건조시키는 단계를 포함한다.

[0027] 일부 실시예에서, 프로세스는 중간 물질을 첨가제와 블렌딩하여 블렌딩된 중간 물질을 생성하는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 블렌딩된 중간 물질을 건조시키는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 제2 공급원료의 열분해는 제1 공급원료의 열분해와 독립적이다. 일부 실시예에서, 제1 공급원료와 제2 공급원료는 동일한 유형의 공급원료이다. 일부 실시예에서, 제1 공급원료와 제2 공급원료는 동일한 유형의 공급원료가 아니다.

[0028] 일부 실시예에서, 제1 공급원료는 침엽수 칩, 경목 칩, 목재 수확 잔류물, 나뭇가지, 나무 그루터기, 잎, 나무

껍질, 톱밥, 옥수수, 옥수수대, 밀, 밀짚, 벼, 벧짚, 사탕수수, 사탕수수 버캐스, 사탕수수 짚, 에너지 수수, 사탕무, 사탕무 펄프, 해바라기, 수수, 캐놀라, 조류, 역새, 알팔파, 스위치그래스, 과일, 과일 각피, 과병, 과일 껍질, 과일 씨, 채소, 채소 각피, 채소 줄기, 채소 껍질, 채소 씨, 포도 경석, 아몬드 각피, 피칸 각피, 코코넛 각피, 커피 찌꺼기, 음식물 쓰레기, 상업 폐기물, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 종이 펄프, 종이 포장, 종이 자투리, 식품 포장, 건설 및/또는 철거 폐기물, 철도 침목, 리그닌, 동물 분뇨, 도시 고품 폐기물, 도시 하수 또는 이의 조합을 포함한다.

[0029] 일부 실시예에서, 제2 공급원료는 침엽수 칩, 경목 칩, 목재 수확 잔류물, 나뭇가지, 나무 그루터기, 잎, 나무 껍질, 톱밥, 옥수수, 옥수수대, 밀, 밀짚, 벼, 벧짚, 사탕수수, 사탕수수 버캐스, 사탕수수 짚, 에너지 수수, 사탕무, 사탕무 펄프, 해바라기, 수수, 캐놀라, 조류, 역새, 알팔파, 스위치그래스, 과일, 과일 각피, 과병, 과일 껍질, 과일 씨, 채소, 채소 각피, 채소 줄기, 채소 껍질, 채소 씨, 포도 경석, 아몬드 각피, 피칸 각피, 코코넛 각피, 커피 찌꺼기, 음식물 쓰레기, 상업 폐기물, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 종이 펄프, 종이 포장, 종이 자투리, 식품 포장, 건설 및/또는 철거 폐기물, 철도 침목, 리그닌, 동물 분뇨, 도시 고품 폐기물, 도시 하수 또는 이의 조합을 포함한다.

[0030] 일부 실시예에서, 제1 공급원료의 열분해 및 제2 공급원료의 열분해는 별개의 열분해 반응기에서 수행된다. 일부 실시예에서, 제1 공급원료의 열분해 및 제2 공급원료의 열분해는 별개의 순간에 공통 열분해 반응기에서 수행된다. 열분해 반응기는 전형적으로 모두 연속적으로 수행되거나 모두 배치로 수행되지만 원론적으로는 혼합 반응 모드를 사용할 수 있다. 또한, 별개의 열분해 반응기를 사용하는 경우, 이들은 공통 장소에 있을 수 있거나 다른 장소에 있을 수 있다.

[0031] 일부 실시예에서, 블렌딩은 본질적으로 저 고정 탄소 물질 모두와 고 고정 탄소 물질을 블렌딩하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 블렌딩(blending)은 본질적으로 고 고정 탄소 물질 모두를 저 고정 탄소 물질과 블렌딩하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 블렌딩은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 첨가제와 블렌딩하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 블렌딩과 동시에 건조하는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩하여 블렌딩된 중간 물질을 생성한 다음 중간 물질을 건조시키는 단계를 포함한다.

[0032] 일부 실시예에서, 이 프로세스는 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 99 wt%의 저 고정 탄소 물질; 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 99 wt%의 고 고정 탄소 물질; 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 30 wt% 습기; 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 15 wt% 회분; 및 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 20 wt%의 첨가제를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계를 포함한다.

[0033] 일부 실시예에서, 제1 공급원료를 열분해하는 것은 제1 열분해 온도에서 열분해하는 것을 포함하고, 제1 열분해 온도는 적어도 약 250°C 내지 최대 약 1250°C이다. 일부 실시예에서, 제1 공급원료를 열분해하는 것은 제1 열분해 온도에서 열분해하는 것을 포함하고, 제1 열분해 온도는 적어도 약 300°C 내지 최대 약 700°C이다. 일부 실시예에서, 제2 공급원료를 열분해하는 것은 제2 열분해 온도에서 열분해하는 것을 포함하고, 제2 열분해 온도는 적어도 약 250°C 내지 최대 약 1250°C이다. 일부 실시예에서, 제2 공급원료를 열분해하는 것은 제2 열분해 온도에서 열분해하는 것을 포함하고, 제2 열분해 온도는 적어도 약 300°C 내지 최대 약 700°C이다.

[0034] 일부 실시예에서, 제1 공급원료를 열분해하는 것은 적어도 약 10초 내지 최대 약 24시간 동안 열분해하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 제2 공급원료를 열분해하는 것은 적어도 약 10초 내지 최대 약 24시간 동안 열분해하는 것을 포함한다.

[0035] 일부 실시예에서, 제1 열분해 오프-가스는 산화되어 열을 생성한다. 일부 실시예에서, 제2 열분해 오프-가스는 산화되어 열을 생성한다. 일부 실시예에서, 제1 열분해 오프-가스는 산화되어, 수소 또는 일산화탄소를 포함하는 환원 가스를 생성한다. 일부 실시예에서, 제2 열분해 오프-가스는 산화되어, 수소 또는 일산화탄소를 포함하는 환원 가스를 생성한다.

[0036] 일부 실시예에서, 프로세스는 블렌딩 전에 저 고정 탄소 물질을 제1 밀링하는 단계를 포함하며, 제1 밀링은 해머 밀, 압출기, 마모 밀, 디스크 밀, 핀 밀, 볼 밀, 원추 파쇄기, 조오 파쇄기 또는 이의 조합을 포함하는 기계적 처리 장치를 사용하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 블렌딩 전에 고 고정 탄소 물질을 제2 밀링하는 단계를 포함하고, 제2 밀링은 해머 밀, 압출기, 마모 밀, 디스크 밀, 핀 밀, 볼 밀, 원추 파쇄기, 조오 파쇄기(jaw crusher) 또는 이의 조합을 포함하는 기계적 처리 장치를 사용하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 블렌딩은 해머 밀, 압출기, 마모 밀, 디스크 밀, 핀 밀, 볼 밀, 원추 파쇄기, 조오 파쇄기 또는 이의 조

합을 포함하는 기계적 처리 장치를 사용하는 것을 포함한다.

- [0037] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 균질의 물리적 블렌드를 포함한다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일하게 분산된다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일하게 분산된다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질은 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일하게 분산된다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 이중 물리적 블렌드를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 별개의 층을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 코어와 셸을 포함하며, 코어는 셸 내에 포함되고, 코어는 고 고정 탄소 물질을 포함하고, 셸은 저 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 코어와 셸을 포함하며, 코어는 셸 내에 포함되고, 코어는 저 고정 탄소 물질을 포함하고, 셸은 고 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 저 고정 탄소 물질의 연속 상의 미립자 형태이다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 고 고정 탄소 물질의 연속 상의 미립자 형태이다.
- [0038] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 90 wt%의 저 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 90 wt%의 고 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비를 포함하며, 및 이 비율은 적어도 약 0.1 내지 최대 약 10이다.
- [0039] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비를 포함하며, 및 비율은 적어도 약 0.2 내지 최대 약 5이다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비를 포함하며, 및 비율은 적어도 약 0.5 내지 최대 약 2이다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비를 포함하며, 및 비율은 적어도 약 0.8 내지 최대 약 1.2이다.
- [0040] 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도는 적어도 약 20 wt% 내지 최대 약 40 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도는 적어도 약 25 wt% 내지 최대 약 50 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도는 적어도 약 30 wt% 내지 최대 약 55 wt%이다. 일부 실시예에서, 제2 고정 탄소 농도는 적어도 약 80 wt% 내지 최대 약 100 wt%이다. 일부 실시예에서, 제2 고정 탄소 농도는 적어도 약 70 wt% 내지 최대 약 95 wt%이다. 일부 실시예에서, 제2 고정 탄소 농도는 적어도 약 60 wt% 내지 최대 약 90 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도와 제2 고정 탄소 농도의 비가중 평균은 적어도 약 30 wt% 내지 최대 약 90 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도와 제2 고정 탄소 농도의 비가중 평균은 적어도 약 40 wt% 내지 최대 약 80 wt%이다.
- [0041] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 절대 기준으로 적어도 약 25 wt% 내지 최대 약 95 wt%의 총 고정 탄소 농도를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 절대 기준으로 적어도 약 35 wt% 내지 최대 85 wt%의 총 고정 탄소 농도를 포함한다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 45 wt% 내지 최대 약 80 wt%의 휘발성 탄소를 포함한다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 0 내지 최대 약 50 wt%의 휘발성 탄소를 포함한다.
- [0042] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 0.1 wt% 내지 최대 약 20 wt%의 습기를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 0.1 wt% 내지 최대 약 10 wt%의 회분을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 0.1 wt% 내지 최대 약 10 wt%의 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 15 wt%의 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 3 wt% 내지 최대 약 18 wt%의 첨가제를 포함한다.
- [0043] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 첨가제를 포함하고, 첨가제는 유기 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 무기 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 재생 가능한 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 산화되거나 연소될 수 있는 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 결합제를 포함한다.
- [0044] 일부 실시예에서, 프로세스는 펠릿화를 포함한다. 펠릿화는 압출기, 링 다이 펠릿 밀, 플랫 다이 펠릿 밀, 롤 압축기, 롤 브리켓터, 습식 응집 밀, 건식 응집 밀, 또는 이의 조합을 사용하여 달성될 수 있다.
- [0045] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 결합제를 포함한다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 폴리머, 셀룰로스, 셀룰로스 에테르, 헤미셀룰로스, 메틸셀룰로스, 키토산, 리그닌, 유당, 수크로스, 텍스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 대두 가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미립

자, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 봉사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 농축물, 실리카 흙, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아검, 잔탄검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-폼알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 성글, 재활용 타이어, 이들의 유도체 또는 이의 조합을 포함할 수 있다.

[0046] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 결합제를 포함하고, 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 폴리머, 그 유도체, 또는 이의 조합을 포함한다.

[0047] 본 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 결합제를 포함하고, 결합제는 열가소성 전분을 포함한다. 열가소성 전분은 전분과 폴리올의 반응 생성물일 수 있다. 폴리올은 에틸렌 글리콜, 프로필렌 글리콜, 글리세롤, 부탄디올, 부탄트리올, 에리트리톨, 자일리톨, 소르비톨, 또는 이의 조합일 수 있다. 열가소성 전분은 산에 의해 촉매되는 반응으로부터 형성될 수 있다. 산은 포름산, 아세트산, 젖산, 시트르산, 옥살산, 우론산, 글루쿠론산, 또는 이의 조합을 포함할 수 있다. 열가소성 전분은 염기에 의해 촉매되는 반응으로부터 형성될 수 있다.

[0048] 프로세스의 일부 실시예에서, 첨가제는 첨가제가 없는 그 외에는 동등한 바이오카본 조성물에 비교하여 바이오카본 조성물의 반응성을 감소시킨다. 일부 실시예에서, 반응성은 열 반응성이다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 첨가제가 없는 그 외에는 동등한 바이오카본 조성물에 비교하여 더 낮은 자체 발열을 포함한다. 일부 실시예에서, 반응성은 산소와의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 반응성은 물과의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 반응성은 수소와의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 반응성은 일산화탄소와의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 반응성은 금속과의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 금속은 철을 포함한다.

[0049] 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩함으로써 저 고정 탄소 물질의 공극에 첨가제를 도입하는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩함으로써 고 고정 탄소 물질의 공극에 첨가제를 도입하는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩함으로써 저 고정 탄소 물질의 공극에 첨가제를 도입하고 고 고정 탄소 물질의 공극에 첨가제를 도입하는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩함으로써 바이오카본 조성물의 외부 표면에 첨가제를 배치하는 단계를 포함한다.

[0050] 일부 실시예에서, 프로세스는 바이오카본 조성물을 분말로 형성하는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 바이오카본 조성물을 펠릿화하는 단계를 포함한다.

[0051] 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩하는 단계를 포함하며, 첨가제는 결합제를 포함한다. 일부 실시예에서, 결합제는 저 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩하는 단계를 포함하며, 저 고정 탄소 물질이 첨가제를 포함하거나 고 고정 탄소 물질이 첨가제를 포함한다.

[0052] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 *Manual of Tests and Criteria*(Seventh revised edition 2019, United Nations, Page 375, 33.4.6) Test N.4: "Test method for self-heating substances"에 따라 자체 발열 테스트를 받을 때 비-자체-발열성을 특징으로 한다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 에너지 함량을 최적화하도록 선택된다.

[0053] 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 벌크 밀도를 최적화하는 단계를 포함한다. 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 소수성을 최적화하는 것을 포함한다. 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 공극 크기를 최적화하는 단계를 포함한다. 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 공극 크기 비율을 최적화하는 단계를 포함한다. 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 표면적을 최적화하는 단계를 포함한다. 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 반응성을 최적화하는 단계를 포함한다. 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 이온 교환능(IEC)을 최적화하는 단계를 포함한다.

[0054] 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는

농도를 선택하여 바이오카본의 하드그로브 분쇄성 지수를 최적화하는 것을 포함한다. 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 펠릿 내구성 지수를 최적화하는 단계를 포함한다.

[0055] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 총 탄소를 포함하고, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소의 적어도 50%는 생물기원 탄소로 본질적으로 구성된다. 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 총 탄소를 포함하고, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소의 적어도 90%는 생물기원 탄소로 본질적으로 구성된다. 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 총 탄소를 포함하고, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소는 생물기원 탄소로 본질적으로 구성된다.

[0056] 본 개시의 프로세스는 제1 공급원료를 열분해하는 단계- 제1 공급원료는 바이오매스를 포함하여 저 고정 탄소 물질 및 제1 열분해 오프-가스를 생성하고, 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 20 wt% 내지 최대 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 포함함 -; 고 고정 탄소 물질을 제공하는 단계- 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내지 최대 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 포함하고, 및 제2 고정 탄소 농도는 제1 고정 탄소 농도보다 더 큼 -; 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 블렌딩하여 중간 물질을 생성하는 단계; 선택적으로, 하나 이상의 첨가제를 중간 물질에 블렌딩하는 단계; 선택적으로, 중간 물질을 건조시키는 단계; 및 중간 물질 또는 이의 열처리된 유도체를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계를 포함한다.

[0057] 프로세스의 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 열분해된 바이오매스, 석탄, 열분해된 석탄, 코크스, 석유 코크스, 야금 코크스, 활성탄, 카본 블랙, 흑연, 그래핀, 열분해된 폴리머, 또는 이의 조합을 포함한다.

[0058] 본 개시의 프로세스는 저 고정 탄소 물질을 제공하는 단계- 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 포함함 -; 공급원료를 열분해하는 단계- 공급원료는 바이오매스를 포함하여 고 고정 탄소 물질과 열분해 오프-가스를 생성하고, 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내지 최대 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 포함하고, 및 제2 고정 탄소 농도는 제1 고정 탄소 농도보다 더 큼 -; 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 블렌딩하여 중간 물질을 생성하는 단계; 선택적으로, 첨가제를 중간 물질과 블렌딩하는 단계; 선택적으로, 중간 물질을 건조시키는 단계; 및 중간 물질 또는 이의 열처리된 유도체를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계를 포함한다.

[0059] 프로세스의 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 열분해되지 않은 바이오매스, 열분해된 바이오매스, 열분해되지 않은 폴리머, 열분해된 폴리머, 또는 이의 조합을 포함한다.

[0060] 본 개시의 프로세스는 저 고정 탄소 물질을 제공하는 단계- 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 포함함 -; 고 고정 탄소 물질을 제공하는 단계- 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내지 최대 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 포함하고, 및 제2 고정 탄소 농도는 제1 고정 탄소 농도보다 더 큼 -; 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 블렌딩하여 중간 물질을 생성하는 단계; 선택적으로, 첨가제를 중간 물질과 블렌딩하는 단계; 선택적으로, 중간 물질을 건조시키는 단계; 및 중간 물질 또는 이의 열처리된 유도체를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계를 포함한다.

[0061] 프로세스의 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 열분해되지 않은 바이오매스, 열분해된 바이오매스, 열분해되지 않은 폴리머, 열분해된 폴리머, 또는 이의 조합을 포함한다. 프로세스의 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 열분해된 바이오매스, 석탄, 열분해된 석탄, 코크스, 석유 코크스, 야금 코크스, 활성탄, 카본 블랙, 흑연, 그래핀, 열분해된 폴리머, 또는 이의 조합을 포함한다.

### 도면의 간단한 설명

[0062] 도 1은 일부 실시예에서 고 고정 탄소 물질, 선택적으로 첨가제(예컨대, 펠릿을 제조하기 위한 결합제)와 블렌딩된 저 고정 탄소 물질을 갖는 바이오카본 조성물을 생산하는 프로세스의 단순화된 블록 흐름도이다. 점선 상자와 선은 각각 선택적 유닛과 스트림을 나타낸다.

도 2는 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질이 펠릿 결합제로서 기능하는, 고 고정 탄소 물질과 블렌딩된 저 고정 탄소 물질을 갖는 바이오카본 조성물을 생산하는 프로세스의 단순화된 블록 흐름도이다. 점선 상자와 선은

각각 선택적 유닛과 스트림을 나타낸다.

도 3은 고 고정 탄소 물질과 저 고정 탄소 물질의 혼합물을 함유하는 펠릿 형태의 바이오카본 조성물의 사진이고, 저 고정 탄소 물질은 펠릿 결합제로서 기능한다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0063] 본 개시는 다양한 형태로 구현될 수 있지만, 여러 실시예에 대한 아래의 설명은 본 개시가 본 발명의 예시로서 고려되어야 하며, 예시된 특정 실시예로 본 발명을 제한하려는 의도가 아니라는 이해를 바탕으로 작성되었다. 제목은 편의를 위해서만 제공되며 어떠한 방식으로든 본 발명을 제한하는 것으로 해석되어서는 안 된다. 임의의 제목하에 예시된 실시예는 임의의 다른 제목하에 예시된 실시예와 조합될 수 있다.

[0064] 달리 명시적으로 나타내지 않는 한, 본 출원에 명시된 다양한 정량적 값에서 수치 값의 사용은 언급된 범위 내의 최소값과 최대값 모두의 앞에 "약"이라는 단어가 붙는 것처럼 근사치로 언급된다. 항상 명시적으로 언급되지는 않지만, 모든 수치 지정 앞에는 "약"이라는 용어가 붙는다는 것을 이해하여야 한다. 이러한 범위 형식은 편의와 간결성을 위해 사용된 것으로 이해되며, 범위의 한계로 명시적으로 지정된 수치 값을 포함하는 것뿐만 아니라 각각의 수치 값과 하위 범위가 명시적으로 지정된 것처럼 모든 개별 수치 값 또는 해당 범위 내에 포함된 하위 범위도 포함하는 것으로 유연하게 이해하여야 한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 200 범위의 비율은 약 1 및 약 200의 명시적으로 인용된 한계를 포함하는 것으로 이해하여야 하지만, 또한 약 2, 약 3, 약 4와 같은 개별 비율 및 하위 범위, 예컨대, 약 10 내지 약 50, 약 20 내지 약 100 등도 포함하는 것으로 이해하여야 한다. 항상 명시적으로 언급되지는 않지만, 본 출원에 설명된 시약은 단지 예시일 뿐이며 이와 등가물이 본 기술 분야에 알려져 있다는 것도 이해하여야 한다.

[0065] 양 또는 농도 등과 같은 측정 가능한 값을 언급할 때 본 출원에 사용된 용어 "약"은 지정된 양의 20%, 10%, 5%, 1%, 0.5% 또는 심지어 0.1%의 변동을 포함하는 것을 의미한다.

[0066] 또한, 범위의 개시는 인용된 최소값과 최대값 사이의 모든 임의의 값뿐만 아니라 이러한 값에 의해 형성될 수 있는 임의의 범위를 포함하는 연속적인 범위로 의도된다. 또한, 개시된 수치 값을 임의의 다른 개시된 수치 값으로 나눔으로써 형성될 수 있는 임의의 그리고 모든 비율(및 임의의 이러한 비율의 범위)이 본 출원에 개시된다. 따라서, 본 기술 분야의 숙련자는 이러한 많은 비율, 범위 및 비율의 범위가 본 출원에 제시된 수치 값으로부터 명확하게 유도될 수 있으며 모든 경우에 이러한 비율, 범위 및 비율의 범위는 본 개시의 다양한 실시예를 나타낸다는 것을 이해할 것이다. 하한이 제공되지 않는 경우, 하한은 0 또는 미량이다. 예를 들어, "최대 약 90%"가 있는 경우, 하한은 "약 0%" 또는 미량이다. 백분율의 상한선이 제공되지 않은 경우, 상한은 100%이다. 예를 들어, "적어도 약 5%"가 있는 경우 상한은 "약 100%"이다.

[0067] "포함하는" 또는 "포함한다"는 조성물 및 방법이 인용된 요소를 포함하지만 다른 요소를 배제하지 않는다는 것을 의미하는 것을 의도한다. 조성물 및 방법을 정의하는 데 사용될 때, "본질적으로 구성되는"은 언급된 목적을 위한 조합에 임의의 본질적인 중요성을 갖는 다른 요소를 배제하는 것을 의미한다. 따라서, 본 출원에 정의된 요소로 본질적으로 구성된 조성물은 청구된 발명의 기본적인 신규한 특성(들)에 실질적으로 영향을 미치지 않는 다른 재료 또는 단계를 배제하지 않을 것이다. "구성된"은 다른 성분의 미량을 초과한 요소 및 실질적인 방법 단계를 배제함을 의미한다. 이들 전이 용어 각각에 의해 정의된 실시예는 본 발명의 범위 내에 있다.

[0068] 본 출원에 사용될 때, 본 출원에 개시된 프로세스의 단계 존재에 대한 진술 또는 설명과 관련하여 부정관사("a" 또는 "an")가 사용되는 경우, 진술 또는 설명이 명시적으로 반대의 사실을 제공하지 않는 한, 이러한 부정관사의 사용은 프로세스의 단계 존재를 수치상 하나로 제한하지 않는다. 본 출원에 사용될 때, 양, 농도, 또는 기타 값 또는 파라미터가 범위, 바람직한 범위, 또는 바람직한 상위 값 및 바람직한 하위 값의 목록으로 주어지는 경우, 이는 범위를 별도로 개시하는지 여부와 무관하게, 임의의 범위 상한 또는 바람직한 값과 임의의 범위 하한 또는 바람직한 값의 임의의 쌍으로부터 형성된 모든 범위를 구체적으로 개시하는 것으로 이해하여야 한다.

[0069] 현재 목적에 따라, "생물기원(biogenic)"은 탄소와 같이 몇 달, 몇 년 또는 수십 년의 시간 규모로 재생 가능한 요소를 함유하는 물질(공급원료, 생성물 또는 중간체 중 어느 것이든)을 의미하기를 의도다. 비생물기원 물질은 재생 불가능할 수 있거나, 또는 수세기, 수천 년, 수백만 년의 시간 규모 또는 훨씬 더 긴 지질학적 시간 규모로 재생 가능할 수 있다. 생물기원 물질은 생물기원 소스와 비생물기원 소스의 혼합을 포함할 수 있음에 유의한다.

[0070] 현재 목적상, "시약(reagent)"은 그 가장 넓은 의미의 물질을 의미하기를 의도하며; 시약은 연료, 화학 물질,

재료, 분자, 첨가제, 블렌드 성분, 용매 등일 수 있다. 시약은 반드시 화학 반응을 일으키거나 화학 반응에 참여하는 화학 시약일 필요는 없다. 시약은 화학 반응물일 수 있거나 아닐 수 있으며; 반응에서 소비될 수 있거나 그렇지 않을 수 있다. 시약은 특정 반응을 위한 화학적 촉매일 수 있다. 시약은 시약이 첨가될 수 있는 물질의 기계적, 물리적 또는 유체역학적 속성의 조절을 야기하거나 조절에 참여할 수 있다. 예를 들어, 금속에 특정 강도 특성을 부여하기 위해 시약을 금속에 도입할 수 있다. 시약은 화학적 분석이나 물리적 테스트에 사용하기에 충분한 순도(현재 상황에서는 전형적으로 탄소 순도)를 갖는 물질일 수 있다.

[0071] "저 고정 탄소(low fixed carbon)" 및 "고 고정 탄소(high fixed carbon)"라는 용어는 다양한 실시예에서 개시된 프로세스 및 시스템에 의해 생성될 수 있는 재료를 설명하기 위한 실용적인 목적으로 본 출원에 사용된다. 탄소 함량 또는 임의의 다른 농도에 대한 제한은 말 그 자체에 귀속되는 것이 아니라 특정 실시예 및 그 등가물을 참조하여야만 한다.

[0072] "회분(ash)"은 열분해 중에 증발하지 않는 비탄소 성분을 의미한다. 회분 함량은 ASTM D3175 또는 기타 기술로 측정할 수 있다. 회분의 조성은 ASTM D4326 또는 기타 기술로 분석할 수 있다. 예를 들어, 회분은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 TiO<sub>2</sub>를 함유할 수 있다. 실리카(SiO<sub>2</sub>)는 전형적으로 바이오매스에서 유도된 회분의 가장 중요한 성분이다.

[0073] 바이오카본 조성물

[0074] 본 출원의 탄소 기반 시약은 적어도 부분적으로 재생 가능한 자원으로부터 유도된다. 이러한 시약은 화석 자원과 연관된 경제적, 환경적, 사회적 비용의 증가로 인해 적어도 부분적으로 특히 유용하다.

[0075] 본 출원에 사용될 때, "바이오매스(biomass)"는 생물학적으로 생산된 물질, 또는 생물기원 물질을 설명하는 데 사용되는 용어이다. 바이오매스에 함유된 화학 에너지는 자연적인 광합성 프로세스를 사용하여 태양 에너지로부터 유도된다. 광합성은 식물이 그 주변 환경에서 이산화탄소와 물을 흡수하고 햇빛의 에너지를 사용하여 당, 전분, 셀룰로스, 헤미셀룰로스 및 리그닌으로 변환하는 프로세스이다. 모든 재생 가능 에너지 소스 중에서 바이오매스는 효과적으로 태양 에너지를 저장한다는 점에서 독특하다. 더욱이, 바이오매스는 유일한 재생 가능한 탄소 소스이다.

[0076] 바이오카본 조성물이 본 출원에 개시되어 있다. 본 개시의 바이오카본 조성물은 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 99 wt%의 저 고정 탄소 물질- 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 20 wt% 내지 최대 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 포함함 -; 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 99 wt%의 고 고정 탄소 물질- 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내지 최대 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 포함하고, 및 제2 고정 탄소 농도는 제1 고정 탄소 농도보다 더 큼 -; 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 30 wt% 습기; 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 15 wt% 회분; 및 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 20 wt%의 첨가제를 포함하고; 저 고정 탄소 물질, 고 고정 탄소 물질, 습기, 회분 및 첨가제의 합으로서 계산된 총 wt%는 최대 100 wt%이다. 본 출원에 사용된 "절대 기준(absolute basis)"에는 회분과 습기가 포함된다.

[0077] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 균질의 물리적 블렌드를 포함한다. 달리 말해서, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질은 균질의 물리적 블렌드로서 바이오카본 조성물에 존재할 수 있다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일하게 분산된다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일하게 분산된다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질은 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일하게 분산된다.

[0078] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 이중 물리적 블렌드를 포함한다. 달리 말해서, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질은 이중의 물리적 블렌드로서 바이오카본 조성물에 존재할 수 있다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 별개의 층을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 코어와 셸, 또는 코어와 코팅을 포함하고, 코어는 셸 내에 포함되고, 코어는 고 고정 탄소 물질을 포함하고, 셸은 저 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 코어와 셸, 또는 코어와 코팅을 포함하고, 코어는 셸 내에 포함되고, 코어는 저 고정 탄소 물질을 포함하고, 셸은 고 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 저 고정 탄소 물질의 연속 상의 미립자 형태이다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 고 고정 탄소 물질의 연속 상의 미립자 형태이다.

[0079] 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질은 평형 상태 및 비교적 낮은 온도에서 서로 용해되지 않는 별개의 상을 형성할 수 있다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질은 서로 높은 평형(열역학적) 용해도

를 가질 수 있지만, 그럼에도 불구하고 조성물 내에서 역학적으로 동결된 상태로 유지되며, 따라서, 별개의 물질들을 관찰할 수 있다. 조성, 밀도, 입자 크기, 반응성 또는 기타 물리적 또는 화학적 특성을 측정하여 별개의 물질을 관찰할 수 있을 수 있다. 바이오카본 조성물을 최종적으로 사용하는 동안(예를 들어, 상승된 온도 또는 탄소 산화되는 동안) 물질의 구별이 소실될 수 있다.

[0080] 주어진 바이오카본 조성물이 저 고정 탄소 물질과 별개의 고 고정 탄소 물질을 모두 함유한다는 것을 입증하기 위한 한 기술에서, 바이오카본 조성물 테스트 샘플의 연소에 대한 열중량 분석(TGA)이 수행된다. 일부 실시예에서, 결과적인 TGA 열 곡선은 저 고정 탄소 물질 및 고 고정 탄소 물질과 상관되는 별개의 질량 손실 이벤트의 특성인 2개의 피크를 갖는다. 이는 균일한 고정 탄소 농도를 갖는 단일 물질을 함유하는 바이오카본 조성물의 대조 샘플에 대해 비교되어 물질에 대한 하나의 질량 손실 이벤트의 단일 피크 특성을 갖는 TGA 열 곡선을 보여줄 수 있다. 유사한 실시예에서, 테스트 샘플에 대한 TGA 열 곡선은 3개 이상의 피크를 갖는 반면, 대조 샘플에 대한 TGA 열 곡선은 테스트 샘플보다 더 적어도 하나 더 적은 피크를 갖는다.

[0081] 주어진 바이오카본 조성물이 저 고정 탄소 물질과 별개의 고 고정 탄소 물질을 모두 함유하고 있음을 입증하는 또 다른 기술은 입자 크기 분석이다. 이는 저 고정 탄소 물질 및 고 고정 탄소 물질과 연관된 입자 크기가 다를 때, 또는 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질과 연관된 입자 크기 분포가 다를 때 실행 가능한 접근법이다. 예를 들어, 고 고정 탄소 물질은 저 고정 탄소 물질에 비교하여 입자가 더 큰 경향이 있다. 일부 실시예에서, 균일한 물질의 단일 모드 입자 크기 분포 특성을 갖는 대조 샘플과 대조적으로, 저 고정 탄소 물질 및 고 고정 탄소 물질 양자 모두의 존재로부터 발생하는 이중 모드 입자 크기 분포가 있다. 유사한 실시예에서, 테스트 샘플은 대조 샘플 입자 크기 분포보다 더 적어도 하나의 모드를 갖는 입자 크기 분포를 가질 수 있다. 예를 들어, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질 각각이 이중 모드 입자 크기 분포(서로 다른 크기에 중심을 둔 피크를 가짐)를 갖고, 대조 샘플이 어떻게 생산되었는지에 따라 대조 샘플도 이중 모드 입자 크기 분포를 갖는 것이 가능하다.

[0082] 입자 크기는 예를 들어 동적 광산란, 레이저 회절, 이미지 분석, 또는 체 분리를 비롯한 다양한 기술을 통해 측정할 수 있다. 동적 광산란은 전형적으로 서브미크론 구역에서, 그리고, 1 나노미터 이하의 최신 기술을 사용하여 입자의 크기와 크기 분포를 측정하기 위한 비침습적이고 잘 정립된 기술이다. 레이저 회절은 크기가 수백 나노미터에서 최대 수 밀리미터 범위의 물질에 대해 널리 사용되는 입자 크기 확인 기술이다. 입자 크기를 측정하기 위한 예시적인 동적 광산란 기기 및 레이저 회절 기기는 영국 우스터셔 소재 Malvern Instruments Ltd.에서 입수할 수 있다. 입자 크기와 분포를 추정하기 위한 이미지 분석은 현미경사진, 주사 전자 현미경사진 또는 기타 이미지에서 직접 수행될 수 있다. 마지막으로, 체질은 입자를 크기별로 분리하는 전통적인 기술이다.

[0083] 주어진 바이오카본 조성물이 저 고정 탄소 물질과 별개의 고 고정 탄소 물질을 모두 함유하고 있음을 입증하기 위해 대안적으로 또는 추가적으로 이미징 기술이 이용될 수 있다. 이미징 기술은 예를 들어, 광학 현미경; 암시야 현미경; 주사 전자 현미경(SEM); 투과 전자 현미경(TEM); 및 X선 단층촬영(XRT)을 포함하지만 이에 제한되지 않는다. 예를 들어, 균질한 재료가 아닌 블렌드 상태의 별개의 물질을 입증하기 위해 이미징 기술을 사용할 수 있다. 또는, 이미징 기술을 사용하여 추가 분석을 위한 하위 샘플을 선택할 수 있다. 추가 분석은 고정 탄소 함량의 3차원 변동을 보여주기 위한 조성 분석일 수 있다. 추가 분석은 예를 들어 밀도, 입자 크기 또는 반응성과 같은 화학적 또는 물리적 특성의 3차원 변동을 보여주는 속성 분석일 수 있다.

[0084] 분광학 기술은 주어진 바이오카본 조성물이 저 고정 탄소 물질과 별개의 고 고정 탄소 물질을 모두 함유한다는 것을 입증하기 위해 대안적으로 또는 추가적으로 이용될 수 있다. 분광학 기술은 예를 들어, 에너지 분산 X선 분광학(EDS), X선 형광(XRF), 적외선(IR) 분광학; 및 핵자기공명(NMR) 분광학을 포함하지만, 이에 제한되지 않는다.

[0085] 이제, 다양한 바이오카본 조성물의 종과 농도 범위에 대해 더 설명할 것이다.

[0086] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 90 wt%의 저 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 90 wt%의 고 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비는 적어도 약 0.1 내지 최대 약 10이다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비는 적어도 약 0.2 내지 최대 약 5이다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비는 적어도 약 0.5 내지 최대 약 2이다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비는 적어도 약 0.8 내지 최대 약 1.2이다.

- [0087] 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도는 적어도 약 20 wt% 내지 최대 약 40 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도는 적어도 약 25 wt% 내지 최대 약 50 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도는 적어도 약 30 wt% 내지 최대 약 55 wt%이다. 일부 실시예에서, 제2 고정 탄소 농도는 적어도 약 80 wt% 내지 최대 약 100 wt%이다. 일부 실시예에서, 제2 고정 탄소 농도는 적어도 약 70 wt% 내지 최대 약 95 wt%이다. 일부 실시예에서, 제2 고정 탄소 농도는 적어도 약 60 wt% 내지 최대 약 90 wt%이다.
- [0088] 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도와 제2 고정 탄소 농도의 비가중 평균은 적어도 약 30 wt% 내지 최대 약 90 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도와 제2 고정 탄소 농도의 비가중 평균은 적어도 약 40 wt% 내지 최대 약 80 wt%이다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 절대 기준으로 적어도 약 25 wt% 내지 최대 약 95 wt%의 총 고정 탄소 농도를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 절대 기준으로 적어도 약 35 wt% 내지 최대 약 85 wt%의 총 고정 탄소 농도를 포함한다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 절대 기준 (즉, 회분 및 습기 포함)으로 적어도 약 45 wt% 내지 최대 약 80 wt%의 휘발성 탄소를 포함한다. 다양한 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 약, 적어도 약, 또는 최대 약 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 또는 80 wt%의 휘발성 탄소를 함유할 수 있다. 저 고정 탄소 물질은 예를 들어 절대 기준으로 약 1 wt% 내지 약 20 wt%의 산소를 함유할 수 있다. 저 고정 탄소 물질은 예를 들어 절대 기준으로 약 0.1 wt% 내지 약 10 wt%의 수소를 함유할 수 있다.
- [0089] 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 약 0 내지 약 50 wt%의 휘발성 탄소를 함유할 수 있다. 다양한 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 약, 적어도 약, 또는 최대 약 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 또는 50 wt%의 휘발성 탄소를 함유할 수 있다. 고 고정 탄소 물질은 예를 들어 절대 기준으로 약 1 wt% 내지 약 20 wt%의 산소를 함유할 수 있다. 고 고정 탄소 물질은 예를 들어 절대 기준으로 약 0.1 wt% 내지 약 10 wt%의 수소를 함유할 수 있다.
- [0090] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 약 0.1 wt% 내지 약 20 wt%의 습기를 포함한다. 다양한 실시예에서, 바이오카본 조성물은 모든 중간 범위를 포함하여 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 또는 20 wt%의 습기를 포함한다. 저 고정 탄소 물질은 모든 중간 범위를 포함하여 0 내지 약 50 wt%의 습기, 예컨대, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 또는 20 wt%의 습기를 함유할 수 있다. 독립적으로, 고 고정 탄소 물질은 모든 중간 범위를 포함하여 0 내지 약 50 wt%의 습기, 예컨대, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 또는 20 wt%의 습기를 함유할 수 있다.
- [0091] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 약 0.1 wt% 내지 약 10 wt%의 회분을 포함한다. 다양한 실시예에서, 바이오카본 조성물은 모든 중간 범위를 포함하여, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 또는 10 wt%의 회분을 포함한다. 저 고정 탄소 물질은 모든 중간 범위를 포함하여 0 내지 약 25 wt%의 회분, 예컨대, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 또는 25 wt%의 회분을 함유할 수 있다. 독립적으로, 고 고정 탄소 물질은 모든 중간 범위를 포함하여 0 내지 약 50 wt%의 회분, 예컨대, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 또는 25 wt%의 회분을 함유할 수 있다.
- [0092] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 약 0.1 wt% 내지 약 10 wt%의 하나 이상의 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 약 1 wt% 내지 약 15 wt%의 하나 이상의 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 약 3 wt% 내지 약 18 wt%의 하나 이상의 첨가제를 포함한다. 다양한 실시예에서, 바이오카본 조성물은 모든 중간 범위를 포함하여, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 또는 10 wt%의 첨가제(들)을 포함한다.
- [0093] 저 고정 탄소 물질은 모든 중간 범위를 포함하여 0 내지 약 20 wt%의 첨가제, 예컨대, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 또는 20 wt%의 첨가제(들)를 함유할 수 있다. 독립적으로, 고 고정 탄소 물질은 모든 중간 범위를 포함하여 0 내지 약 50 wt%의 첨가제, 예컨대, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 또는 20 wt%의 첨가제(들)를 함유할 수 있다.
- [0094] 첨가제는 유기 첨가제 및/또는 무기 첨가제를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 하나 이상의 첨가제는 재생 가능 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 하나 이상의 첨가제는 부분적으로 산화 및/또는 연소될 수 있는 물질을

포함한다.

- [0095] 일부 실시예에서, 하나 이상의 첨가제는 결합제를 포함한다. 일부 실시예에서, 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 폴리머, 셀룰로스, 셀룰로스 에테르, 헤미셀룰로스, 메틸셀룰로스, 키토산, 리그닌, 유당, 수크로스, 텍스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 대두 가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미립자, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 농축물, 실리카 흡, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아검, 잔탄검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 성글, 재활용 타이어 또는 이들의 유도체 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0096] 특정 실시예에서, 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 폴리머, 그 유도체, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 결합제는 가교결합된 열가소성 전분을 포함한다. 일부 실시예에서, 열가소성 전분은 전분과 폴리올의 반응 생성물을 포함한다. 일부 실시예에서, 폴리올은 에틸렌 글리콜, 프로필렌 글리콜, 글리세롤, 부탄디올, 부탄트리올, 에리트리톨, 자일리톨, 소르비톨, 또는 이의 조합을 포함한다. 반응 생성물은 산에 의해 촉매되는 반응으로부터 형성될 수 있다. 일부 실시예에서, 산은 포름산, 아세트산, 젖산, 시트르산, 옥살산, 우론산, 글루쿠론산, 또는 이의 조합을 포함한다. 대안적으로, 반응 생성물은 염기에 의해 촉매되는 반응으로부터 형성될 수 있다.
- [0097] 하나 이상의 첨가제는 하나 이상의 첨가제가 없는 그 외에는 동등한 바이오카본 조성물과 비교하여 바이오카본 조성물의 반응성을 감소시킬 수 있다. 반응성은 열 반응성일 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 첨가제가 포함된 바이오카본 조성물은 하나 이상의 첨가제가 포함되지 않은 그 외에는 동등한 바이오카본 조성물에 비교하여 자체 발열이 더 낮을 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 반응성은 산소, 물, 수소, 일산화탄소 및/또는 금속(예를 들어, 철)과의 화학 반응성이다.
- [0098] 첨가제가 사용되는 경우, 첨가제는 바이오매스 조성물 전체에 걸쳐 균일하게 분포될 필요는 없다. 첨가제는 저 고정 탄소 물질 또는 고 고정 탄소 물질 중 하나 내에 우선적으로 존재할 수 있거나, 심지어 이들 물질 중 하나에 단독으로 존재할 수 있다. 예를 들어, 결합제는 전체 바이오매스 조성물에 5 wt%로 존재할 수 있지만, 그 양 중 4% 포인트는 저 고정 탄소 물질 내에 배치되고 1% 포인트는 고 고정 탄소 물질 내에 배치된다(즉, 80%의 결합제가 저 고정 탄소 물질 내에 배치된다). 다양한 실시예에서, 저 고정 탄소 물질 내에 배치된 총 첨가제의 백분율은 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0, 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 100%일 수 있고; 고 고정 탄소 물질 내에 배치된 총 첨가제의 백분율은 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0, 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 100%일 수 있고; 저 고정 탄소 물질도 고 고정 탄소 물질도 아닌 바이오카본 조성물 내의 다른 곳(예를 들어, 별개의 첨가제 상으로서)에 배치된 총 첨가제의 백분율은 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0, 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 100%일 수 있다.
- [0099] 하나 이상의 첨가제가 존재할 경우, 첨가제 중 일부 또는 전부는 저 고정 탄소 물질 내에서 공극을 충전할 수 있다. 하나 이상의 첨가제가 존재할 경우, 첨가제 중 일부 또는 전부는 고 고정 탄소 물질 내에서 공극을 충전할 수 있다. 일부 실시예에서, 하나 이상의 첨가제가 존재하고 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질 모두 내에 공극을 충전하는 역할을 한다.
- [0100] 대안적으로, 또는 추가적으로, 하나 이상의 첨가제가 바이오카본 조성물의 외부 표면(예를 들어, 펠릿 또는 분말 입자의 외부 표면)에 배치될 수 있다.
- [0101] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 분말 형태이다.
- [0102] 본 발명의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 펠릿 형태이다. 형태가 펠릿인 경우, 하나 이상의 첨가제는 펠릿용 결합제를 포함할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 펠릿은 저 고정 탄소 물질 자체를 펠릿 내의 결합제로서 이용할 수 있다.
- [0103] 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 50 wt%의 휘발성 탄소를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 0.1 wt% 내지 최대 약 20 wt%의 습기를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 0.1 wt% 내지 최대 약 10 wt%의 회분을 포함한다.
- [0104] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 0.1 wt% 내지 최대 약 10 wt%의 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 15 wt%의 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 3 wt% 내지 최대 약 18 wt%의 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는

유기 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 무기 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 재생 가능한 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 산화되거나 연소될 수 있는 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 결합제를 포함한다. 일부 실시예에서, 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 폴리머, 셀룰로스, 셀룰로스 에테르, 헤미셀룰로스, 메틸셀룰로스, 키토산, 리그닌, 유당, 수크로스, 텍스트로스, 말토 텍스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 대두 가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미립자, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 농축물, 실리카 흡, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아검, 잔탄검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 셀룰, 재활용 타이어 또는 이들의 유도체 또는 이의 조합을 포함한다.

[0105] 일부 실시예에서, 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 폴리머, 그 유도체, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 결합제는 열가소성 전분을 포함한다. 일부 실시예에서, 열가소성 전분은 가교결합된다. 일부 실시예에서, 열가소성 전분은 전분과 폴리올의 반응 생성물이다. 일부 실시예에서, 전분을 생산하기 위한 반응의 폴리올은 에틸렌 글리콜, 프로필렌 글리콜, 글리세롤, 부탄디올, 부탄트리올, 에리트ρί톨, 자일리톨, 소르비톨, 또는 이의 조합일 수 있다. 일부 실시예에서, 열가소성 전분은 산에 의해 촉매되는 반응으로부터 형성된다. 일부 실시예에서, 산은 포름산, 아세트산, 젖산, 시트르산, 옥살산, 우론산, 글루쿠론산, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 열가소성 전분은 염기에 의해 촉매되는 반응으로부터 형성된다.

[0106] 첨가제를 첨가함으로써 바이오카본 조성물의 안정성을 증가시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 첨가제는 첨가제가 없는 그 외에는 동등한 바이오카본 조성물과 비교하여 바이오카본 조성물의 반응성을 감소시킨다. 일부 실시예에서, 반응성은 열 반응성이다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 첨가제가 없는 그 외에는 동등한 바이오카본 조성물에 비교하여 더 낮은 자체 발열을 포함한다. 반응성은 산소, 물, 수소, 일산화탄소 또는 금속과 화학 반응성일 수 있다. 일부 실시예에서, 금속은 철을 포함한다.

[0107] 바이오카본 조성물의 화학 반응성- 바이오카본 조성물은 첨가제를 포함함 -은 감소되며, 바이오카본 조성물은 산화될 가능성이 더 적다. 산화는 산소, 물, 수소 또는 일산화탄소가 존재할 때 발생할 수 있다. 산화는 바이오카본 조성물의 유익한 능력의 원치 않는 열화를 초래한다.

[0108] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 0 wt% 초과 첨가제를 포함한다. 달리 말해서, 첨가제가 조성물에 존재하는 실시예가 있다. 저 고정 탄소 물질은 공극을 포함할 수 있고, 공극은 첨가제를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 첨가제는 저 고정 탄소 물질 공극의 공극을 충전한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 고 고정 탄소 물질 공극의 공극을 충전한다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 첨가제를 포함하는 공극을 포함하고, 저 고정 탄소 물질은 첨가제를 포함하는 공극을 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 고 고정 탄소 물질 공극과 저 고정 탄소 공극의 공극을 충전한다.

[0109] 대안적으로, 또는 추가적으로, 첨가제는 바이오카본 조성물의 외부 표면(예를 들어, 펠릿 또는 분말 입자의 외부 표면)에 배치될 수 있다. 프로세스는 예를 들어 바이오카본 조성물에 첨가제를 분사 코팅하는 것을 포함할 수 있다.

[0110] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 분말 형태이다. 분말에는 다양한 입자 크기가 존재할 수 있다. 예를 들어, 평균 입자 직경은 적어도 약 100 nm 내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 0.5 $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 1 $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 2 $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 3  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 4  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 5  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 10  $\mu\text{m}$  최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 25  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 50  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 75  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 100  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 150  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 200  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 250  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 300  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 350  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 400  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 적어도 약 450  $\mu\text{m}$  내지 최대 약 500  $\mu\text{m}$ , 또는 약 500  $\mu\text{m}$ 일 수 있다.

[0111] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 펠릿 형태이다. 평균 펠릿 직경 또는 유효 직경은 약 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 20 또는 25 mm일 수 있다. 일부 실시예에서, 평균 펠릿 직경은 약 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000 또는 6500  $\mu\text{m}$ 이다. 조성물의 형태가 펠릿인 경우, 하나 이상의 첨가제는 펠릿용 결합제를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 펠릿은 저 고정 탄소 물질 자체를 펠릿 내의 결합체로서 이용할 수 있다.

- [0112] 첨가제가 존재하는 경우, 첨가제는 저 고정 탄소 물질 또는 고 고정 탄소 물질 중 하나 내에 위치할 수 있다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질 내에서 첨가제가 동일한 평균 농도를 갖도록 첨가제는 균일하게 분포된다.
- [0113] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 *Manual of Tests and Criteria*(Seventh revised edition 2019, United Nations, Page 375, 33.4.6) Test N.4: "Test method for self-heating substances"에 따라 자체 발열 테스트를 받을 때 비-자체-발열성을 특징으로 한다. 바이오카본 조성물의 에너지 함량은 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 조절하여 변화시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 에너지 함량을 최적화하도록 선택된다.
- [0114] 바이오카본 조성물의 벌크 밀도는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 조절하여 변화시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 벌크 밀도를 최적화하도록 선택된다.
- [0115] 바이오카본 조성물의 소수성은 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 조절하여 변화시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 소수성을 최적화하도록 선택된다.
- [0116] 바이오카본 조성물의 소수성은 침지 테스트에서의 물 흡수로 특징지어질 수 있다. 예를 들어, 건조된 바이오카본 펠릿은 실온(약 25°C)에서 과량의 물에 24시간 동안 침지시켜 소수성에 대해 테스트할 수 있다. 침지시킨 후체를 사용하여 유리수 액적을 걸러낸 다음 ASTM D3173에 따라 샘플의 총 습기를 테스트한다. 순 습기 흡수(본출원에서는 "물 흡수(water uptake)"라고도 지칭됨)를 계산하기 위해 ASTM D3173에 따라 총 습기에서 건조된 펠릿의 초기 습기 함량을 차감한다. 예를 들어, 건조된 바이오카본 펠릿의 초기 습기 함량이 5%이고, 이때, 24시간 이후 침지된 펠릿의 습기 함량이 25%인 경우, 물 흡수는  $25\% - 5\% = 20\%$ 이다. 분말이나 과립과 같은 펠릿이 아닌 바이오카본 조성물에도 동일한 절차를 사용할 수 있다.
- [0117] 바이오카본 조성물은 물에(즉, 펠릿의 질량에 비해 과량의 액체 물) 침지시킨 24시간 이후 25°C에서 20 wt% 미만의 물 흡수를 특징으로 할 수 있다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 24시간 물에 침지시킨 후 25°C에서 약 15 wt% 미만의 물 흡수를 특징으로 한다. 특정 실시예에서, 바이오카본 조성물은 24시간 물에 침지시킨 후 25°C에서 약 10 wt% 미만의 물 흡수를 특징으로 한다. 특정 실시예에서, 바이오카본 조성물은 24시간 물에 침지시킨 후 25°C에서 약 5 wt% 미만의 물 흡수, 예컨대, 24시간 물에 침지시킨 후 25°C에서 약 2 wt% 내지 약 4 wt%의 물 흡수를 특징으로 한다. 다양한 실시예에서, 바이오카본 조성물은 물에 24시간 침지시킨 후 25°C에서 약 또는 최대 약 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 또는 1 wt%의 물 흡수를 특징으로 한다.
- [0118] 바이오카본 조성물의 공극 크기는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 조절하여 변경할 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 공극 크기를 최적화하도록 선택된다.
- [0119] 바이오카본 조성물의 공극 크기 비율은 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 조절하여 변경할 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 공극 크기의 비율을 최적화하도록 선택된다.
- [0120] 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 조절하여 바이오카본 조성물의 표면적을 변화시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 표면적을 최적화하도록 선택된다.
- [0121] 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 조절하여 바이오카본 조성물의 반응성을 변화시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 반응성을 최적화하도록 선택된다.
- [0122] 바이오카본 조성물의 이온 교환능은 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 조절하여 변화시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 이온 교환능을 최적화하도록 선택된다.
- [0123] 바이오카본 조성물의 하드그로브 분쇄성 지수(Hardgrove Grindability Index)는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정

탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 조절함으로써 변경될 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 및 선택적으로 첨가제 유형 및/또는 농도는 펠릿과 연관된 하드그로브 분쇄성 지수를 최적화하도록 선택된다.

[0124] 바이오카본 조성물의 펠릿 내구성 지수는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 조절하여 변경할 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 펠릿과 연관된 펠릿 내구성 지수를 최적화하도록 선택된다.

[0125] 도 1은 일부 실시예에서 고 고정 탄소 물질, 선택적으로 첨가제(예컨대, 펠릿을 제조하기 위한 결합제)와 블렌딩된 저 고정 탄소 물질을 갖는 바이오카본 조성물을 생산하는 프로세스의 단순화된 블록 흐름도이다. 점선 상자와 선은 각각 선택적 유닛과 스트림을 나타낸다. 도 1에서, 바이오매스는 본 명세서에 설명된 효과적인 열분해 조건에서 동작되는 제1 열분해 반응기에 공급된다. 제1 열분해 반응기는 저 고정 탄소 물질을 생산하도록 구성되고, 이는 입자 크기를 감소시키기 위해 선택적으로 밀링된다. 바이오매스는 또한 본 명세서에 설명된 효과적인 열분해 조건에서 동작되는 제2 열분해 반응기에 공급된다. 제2 열분해 반응기로 공급되는 바이오매스는 제1 열분해 반응기로 공급되는 바이오매스와 동일하거나 상이할 수 있다. 제2 열분해 반응기는 고 고정 탄소 물질을 생산하도록 구성되며, 이는 입자 크기를 감소시키기 위해 선택적으로 밀링된다. 저 고정 탄소 물질 또는 고 고정 탄소 물질의 밀링은 사용되는 경우 스트림을 함께 조합하기 전에, 스트림을 함께 조합하는 것과 동시에, 또는 스트림 조합 다음에 이루어질 수 있다. 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 조합(예를 들어, 블렌딩 또는 공동 밀링)하여 도 1에 도시된 aLCF-HFC 조합 시약을 생성한다. LCF-HFC 조합 시약은 선택적으로 펠릿화 유닛 또는 첨가제가 공급되는 다른 유닛으로 운반된다. 대안적으로 또는 추가적으로, LCF-HFC 조합 시약은 LCF-HFC 조합 시약에서 물을 제거하도록 동작되는 건조 유닛에 공급된다. 최종 생성물은 바이오카본 펠릿 또는 분말이다.

[0126] 도 2는 고 고정 탄소 물질과 블렌딩된 저 고정 탄소 물질을 갖는 바이오카본 조성물을 생산하는 프로세스의 단순화된 블록 흐름도이고, 여기서 저 고정 탄소 물질은 일부 실시예에서는 펠릿 결합제로서 기능한다. 점선 상자 와 선은 각각 선택적 유닛과 스트림을 나타낸다. 도 2에서, 바이오매스는 본 명세서에 설명된 효과적인 열분해 조건에서 동작되는 제1 열분해 반응기에 공급된다. 제1 열분해 반응기는 저 고정 탄소 물질을 생산하도록 구성 되고, 이는 입자 크기를 감소시키기 위해 선택적으로 밀링된다. 바이오매스는 또한 본 명세서에 설명된 효과적인 열분해 조건에서 동작되는 제2 열분해 반응기에 공급된다. 제2 열분해 반응기로 공급되는 바이오매스는 제1 열분해 반응기로 공급되는 바이오매스와 동일하거나 상이할 수 있다. 제2 열분해 반응기는 고 고정 탄소 물질을 생산하도록 구성되며, 이는 입자 크기를 감소시키기 위해 선택적으로 밀링된다. 저 고정 탄소 물질 또는 고 고정 탄소 물질의 밀링은 사용되는 경우 스트림을 함께 조합하기 전에, 스트림을 함께 조합하는 것과 동시에, 또는 스트림 조합 다음에 이루어질 수 있다. 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질은 모두 펠릿화 유닛에 공급 된다. 펠릿화 유닛에서는 저 고정 탄소 물질을 결합제로 사용하여 펠릿을 형성한다. 다른 실시예에서는 별개의 결합제 물질이 또한 펠릿화 유닛에 공급될 수 있다. 선택적으로, 펠릿은 펠릿에서 물을 제거하도록 동작되는 건조 유닛에 공급된다. 최종 생성물은 저 고정 탄소 물질이 펠릿 결합제로서 기능하는 바이오카본 펠릿이다.

[0127] 고정 탄소는 샘플에 남아 있는 비휘발성 탄소의 양의 척도이다. 이는 직접 측정이 아닌 근접 분석을 통해 측정 된 다른 파라미터로부터 결정된 계산 값이다(ASTM 방법 D3172-07a; American Society for Testing and Materials, 2013, p. 492-493 참조). 고정 탄소는 습기, 휘발성 물질 및 회분에 대한 테스트 중에 소실된 재료 의 계산된 백분율이다:

[0128]  $wt\% \text{ 고정 탄소} = 100 - wt\% \text{ 습기} + wt\% \text{ 휘발성 물질} + wt\% \text{ 회분}$

[0129] 총 탄소는 고정 탄소와 휘발성 물질에 존재하는 비고정 탄소를 더한 것이다. 일부 실시예에서, 킴포넨트 중량 백분율은 절대 기준이며, 달리 언급되지 않는 한, 그렇게 가정된다. 다른 실시예에서, 킴포넨트 중량 백분율은 무수분 및 무회분 기준이다. 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 조성은 위에서 다루었다.

[0130] 본 개시의 바이오카본 조성물은 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 99 wt%의 저 고정 탄소 물질- 저 고정 탄소 물질 은 절대 기준으로 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 포함함 -; 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 99 wt%의 고 고정 탄소 물질- 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내 지 최대 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 포함하고, 제2 고정 탄소 농도는 제1 고정 탄소 농도 보다 더 큼 -; 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 30 wt% 습기; 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 15 wt% 회분; 및 적 어도 약 0 wt% 내지 최대 약 20 wt%의 첨가제를 포함하고; 저 고정 탄소 물질 또는 고 고정 탄소 물질은 생물기 원 탄소를 포함하고; 및 저 고정 탄소 물질, 고 고정 탄소 물질, 습기, 회분 및 첨가제의 합으로서 계산된 총

wt%는 최대 100 wt%이다.

- [0131] 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 열분해되지 않은 바이오매스, 열분해된 바이오매스, 열분해되지 않은 폴리머, 열분해된 폴리머, 석탄, 열분해된 석탄, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 열분해된 바이오매스, 석탄, 열분해된 석탄, 코크스, 석유 코크스, 야금 코크스, 활성탄, 카본 블랙, 흑연, 그래핀, 열분해된 폴리머, 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0132] 자연적으로 발생하는 세 가지 탄소 동위원소는  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ 이다.  $^{12}\text{C}$  및  $^{13}\text{C}$ 는 안정적이며 약 93:1의 자연적인 비율로 발생한다.  $^{14}\text{C}$ 는 상층 대기의 우주 방사선으로부터의 열 중성자에 의해 생성되고, 지구로 운송되어 살아있는 생물학적 물질에 흡수된다. 동위원소적으로,  $^{14}\text{C}$ 는 무시할 수 있는 부분을 구성하지만; 그러나, 이는 반감기가 5,700년인 방사성 물질이기 때문에 방사성 측정으로 검출할 수 있다. 죽은 조직은  $^{14}\text{C}$ 를 흡수하지 않으므로  $^{14}\text{C}$ 의 양은 생물학적 물질의 방사성 연대 측정에 사용되는 방법 중 하나이다.
- [0133] 식물은 광합성을 통해 대기 탄소를 고정하여  $^{14}\text{C}$ 를 흡수한다. 이어서, 동물은 식물을 섭취하거나, 식물을 섭취한 다른 동물을 섭취할 때  $^{14}\text{C}$ 를 그 체내로 흡수한다. 따라서, 살아있는 식물과 동물은 대기  $\text{CO}_2$ 와  $^{14}\text{C}$  내지  $^{12}\text{C}$ 의 비율이 동일하다. 유기체가 죽으면, 대기와의 탄소 교환이 중단되어 더 이상 새로운  $^{14}\text{C}$ 를 흡수하지 않는다. 그 후, 방사성 붕괴는 유기체의  $^{14}\text{C}$ 를 점진적으로 고갈시킨다. 이 효과는 방사성 탄소 연대 측정의 기초이다.
- [0134] 석탄과 같은 화석 연료는 주로 수백만 년 전에 퇴적된 식물 물질로 형성된다. 이 시간 기간은  $^{14}\text{C}$ 의 수천 번의 반감기에 대응하므로 본질적으로 화석 연료의 모든  $^{14}\text{C}$ 가 붕괴된다. 화석 연료는 또한 원래 살아있는 유기체에서 형성되었기 때문에 대기에 비해  $^{13}\text{C}$ 가 고갈된다. 따라서, 화석 연료의 탄소는 생물기원 탄소에 비교하여  $^{13}\text{C}$ 와  $^{14}\text{C}$  모두가 고갈된다.
- [0135] 예컨대, 재생 가능한 자원에서 나온, 최근에 죽은 유기물의 탄소 동위원소와 석탄과 같은 화석 연료의 탄소 동위원소 사이의 이러한 차이는 조성물 내의 탄소 소스를 결정할 수 있게 한다. 구체적으로, 조성물의 탄소가 재생 가능한 자원에서 유도되었는지 또는 화석 연료에서 유도되었는지 여부, 달리 말해서, 조성물 생산에 재생 가능한 자원이 사용되었는지 아니면 화석 연료가 사용되었는지 여부이다.
- [0136] 본 개시의 모든 실시예, 조성물 및 조성물 제조 프로세스에서, 바이오카본 조성물은 총 탄소를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소의 적어도 50%는 생물기원 탄소를 본질적으로 구성된다. 일부 실시예에서, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소의 적어도 50%는 생물기원 탄소를 본질적으로 구성된다. 일부 실시예에서, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소의 적어도 90%는 생물기원 탄소를 본질적으로 구성된다. 일부 실시예에서, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소는 생물기원 탄소를 본질적으로 구성된다. 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율 측정은 ASTM D6866을 사용하여 수행할 수 있다.
- [0137] 바이오카본 조성물의 생산을 위한 프로세스
- [0138] 바이오카본 조성물을 생산하는 프로세스가 본 출원에 개시되어 있다. 본 개시의 프로세스는 제1 공급원료를 열분해하는 단계- 제1 공급원료는 바이오매스를 포함하여 저 고정 탄소 물질 및 제1 열분해 오프-가스를 생성하고, 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 20 wt% 내지 최대 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 포함함 -; 제2 공급원료를 열분해하는 단계- 제2 공급원료는 바이오매스를 포함하여 고 고정 탄소 물질 및 제2 열분해 오프-가스를 생성하고, 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내지 최대 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 포함하고, 및 제2 고정 탄소 농도는 제1 고정 탄소 농도보다 더 큼 -; 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 블렌딩하여 중간 물질을 생성하는 단계; 및 중간 물질 또는 중간 물질의 열처리된 유도체를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계를 포함한다.
- [0139] 일부 실시예에서, 프로세스는 중간 물질을 건조시키는 단계를 포함한다. 건조는 프로세스 중 하나 이상의 포인트에서 사용될 수 있다.

- [0140] 일부 실시예에서, 프로세스는 중간 물질을 첨가제와 블렌딩하여 블렌딩된 중간 물질을 생성하는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 블렌딩된 중간 물질을 건조시키는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 제2 공급원료의 열분해는 제1 공급원료의 열분해와 독립적이다. 일부 실시예에서, 제1 공급원료와 제2 공급원료는 동일한 유형의 공급원료이다. 일부 실시예에서, 제1 공급원료와 제2 공급원료는 동일한 유형의 공급원료가 아니다.
- [0141] 일부 실시예에서, 제1 공급원료는 침엽수 칩, 경목 칩, 목재 수확 잔류물, 나뭇가지, 나무 그루터기, 잎, 나무 껍질, 톱밥, 옥수수, 옥수수대, 밀, 밀짚, 벼, 벼짚, 사탕수수, 사탕수수 버개스, 사탕수수 짚, 에너지 수수, 사탕무, 사탕무 펄프, 해바라기, 수수, 캐놀라, 조류, 역새, 알팔파, 스위치그래스, 과일, 과일 각피, 과병, 과일 껍질, 과일 씨, 채소, 채소 각피, 채소 줄기, 채소 껍질, 채소 씨, 포도 경석, 아몬드 각피, 피칸 각피, 코코넛 각피, 커피 찌꺼기, 음식물 쓰레기, 상업 폐기물, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 종이 펄프, 종이 포장, 종이 자투리, 식품 포장, 건설 및/또는 철거 폐기물, 철도 침목, 리그닌, 동물 분뇨, 도시 고품 폐기물, 도시 하수 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0142] 일부 실시예에서, 제2 공급원료는 침엽수 칩, 경목 칩, 목재 수확 잔류물, 나뭇가지, 나무 그루터기, 잎, 나무 껍질, 톱밥, 옥수수, 옥수수대, 밀, 밀짚, 벼, 벼짚, 사탕수수, 사탕수수 버개스, 사탕수수 짚, 에너지 수수, 사탕무, 사탕무 펄프, 해바라기, 수수, 캐놀라, 조류, 역새, 알팔파, 스위치그래스, 과일, 과일 각피, 과병, 과일 껍질, 과일 씨, 채소, 채소 각피, 채소 줄기, 채소 껍질, 채소 씨, 포도 경석, 아몬드 각피, 피칸 각피, 코코넛 각피, 커피 찌꺼기, 음식물 쓰레기, 상업 폐기물, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 종이 펄프, 종이 포장, 종이 자투리, 식품 포장, 건설 및/또는 철거 폐기물, 철도 침목, 리그닌, 동물 분뇨, 도시 고품 폐기물, 도시 하수 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0143] 일부 실시예에서, 바이오매스 함유 공급원료는 바이오매스(예컨대, 위에 나열된 바이오매스 소스)뿐만 아니라 석탄과 같은 재생 불가능한 공급원료도 포함한다. 따라서, 바이오매스-석탄 혼합물은 제1 바이오매스 함유 공급원료 및/또는 제2 바이오매스 함유 공급원료로 이용될 수 있다.
- [0144] 일부 실시예에서, 제1 공급원료의 열분해 및 제2 공급원료의 열분해는 별개의 열분해 반응기에서 수행된다. 열분해 반응기는 전형적으로 모두 연속적으로 수행되거나 모두 배치로 수행되지만 원본적으로는 혼합 반응 모드를 사용할 수 있다. 또한, 별개의 열분해 반응기를 사용하는 경우, 이들은 공통 장소에 있을 수 있거나 다른 장소에 있을 수 있다.
- [0145] 일부 실시예에서, 제1 공급원료의 열분해 및 제2 공급원료의 열분해는 별개의 순간에 공통 열분해 반응기에서 수행된다. 단일 열분해 반응기를 사용하는 경우, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 별개의 배치(batch)를 사용하여 회분식 모드로 동작할 수 있다. 대안적으로, 단일 열분해 반응기는 연속적으로 또는 반연속적으로 동작될 수 있으며, 그래서, 저 고정 탄소 물질이 제1 기간 동안 생성된 후 고 고정 탄소 물질이 제2 기간 동안 생성될 수 있다(그 후 반응기는 저 고정 탄소 물질 또는 다른 것을 생성하도록 다시 전환될 수 있음).
- [0146] 특정 실시예에서, 저 고정 탄소 물질이 생산되고 저장된다. 나중에 그리고, 잠재적으로, 다른 장소에서, 저 고정 탄소 물질의 제1 부분은 그 후 추가 열분해를 통해 고 고정 탄소 물질로 변환될 수 있으며, 반면에, 초기 저 고정 탄소 물질의 제2 부분은 생성된 고 고정 탄소 물질과 블렌딩된다.
- [0147] 일부 실시예에서, 블렌딩은 본질적으로 저 고정 탄소 물질 모두와 고 고정 탄소 물질을 블렌딩하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 블렌딩은 본질적으로 고 고정 탄소 물질 모두를 저 고정 탄소 물질과 블렌딩하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 블렌딩은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 첨가제와 블렌딩하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 블렌딩과 동시에 건조하는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩하여 블렌딩된 중간 물질을 생성한 다음 중간 물질을 건조시키는 단계를 포함한다.
- [0148] 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 블렌딩은 각각 회분식 또는 연속 프로세스로 생산된 직후에 이루어질 수 있다. 저 고정 탄소 물질은 블렌딩 전에 저장되거나, 블렌딩 전에 처리(예를 들어, 열처리, 기계적 처리 또는 첨가제와 조합)될 수 있다. 마찬가지로, 고 고정 탄소 물질은 블렌딩 전에 저장되거나, 블렌딩 전에 처리(예를 들어, 열처리, 기계적 처리 또는 첨가제와 조합)될 수 있다.
- [0149] 일부 실시예에서, 이 프로세스는 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 99 wt%의 저 고정 탄소 물질; 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 99 wt%의 고 고정 탄소 물질; 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 30 wt% 습기; 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 15 wt% 회분; 및 적어도 약 0 wt% 내지 최대 약 20 wt%의 첨가제를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수

하는 단계를 포함한다.

- [0150] 일부 실시예에서, 제1 공급원료를 열분해하는 것은 제1 열분해 온도에서 열분해하는 것을 포함하고, 제1 열분해 온도는 적어도 약 250℃ 내지 최대 약 1250℃이다. 일부 실시예에서, 제1 공급원료를 열분해하는 것은 제1 열분해 온도에서 열분해하는 것을 포함하고, 제1 열분해 온도는 적어도 약 300℃ 내지 최대 약 700℃이다. 일부 실시예에서, 제2 공급원료를 열분해하는 것은 제2 열분해 온도에서 열분해하는 것을 포함하고, 제2 열분해 온도는 적어도 약 250℃ 내지 최대 약 1250℃이다. 일부 실시예에서, 제2 공급원료를 열분해하는 것은 제2 열분해 온도에서 열분해하는 것을 포함하고, 제2 열분해 온도는 적어도 약 300℃ 내지 최대 약 700℃이다. 제2 열분해 온도는 전형적으로 제1 열분해 온도보다 더 높으나, 반드시 그런 것은 아니며, 그 이유는, 적어도 단계 (a) 및 (b)의 공급원료가 상이할 수 있고 다른 열분해 조건(예를 들어, 시간, 촉매 또는 물 농도)이 달라질 수 있기 때문이다.
- [0151] 일부 실시예에서, 제1 공급원료를 열분해하는 것은 적어도 약 10초 내지 최대 약 24시간 동안 열분해하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 제2 공급원료를 열분해하는 것은 적어도 약 10초 내지 최대 약 24시간 동안 열분해하는 것을 포함한다. 제1 열분해 시간은 제2 열분해 시간보다 길 수 있으나 반드시 그런 것은 아니며, 그 이유는, 적어도 단계 (a) 및 (b)의 공급원료가 상이할 수 있고 다른 열분해 조건(예를 들어, 온도, 촉매 또는 물 농도)이 달라질 수 있기 때문이다.
- [0152] 일부 실시예에서, 제1 열분해 오프-가스는 산화되어 열을 생성한다. 일부 실시예에서, 이 열은 프로세스에 사용되어 열을 재활용한다. 일부 실시예에서, 제2 열분해 오프-가스는 산화되어 열을 생성한다. 일부 실시예에서, 이 열은 프로세스 내에 사용되어 열을 재활용한다. 일부 실시예에서, 프로세스 내 열의 사용은 열분해 반응기에 열을 제공하는 것일 수 있다.
- [0153] 일부 실시예에서, 제1 열분해 오프-가스는 산화되어, 수소 또는 일산화탄소를 포함하는 환원 가스를 생성한다. 일부 실시예에서, 제2 열분해 오프-가스는 산화되어, 수소 또는 일산화탄소를 포함하는 환원 가스를 생성한다.
- [0154] 일부 실시예에서, 프로세스는 블렌딩 전에 저 고정 탄소 물질을 제1 밀링하는 단계를 포함하며, 제1 밀링은 해머 밀, 압출기, 마모 밀, 디스크 밀, 핀 밀, 볼 밀, 원추 파쇄기, 조오 파쇄기 또는 이의 조합을 포함하는 기계적 처리 장치를 사용하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 블렌딩 전에 고 고정 탄소 물질을 제2 밀링하는 단계를 포함하고, 제2 밀링은 해머 밀, 압출기, 마모 밀, 디스크 밀, 핀 밀, 볼 밀, 원추 파쇄기, 조오 파쇄기 또는 이의 조합을 포함하는 기계적 처리 장치를 사용하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 블렌딩은 해머 밀, 압출기, 마모 밀, 디스크 밀, 핀 밀, 볼 밀, 원추 파쇄기, 조오 파쇄기 또는 이의 조합을 포함하는 기계적 처리 장치를 사용하는 것을 포함한다.
- [0155] 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 모두 밀링할 경우, 이들은 동일한 유닛에서 함께 밀링될 수 있거나 (블렌딩 동안), 또는 동일한 유형의 장치 또는 다른 유형의 장치에서 별도로 밀링될 수 있다.
- [0156] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 균질의 물리적 블렌드를 포함한다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일하게 분산된다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일하게 분산된다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질은 바이오카본 조성물 전체에 걸쳐 균일하게 분산된다.
- [0157] 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 이중 물리적 블렌드를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 별개의 층을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 코어와 셸을 포함하며, 코어는 셸 내에 포함되고, 코어는 고 고정 탄소 물질을 포함하고, 셸은 저 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 코어와 셸을 포함하며, 코어는 셸 내에 포함되고, 코어는 저 고정 탄소 물질을 포함하고, 셸은 고 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 저 고정 탄소 물질의 연속 상의 미립자 형태이다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 고 고정 탄소 물질의 연속 상의 미립자 형태이다.
- [0158] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 90 wt%의 저 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 90 wt%의 고 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비를 포함하며, 및 이 비율은 적어도 약 0.1 내지 최대 약 10이다.
- [0159] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비를 포함하며, 및 비율은 적어도 약 0.2 내지 최대 약 5이다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질

대 고 고정 탄소 물질의 중량비를 포함하며, 및 비율은 적어도 약 0.5 내지 최대 약 2이다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 저 고정 탄소 물질 대 고 고정 탄소 물질의 중량비를 포함하며, 및 비율은 적어도 약 0.8 내지 최대 약 1.2이다.

- [0160] 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도는 적어도 약 20 wt% 내지 최대 약 40 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도는 적어도 약 25 wt% 내지 최대 약 50 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도는 적어도 약 30 wt% 내지 최대 약 55 wt%이다. 일부 실시예에서, 제2 고정 탄소 농도는 적어도 약 80 wt% 내지 최대 약 100 wt%이다. 일부 실시예에서, 제2 고정 탄소 농도는 적어도 약 70 wt% 내지 최대 약 95 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도와 제2 고정 탄소 농도의 비가중 평균은 적어도 약 30 wt% 내지 최대 약 90 wt%이다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도와 제2 고정 탄소 농도의 비가중 평균은 적어도 약 40 wt% 내지 최대 약 80 wt%이다.
- [0161] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 절대 기준으로 적어도 약 25 wt% 내지 최대 약 95 wt%의 총 고정 탄소 농도를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 절대 기준으로 적어도 약 35 wt% 내지 최대 85 wt%의 총 고정 탄소 농도를 포함한다. 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 45 wt% 내지 최대 약 80 wt%의 휘발성 탄소를 포함한다. 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 0 내지 최대 약 50 wt%의 휘발성 탄소를 포함한다.
- [0162] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 0.1 wt% 내지 최대 약 20 wt%의 습기를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 0.1 wt% 내지 최대 약 10 wt%의 회분을 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 0.1 wt% 내지 최대 약 10 wt%의 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 1 wt% 내지 최대 약 15 wt%의 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 적어도 약 3 wt% 내지 최대 약 18 wt%의 첨가제를 포함한다.
- [0163] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 첨가제를 포함하고, 첨가제는 유기 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 무기 첨가제를 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 재생 가능한 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 산화되거나 연소될 수 있는 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 결합제를 포함한다.
- [0164] 일부 실시예에서, 프로세스는 펠릿화를 포함한다. 펠릿화는 압출기, 링 다이 펠릿 밀, 플랫 다이 펠릿 밀, 롤 압축기, 롤 브리켓터, 습식 응집 밀, 건식 응집 밀, 또는 이의 조합을 사용하여 달성될 수 있다.
- [0165] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 결합제를 포함한다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 폴리머, 셀룰로스, 셀룰로스 에테르, 헤미셀룰로스, 메틸셀룰로스, 키토산, 리그닌, 유당, 수크로스, 텍스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 대두 가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미립자, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 봉사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 농축물, 실리카 흙, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아검, 잔탄검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 성글, 재활용 타이어, 이들의 유도체 또는 이의 조합을 포함할 수 있다.
- [0166] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 결합제를 포함하고, 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 폴리머, 그 유도체, 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0167] 본 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 결합제를 포함하고, 결합제는 열가소성 전분을 포함한다. 일부 실시예에서, 열가소성 전분은 가교결합된다. 열가소성 전분은 전분과 폴리올의 반응 생성물일 수 있다. 폴리올은 에틸렌 글리콜, 프로필렌 글리콜, 글리세롤, 부탄디올, 부탄트리올, 에리트리톨, 자일리톨, 소르비톨, 또는 이의 조합일 수 있다. 열가소성 전분은 산에 의해 촉매되는 반응으로부터 형성될 수 있다. 산은 포름산, 아세트산, 젓산, 시트르산, 옥살산, 우론산, 글루쿠론산, 또는 이의 조합을 포함할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 열가소성 전분은 염기에 의해 촉매되는 반응으로부터 형성될 수 있다.
- [0168] 프로세스의 일부 실시예에서, 첨가제는 첨가제가 없는 그 외에는 동등한 바이오카본 조성물에 비교하여 바이오카본 조성물의 반응성을 감소시킨다. 일부 실시예에서, 반응성은 열 반응성이다. 예를 들어, 바이오카본 조성물은 첨가제가 없는 그 외에는 동등한 바이오카본 조성물에 비교하여 더 낮은 자체 발열을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 반응성은 산소와의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 반응성은 물과의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 반응성은 수소와의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 반응성은 일산화탄소와의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 반응성은 금속과의 화학 반응성이다. 일부 실시예에서, 금속은 철을 포함한다.

- [0169] 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩함으로써 저 고정 탄소 물질의 공극에 첨가제를 도입하는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩함으로써 고 고정 탄소 물질의 공극에 첨가제를 도입하는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩함으로써 저 고정 탄소 물질의 공극에 첨가제를 도입하고 고 고정 탄소 물질의 공극에 첨가제를 도입하는 단계를 포함한다.
- [0170] 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩함으로써 바이오카본 조성물의 외부 표면(예를 들어, 펠릿 또는 분말 입자의 외부 표면)에 첨가제를 배치하는 단계를 포함한다. 프로세스는 예를 들어 바이오카본 조성물에 첨가제를 분사 코팅하는 것을 포함할 수 있다.
- [0171] 일부 실시예에서, 프로세스는 바이오카본 조성물을 분말로 형성하는 단계를 포함한다.
- [0172] 일부 실시예에서, 프로세스는 바이오카본 조성물을 펠릿화하는 단계를 포함한다.
- [0173] 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩하는 단계를 포함하며, 첨가제는 결합제를 포함한다. 일부 실시예에서, 결합제는 저 고정 탄소 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 첨가제를 중간 물질과 블렌딩하는 단계를 포함하며, 저 고정 탄소 물질이 첨가제를 포함하거나 고 고정 탄소 물질이 첨가제를 포함한다.
- [0174] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 *Manual of Tests and Criteria*(Seventh revised edition 2019, United Nations, Page 375, 33.4.6) Test N.4: "Test method for self-heating substances"에 따라 자체 발열 테스트를 받을 때 비-자체-발열성을 특징으로 한다. 바이오카본 조성물의 에너지 함량은 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 조절하여 변화시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제 유형 또는 농도는 바이오카본 조성물과 연관된 에너지 함량을 최적화하도록 선택된다.
- [0175] 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 벌크 밀도를 최적화하는 단계를 포함한다.
- [0176] 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 소수성을 최적화하는 것을 포함한다.
- [0177] 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 공극 크기를 최적화하는 단계를 포함한다.
- [0178] 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 공극 크기 비율을 최적화하는 단계를 포함한다.
- [0179] 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 표면적을 최적화하는 단계를 포함한다.
- [0180] 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 반응성을 최적화하는 단계를 포함한다.
- [0181] 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 이온 교환능(IEC)을 최적화하는 단계를 포함한다.
- [0182] 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 하드그로브 분쇄성 지수를 최적화하는 것을 포함한다.
- [0183] 프로세스의 일부 실시예에서, 프로세스는 제1 고정 탄소 농도, 제2 고정 탄소 농도, 또는 첨가제의 유형 또는 농도를 선택하여 바이오카본의 펠릿 내구성 지수를 최적화하는 단계를 포함한다.
- [0184] 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 총 탄소를 포함하고, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소의 적어도 50%는 생물기원 탄소를 본질적으로 구성된다. 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 총 탄소를 포함하고, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소의 적어도 90%는 생물기원 탄소를 본질적으로 구성된다. 프로세스의 일부 실시예에서, 바이오카본 조성물은 총 탄소를 포함하고, 총 탄소의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때, 총 탄소는 생물기원 탄소를 본

질적으로 구성된다.

- [0185] 재생 가능한 바이오카본 조성물이 바람직하지만, 본 발명의 원리는 재생 불가능한 재료에 적용될 수 있음을 유의하는 것이 중요하다.
- [0186] 본 개시의 프로세스는 제1 공급원료를 열분해하는 단계- 제1 공급원료는 바이오매스를 포함하여 저 고정 탄소 물질 및 제1 열분해 오프-가스를 생성하고, 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 20 wt% 내지 최대 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 포함함 -; 고 고정 탄소 물질을 제공하는 단계- 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내지 최대 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 포함하고, 및 제2 고정 탄소 농도는 제1 고정 탄소 농도보다 더 큼 -; 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 블렌딩하여 중간 물질을 생성하는 단계; 선택적으로, 하나 이상의 첨가제를 중간 물질에 블렌딩하는 단계; 선택적으로, 중간 물질을 건조시키는 단계; 및 중간 물질 또는 이의 열처리된 유도체를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계를 포함한다.
- [0187] 프로세스의 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 열분해된 바이오매스, 석탄, 열분해된 석탄, 코크스, 석유 코크스, 야금 코크스, 활성탄, 카본 블랙, 흑연, 그래핀, 열분해된 폴리머, 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0188] 본 개시의 프로세스는 저 고정 탄소 물질을 제공하는 단계- 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 포함함 -; 공급원료를 열분해하는 단계- 공급원료는 바이오매스를 포함하여 고 고정 탄소 물질과 열분해 오프-가스를 생성하고, 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내지 최대 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 포함하고, 및 제2 고정 탄소 농도는 제1 고정 탄소 농도보다 더 큼 -; 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 블렌딩하여 중간 물질을 생성하는 단계; 선택적으로, 첨가제를 중간 물질과 블렌딩하는 단계; 선택적으로, 중간 물질을 건조시키는 단계; 및 중간 물질 또는 이의 열처리된 유도체를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계를 포함한다.
- [0189] 프로세스의 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 열분해되지 않은 바이오매스, 열분해된 바이오매스, 열분해되지 않은 폴리머, 열분해된 폴리머, 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0190] 본 개시의 프로세스는 저 고정 탄소 물질을 제공하는 단계- 저 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 10 wt% 내지 최대 약 55 wt% 고정 탄소의 제1 고정 탄소 농도를 포함함 -; 고 고정 탄소 물질을 제공하는 단계- 고 고정 탄소 물질은 절대 기준으로 적어도 약 50 wt% 내지 최대 약 100 wt%의 고정 탄소의 제2 고정 탄소 농도를 포함하고, 및 제2 고정 탄소 농도는 제1 고정 탄소 농도보다 더 큼 -; 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 블렌딩하여 중간 물질을 생성하는 단계; 선택적으로, 첨가제를 중간 물질과 블렌딩하는 단계; 선택적으로, 중간 물질을 건조시키는 단계; 및 중간 물질 또는 이의 열처리된 유도체를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계를 포함한다.
- [0191] 프로세스의 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질은 열분해되지 않은 바이오매스, 열분해된 바이오매스, 열분해되지 않은 폴리머, 열분해된 폴리머, 또는 이의 조합을 포함한다. 프로세스의 일부 실시예에서, 고 고정 탄소 물질은 열분해된 바이오매스, 석탄, 열분해된 석탄, 코크스, 석유 코크스, 야금 코크스, 활성탄, 카본 블랙, 흑연, 그래핀, 열분해된 폴리머, 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0192] 도 1은 일부 실시예에서 고 고정 탄소 물질, 선택적으로 첨가제(예컨대, 펠릿을 제조하기 위한 결합제)와 블렌딩된 저 고정 탄소 물질을 갖는 바이오카본 조성물을 생산하는 프로세스의 단순화된 블록 흐름도이다. 점선 상자와 선은 각각 선택적 유닛과 스트림을 나타낸다. 도 1에서, 바이오매스는 본 명세서에 설명된 효과적인 열분해 조건에서 동작되는 제1 열분해 반응기에 공급된다. 제1 열분해 반응기는 저 고정 탄소 물질을 생산하도록 구성되고, 이는 입자 크기를 감소시키기 위해 선택적으로 밀링된다. 바이오매스는 또한 본 명세서에 설명된 효과적인 열분해 조건에서 동작되는 제2 열분해 반응기에 공급된다. 제2 열분해 반응기로 공급되는 바이오매스는 제1 열분해 반응기로 공급되는 바이오매스와 동일하거나 상이할 수 있다. 제2 열분해 반응기는 고 고정 탄소 물질을 생산하도록 구성되며, 이는 입자 크기를 감소시키기 위해 선택적으로 밀링된다. 저 고정 탄소 물질 또는 고 고정 탄소 물질의 밀링은 사용되는 경우 스트림을 함께 조합하기 전에, 스트림을 함께 조합하는 것과 동시에, 또는 스트림 조합 다음에 이루어질 수 있다. 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질을 조합(예를 들어, 블렌딩 또는 공동 밀링)하여 도 1에 도시된 aLCF-HFC 조합 시약을 생성한다. LCF-HFC 조합 시약은 선택적으로 펠릿화 유닛 또는 첨가제가 공급되는 다른 유닛으로 운반된다. 대안적으로 또는 추가적으로, LCF-HFC 조합 시약은 LCF-HFC 조합 시약에서 물을 제거하도록 동작되는 건조 유닛에 공급된다. 최종 생성물은 바이오카본 펠릿 또는 분말이다.

- [0193] 도 2는 고 고정 탄소 물질과 블렌딩된 저 고정 탄소 물질을 갖는 바이오카본 조성물을 생산하는 프로세스의 단순화된 블록 흐름도이고, 여기서 저 고정 탄소 물질은 일부 실시예에서는 펠릿 결합제로서 기능한다. 점선 상자와 선은 각각 선택적 유닛과 스트림을 나타낸다. 도 2에서, 바이오매스는 본 명세서에 설명된 효과적인 열분해 조건에서 동작되는 제1 열분해 반응기에 공급된다. 제1 열분해 반응기는 저 고정 탄소 물질을 생산하도록 구성되고, 이는 입자 크기를 감소시키기 위해 선택적으로 밀링된다. 바이오매스는 또한 본 명세서에 설명된 효과적인 열분해 조건에서 동작되는 제2 열분해 반응기에 공급된다. 제2 열분해 반응기로 공급되는 바이오매스는 제1 열분해 반응기로 공급되는 바이오매스와 동일하거나 상이할 수 있다. 제2 열분해 반응기는 고 고정 탄소 물질을 생산하도록 구성되며, 이는 입자 크기를 감소시키기 위해 선택적으로 밀링된다. 저 고정 탄소 물질 또는 고 고정 탄소 물질의 밀링은 사용되는 경우 스트림을 함께 조합하기 전에, 스트림을 함께 조합하는 것과 동시에, 또는 스트림 조합 다음에 이루어질 수 있다. 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질은 모두 펠릿화 유닛에 공급된다. 펠릿화 유닛에서는 저 고정 탄소 물질을 결합제로 사용하여 펠릿을 형성한다. 다른 실시예에서는 별개의 결합제 물질이 또한 펠릿화 유닛에 공급될 수 있다. 선택적으로, 펠릿은 펠릿에서 물을 제거하도록 동작되는 건조 유닛에 공급된다. 최종 생성물은 저 고정 탄소 물질이 펠릿 결합제로서 기능하는 바이오카본 펠릿이다.
- [0194] 본 출원에 개시된 하나 이상의 프로세스 이후에, 예를 들어, 품질 관리를 위해 또는 본 발명의 실시의 증거로서, 주어진 바이오카본 조성물이 균일한 고정 탄소 농도를 갖는 단일 물질을 함유하는 바이오카본 조성물이 아니라, 저 고정 탄소 물질 및 별개의 고 고정 탄소 물질 둘 모두를 함유한다는 것을 입증하기 위해 다양한 잠재적 기술이 이용될 수 있다.
- [0195] 주어진 바이오카본 조성물이 저 고정 탄소 물질과 별개의 고 고정 탄소 물질을 모두 함유한다는 것을 입증하기 위한 한 기술에서, 바이오카본 조성물 테스트 샘플의 연소에 대한 열중량 분석(TGA)이 수행된다. 일부 실시예에서, 결과적인 TGA 열 곡선은 저 고정 탄소 물질 및 고 고정 탄소 물질과 상관되는 별개의 질량 손실 이벤트의 특성인 2개의 피크를 갖는다. 이는 균일한 고정 탄소 농도를 갖는 단일 물질을 함유하는 바이오카본 조성물의 대조 샘플에 대해 비교되어 물질에 대한 하나의 질량 손실 이벤트의 단일 피크 특성을 갖는 TGA 열 곡선을 보여줄 수 있다. 유사한 실시예에서, 테스트 샘플에 대한 TGA 열 곡선은 3개 이상의 피크를 갖는 반면, 대조 샘플에 대한 TGA 열 곡선은 테스트 샘플보다 더 적어도 하나 더 적은 피크를 갖는다.
- [0196] 주어진 바이오카본 조성물이 저 고정 탄소 물질과 별개의 고 고정 탄소 물질을 모두 함유하고 있음을 입증하는 또 다른 기술은 입자 크기 분석이다. 이는 저 고정 탄소 물질 및 고 고정 탄소 물질과 연관된 입자 크기가 다를 때, 또는 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질과 연관된 입자 크기 분포가 다를 때 실행 가능한 접근법이다. 예를 들어, 고 고정 탄소 물질은 저 고정 탄소 물질에 비교하여 입자가 더 큰 경향이 있다. 일부 실시예에서, 균일한 물질의 단일 모드 입자 크기 분포 특성을 갖는 대조 샘플과 대조적으로, 저 고정 탄소 물질 및 고 고정 탄소 물질 양자 모두의 존재로부터 발생하는 이중 모드 입자 크기 분포가 있다. 유사한 실시예에서, 테스트 샘플은 대조 샘플 입자 크기 분포보다 더 적어도 적어도 하나의 모드를 갖는 입자 크기 분포를 가질 수 있다. 예를 들어, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질 각각이 이중 모드 입자 크기 분포(서로 다른 크기에 중심을 둔 피크를 가짐)를 갖고, 대조 샘플이 어떻게 생산되었는지에 따라 대조 샘플도 이중 모드 입자 크기 분포를 갖는 것이 가능하다.
- [0197] 입자 크기는 예를 들어 동적 광산란, 레이저 회절, 이미지 분석, 또는 체 분리를 비롯한 다양한 기술을 통해 측정할 수 있다. 동적 광산란은 전형적으로 서브미크론 구역에서, 그리고, 1 나노미터 이하의 최신 기술을 사용하여 입자의 크기와 크기 분포를 측정하기 위한 비침습적이고 잘 정립된 기술이다. 레이저 회절은 크기가 수백 나노미터에서 최대 수 밀리미터 범위의 물질에 대해 널리 사용되는 입자 크기 확인 기술이다. 입자 크기를 측정하기 위한 예시적인 동적 광산란 기기 및 레이저 회절 기기는 영국 우스터셔 소재 Malvern Instruments Ltd.에서 입수할 수 있다. 입자 크기와 분포를 추정하기 위한 이미지 분석은 현미경사진, 주사 전자 현미경사진 또는 기타 이미지에서 직접 수행될 수 있다. 마지막으로, 체질(sieving)은 입자를 크기별로 분리하는 전통적인 기술이다.
- [0198] 주어진 바이오카본 조성물이 저 고정 탄소 물질과 별개의 고 고정 탄소 물질을 모두 함유하고 있음을 입증하기 위해 대안적으로 또는 추가적으로 이미징 기술이 이용될 수 있다. 이미징 기술은 예를 들어, 광학 현미경; 암시야 현미경; 주사 전자 현미경(SEM); 투과 전자 현미경(TEM); 및 X선 단층촬영(XRT)을 포함하지만 이에 제한되지 않는다. 예를 들어, 균질한 재료가 아닌 블렌드 상태의 별개의 물질을 입증하기 위해 이미징 기술을 사용할 수 있다. 또는, 이미징 기술을 사용하여 추가 분석을 위한 하위 샘플을 선택할 수 있다. 추가 분석은 고정 탄소 함량의 3차원 변동을 보여주기 위한 조성 분석일 수 있다. 추가 분석은 예를 들어 밀도, 입자 크기 또는 반응성과

같은 화학적 또는 물리적 특성의 3차원 변동을 보여주는 속성 분석일 수 있다.

- [0199] 분광학 기술은 주어진 바이오카본 조성물이 저 고정 탄소 물질과 별개의 고 고정 탄소 물질을 모두 함유한다는 것을 입증하기 위해 대안적으로 또는 추가적으로 이용될 수 있다. 분광학 기술은 예를 들어, 에너지 분산 X선 분광학(EDS), X선 형광(XRF), 적외선(IR) 분광학; 및 핵자기공명(NMR) 분광학을 포함하지만, 이에 제한되지 않는다.
- [0200] 일부 실시예는 탄소 기질을 생성하기 위한 바이오매스의 최적화된 열분해, 탄소 기질의 기계적 크기 감소, 그리고 고 탄소 기질을 응집시켜 바이오카본 펠릿을 형성하기 위한 결합제의 사용을 전체로 한다. 탄소 기질은 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 블렌드이거나 이를 함유할 수 있다.
- [0201] 하드그로브 분쇄성 지수("HGI")는 바이오매스 또는 석탄과 같은 물질의 분쇄성의 척도이다. 석탄의 HGI 파라미터는 석탄이 미분화되어 부유 상태로 연소되는 미분탄 보일러와 같은 발전 응용과, 미분탄이 랜스를 통해 블래스트 노에 주입되는- 미분탄은 코크스를 대체하여 철광석을 금속성 철로 환원시킬 수 있음 - 미분탄 주입과 같은 제철에서 중요하다.
- [0202] 일부 실시예에서, 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 비율 및 조성을 변화시키는 것은 HGI의 최적화를 가능하게 한다. 결합제 또는 기타 첨가제의 혼입은 또한 HGI 조절성을 가능하게 할 수 있다.
- [0203] 바이오카본 펠릿을 이용하는 하류 응용(예를 들어, 보일러의 석탄의 대체)에는 다양한 HGI 요건이 있기 때문에 바이오카본 펠릿의 HGI를 조절하는 능력은 유익하다. HGI 조절성은 산업적으로 잘 알려진 문제를 해결한다: 원시 바이오매스의 분쇄의 어려움 및 펠릿 분쇄의 어려움. 더욱이, 바이오카본 펠릿의 하류 용도가 너무 많고 각각 그 고유한 요건이 있기 때문에 펠릿의 분쇄성을 조절할 수 있다는 것은 매우 유리하다. 보일러 연소, 금속 제조 또는 합성 가스 제조를 위한 가스화와 같은 특정 응용에 맞게 HGI를 조절할 수 있는 것이 바람직하다.
- [0204] 많은 응용에서 운송, 보관, 안전성의 이점으로 인해 분말(분리된 바이오매스 입자)에 비해 펠릿이 선호된다. 궁극적으로, 펠릿은 소정 시점에서 다시 분말 또는 적어도 더 작은 물체로 변환되어야 할 필요가 있을 수 있다. 따라서, 펠릿의 분쇄성은 종종 운영 비용과 자본 비용에 영향을 미치는 중요한 파라미터이다.
- [0205] 일부 경우에, 예컨대, 보일러나 가스화기가 유동층이나 탄소 입자의 부유물을 이용하는 경우에 펠릿을 분말로 분쇄하거나 미분화되어야 할 필요가 있다. 또 다른 예는 금속 광석을 금속으로 환원시키기 위해 블래스트 노에 미분화된 탄소를 주입하는 것이다. 이러한 경우, 펠릿의 높은 분쇄성이 바람직하지만 운송 및 취급 중에 펠릿이 분리될 정도로 너무 높으면 안 된다. 다른 경우에, 펠릿 자체를 금속 제조 프로세스와 같은 프로세스에 공급하는 것이 바람직하다. 이러한 경우, 반응기에서 재료 층을 지지하는 데 약간의 펠릿 강도가 필요할 수 있으므로 더 낮은 분쇄성이 바람직할 수 있다. 상이한 기술은 상이한 펠릿 분쇄성 요건을 갖는다.
- [0206] 바이오카본 펠릿의 하드그로브 분쇄성 지수(Hardgrove Grindability Index)는 적어도 30, 적어도 40, 적어도 50, 적어도 60, 적어도 70, 적어도 80, 적어도 90 또는 적어도 100일 수 있다. 일부 실시예에서, 하드그로브 분쇄성 지수는 약 30 내지 약 50 또는 약 50 내지 약 70이다. "Standard Test Method for Grindability of Coal by the Hardgrove-Machine Method"에 대한 ASTM-표준 D 409/D 409M은 본 출원에 그 전체가 참조로서 포함된다. 달리 나타내지 않는 한, 본 개시에서 하드그로브 분쇄성 지수(HGI)에 대한 모든 언급은 ASTM-표준 D 409/D 409M을 참조한 것이다.
- [0207] 다양한 실시예에서, 하드그로브 분쇄성 지수는 모든 중간 범위(예를 들어, 25-40, 30-60 등)를 포함하여, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100이다.
- [0208] 일부 실시예에서, 바이오카본 펠릿은 적어도 80%, 적어도 85%, 적어도 90%, 적어도 95%, 또는 적어도 99%의 펠릿 내구성 지수를 포함한다. 일부 실시예에서, 바이오카본 펠릿은 99% 미만, 95% 미만, 90% 미만, 85% 미만, 또는 80% 미만의 펠릿 내구성 지수를 포함한다. 달리 나타내지 않는 한, 펠릿 내구성 지수에 대한 본 개시의 모든 언급은 ISO 17831-1:2015 "Solid biofuels - Determination of mechanical durability of pellets and briquettes - Part 1: Pellets"을 참조하며, 그 전체 내용은 참조로 본 출원에 포함된다.
- [0209] 본 발명의 일부 실시예에서, 바이오카본 펠릿은 더 작은 물체를 만들기 위한 출발 물질로 이용되며, "펠릿 (pellet)"이 기하형상적 형상을 제한하지 않기 때문에 바이오카본 펠릿으로도 지칭될 수 있다. 예를 들어, 평균

펠릿 직경이 10 mm인 초기 바이오카본 펠릿을 제조할 수 있다. 그 후, 이러한 초기 바이오카본 펠릿은 다양한 기계적 수단(예를 들어, 해머 밀 사용)을 사용하여 파쇄될 수 있다. 파쇄된 펠릿은 예컨대, 스크리닝을 통해 크기에 따라 분리할 수 있다. 이러한 방식으로, 평균 펠릿 직경이 예를 들어 약, 적어도 약, 또는 최대 약 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000 또는 5000 $\mu$ m인 더 작은 바이오카본 펠릿이 생산될 수 있다. 더 작은 바이오카본 펠릿의 평균 펠릿 직경은 결합제와 함께 펠릿을 만드는 데 사용된 초기 탄소 함유 입자의 평균 입자 직경보다 더 클 수 있다.

- [0210] 바이오카본 펠릿을 파쇄하여 더 작은 바이오카본 펠릿을 생성하면, 파쇄(및 선택적으로 스크리닝) 단계는 잠재적으로 산업 용도의 현장에서 비롯하여 다른 프로세스 단계와 통합될 수 있다. 일부 실시예에서, 더 작은 바이오카본 펠릿을 생성하는 것은 파쇄 장치를 이용하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서, 파쇄 장치는 해머 밀, 마모 밀, 디스크 밀, 핀 밀, 볼 밀, 원추 파쇄기, 조오 파쇄기, 암석 파쇄기, 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0211] 다양한 프로세스 실시예에서, 하드그로브 분쇄성 지수는 적어도 40, 적어도 50, 적어도 60, 적어도 70, 적어도 80, 적어도 90 또는 적어도 100이다. 예를 들어, 하드그로브 분쇄성 지수는 약 30 내지 약 50 또는 약 50 내지 약 70일 수 있다.
- [0212] 다양한 프로세스에서, 처리 조건은 모든 중간 범위(예를 들어, 30-60, 33-47 등)를 포함하여, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100의 하드그로브 분쇄성 지수를 갖는 최종 바이오카본 펠릿을 생성하도록 선택되고 최적화된다.
- [0213] 일부 실시예에서, 바이오카본 펠릿은 적어도 약 80%, 적어도 약 90%, 또는 적어도 약 95%의 펠릿 내구성 지수를 포함한다.
- [0214] 일부 실시예에서, 프로세스는 하드그로브 분쇄성 지수를 사전 선택하고, 사전 선택된 하드그로브 분쇄성 지수에 기초하여 처리 조건을 조절하고, 바이오카본 펠릿에 대해 사전 선택된 하드그로브 분쇄성 지수의  $\pm 20\%$  이내를 달성하는 것을 포함하며, 처리 조건을 조절하는 것은 열분해 온도, 열분해 시간, 기계적 처리 조건, 펠릿화 조건, 결합제 유형, 결합제 농도, 결합 조건 및 건조 중 하나 이상을 조절하는 것을 포함한다. 특정 실시예의 프로세스는 바이오카본 펠릿에 대해 사전 선택된 하드그로브 분쇄성 지수의  $\pm 10\%$  이내, 또는  $\pm 5\%$  이내를 달성할 수 있다.
- [0215] 바이오카본 펠릿의 크기와 기하형상은 달라질 수 있다. 본 출원에 사용된 "펠릿"은 느슨한 분말이 아니라 응집된 물체를 의미한다. 펠릿 기하형상은 구형 또는 대략 구형으로 제한되지 않는다. 또한, 본 개시에서 "펠릿 (pellet)"은 "브리켓(briquette)"과 동의어이다. 펠릿 기하형상은 구형(원형 또는 볼 형상), 입방체(정사각형), 팔각형, 육각형, 허니콤/별집 형상, 타원형 형상, 계란 형상, 기둥 형상, 바 형상, 필로우 형상, 무작위 형상 또는 이의 조합일 수 있다. 개시의 편의를 위해, 용어 "펠릿"은 일반적으로 결합제로 응집된 분말을 함유하는 임의의 물체에 사용될 것이다. 또한, 본 발명은 결코 펠릿 형태의 바이오카본 조성물에 제한되지 않는다는 점을 다시 한번 강조한다.
- [0216] 바이오카본 펠릿은 평균 펠릿 직경으로 특징지어질 수 있으며, 이는 구체의 경우 실제 직경이거나 임의의 다른 3D 기하형상의 경우에는 등가 직경이다. 비구형 펠릿의 등가 직경은 실제 펠릿과 등가 체적의 구체의 직경이다. 일부 실시예에서, 평균 펠릿 직경은 모든 중간 범위를 포함하여 약 또는 적어도 약 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 또는 25 mm일 수 있다. 일부 실시예에서, 평균 펠릿 직경은 모든 중간 범위를 포함하여 약 또는 적어도 약 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000 또는 6500  $\mu$ m일 수 있다.
- [0217] 일부 실시예에서, 평균 펠릿 직경의  $\pm 100\%$  미만,  $\pm 50\%$  미만,  $\pm 25\%$  미만,  $\pm 10\%$  미만 또는  $\pm 5\%$  미만의 표준 편차와 같이 크기가 상대적으로 균일한 복수의 바이오카본 펠릿이 있다. 다른 실시예에서는, 광범위한 크기의 바이오카본 펠릿이 존재하며, 이는 일부 응용에서 유리할 수 있기 때문이다.
- [0218] 바이오카본 펠릿에는 습기가 함유되어 있을 수 있다. 바이오카본 펠릿에 존재하는 습기는 탄소나 결합제와 화학적으로 결합된 물, 탄소 또는 결합제에 물리적으로 결합(흡착 또는 흡수)된 물, 탄소 또는 결합제에 화학적으로 또는 물리적으로 결합되지 않은 수성 상으로 존재하는 유리수 또는 이의 조합일 수 있다. 결합 프로세스 동안 습기가 필요할 때, 이러한 습기는 유리수보다는 탄소 및/또는 결합제에 화학적으로 또는 물리적으로 결합되어

있는 것이 바람직하다.

- [0219] 다양한 습기 수준이 존재할 수 있다. 예를 들어, 바이오카본 펠릿은 약 1 wt% 내지 약 30 wt%(예를 들어, 32 wt%)의 습기, 예컨대 약 5 wt% 내지 약 15 wt%의 습기, 약 2 wt% 내지 약 10 wt%의 습기, 또는 약 0.1 wt% 내지 약 1 wt%의 습기를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 바이오카본 펠릿은 약 4 내지 8 wt%의 습기를 함유한다. 다양한 실시예에서, 바이오카본 펠릿은 모든 중간 범위를 포함하여 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 또는 35 wt%의 습기를 포함한다. 바이오카본 펠릿의 습기 수준은 펠릿 내의 치밀도를 달라지게 하도록 최적화될 수 있다.
- [0220] 농업과 같은 일부 시장 응용의 경우 먼지 제어 또는 기타 이유로 더 높은 습기 수준이 바람직하다. 야금과 같은 다른 시장 응용의 경우 습기 수준이 더 낮은 것이 바람직할 수 있다(예를 들어, 습기 1 wt% 이하). 바이오카본 펠릿을 제조하는 프로세스 동안 물이 존재하지만, 이러한 펠릿은 그 후 선택적으로 건조되며, 이는 최종 바이오카본 펠릿에 반드시 습기가 함유되어 있지는 않음을 의미함에 유의한다.
- [0221] 일부 바이오카본 펠릿에서, 바이오카본 펠릿은 약 2 wt% 내지 약 25 wt%의 결합제, 약 5 wt% 내지 약 20 wt%의 결합제, 또는 약 1 wt% 내지 약 5 wt%의 결합제를 포함한다. 다양한 실시예에서, 바이오카본 펠릿은 모든 중간 범위를 포함하여 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 25 또는 30 wt% 결합제를 포함한다. 일부 실시예에서, 습기 함량과 결합제 농도 사이에는 반비례 관계가 있다.
- [0222] 결합제는 바이오카본 펠릿의 생물기원 시약 내에서 공극을 충전할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 결합제는 바이오카본 펠릿의 표면에 배치될 수 있다.
- [0223] 결합제는 유기 결합제 또는 무기 결합제일 수 있다. 일부 실시예에서, 결합제는 재생 가능한 물질이거나 이를 포함한다. 일부 실시예에서, 결합제는 생분해성 물질이거나 생분해성 물질을 포함한다. 일부 실시예에서, 결합제는 부분적으로 산화 및/또는 연소될 수 있다.
- [0224] 일부 실시예에서, 결합제는 전분, 가교 전분, 전분 폴리머, 셀룰로스, 셀룰로스 에테르, 헤미셀룰로스, 메틸셀룰로스, 키토산, 리그닌, 유당, 수크로스, 텍스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 대두 가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미립자, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 농축물, 실리카 흡, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아검, 잔탄검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 씰링, 재활용 타이어 또는 이들의 유도체 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 결합제는 분쇄 가능한 가소제를 포함한다.
- [0225] 일부 실시예에서, 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 기반 폴리머(예를 들어, 아밀로스 및 아밀로펙틴 기반 폴리머), 또는 그 유도체, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 전분은 비이온성 전분, 음이온성 전분, 양이온성 전분, 또는 썬비터이온성 전분을 포함한다.
- [0226] 전분은 가장 풍부한 바이오폴리머 중 하나이다. 이는 완전히 생분해성이고, 저렴하고, 재생 가능하며, 화학적으로 쉽게 변형될 수 있다. 강한 수소 결합과 함께 전분 분자의 순환 구조는 전분에 견고한 구조를 부여하고 고도로 정렬된 결정질 및 과립 구역을 생성한다. 과립 상태의 전분은 일반적으로 열가소성 처리에 적합하지 않다. 열가소성 전분을 획득하기 위해 반결정질 전분 과립은 열적, 기계적 힘에 의해 분해될 수 있다. 순수한 전분의 용점은 그 분해온도보다 상당히 더 높기 때문에, 물 및/또는 글리콜과 같은 가소제를 첨가할 수 있다. 자연적인 결정성은 그 후 상승된 온도에서의 격렬한 혼합(전단)에 의해 파괴될 수 있으며, 이는 열가소성 전분을 산출한다. 전분은 물, 글리세롤 또는 소르비톨과 같은 전분 히드록실 기 그룹과 수소 결합할 수 있는 상대적으로 낮은 수준의 분자에 의해 가소화(탈구조화)될 수 있다.
- [0227] 열가소성 전분은 화학적으로 변형되거나 및/또는 다른 바이오폴리머와 블렌딩되어 더 강하고, 더 연성이 있고, 탄력성이 있는 바이오플라스틱을 생산할 수 있다. 예를 들어, 전분은 폴리락트산, 폴리카프로락톤 또는 폴리히드록시부티레이트와 같은 천연 및 합성(생분해성) 폴리에스테르와 블렌딩될 수 있다. 전분/폴리에스테르 블렌드의 상용성을 개선하기 위해 폴리(에틸렌-코-비닐 알콜) 및/또는 폴리비닐 알콜과 같은 적절한 상용화제를 첨가할 수 있다. 전분의 친수성 히드록실 기(-OH)는 예컨대, 에스테르화나 에테르화를 통해 소수성(반응성)기로 대체될 수 있다.
- [0228] 일부 실시예에서, 전분 함유 결합제는 가교 전분이거나 이를 포함한다. 전분을 가교시키는 다양한 방법이 본 기

술 분야에 알려져 있다. 전분 물질은 예를 들어 수성 매질에 용해 또는 분산시킨 후 산성 또는 알칼리성 조건 하에서 가교결합될 수 있다. 알데히드(예를 들어, 글루타르알데히드 또는 포름알데히드)가 전분을 가교시키는 데 사용될 수 있다.

- [0229] 가교 전분의 한 예는 전분과 글리세롤 또는 다른 폴리올, 예컨대(그러나 이에 제한되지 않음), 에틸렌 글리콜, 프로필렌 글리콜, 글리세롤, 부탄디올, 부탄트리올, 에리트리톨, 자일리톨, 소르비톨 또는 이의 조합의 반응 생성물이다. 반응 생성물은 산, 예컨대(그러나, 이에 제한되지 않음) 포름산, 아세트산, 젖산, 시트르산, 옥살산, 우론산, 글루쿠론산, 또는 이의 조합에 의해 촉매되는 가교 반응으로부터 형성될 수 있다. 황산과 같은 무기산도 가교 반응을 촉진하는 데 이용될 수 있다. 일부 실시예에서, 열가소화 및/또는 가교 반응 생성물은 염기, 예컨대(그러나 이에 제한되지 않음), 암모니아 또는 붕산나트륨에 의해 대신 촉매되는 가교 반응으로부터 형성될 수 있다.
- [0230] 일부 실시예에서, 결합제는 방수 결합제이도록 설계된다. 예를 들어, 전분의 경우 친수성 그룹은 물에 더 잘 견디는 소수성 그룹으로 대체될 수 있다.
- [0231] 일부 실시예에서, 결합제는 예컨대(그러나 이에 제한되지 않음), 바이오카본 펠릿의 물 보유, 미생물의 먹이 소스 등의 다른 목적으로 사용된다.
- [0232] 일부 실시예에서, 결합제는 결합제가 없는 그 외에는 동등한 바이오카본 펠릿과 비교하여 바이오카본 펠릿의 반응성을 감소시킨다. 반응성은 열 반응성 또는 화학 반응성(또는 양자 모두)을 의미할 수 있다.
- [0233] 열 반응성의 경우, 바이오카본 펠릿은 결합제가 없는 그 외에는 동등한 바이오카본 펠릿에 비교하여 자체 발열이 더 낮을 수 있다. "자체 발열(Self-heating)"은 어떠한 외부 발화도 없이 비교적 낮은 온도와 산화성 분위기에서 바이오카본 펠릿이 자발적 발열 반응을 일으켜 바이오카본 펠릿의 내부 온도의 상승을 야기하는 것을 의미한다.
- [0234] 화학 반응성은 산소, 물, 수소, 일산화탄소, 금속(예를 들어, 철) 또는 이의 조합과의 반응성일 수 있다. 화학 반응성은 예를 들어 CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, 열분해 오일 및 열에 대한 반응과 연관될 수 있다.
- [0235] 선택적으로, 바이오카본 펠릿은 무기 벤토나이트 점토, 석회석, 전분, 셀룰로스, 리그닌 또는 아크릴아미드와 같은 하나 이상의 첨가제(반드시 결합제는 아님)를 포함한다. 리그닌을 결합제 또는 기타 첨가제로 사용하는 경우, 리그닌은 열분해 프로세스에 사용된 것과 동일한 바이오매스 공급원료에서 획득될 수 있다. 예를 들어, 출발 바이오매스 공급원료에 리그닌 추출 단계가 적용되어 결합제 또는 첨가제로 사용하기 위해 소정 양의 리그닌을 제거할 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이, 저 고정 탄소 물질, 고 고정 탄소 물질, 또는 이들 양자 모두는 임의의 첨가제를 함유할 수 있다.
- [0236] 다른 가능한 첨가제로는 무기 염화물, 무기 불화물 또는 석회화 같은 용제를 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 산, 염기 또는 그 염을 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 금속, 금속 산화물, 금속 수산화물, 금속 할로겐화물, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 실리콘, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 할로겐화철, 염화철, 브롬화철, 백운석, 백운석 석회, 플로라이트, 형석, 벤토나이트, 산화칼슘, 석회, 또는 이의 조합을 포함한다. 첨가제는 수확 전 또는 후에 언제든지 공급원료 자체를 포함하여 프로세스의 임의의 하나 이상의 단계 이전, 도중 또는 후에 첨가될 수 있다.
- [0237] 본 출원에 개시된 바이오카본 펠릿은 다양한 하류 용도를 가지고 있다. 바이오카본 펠릿은 저장, 판매, 운송 및 다른 생성물로 변환될 수 있다. 바이오카본 펠릿은 보일러에서 사용하기 위해 미분화되어 탄소를 연소하고 전기적 에너지 및/또는 열을 생성할 수 있다. 바이오카본 펠릿은 금속 제조의 블래스트 노와 같은 노에 공급하기 위해 미분화, 파쇄 또는 밀링될 수 있다. 바이오카본 펠릿은 금속 제조의 테크노어드 노와 같은 노에 직접 공급될 수 있다. 바이오카본 펠릿은 바이오카본 펠릿으로부터 합성 가스를 제조하기 위한 목적으로 가스화기에 공급하기 위해 미분화, 파쇄 또는 밀링될 수 있다.
- [0238] 많은 실시예에서, 바이오카본 펠릿은 직접적으로 또는 미분화, 파쇄, 밀링 또는 달리 입자 크기를 감소시키는 단계 이후에 노에 공급된다. 노는 블래스트 노, 상단 가스 재활용 블래스트 노, 고로, 반사로(공기로서도 알려짐), 도가니로, 머플링 노, 레토르트 노, 플래시 노, 테크노어드 노, Ausmelt 노, ISASMELT 노, 퍼들링 노, 보기 노상로, 연속 체인 노, 푸셔로, 회전 노상로, 워킹 빔 노, 전기 아크로, 유도로, 순산소 전로, 퍼들링 노, Bessemer 노, 직접 환원 금속 노, 또는 이의 조합이나 파생물일 수 있다.

- [0239] 바이오카본 펠릿의 하드그로브 분쇄성 지수와 무관하게 나중에 반드시 분쇄 프로세스가 적용되는 것은 아님을 유의한다. 예를 들어, 바이오카본 펠릿은 농업 응용에 직접 사용될 수 있다. 또 다른 예로서, 바이오카본 펠릿은 조경 벽과 같은 가공된 구조에 직접 포함될 수 있다. 바이오카본 펠릿을 함유하는 구조의 수명 종료시, 그 후, 펠릿을 분쇄, 연소, 가스화하거나 또는 달리 재사용 또는 재활용할 수 있다.
- [0240] 열분해 프로세스 및 시스템
- [0241] 저 고정 탄소 물질 및/또는 고 고정 탄소 물질을 생성하기 위해 바이오매스 공급원료를 열분해하는 데 적절한 프로세스 및 시스템이 이제 더 자세히 설명될 것이다. 본 출원에서 "바이오카본 시약(biocarbon reagent)"에 대한 언급은 다양한 경우에 (a) 일부 경우에 저 고정 탄소 물질 또는 (b) 고 고정 탄소 물질 또는 (c) 처리 조건 및 생성물 특성에 따라 저 고정 탄소 물질 및 고 고정 탄소 물질의 블렌드를 함유하는 바이오카본 조성물에 대한 언급으로 이해될 것이다. 마찬가지로, 열분해 반응기(또는 반응)에 대한 설명은 일부 경우에 특히 저 고정 탄소 물질을 생성하기 위한 반응기(또는 반응) 및 일부 경우에 특히 고 고정 탄소 물질을 생성하기 위한 반응기(또는 반응)에 대한 언급으로 이해될 것이다. 달리 언급하지 않는 한, 바이오카본 시약의 용도(상업적 응용)에 대한 설명은 전형적으로 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 블렌드를 함유하는 바이오카본 조성물에 관한 것이다.
- [0242] "열분해(pyrolysis)" 및 "열분해하다(pyrolyze)"는 일반적으로 탄소질 물질의 열분해를 의미한다. 열분해에서는 물질의 완전 연소에 필요한 산소보다 더 적은, 예컨대, 완전 연소에 필요한 산소(O<sub>2</sub> 물 기준)의 10%, 5%, 1%, 0.5%, 0.1% 또는 0.01% 미만이 존재한다. 일부 실시예에서, 열분해는 산소 없이 수행된다.
- [0243] 열분해 중에 발생할 수 있는 예시적인 변화는 다음 중 임의의 것을 포함한다: (i) 열원으로부터의 열 전달이 공급원료 내부 온도를 증가시킴; (ii) 이 더 높은 온도에서 1차 열분해 반응이 시작되면 휘발성 물질이 방출되고 숯이 형성됨; (iii) 더 저온인 고체를 향한 고온 휘발성 물질의 유동은 고온 휘발성 물질과 더 저온인 열분해되지 않은 공급원료 사이의 열 전달을 초래함; (iv) 공급원료의 더 저온인 부분에서 일부 휘발성 물질의 응축과 그 이후의 2차 반응으로 타르가 생성될 수 있음; (v) 자가촉매적 2차 열분해 반응이 진행되는 동안, 동시에 1차 열분해 반응이 경쟁적으로 발생함; 및 (vi) 체류 시간, 온도 및 압력 프로파일의 함수로서 추가적인 열분해, 개질, 수성 가스 전환 반응, 자유 라디칼 재결합 및/또는 탈수가 또한 발생할 수 있음.
- [0244] 열분해는 출발 공급원료(예를 들어, 리그노셀룰로스 바이오매스)를 적어도 부분적으로 탈수할 수 있다. 다양한 실시예에서, 열분해는 출발 공급원료로부터 물의 약 50%, 75%, 90%, 95%, 99% 이상을 초과하여 제거한다.
- [0245] 일부 실시예에서, 출발 바이오매스 공급원료는 침엽수 칩, 경목 칩, 목재 수확 잔류물, 나뭇가지, 나무 그루터기, 잎, 나무껍질, 톱밥, 옥수수, 옥수수대, 밀, 밀짚, 벼, 볏짚, 사탕수수, 사탕수수 버캐스, 사탕수수 짚, 예너지 수수, 사탕무, 사탕무 펄프, 해바라기, 수수, 캐놀라, 조류, 역새, 알팔파, 스위치그래스, 과일, 과일 각피, 과병, 과일 껍질, 과일 씨, 채소, 채소 각피, 채소 줄기, 채소 껍질, 채소 씨, 포도 경석, 아몬드 각피, 피칸 각피, 코코넛 각피, 커피 찌꺼기, 음식물 쓰레기, 상업 폐기물, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 종이 펄프, 종이 포장, 종이 자투리, 식품 포장, 건설 및/또는 철거 폐기물, 리그닌, 동물 분뇨, 도시 고형 폐기물, 도시 하수 또는 이의 조합을 포함한다. 바이오매스 공급원료는 적어도 탄소, 수소 및 산소를 포함한다.
- [0246] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 적어도 약 50 wt%, 적어도 약 75 wt%, 또는 적어도 약 90 wt%의 총 탄소를 포함한다. 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 중간 값을 포함하여 약 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 또는 99 wt%의 탄소를 포함한다. 총 탄소는 고정 탄소와 휘발성 물질에 존재하는 비고정 탄소를 더한 것이다. 일부 실시예에서, 컴포넌트 중량 백분율은 절대 기준이며, 달리 언급되지 않는 한, 그렇게 가정된다. 다른 실시예에서, 컴포넌트 중량 백분율은 무수분 및 무회분 기준이다. 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질의 조성에 대해서는 위에서 자세히 설명하였다.
- [0247] 열분해 조건은 생물기원 시약 및 열분해 오프-가스에 대한 원하는 조성, 출발 공급원료, 반응기 구성 및 기타 요인에 따라 광범위하게 달라질 수 있다.
- [0248] 일부 실시예에서, 다수의 반응기 구역은 공급원료 변동 및 생성물 요건에 대한 유연성과 조절성을 유지하면서 열분해로부터 탄소 수율 및 생성물 품질을 최적화하는 방식으로 설계 및 동작된다.
- [0249] 일부 비제한적 실시예에서, 온도 및 체류 시간은 비교적 느린 열분해 화학을 달성하도록 선택될 수 있다. 이점은 잠재적으로 바이오매스 구조에 함유된 세포벽의 상당한 보존이며, 이는 최종 생성물이 출발 바이오매스의 형상과 강도의 일부, 대부분 또는 전부를 유지할 수 있음을 의미한다. 이러한 잠재적 이점을 최대화하기 위해, 세

포벽을 기계적으로 파괴하지 않거나 또는 달리 바이오매스 입자를 작은 미립자로 변환하지 않는 장치를 이용하는 것이 바람직하다. 바람직한 반응기 구성은 아래 프로세스 설명 이후에 설명된다.

- [0250] 추가적으로, 공급원료가 목재 칩이나 펠릿과 같은 밀링 또는 크기 조정된 공급원료인 경우, 공급원료를 주의 깊게 밀링 또는 크기 조정하는 것이 바람직할 수 있다. 주의 깊은 초기 처리는 천연 공급원료 소스(예를 들어, 나무)에 존재하는 강도와 세포벽 무결성을 보존하는 경향이 있다. 이는 또한 최종 생성물이 출발 바이오매스의 형상과 강도의 일부, 대부분 또는 전부를 유지해야 하는 경우에 중요할 수 있다.
- [0251] 일부 실시예에서, 열분해 반응기의 제1 구역은 바이오매스에 "충격(shock)"을 주지 않는 방식으로 바이오매스(또는 다른 탄소 함유 공급원료)를 공급하기 위해 구성되며, 이러한 충격은 세포벽을 파괴시키고, 고체 상의 증기와 기체로의 빠른 분해를 개시한다. 이 제1 구역은 약한 열분해로 고려될 수 있다.
- [0252] 일부 실시예에서, 열분해 반응기의 제2 구역은 예열된 바이오매스가 열분해 화학을 거쳐 기체 및 응축성 증기를 방출하고 고탄소 반응 중간체인 상당한 양의 고체 물질을 남기는 1차 반응 구역으로 구성된다. 바이오매스 성분(주로 셀룰로스, 헤미셀룰로스, 리그닌)은 분해되어 증기를 생성하며, 증기는 공극을 관통하거나 새로운 나노공극을 생성하여 빠져나간다. 후자의 효과는 다공성과 표면적의 생성에 기여한다.
- [0253] 일부 실시예에서, 열분해 반응기의 제3 구역은 고탄소 반응 중간체를 수용하고 고체를 다소 냉각시키기 위해 구성된다. 전형적으로, 제3 구역은 제2 구역보다 온도가 더 낮다. 제3 구역에서는 화학과 물질 수송이 놀라울 정도로 복잡할 수 있다. 임의의 특정 이론이나 제안된 메커니즘에 제한되지 않고, 2차 반응이 제3 구역에서 발생할 수 있다고 여겨진다. 본질적으로, 기체 상에 있는 탄소 함유 성분은 분해되고 및/또는 추가적인 고정 탄소를 형성하거나 탄소에 흡착될 수 있다. 따라서, 최종 탄소질 물질은 단순히 처리 단계의 휘발성 물질이 제거된 고체 잔류물이 아닐 수 있으며 오히려, 예컨대, 탄소를 형성할 수 있는 유기 증기(예를 들어, 타르)의 분해에 의해 기체 상으로부터 침착된 추가 탄소를 포함할 수 있다.
- [0254] 특정 실시예는 냉각된 탄소가 탄소 함유 중을 포함하는 환경에 적용되어 최종 생성물의 탄소 함량을 개선시키는 별개의 유닛을 포함함으로써 추가적인 탄소 형성의 개념을 확장한다. 이 유닛의 온도가 열분해 온도보다 더 낮을 때, 추가 탄소는 추가 고정 탄소가 아닌 흡착된 탄소질 중의 형태일 것으로 예상된다.
- [0255] 임의의 특정 구역에 존재하는 하나 이상의 상의 중간 입력 및 출력(퍼지 또는 프로브) 스트림, 다양한 질량 및 에너지 재순환 계획, 프로세스 어디에서나 도입될 수 있는 다양한 첨가제, 생성물 분포를 맞춤화하기 위한 반응 및 분리 조건을 모두 포함하는 처리 조건의 조절성 등에 대한 많은 수의 옵션이 존재한다. 구역별 입력 및 출력 스트림은 예컨대, FTIR 샘플링 및 동적 프로세스 조절을 통해 우수한 프로세스 모니터링 및 제어가 가능하다.
- [0256] 일부 실시예에서는 빠른 열분해를 사용하지 않고, 일부 실시예에서는 느린 열분해를 사용하지 않는다. 매우 높은 분율의 고정 탄소를 갖는 조성물을 포함하는 놀라울 정도로 고품질 탄소 물질이 개시된 프로세스 및 시스템으로부터 획득될 수 있다.
- [0257] 일부 실시예에서, 생물기원 시약을 생산하기 위한 열분해 프로세스는 다음 단계를 포함한다:
- [0258] (a) 바이오매스를 포함하는 탄소 함유 공급원료를 제공하는 단계;
- [0259] (b) 선택적으로 공급원료를 건조하여 공급원료 내에 함유된 습기의 적어도 일부를 제거하는 단계;
- [0260] (c) 선택적으로 공급원료에 함유된 격자간 산소(있는 경우)의 적어도 일부를 제거하기 위해 공급원료를 탈기하는 단계;
- [0261] (d) 실질적으로 불활성 기체 상의 존재 하에 약 250°C 내지 약 700°C에서 선택된 적어도 하나의 온도에서 적어도 10분 동안 공급원료를 열분해하여 고온 열분해 고체, 응축성 증기 및 비응축성 기체를 생성하는 단계;
- [0262] (e) 고온 열분해 고체로부터 응축성 증기의 적어도 일부와 비응축성 기체의 적어도 일부를 분리하는 단계;
- [0263] (f) 고온 열분해 고체를 냉각하여 냉각된 열분해 고체를 생성하는 단계; 및
- [0264] (g) 냉각된 열분해 고체의 적어도 일부를 포함하는 생물기원 시약을 회수하는 단계.
- [0265] 본 개시의 목적상 "바이오매스(biomass)"는 임의의 생물기원 공급원료 또는 생물기원 공급원료와 비생물기원 공급원료의 혼합물로 해석되어야 한다. 기본적으로, 바이오매스는 적어도 탄소, 수소, 및 산소를 포함한다. 본 발명의 방법 및 장치는 다양한 유형, 크기 및 습기 함량의 광범위한 공급원료를 수용할 수 있다.
- [0266] 바이오매스는 예를 들어 식물 및 식물 유래 물질, 초목, 농업 폐기물, 임업 폐기물, 목재 폐기물, 종이 폐기물,

동물 유래 폐기물, 가금류 유래 폐기물 및 도시 고품 폐기물을 포함한다. 바이오매스를 이용하는 본 발명의 다양한 실시예에서, 바이오매스 공급원료는 다음으로부터 선택된 하나 이상의 물질을 포함할 수 있다: 목재 수확 잔류물, 침엽수 칩, 경목 칩, 나뭇가지, 나무 그루터기, 옹이, 잎, 나무껍질, 톱밥, 오프-스펙 종이 펄프, 셀룰로스, 옥수수, 옥수수대, 밀짚, 벧짚, 사탕수수 버캐스, 스위치그래스, 억새, 동물 분뇨, 도시 찌꺼기, 도시 하수, 상업 폐, 포도 경석, 아몬드 각피, 피칸 각피, 코코넛 각피, 커피 찌꺼기, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 탄수화물, 플라스틱, 및 천. 본 기술 분야의 숙련자는 공급원료 옵션이 사실상 무제한이라는 것을 쉽게 이해할 것이다.

[0267] 본 발명은 또한 화석 연료(예를 들어, 석탄 또는 석유 코크스), 또는 바이오매스와 화석 연료의 임의의 혼합물(예컨대, 바이오매스/석탄 블렌드)과 같은 바이오매스 이외의 탄소 함유 공급원료에 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 생물기원 공급원료는 석탄, 오일 셰일, 원유, 아스팔트, 또는 원유 처리로부터의 고체(예컨대, 페트코크)이거나 이를 포함한다. 공급원료는 폐 타이어, 재활용 플라스틱, 재활용 종이, 건설 폐기물, 해체 폐기물 및 기타 폐기물 또는 재활용 재료를 포함할 수 있다. 의심의 여지 없이, 본 출원에 설명된 임의의 방법, 장치 또는 시스템은 임의의 탄소질 공급원료와 함께 사용될 수 있다. 탄소 함유 공급원료는 트럭, 기차, 선박, 바지선, 트랙터 트레일러 또는 임의의 다른 차량이나 운송 수단과 같은 알려진 임의의 수단으로 운송될 수 있다.

[0268] 특정 공급원료 또는 공급원료들의 선택은 기술적으로 중요한 것으로 고려되지 않으며, 경제적인 프로세스에 유리한 경향의 방식으로 수행된다. 전형적으로, 선택된 공급원료에 무관하게 (일부 실시예에서는) 바람직하지 않은 물질을 제거하기 위한 스크리닝이 이루어질 수 있다. 공급원료는 처리 전에 선택적으로 건조될 수 있다.

[0269] 사용되는 공급원료는 다양한 입자 크기 또는 형상으로 제공되거나 가공될 수 있다. 예를 들어, 공급 물질은 미세한 분말일 수 있거나 미세한 입자와 거친 입자의 혼합물일 수 있다. 공급 물질은 목재 칩 또는 다른 형태의 목재(예를 들어, 원형, 원통형, 정사각형 등)와 같은 큰 단편의 물질의 형태일 수 있다. 일부 실시예에서, 공급 물질은 함께 가압되거나 또는 달리 결합된, 예컨대, 결합제로 결합된 펠릿 또는 다른 응집 형태의 입자를 포함한다.

[0270] 크기 감소는 비용이 많이 들고 에너지 집약적인 프로세스라는 점에 유의한다. 열분해된 물질은 훨씬 더 적은 에너지 투입으로 크기를 조절할 수 있으며, 즉, 공급원료가 아닌 생성물의 입자 크기를 감소시키는 것이 바람직할 수 있다. 이는 프로세스가 미세한 출발 물질을 요구하지 않고, 처리 동안 반드시 임의의 상당한 입자 크기 감소가 이루어지는 것은 아니기 때문에 본 발명의 옵션이다. 공급원료의 매우 큰 단편을 처리할 수 있는 능력은 본 발명의 중요한 경제적 이점이다. 특히, 고탄소 생성물의 일부 시장 응용은 실제로 큰 크기(예를 들어, 센티미터 정도)를 요구하므로 일부 실시예에서는 큰 단편이 공급, 생산 및 판매된다.

[0271] 실린더 형태와 같이 구조적 무결성을 갖는 최종 탄소질 생물기원 시약을 생산하는 것이 바람직할 경우, 본 발명에 관련하여 적어도 2개의 옵션이 있다. 먼저, 프로세스에서 생산된 재료를 수집한 다음 기계적으로 원하는 형태로 추가 처리할 수 있다. 예를 들어, 생성물은 결합제를 사용하여 가압되거나 펠릿화할 수 있다. 두 번째 옵션은 일반적으로 최종 생성물에 대해 원하는 크기 및/또는 형상을 소유하는 공급 물질을 이용하고 공급 물질의 기본 구조를 파괴하지 않는 처리 단계를 사용하는 것이다. 일부 실시예에서, 공급물과 생성물은 구형, 실린더 또는 입방체와 같은 유사한 기하학적 형상을 갖는다.

[0272] 프로세스 전체에 걸쳐 공급 물질의 대략적인 크기를 유지하는 능력은 생성물 강도가 중요할 때 유익하다. 또한, 이는 고 고정 탄소 물질을 펠릿화하는 데 따른 어려움과 비용을 방지한다.

[0273] 이해할 수 있는 바와 같이, 출발 공급 물질은 다양한 습기 수준을 가질 수 있다. 일부 실시예에서, 공급 물질은 이미 충분히 건조되어 열분해 전에 추가로 건조될 필요가 없을 수 있다. 전형적으로, 일반적으로 습기를 함유하는 상업적인 바이오매스 소스를 이용하고 열분해 반응기에 도입하기 전에 건조 단계를 통해 바이오매스를 공급하는 것이 바람직할 것이다. 그러나, 일부 실시예에서는 건조된 공급원료가 이용될 수 있다.

[0274] 일반적으로, 열분해 반응기에 비교적 저산소 환경, 예컨대, 약 또는 최대 약 10몰%, 5몰%, 4몰%, 3몰%, 2몰%, 1.5몰%, 1 몰%, 0.5 몰%, 0.2 몰%, 0.1 몰%, 0.05 몰%, 0.02 몰% 또는 0.01 몰%의 O<sub>2</sub>를 기체 상으로 제공하는 것이 바람직하다. 첫째, 안전 상의 이유로 열분해 반응기에서는 제어되지 않은 연소를 피해야 한다. CO<sub>2</sub>로의 총 탄소 산화가 소정 양으로 발생할 수 있으며, 발열 산화에서 방출된 열은 흡열 열분해 화학을 보조할 수 있다. 합성 가스로의 부분 산화를 비롯한 많은 양의 탄소 산화는 고체로의 탄소 수율을 감소시킨다.

[0275] 실질적으로 말하면, 반응기에서 엄격하게 무산소 환경을 달성하는 것은 어려울 수 있다. 이 제한에 접근할 수는

있으며, 일부 실시예에서 반응기에는 기체 상의 분자 산소가 실질적으로 없다. 열분해 반응기에 산소가 거의 또는 전혀 존재하지 않는 것을 보장하기 위해, 공급 물질이 반응기에 도입되기 전에 공급 물질로부터 공기를 제거하는 것이 바람직할 수 있다. 공급원료의 공기를 제거하거나 감소시키는 다양한 방식이 있다.

[0276] 일부 실시예에서, 흡착된 산소를 제거하고 공급원료 공극을 관통하여 공극으로부터 산소를 제거할 수 있는 또 다른 가스의 존재하에 건조 전 또는 후에 공급원료가 운반되는 탈기 유닛이 이용된다. 본질적으로 O<sub>2</sub>가 21vol% 미만인 임의의 가스를 다양한 효과로 사용할 수 있다. 일부 실시예에서, 질소가 사용된다. 일부 실시예에서, CO 및/또는 CO<sub>2</sub>가 사용된다. 질소와 소량의 산소의 혼합물과 같은 혼합물을 사용할 수 있다. 탈기 가스에 스팀이 존재할 수 있지만 공급물에 상당한 습기를 다시 추가하는 것은 피해야 한다. 탈기 유닛의 유출물은 (대기 또는 배출 처리 유닛으로) 퍼지되거나 재순환될 수 있다.

[0277] 원론적으로, 탈기 유닛으로부터의 유출물(또는 그 일부)은 고체로부터 제거된 산소가 이제 고도로 희석될 것이기 때문에 이는 열분해 반응기 자체로 도입될 수 있다. 이 실시예에서, 역류 구성으로 동작할 때, 탈기 유출 가스를 반응기의 마지막 구역에 도입하는 것이 유리할 수 있다.

[0278] 다양한 유형의 탈기 유닛을 사용할 수 있다. 건조를 수행할 경우, 존재하는 습기로부터 가용성 산소를 제거하는 것은 비효율적일 수 있으므로 건조한 다음 탈기하는 것이 바람직할 수 있다. 특정 실시예에서, 건조 단계와 탈기 단계가 단일 유닛으로 조합되거나, 또는 건조 중에 소정 양의 탈기가 달성되는 등이다.

[0279] 선택적으로 건조되고 선택적으로 탈기된 공급 물질은 열분해 반응기 또는 다수의 반응기에 직렬 또는 병렬로 도입된다. 공급 물질은 예를 들어 스크류 공급기 또는 로킹 호퍼를 포함한 임의의 알려진 수단을 사용하여 도입될 수 있다. 일부 실시예에서, 재료 공급 시스템은 에어 나이프를 포함한다.

[0280] 단일 반응기를 사용하는 경우, 다수의 구역이 존재할 수 있다. 2개, 3개, 4개 이상의 구역과 같은 다수의 구역을 사용하는 것은 전체 프로세스 성능을 조절하기 위해 온도, 고체 체류 시간, 가스 체류 시간, 기체 조성, 유동 패턴 및/또는 압력을 별도로 제어할 수 있게 한다.

[0281] "구역(zones)"에 대한 언급은 단일 물리적 유닛, 물리적으로 분리된 유닛 또는 그 임의의 조합 내의 공간 구역을 포함하는 것으로 광범위하게 해석된다. 연속 반응기의 경우 구역의 경계는 반응기 내의 플레이트 또는 별개의 구역에 열을 제공하기 위한 별개의 가열 요소의 존재와 같은 구조와 관련될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 연속 반응기에서 구역의 경계는 별개의 온도, 유체 유동 패턴, 고체 유동 패턴, 반응 정도 등과 같은 기능과 관련될 수 있다. 단일 회분식 반응기에서 "구역"은 공간이 아닌 시간에 따른 동작 체제이다. 다수의 회분식 반응기를 사용할 수도 있다.

[0282] 한 구역에서 다른 구역으로의 급격한 전이가 반드시 필요한 것은 아니라는 점을 이해할 것이다. 예를 들어, 예열 구역과 열분해 구역 사이의 경계는 다소 임의적일 수 있고; 소정 양의 열분해가 예열 구역의 일부에서 발생할 수 있고, 소정 양의 "예열(preheating)"이 열분해 구역에서 계속해서 발생할 수 있다. 반응기 내의 온도 프로파일은 반응기 내의 구역 경계를 포함하여 전형적으로 연속적이다.

[0283] 일부 실시예에서는 예열 및/또는 약한 열분해 조건 하에서 동작되는 제1 구역을 사용한다. 제1 구역의 온도는 약 150°C 내지 약 500°C, 예컨대, 약 300°C 내지 약 400°C에서 선택될 수 있다. 제1 구역의 온도는 바이오매스 물질에 충격을 주어 세포벽을 파열하고 고체 상이 증기와 기체로 신속하게 분해되도록 할 정도로 높지 않는다.

[0284] 본 명세서에서 구역 온도에 대한 모든 언급은 존재하는 벌크 고체, 기체 상 또는 반응기 벽(프로세스 측)에 적용될 수 있는 온도를 포함하도록 비제한적인 방식으로 해석되어야 한다. 각각의 구역에는 축방향 및 반경방향 둘 모두뿐만 아니라 시간적으로(즉, 시동 이후 또는 과도 현상으로 인해) 온도 구배가 있다는 것을 이해할 것이다. 따라서, 구역 온도에 대한 언급은 실제 동역학에 영향을 미칠 수 있는 평균 온도 또는 기타 유효 온도에 대한 언급일 수 있다. 온도는 열전대나 기타 온도 프로브로 직접 측정할 수 있거나 또는 다른 수단으로 간접적으로 측정하거나 추정할 수 있다.

[0285] 제2 구역, 또는 일반적으로 1차 열분해 구역은 열분해 또는 탄화 조건 하에서 동작된다. 제2 구역의 온도는 약 250°C 내지 약 700°C, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C, 600°C 또는 650°C에서 선택될 수 있다. 이 구역 내에서 예열된 바이오매스는 열분해 화학을 거쳐 기체와 응축 가능한 증기를 방출하고 고탄소 반응 중간체로서 상당한 양의 고체 물질을 남긴다. 바이오매스 성분(주로 셀룰로스, 헤미셀룰로스, 리그닌)은 분해되어 증기를 생성하며, 증기는 공극을 관통하거나 새로운 공극을 생성하여 빠져나간다. 바람직한 온도는 적어도 제2 구역의 체류 시간뿐만 아니라 공급원료의 특성 및 원하는 생성물 특성에 따라

달라질 것이다.

- [0286] 제3 구역 또는 냉각 구역은 고탄소 반응 중간체를 다양한 정도로 냉각하기 위해 동작된다. 최소한 제3 구역의 온도는 제2 구역의 온도보다 더 낮아야 한다. 제3 구역의 온도는 약 100℃ 내지 약 550℃, 예컨대, 약 150℃ 내지 약 350℃에서 선택될 수 있다.
- [0287] 냉각 구역에서는 화학 반응이 계속해서 발생할 수 있다. 임의의 특정 이론에 제한되지 않고, 2차 열분해 반응은 제3 구역에서 개시될 수 있는 것으로 여겨진다. 기체 상의 탄소 함유 성분은 응축될 수 있다(제3 구역의 온도 감소로 인해). 그러나, 온도는 응축된 액체로부터 추가적인 고정 탄소를 형성할 수 있는 반응(2차 열분해)을 촉진하거나 적어도 흡착된 종과 고정 탄소 사이의 결합을 형성할 수 있을 만큼 충분히 높게 유지된다. 발생할 수 있는 한 가지 예시적인 반응은 일산화탄소를 이산화탄소와 고정 탄소로 변환시키는 Boudouard 반응이다.
- [0288] 반응기 구역의 체류 시간은 달라질 수 있다. 시간과 온도의 상호작용이 있으며, 따라서, 원하는 양의 열분해에 대해 더 높은 온도는 더 낮은 반응 시간을 가능하게 할 수 있으며, 그 반대의 경우도 마찬가지이다. 연속 반응기(구역)에서의 체류 시간은 체적을 체적 유량으로 나눈 값이다. 회분식 반응기에서의 체류 시간은 반응 온도까지 가열한 이후의 회분식 반응 시간이다.
- [0289] 다상 반응기에서는 다중적인 체류 시간이 있다는 점을 인식해야 한다. 본 문맥에서, 각각의 구역에는 고체 상과 증기 상 둘 모두의 체류 시간(및 체류 시간 분포)이 있다. 다수의 구역을 이용하고 주어진 처리량을 갖는 주어진 장치의 경우, 구역에 걸친 체류 시간은 일반적으로 고체측에서 결합되지만, 다수의 입구 및 출구 포트가 개별 구역에서 이용되는 경우 체류 시간은 증기측에서 분리될 수 있다. 고체 및 증기 체류 시간은 분리되어 있다.
- [0290] 예열 구역의 고체 체류 시간은 약 10, 20, 30, 40 또는 50분과 같이 약 5분 내지 약 60분 중에서 선택될 수 있다. 온도에 따라 바이오매스가 원하는 예열 온도에 도달할 수 있게 하기 위해 충분한 시간이 필요하다. 입자 유형과 크기, 물리적 장치, 가열 파라미터에 따라 달라지는 열 전달 속도는 고체가 원하는 예열 온도에 도달하게 하는 데 필요한 최소 체류 시간을 결정한다. 예열 구역에서 소정 양의 약한 열분해를 의도하지 않는 한 추가 시간은 더 높은 자본 비용에 기여하므로 바람직하지 않을 수 있다.
- [0291] 열분해 구역의 고체 체류 시간은 약 10분 내지 약 120분, 예컨대 약 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 또는 100분 중에서 선택될 수 있다. 이 구역의 열분해 온도에 따라 필요한 열 전달 이후 탄화 화학이 발생할 수 있게 하기에 충분한 시간이 있어야 한다. 약 10분 미만의 시간 동안 많은 양의 비탄소 요소를 제거하기 위해서, 온도는 예컨대, 700℃를 초과하는 것 같이 매우 높아야 할 필요가 있다. 이 온도는 빠른 열분해를 촉진하고 탄소 자체에서 유도된 증기 및 기체의 생성을 촉진하며, 이는 의도된 생성물이 고체 탄소인 경우 피해야 한다.
- [0292] 정적 시스템에서, 특정 시간에 실질적으로 도달할 수 있는 평형 변환이 존재할 것이다. 특정 실시예에서와 같이 증기가 연속적인 휘발성 물질 제거와 함께 고체 위로 연속적으로 유동하는 경우, 반응 속도가 0에 접근할 때까지 열분해 및 탈휘발화가 계속되게 하도록 평형 제약 조건이 제거될 수 있다. 더 긴 시간은 남아 있는 처리가 어려운 고체를 실질적으로 변경하지 않는 경향이 있다.
- [0293] 냉각 구역의 고체 체류 시간은 약 5분 내지 약 60분, 예컨대, 약 10, 20, 30, 40 또는 50분에서 선택될 수 있다. 이 구역의 냉각 온도에 따라 탄소 고체가 원하는 온도로 냉각될 수 있게 하기에 충분한 시간이 있어야 한다. 냉각 속도와 온도는 탄소가 냉각되게 하는 데 필요한 최소 체류 시간을 결정한다. 소정 양의 2차 열분해가 필요하지 않는 한 추가 시간은 바람직하지 않을 수 있다.
- [0294] 앞서 설명한 바와 같이, 증기 상의 체류 시간은 별도로 선택되고 제어될 수 있다. 예열 구역의 증기 체류 시간은 약 0.1분 내지 약 15분, 예컨대 약 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 또는 10분 중에서 선택될 수 있다. 열분해 구역의 증기 체류 시간은 약 0.1분 내지 약 20분, 예컨대 약 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15분 중에서 선택될 수 있다. 냉각 구역의 증기 체류 시간은 약 0.1분 내지 약 15분, 예컨대 약 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 또는 10분 중에서 선택될 수 있다. 증기 체류 시간이 더 짧을수록 시스템으로부터 휘발성 물질의 신속한 스윕핑을 촉진하는 반면 증기 체류 시간이 더 길수록 증기 상 성분과 고체 상 성분의 반응이 촉진된다.
- [0295] 반응기 및 전체 시스템의 동작 모드는 연속식, 반연속식, 회분식 또는 그 임의의 조합이나 변형일 수 있다. 일부 실시예에서, 반응기는 고체와 증기가 실질적으로 반대 방향으로 유동하는 연속적인 역류 반응기이다. 반응기는 또한 회분식으로 동작될 수 있지만 배치 용기로부터 기체 상을 주기적으로 도입하고 제거하는 것과 같이 증기의 시뮬레이션된 역류 유동을 사용하여 동작될 수 있다.

- [0296] 다양한 유동 패턴이 바람직하거나 관찰될 수 있다. 다수의 반응기 구역의 다수의 상을 수반하는 화학 반응 및 동시 분리를 통해 유체 역학은 상당히 복잡할 수 있다. 전형적으로, 고체의 유동은 플러그 유동(반경방향 차원에서 잘 혼합됨)에 접근할 수 있는 반면 증기 유동은 완전히 혼합된 유동(반경방향 및 축 차원 모두에서의 빠른 수송)에 접근할 수 있다. 증기에 대한 다수의 입구 및 출구 포트가 전체 혼합에 기여할 수 있다.
- [0297] 각각의 구역의 압력을 별도로 선택하고 제어할 수 있다. 각각의 구역의 압력은 약 1kPa 내지 약 3000kPa, 예컨대, 약 101.3kPa(정상 대기압)에서 독립적으로 선택될 수 있다. 대기압 미만의 구역 압력이 필요할 때 가스를 인출하기 위한 진공 포트를 포함하여 다수의 가스 입구 및 출구를 사용할 때, 독립적인 구역 압력 제어가 가능하다.
- [0298] 일부 실시예에서, 프로세스는 대기압에서 편리하게 동작될 수 있다. 기계적 단순성부터 개선된 안전성까지 범위의, 대기압에서의 동작과 연관된 많은 이점이 있다. 특정 실시예에서, 열분해 구역은 약 90kPa, 95kPa, 100kPa, 101kPa, 102kPa, 105kPa, 또는 110kPa(절대 압력)의 압력에서 동작된다.
- [0299] 진공 동작(예를 들어, 10-100kPa)은 시스템으로부터의 휘발성 물질의 신속한 스윙핑을 촉진한다. 오프-가스를 고압 동작에 공급할 경우, 더 높은 압력(예를 들어, 100-1000kPa)이 유용할 수 있다. 상승된 압력은 열 전달, 화학 또는 분리를 촉진하는 데에도 유용할 수 있다.
- [0300] 고온 열분해 고체로부터 응축성 증기의 적어도 일부와 비응축성 기체의 적어도 일부를 분리하는 단계는 반응기 자체에서 또는 별개의 분리 유닛을 사용하여 달성될 수 있다. 실질적으로 불활성인 스윙프 가스가 하나 이상의 구역에 도입될 수 있다. 응축성 증기 및 비응축성 가스는 그 후 스윙프 가스의 구역(들)으로부터 반응기 밖으로 운반된다.
- [0301] 일부 실시예에서, 스윙프 가스는 N<sub>2</sub>, Ar, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, 기타 경질 탄화수소 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 스윙프 가스는 도입 전에 예열되거나, 또는 가열된 소스에서 획득한 경우 냉각된다.
- [0302] 스윙프 가스는 휘발성 성분이 응축되거나 추가로 반응할 수 있기 전에 시스템으로부터 이들을 꺼냄으로써, 휘발성 성분을 더욱 철저히 제거된다. 스윙프 가스는 주어진 프로세스 온도에서 단순히 기화만으로 획득할 수 있는 것보다 더 높은 속도로 휘발성 물질을 제거할 수 있게 한다. 또는, 스윙프 가스의 사용은 더 온화한 온도를 사용하여 특정 양의 휘발성 물질을 제거할 수 있게 한다. 스윙프 가스가 휘발성 물질 제거를 개선시키는 이유는 분리 메커니즘이 단순히 상대적인 휘발성이 아니라 스윙프 가스에 의해 보조되는 액체/증기 상 분리이기 때문이다. 스윙프 가스는 기화의 물질 전달 제한을 감소시킬 뿐만 아니라 주어진 휘발성 증을 지속적으로 고갈시켜 더 많은 양의 휘발성 증을 증발하게 하여 열역학적 평형을 달성함으로써 열역학적 제한을 감소시키는 둘 모두를 수행할 수 있다.
- [0303] 일부 실시예에서는 고 고정 탄소 생성물을 생산하기 위해 후속 처리 스테이지에서 휘발성 유기 탄소가 포함된 가스를 제거한다. 제거하지 않으면, 휘발성 탄소가 열분해 고체에 흡착 또는 흡수될 수 있고, 이에 의해, 바람직할 수 있는 더 순수한 형태의 탄소를 달성하기 위해 추가 에너지(비용)가 필요하다. 증기를 신속하게 제거함으로써, 또한, 열분해 고체의 다공성이 개선될 수 있다고 추측된다. 일부 생성물의 경우 다공성이 더 높은 것이 바람직하다.
- [0304] 특정 실시예에서, 대기압과 같은 상대적으로 낮은 프로세스 압력과 함께 스윙프 가스는 필요한 많은 양의 불활성 가스 없이도 신속한 증기 제거를 제공한다.
- [0305] 일부 실시예에서, 스윙프 가스는 공급원료의 유동 방향과 역류 유동한다. 다른 실시예에서, 스윙프 가스는 공급원료의 유동 방향과 병류 유동한다. 일부 실시예에서, 고체의 유동 패턴은 플러그 유동에 접근하는 반면, 스윙프 가스 및 기체 상의 유동 패턴은 일반적으로 하나 이상의 구역에서 완전히 혼합된 유동에 접근한다.
- [0306] 스윙프는 어느 하나 이상의 반응기 구역에서 수행될 수 있다. 일부 실시예에서, 스윙프 가스는 냉각 구역으로 도입되고 냉각 및/또는 열분해 구역으로부터 (생성된 휘발성 물질과 함께) 추출된다. 일부 실시예에서, 스윙프 가스는 열분해 구역으로 도입되고 열분해 및/또는 예열 구역으로부터 추출된다. 일부 실시예에서, 스윙프 가스는 예열 구역으로 도입되고 열분해 구역으로부터 추출된다. 이들 또는 다른 실시예에서, 스윙프 가스는 각각의 예열, 열분해 및 냉각 구역으로 도입될 수 있고 또한 각각의 구역으로부터 추출될 수 있다.
- [0307] 일부 실시예에서, 분리가 수행되는 구역 또는 구역은 반응기와 물리적으로 분리된 유닛이다. 원하는 경우, 분리 유닛 또는 구역은 반응기 구역 사이에 배치될 수 있다. 예를 들어, 열분해 유닛과 냉각 유닛 사이에 분리 유닛

을 배치할 수 있다.

- [0308] 스윙프 가스는 특히, 고체 유동이 연속적인 경우 연속적으로 도입될 수 있다. 열분해 반응이 회분식 프로세스로 동작되는 경우, 스윙프 가스는 특정 양의 시간이 이후 또는 주기적으로 도입되어 휘발성 물질을 제거할 수 있다. 열분해 반응이 연속적으로 동작되는 경우에도, 스윙프 가스는 원하는 경우 적절한 밸브 및 제어 장치를 사용하여 반연속적으로 또는 주기적으로 도입될 수 있다.
- [0309] 휘발성 물질 함유 스윙프 가스는 하나 이상의 반응기 구역으로부터 배출될 수 있으며, 다수의 구역에서 획득한 경우 조합될 수 있다. 다양한 증기를 함유하는 생성된 가스 스트림은 그 후 대기 배출 제어를 위해 열 산화기로 공급될 수 있다. 임의의 알려진 열산화 유닛이 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 열 산화기에는 천연 가스와 공기가 공급되어 그 안에 함유된 휘발성 물질을 실질적으로 파괴하기에 충분한 온도에 도달한다.
- [0310] 열 산화기의 유출물은 물, 이산화탄소 및 질소를 포함하는 고온 가스 스트림이 된다. 원하는 경우, 이 유출 스트림은 대기 배출로 직접 퍼지될 수 있다. 열 산화기 유출물의 에너지 함량은 예컨대, 폐열 회수 유닛에서 회수될 수 있다. 또한, 에너지 함량은 다른 스트림(예컨대, 스윙프 가스)과의 열 교환을 통해 회수될 수 있다. 에너지 함량은 건조기나 반응기와 같은 프로세스 내 다른 곳의 유닛을 직접 또는 간접적으로 가열하거나 가열을 보조함으로써 이용될 수 있다. 일부 실시예에서, 본질적으로 모든 열 산화기 유출물은 건조기의 간접 가열(유틸리티측)을 위해 사용된다. 열 산화기는 천연 가스 이외의 다른 연료를 사용할 수 있다.
- [0311] 탄소질 물질의 수율은 공급원료의 유형, 처리 조건을 비롯한 앞서 설명한 요인에 따라 달라질 수 있다. 일부 실시예에서, 건조 기준으로 출발 공급원료의 백분율로서 고체의 순 수율은 적어도 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50% 이상이다. 나머지는 테르펜, 타르, 알콜, 산, 알데히드 또는 케톤과 같은 응축성 증기와; 일산화탄소, 수소, 이산화탄소, 메탄과 같은 비응축성 가스 사이에서 분할될 것이다. 비응축성 가스와 비교한 응축성 증기의 상대적인 양은 또한 존재하는 물을 비롯한 처리 조건에 따라 달라진다.
- [0312] 탄소 균형의 관점에서, 일부 실시예에서 공급원료 중 출발 탄소의 백분율로서 탄소의 순 수율은 적어도 25%, 30%, 40%, 50%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80% 이상이다. 예를 들어, 일부 실시예에서 탄소질 물질은 출발 공급원료에 함유된 탄소의 약 40% 내지 약 70%를 함유한다. 나머지 탄소는 다양한 범위에서 메탄, 일산화탄소, 이산화탄소, 경질 탄화수소, 방향족 화합물, 타르, 테르펜, 알콜, 산, 알데히드 또는 케톤의 형성을 초래한다.
- [0313] 대안 실시예에서, 이들 분자의 일부 부분은 탄소가 풍부한 고체와 조합되어 생성물의 탄소 및 에너지 함량을 풍부하게 한다. 이러한 실시예에서, 다양한 증기를 함유하는 반응기로부터 생성된 가스 스트림의 일부 또는 전부는 적어도 부분적으로 응축될 수 있고, 이어서 냉각 구역 및/또는 별개의 냉각 유닛으로부터 유래된 냉각된 열 분해 고체 위로 통과될 수 있다. 이러한 실시예는 아래에서 더 구체적으로 설명된다.
- [0314] 냉각 구역(존재하는 경우) 내에서 반응 및 냉각 이후에 탄소질 고체가 별개의 냉각 유닛으로 도입될 수 있다. 일부 실시예에서, 고체가 수집되고 단순히 느린 속도로 냉각되도록 허용된다. 탄소질 고체가 공기 중에서 반응성이 있거나 불안정한 경우, 불활성 분위기를 유지하고/거나 고체를 예를 들어 주위 온도와 같이 40°C 미만의 온도로 신속하게 냉각하는 것이 바람직할 수 있다. 일부 실시예에서, 신속한 냉각을 위해 물 담금질이 사용된다. 일부 실시예에서, 유동층 냉각기가 사용된다. "냉각 유닛(cooling unit)"은 컨테이너, 탱크, 파이프 또는 그 일부도 포함하도록 넓게 해석되어야 한다.
- [0315] 일부 실시예에서, 프로세스는 냉각 유닛을 동작하여 따뜻한 열분해 고체를 스팀으로 냉각함으로써 저온인 열분해 고체 및 과열 스팀을 생성하는 단계를 더 포함하고; 건조는 냉각 유닛으로부터 유래된 과열 스팀을 사용하여 적어도 부분적으로 수행된다. 선택적으로, 냉각 유닛은 먼저 따뜻한 열분해 고체를 스팀으로 냉각하여 제1 냉각 유닛 온도에 도달한 다음 공기를 사용하여 제2 냉각 유닛 온도에 도달하도록 동작될 수 있으며, 제2 냉각 유닛 온도는 제1 냉각 유닛 온도보다 더 낮고 공기 존재 하에서 따뜻한 열분해 고체에 대한 연소 위험 감소와 연관되어 있다.
- [0316] 주변 조건으로 냉각한 이후, 탄소질 고체는 회수 및 저장되거나, 다른 현장 동작으로 운반되거나, 다른 현장으로 운송되거나, 또는 달리 처분, 거래 또는 판매될 수 있다. 입자 크기를 감소시키기 위해 고체를 유닛에 공급할 수 있다. 파쇄기, 슈레더, 분쇄기, 미분화기, 체트 밀, 핀 밀 및 볼 밀을 포함하는 다양한 크기 감소 유닛이 본 기술 분야에 알려져 있다.
- [0317] 입자 크기에 기초한 분리를 위해 스크리닝 또는 소정의 다른 수단이 포함될 수 있다. 분쇄는, 존재하는 경우, 분쇄의 상류 또는 하류일 수 있다. 스크리닝된 재료의 일부(예를 들어, 대형 청크)는 분쇄 유닛으로 되돌아갈 수 있다. 작은 입자와 큰 입자가 별개의 하류 용도를 위해 회수될 수 있다. 일부 실시예에서, 냉각된 열분해 고

체는 미분화된 탄소 또는 활성탄 생성물과 같은 미세한 분말로 분쇄된다.

- [0318] 본 출원에 개시된 임의의 단계 이전, 도중, 또는 후에 프로세스 전체에 걸쳐 다양한 첨가제가 도입될 수 있다. 첨가제는 원하는 탄소 순도를 달성하기 위해 탄소 수율 또는 열분해 시간/온도와 같은 프로세스 성능을 개선하기 위해 선택되는 프로세스 첨가제; 및 생물기원 시약 또는 시약을 포함하는 하류 생성물의 하나 이상의 특성을 개선하기 위해 선택된 생성물 첨가제로 넓게 분류될 수 있다. 특정 첨가제는 개선된 프로세스 및 생성물(생물기원 시약 또는 생물기원 시약을 함유한 생성물) 특성을 제공할 수 있다.
- [0319] 첨가제는 수확 전 또는 후에 언제든지 공급원료 자체를 포함하여 프로세스의 임의의 하나 이상의 단계 이전, 도중 또는 후에 첨가될 수 있다. 첨가제 처리는 공급원료 크기 조절, 건조 또는 기타 준비 이전, 도중 또는 후에 통합될 수 있다. 첨가제는 공급원료 공급 시설, 수송 트럭, 양하 장비, 보관함, 컨베이어(개방형 또는 폐쇄형 컨베이어 포함), 건조기, 프로세스 가열기 또는 임의의 다른 유닛에 또는 그 상에서 혼합될 수 있다. 첨가제를 도입하기 위한 적절한 수단을 사용하여 열분해 프로세스 자체의 어디에서나 첨가제를 첨가할 수 있다. 원하는 경우, 탄화 후 또는 미분화 후에도 첨가제를 첨가할 수 있다.
- [0320] 일부 실시예에서, 첨가제는 금속, 금속 산화물, 금속 수산화물, 또는 이의 조합으로부터 선택된다. 예를 들어, 첨가제는 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 실리콘, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 산화마그네슘, 백운석, 백운석 석회, 플로라이트, 형석, 벤토나이트, 산화칼슘, 석회 및 이의 조합으로부터 선택될 수 있지만, 이에 제한되지 않는다.
- [0321] 일부 실시예에서, 첨가제는 산, 염기 또는 그 염으로부터 선택된다. 예를 들어, 첨가제는 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 또는 이의 조합으로부터 선택될 수 있지만, 이에 제한되지는 않는다.
- [0322] 일부 실시예에서, 첨가제는 금속 할로겐화물로부터 선택된다. 금속 할로겐화물은 금속과 할로젠(불소, 염소, 브롬, 요오드 및 아스타틴) 사이의 분자이다. 할로젠은 금속과 함께 많은 분자를 형성할 수 있다. 금속 할로겐화물은 일반적으로 기본 금속염과 할로겐화수소산을 직접 조합하거나 또는 더 일반적으로는 중화하여 획득된다. 일부 실시예에서, 첨가제는 염화철( $FeCl_2$  및/또는  $FeCl_3$ ), 브롬화철( $FeBr_2$  및/또는  $FeBr_3$ ), 또는 이의 수화물, 및 이의 임의의 조합)로부터 선택된다.
- [0323] 첨가제를 사용하면 더 높은 에너지 함량(에너지 밀도)을 갖는 최종 생성물이 생성될 수 있다. 에너지 함량의 증가는 총 탄소, 고정 탄소, 휘발성 탄소 또는 심지어 수소의 증가로 인해 발생할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 에너지 함량의 증가는 불연성 물질 또는 탄소보다 에너지 밀도가 더 낮은 물질의 제거로 인해 발생할 수 있다. 일부 실시예에서, 첨가제는 고체 및 기체 형성에 유리하게, 또는 고체 형성에 유리하게 액체 형성 정도를 감소시킨다.
- [0324] 임의의 특정 가설에 제한되지 않고, 첨가제는 출발 바이오매스 또는 열분해 전에 처리된 바이오매스를 화학적으로 변형하여 더 큰 강도/무결성을 위해 세포벽의 파괴를 감소시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 첨가제는 열분해 전에 바이오매스 공급원료의 고정 탄소 함량을 증가시킬 수 있다.
- [0325] 첨가제는 항복 강도, 압축 강도, 인장 강도, 피로 강도, 충격 강도, 탄성 계수, 체적 계수 또는 전단 계수와 같은 기계적 특성이 개선된 생물기원 시약을 생성할 수 있다. 첨가제는 단순히 존재함으로써(예를 들어, 첨가제 자체가 혼합물에 강도를 부여함), 또는 첨가제 상 또는 생성된 혼합물 내에서 발생하는 일부 변형으로 인해 기계적 특성을 개선시킬 수 있다. 예를 들어, 첨가제를 포함하는 생물기원 시약의 일부 내에서 유리화와 같은 반응이 발생하여 최종 강도가 개선될 수 있다.
- [0326] 화학 첨가제는 습식 또는 건식 바이오매스 공급원료에 적용될 수 있다. 첨가제는 고체 분말, 분사, 미스트, 액체 또는 증기로 적용될 수 있다. 일부 실시예에서, 첨가제는 액체 용액(예컨대, 수용액 또는 용매 중의)을 분무하는 것을 통해, 또는, 탱크, 통, 백 또는 기타 컨테이너에 침지시킴으로써, 도입될 수 있다.
- [0327] 특정 실시예에서, 고체 공급원료가 고체 공급 물질 내로 첨가제가 침투하도록 허용하기에 충분한 시간 동안 회전식으로 또는 연속적으로 첨가제를 포함하는조에 액침시키는 액침 전처리가 사용된다.
- [0328] 일부 실시예에서, 공급원료에 적용되는 첨가제는 열분해에 대한 에너지 요건을 감소시키고/거나 탄소질 생성물의 수율을 증가시킬 수 있다. 이들 또는 다른 실시예에서, 공급원료에 적용된 첨가제는 탄소질 생성물의 의도된 용도에 바람직한 기능을 제공할 수 있다.

- [0329] 처리량 또는 프로세스 용량은 임의의 파일럿, 실증 또는 준상업 규모를 비롯하여, 소규모 실험실 규모 단위부터 전체 운용까지 광범위하게 달라질 수 있다. 다양한 실시예에서, 프로세스 용량(공급원료, 생성물 또는 양자 모두에 대해)은 적어도 약 1kg/일, 10kg/일, 100kg/일, 1톤/일(모든 톤수는 미터톤임), 10톤/일, 100톤/일, 500톤/일, 1000톤/일, 2000톤/일 이상이다.
- [0330] 일부 실시예에서, 생성된 고체의 일부는 프로세스의 프론트엔드, 즉, 건조 또는 탈기 유닛으로 또는 반응기로 직접 재순환될 수 있다. 프론트엔드로 복귀하여, 프로세스를 다시 통과하면 처리된 고체의 고정 탄소 함량이 더 높아질 수 있다. 프로세스 내에서 생성되거나 존재하는 고체, 액체 및 가스 스트림은 독립적으로 재활용되거나, 후속 단계로 전달되거나, 임의의 지점에서 프로세스에서 제거/폐지될 수 있다.
- [0331] 일부 실시예에서, 열분해된 물질은 회수된 다음 추가 열분해를 위해 별개의 유닛으로 공급되어 더 높은 탄소 순도를 갖는 생성물을 생성한다(예를 들어, 저 고정 탄소 물질의 고 고정 탄소 물질로의 변환). 일부 실시예에서, 2차 프로세스는 가열된 불활성 가스(예컨대, 가열된 N<sub>2</sub>)가 통과하는 강철 드럼과 같은 간단한 컨테이너에서 수행될 수 있다. 이 목적에 유용한 다른 컨테이너에는 프로세스 탱크, 배럴, 통, 토트, 자루 및 롤오프가 포함된다. 예를 들어, 휘발성 물질이 포함된 이 2차 스위프 가스는 열 산화기로 진송되거나 다시 주 프로세스 반응기로 진송될 수 있다. 최종 생성물을 냉각하기 위해, 예를 들어 초기에 주위 온도에 있는 또 다른 불활성 가스 스트림이 고체를 통과하여 고체를 냉각한 다음 불활성 가스 예열 시스템으로 되돌아갈 수 있다.
- [0332] 본 발명의 일부 변형에는 다음을 포함하는 생물기원 시약 생산 시스템을 이용한다:
- [0333] (a) 탄소 함유 공급원료를 도입하도록 구성된 공급기;
- [0334] (b) 탄소 함유 공급원료 내에 함유된 습기를 제거하도록 구성된, 공급기와 동작 가능하게 연통하여 배치된 선택적인 건조기;
- [0335] (c) 건조기와 동작 가능하게 연통하여 배치된 다중 구역 반응기- 다중 구역 반응기는 공간적으로 분리된 냉각 구역과 동작 가능하게 연통하여 배치된 적어도 열분해 구역을 함유하고, 다중 구역 반응기는 고체로부터 응축성 증기 및 비응축성 가스를 제거하기 위한 출구를 갖도록 구성됨 -;
- [0336] (d) 다중 구역 반응기와 동작 가능하게 연통하여 배치된 고체 냉각기; 및
- [0337] (e) 고체 냉각기와 동작 가능하게 연통하여 배치된 생물기원 시약 회수 유닛.
- [0338] 일부 변형에서는 다음을 포함하는 생물기원 시약 생산 시스템을 이용한다.
- [0339] (a) 탄소 함유 공급원료를 도입하도록 구성된 공급기;
- [0340] (b) 탄소 함유 공급원료 내에 함유된 습기를 제거하도록 구성된, 공급기와 동작 가능하게 연통하여 배치된 선택적인 건조기;
- [0341] (c) 공급원료를 가열 및/또는 약하게 열분해하도록 구성된, 건조기와 동작 가능하게 연통하여 배치된 선택적인 예열기;
- [0342] (d) 예열기와 동작 가능하게 연통하여 배치되고, 공급원료를 열분해하도록 구성된 열분해 반응기;
- [0343] (e) 열분해 반응기와 동작 가능하게 연통하여 배치되고, 열분해 고체를 냉각하도록 구성된 냉각기; 및
- [0344] (f) 냉각기와 동작 가능하게 연통하여 배치된 생물기원 시약 회수 유닛-
- [0345] 시스템은 고체로부터 응축성 증기 및 비응축성 가스를 제거하기 위한 적어도 하나의 가스 출구를 갖도록 구성됨 -.
- [0346] 공급기는 공급 고체를 제1 반응 구역에 도입하기 위해, 예컨대, 스크류 공급기 또는 오거 메커니즘을 사용하여 다중 구역 반응기와 물리적으로 통합될 수 있다.
- [0347] 일부 실시예에서, 시스템은 열분해 구역과 동작 가능하게 연통하여 배치된 예열 구역을 더 포함한다. 열분해 구역, 냉각 구역 및 예열 구역(존재)은 각각 단일 유닛 내에 위치할 수 있거나, 또는 별개의 유닛에 위치할 수 있다.
- [0348] 선택적으로, 건조기는 다중 구역 반응기 내의 건조 구역으로 구성될 수 있다. 선택적으로, 고체 냉각기는 다중 구역 반응기 내에 배치될 수 있다(즉, 추가 냉각 구역으로 구성되거나 주 냉각 구역과 통합됨).

- [0349] 시스템은 시스템으로부터 산소를 제거하기 위한 퍼지 수단을 포함할 수 있다. 예를 들어, 퍼지 수단은 실질적으로 불활성 가스를 도입하기 위한 하나 이상의 입구와 시스템으로부터 실질적으로 불활성 가스 및 대체된 산소를 제거하기 위한 하나 이상의 출구를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 퍼지 수단은 건조기와 다중 구역 반응기 사이에 동작 가능하게 연통하여 배치된 탈기기이다.
- [0350] 다중 구역 반응기는 적어도 제1 가스 입구와 제1 가스 출구를 갖도록 구성될 수 있다. 제1 가스 입구와 제1 가스 출구는 서로 다른 구역 또는 동일한 구역과 연통되어 배치될 수 있다.
- [0351] 일부 실시예에서, 다중 구역 반응기는 제2 가스 입구 및/또는 제2 가스 출구를 갖도록 구성된다. 일부 실시예에서, 다중 구역 반응기는 제3 가스 입구 및/또는 제3 가스 출구를 갖도록 구성된다. 일부 실시예에서, 다중 구역 반응기는 제4 가스 입구 및/또는 제4 가스 출구를 갖도록 구성된다. 일부 실시예에서, 다중 구역 반응기에 존재하는 각각의 구역은 가스 입구와 가스 출구를 갖도록 구성된다.
- [0352] 가스 입구 및 출구는 증기의 도입 및 인출을 허용할 뿐만 아니라, 가스 출구(프로브)는 특히 프로세스의 모든 스테이지까지, 그리고, 잠재적으로는 프로세스의 모든 스테이지를 포함하여, 프로세스의 다양한 스테이지에 걸친 정확한 프로세스 모니터링 및 제어를 허용한다. 정확한 프로세스 모니터링은 동작 이력이 처리 조건을 조절하기 위해 이용될 수 있을 때, 시간 기간에 걸쳐, 그리고, 동적으로, 둘 모두에서 수율 및 효율 개선을 유발할 것으로 예상된다.
- [0353] 바람직한 실시예에서, 반응 가스 프로브는 열분해 구역과 동작 가능하게 연통하여 배치된다. 이러한 반응 가스 프로브는 반응 정도, 열분해 선택성 또는 기타 프로세스 모니터링을 결정하기 위해 가스를 추출하고 분석하는데 유용할 수 있다. 그 후, 측정을 기초로, 프로세스는 예컨대, 공급 속도, 불활성 가스 스위프 속도, (하나 이상의 구역의) 온도, (하나 이상의 구역의) 압력 첨가제 등을 조절하는 등에 의해, 임의의 수의 방식으로 프로세스를 제어하거나 조절할 수 있다.
- [0354] 본 출원에서 의도된 바와 같이, 반응 가스 프로브를 통한 "모니터링 및 제어(monitor and control)"는 반응 가스 프로브를 통한 어느 하나 이상의 샘플 추출을 포함하고, 선택적으로, 필요하거나 바람직하다고 고려되는 경우, 프로세스 제어의 잘 알려진 원리(피드백, 피드포워드, 비례-적분-미분 로직 등)를 사용하여 측정에 기초하여 프로세스 또는 장비 조절을 수행하는 것으로 해석되어야 한다.
- [0355] 반응 가스 프로브는 다양한 방식으로 가스 샘플을 인출하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 샘플링 라인은 열분해 반응기 압력보다 더 낮은 압력을 가질 수 있으며, 따라서, 샘플링 라인이 개방되면 소정 양의 가스가 열분해 구역에서 쉽게 인출될 수 있다. 예컨대, 열분해 구역이 대기압에 가까울 때, 샘플링 라인은 진공 하에 있을 수 있다. 전형적으로, 반응 가스 프로브는 하나의 가스 출력 또는 그 일부(예를 들어, 가스 출력 라인에서 분할된 라인)와 연관된다.
- [0356] 일부 실시예에서, 가스 입력 및 가스 출력 양자 모두는 불활성 가스를 구역에 주기적으로 도입하고 프로세스 샘플과 함께 불활성 가스를 가스 출력 밖으로 끌어당김("샘플 스위프(sample sweep)")으로써 반응 가스 프로브로 이용된다. 이러한 배열은 처리를 위한 실질적으로 불활성 가스에 대한 가스 입구/출구를 달리 갖지 않는 구역에서 사용될 수 있거나, 반응 가스 프로브는 프로세스 입구 및 출구 이외의 별개의 가스 입구/출구와 연관될 수 있다. 샘플링을 위해 주기적으로 도입 및 인출되는 샘플링 불활성 가스(샘플 스위프를 이용하는 실시예에서)는 원하는 경우 분석의 정확성 이유로 또는 분석적 추적자를 도입하기 위해 심지어 프로세스 불활성 가스와 상이할 수 있다.
- [0357] 예를 들어, 열분해 구역의 기체 상 내 아세트산 농도가 샘플을 추출하기 위해 가스 프로브를 사용하여 측정될 수 있으며, 샘플은 그 후, 적절한 기술(예컨대, 가스 크로마토그래피, GC; 질량분광법, MS; GC-MS 또는 푸리에 변환 적외선 분광법(FTIR))을 사용하여 분석된다. 예를 들어, 기체 상의 CO 및/또는 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하여 기체/증기를 향한 열분해 선택성을 나타내는 지표로 사용할 수 있다. 예를 들어, 기체 상의 터펜 농도는 액체를 향한 열분해 선택성을 나타내는 지표로 측정 및 사용될 수 있다.
- [0358] 일부 실시예에서, 시스템은 냉각 구역, 건조 구역(존재하는 경우) 또는 예열 구역(존재하는 경우)과 동작 가능하게 연통되도록 배치된 적어도 하나의 추가 가스 프로브를 더 포함한다.
- [0359] 예를 들어, 냉각 구역용 가스 프로브는 냉각 구역에서 발생하는 임의의 추가 화학 작용의 정도를 결정하는 데 유용할 수 있다. 냉각 구역의 가스 프로브는 (예를 들어, 냉각 구역에 배치된 열전대에 추가로) 독립적인 온도 측정으로도 유용할 수 있다. 이 독립적인 측정은 냉각 온도와 특정 종의 측정된 양의 상관 관계를 나타낼 수 있

다. 상관 관계는 별도로 개발될 수 있거나 소정 기간의 프로세스 운영 후에 정립될 수 있다.

- [0360] 건조 구역용 가스 프로브는 예를 들어 물 함량을 측정하여 건조 정도를 결정하는 데 유용할 수 있다. 예를 들어, 예열 구역의 가스 프로브는 임의의 약한 열분해가 발생하는 정도를 결정하는 데 유용할 수 있다.
- [0361] 특정 실시예에서, 냉각 구역은 가스 입구를 갖도록 구성되며, 열분해 구역은 고체 상에 대해 기체 상의 실질적 역류 유동을 발생시키기 위한 가스 출구를 갖도록 구성된다. 대안적으로 또는 추가적으로, 예열 구역(존재하는 경우)은 고체 상에 대해 기체 상의 실질적 역류 유동을 생성하기 위해 가스 출구를 갖도록 구성될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 건조 구역은 실질적으로 역류 유동을 생성하기 위해 가스 출구를 갖도록 구성될 수 있다.
- [0362] 열분해 반응기 또는 반응기는 열분해 프로세스를 수행할 수 있는 임의의 적절한 반응기 구성으로부터 선택될 수 있다. 예시적인 반응기 구성에는 고정층 반응기, 유동층 반응기, 동반 유동 반응기, 오거, 절제 반응기, 회전 원추, 회전 드럼 가마, 하소기, 로스터, 이동층 반응기, 수송층 반응기, 절제 반응기, 회전 원추 또는 마이크로 파 보조 열분해 반응기가 포함되지만 이에 제한되지 않는다.
- [0363] 오거가 사용되는 일부 실시예에서는 모래 또는 다른 열 운반체가 선택적으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 공급 원료와 모래가 스크류의 일 단부로 공급될 수 있다. 스크류는 모래와 공급원료를 혼합하여 반응기를 통해 이들을 전달한다. 스크류는 공급원료 체류 시간에 대한 우수한 제어를 제공할 수 있으며 열분해된 생성물을 운반체나 유동화 가스로 회석하지 않는다. 모래는 별개의 용기에서 재가열될 수 있다.
- [0364] 절제 프로세스가 사용되는 일부 실시예에서, 공급원료는 고온 금속 표면에 대해 고속으로 이동한다. 표면에 형성되는 임의의 숯을 제거하면 높은 열 전달 속도를 유지할 수 있다. 이러한 장치는 생성물의 회석을 방지할 수 있다. 대안적으로, 공급원료 입자는 운반 가스에 현탁되어 벽이 가열된 사이클론을 통해 고속으로 도입될 수 있다.
- [0365] 유동층 반응기가 사용되는 일부 실시예에서, 공급원료는 가스에 의해 유동화되는 고온 모래층으로 도입될 수 있고, 이러한 가스는 전형적으로 재순환된 생성물 가스이다. 본 출원에서 "모래(sand)"에 대한 언급은 또한 예컨대, 유리 입자, 회수된 회분 입자 등과 유사하고 실질적으로 불활성인 물질도 포함된다. 유동화된 모래로부터의 높은 열 전달 속도는 공급원료가 신속히 가열될 수 있게 한다. 모래 입자로 인한 마모로 인해 약간의 절제가 있을 수 있다. 열은 일반적으로 고온 연소 가스가 그를 통해 유동하는 열 교환기 튜브에 의해 제공된다.
- [0366] 순환 유동층 반응기를 사용할 수 있으며, 여기서는 가스, 모래, 공급원료가 함께 이동한다. 예시적인 수송 가스는 재순환된 생성물 가스 및 연소 가스를 포함한다. 모래로부터의 높은 열 전달 속도는 공급원료의 신속한 가열을 보장하며, 절제는 일반 유동층보다 더 강할 것으로 예상된다. 모래와 숯 입자로부터 생성물 가스를 분리하기 위해 분리기를 사용할 수 있다. 모래 입자는 유동화 버너 용기에서 재가열되어 반응기로 재순환될 수 있다.
- [0367] 일부 실시예에서, 다중 구역 반응기는 공급원료 입구, 각각의 반응 구역 내에서 온도 및 혼합을 개별적으로 제어하도록 구성된 복수의 공간적으로 분리된 반응 구역, 및 탄소질 고체 출구를 포함하는 연속 반응기이고, 반응 구역 중 하나는 실질적으로 불활성 가스를 반응기 내로 도입하기 위한 제1 가스 입구를 갖도록 구성되고, 및 반응 구역 중 하나는 제1 가스 출구를 갖도록 구성된다.
- [0368] 일부 실시예에서, 반응기는 적어도 2개, 3개 또는 4개의 반응 구역을 포함한다. 각각의 반응 구역은 독립적으로 조절 가능한 가열 수단과 동작 가능하게 연통하여 배치된다. 일부 실시예에서, 가열 수단은 독립적으로 전기적 열 전달, 스팀 열 전달, 고온 오일 열 전달, 상 변화 열 전달, 폐열 전달, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 존재하는 경우, 적어도 하나의 반응기 구역은 열 산화기로부터의 유출 스트림으로 가열된다.
- [0369] 반응기는 반응기 내에 존재하는 모든 반응 구역까지 포함하여 적어도 2개의 반응 구역의 기체 상 조성 및 기체 상 체류 시간을 개별적으로 조절하도록 구성될 수 있다.
- [0370] 반응기에는 제2 가스 입구 및/또는 제2 가스 출구가 장착될 수 있다. 일부 실시예에서, 반응기는 각각의 반응 구역에 가스 입구를 갖도록 구성된다. 이들 또는 다른 실시예에서, 반응기는 각각의 반응 구역에 가스 출구를 갖도록 구성된다. 반응기는 병류 또는 역류 반응기일 수 있다.
- [0371] 일부 실시예에서, 공급원료 입구는 스크류 또는 오거 공급 메커니즘을 포함한다. 일부 실시예에서, 탄소질 고체 출구는 스크류 또는 오거 출력 메커니즘을 포함한다.
- [0372] 특정 실시예는 스크류 공급기를 갖춘 회전 하소기를 이용한다. 이러한 실시예에서, 반응기는 축방향으로 회전

가능하고, 즉, 이는 그 중심선 축을 중심으로 회전한다. 회전 속도는 고체 유동 패턴과 열 및 물질 수송에 영향을 미친다. 각각의 반응 구역은 내부 벽에 플라이트가 배치되어 고체의 교반을 제공하도록 구성될 수 있다. 플라이트는 각각의 반응 구역에서 개별적으로 조절 가능할 수 있다.

- [0373] 오거, 스크류 또는 패들 컨베이어와 같은 다른 고체 교반 수단을 사용할 수 있다. 일부 실시예에서, 반응기는 각각의 반응 구역 전체에 걸쳐 배치된 단일의 연속 오거를 포함한다. 다른 실시예에서, 반응기는 각각의 반응 구역 전체에 걸쳐 배치된 트윈 스크류를 포함한다.
- [0374] 일부 시스템은 프로세스 전체에 걸쳐 공급 물질의 대략적인 크기를 유지할 수 있는 기능을 갖도록 - 즉, 그 구조를 파괴하거나 크게 손상시키지 않고 바이오매스 공급원료를 처리할 수 있도록 구체적으로 설계되었다. 일부 실시예에서, 열분해 구역은 열분해되는 공급 물질의 크기를 크게 감소시키는 경향이 있는 오거, 스크류 또는 갈퀴를 함유하지 않는다.
- [0375] 본 발명의 일부 실시예에서, 시스템은 응축성 증기 및 비응축성 가스가 제거되는 출구와 동작 가능하게 연통하여 배치된 열 산화기를 더 포함한다. 열 산화기는 연료 및 응축성 증기의 적어도 일부의 연소에 적응된 별개의 연료(예컨대, 천연 가스)와 산화제(예컨대, 공기)를 연소실로 수용하도록 구성될 수 있다. CO 또는 CH<sub>4</sub>와 같은 특정 비응축성 가스가 또한 CO<sub>2</sub>로 산화될 수 있다.
- [0376] 열 산화기를 사용하는 경우, 시스템은 열 산화기와 건조기 사이에 배치된 열 교환기를 포함할 수 있으며, 이는 건조기에 대한 연소 열의 적어도 일부를 이용하도록 구성될 수 있다. 이 실시예는 프로세스의 전체 에너지 효율에 크게 기여할 수 있다.
- [0377] 일부 실시예에서, 시스템은 고체 냉각기와 동작 가능하게 연통하여 배치되고 적어도 부분적으로 응축된 형태의 응축 가능한 증기를 고체와 조합하도록 구성된 탄소 강화 유닛을 더 포함한다. 탄소 강화 유닛은 회수 유닛으로부터 획득한 생물기원 시약의 탄소 함량을 증가시킬 수 있다.
- [0378] 시스템은 생물기원 시약을 추가로 열분해하여 그 탄소 함량을 추가로 증가시키도록 구성된 별개의 열분해 유닛을 더 포함할 수 있다. 별개의 열분해 유닛은 탱크, 배럴, 상자, 드럼, 토트, 자루 또는 롤오프와 같은 비교적 단순한 컨테이너, 유닛 또는 디바이스일 수 있다.
- [0379] 전체 시스템은 고정된 위치에 있을 수 있거나, 또는 이는 여러 위치에 분포될 수 있다. 실용적인 확장을 위해 간단히 복제할 수 있는 모듈을 사용하여 시스템을 구축할 수 있다. 또한, 시스템은 프로세스 산업에서 잘 알려진 규모의 경제 원리를 사용하여 구축될 수 있다.
- [0380] 이제, 고체의 탄소 강화와 관련된 몇 가지 변형에 대해 더 설명할 것이다. 일부 실시예에서, 생물기원 시약을 생산하는 프로세스는
  - [0381] (a) 바이오매스를 포함하는 탄소 함유 공급원료를 제공하는 단계;
  - [0382] (b) 선택적으로 공급원료를 건조하여 공급원료 내에 함유된 습기의 적어도 일부를 제거하는 단계;
  - [0383] (c) 선택적으로 공급원료에 함유된 격자간 산소(있는 경우)의 적어도 일부를 제거하기 위해 공급원료를 탈기하는 단계;
  - [0384] (d) 열분해 구역에서, 실질적 불활성 가스의 존재 하에 약 250°C 내지 약 700°C에서 선택된 열분해 온도에서 적어도 10분 동안 공급원료를 열분해하여 고온 열분해 고체, 응축성 증기 및 비응축성 기체를 생성하는 단계;
  - [0385] (e) 고온 열분해 고체로부터 응축성 증기의 적어도 일부와 비응축성 기체의 적어도 일부를 분리하는 단계;
  - [0386] (f) 냉각 구역에서, 실질적으로 불활성 가스의 존재 하에 열분해 온도 미만의 냉각 온도로 적어도 5분 동안 고온 열분해 고체를 냉각시켜 따뜻한 열분해 고체를 생성하는 단계;
  - [0387] (g) 선택적으로 따뜻한 열분해 고체를 냉각하여 저온인 열분해 고체를 생성하는 단계;
  - [0388] (h) 후속적으로 단계 (e)로부터의 응축성 증기의 적어도 일부 및/또는 비응축성 가스의 적어도 일부를 따뜻한 열분해 고체 및/또는 저온인 열분해 고체에 걸쳐 통과시켜 증가된 탄소 함량을 갖는 개선된 열분해 고체를 형성하는 단계; 및
  - [0389] (i) 개선된 열분해 고체의 적어도 일부를 포함하는 생물기원 시약을 회수하는 단계를 포함한다.
- [0390] 일부 실시예에서, 단계 (h)는 단계 (e)로부터의 응축성 증기의 적어도 일부를 증기 및/또는 응축된 형태로 따뜻

한 열분해 고체에 걸쳐 통과시켜 증가된 탄소 함량을 갖는 개선된 열분해 고체를 생성하는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 단계 (h)는 증가된 탄소 함량을 갖는 개선된 열분해 고체를 생성하기 위해 단계 (e)로부터의 비응축성 가스의 적어도 일부를 따뜻한 열분해 고체에 걸쳐 통과시키는 단계를 포함한다.

- [0391] 대안적으로 또는 추가적으로, 증기 또는 기체가 저온인 열분해 고체와 접촉될 수 있다. 일부 실시예에서, 단계 (h)는 단계 (e)로부터의 응축성 증기의 적어도 일부를 증기 및/또는 응축된 형태로 저온인 열분해 고체에 걸쳐 통과시켜 탄소 함량이 증가된 개선된 열분해 고체를 생성하는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 단계 (h)는 단계 (e)로부터의 비응축성 가스의 적어도 일부를 냉각된 열분해 고체에 걸쳐 통과시켜 탄소 함량이 증가된 개선된 열분해 고체를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0392] 특정 실시예에서, 단계 (h)는 단계 (e)로부터의 실질적으로 모든 응축성 증기를 증기 및/또는 응축된 형태로 저온인 열분해 고체에 걸쳐 통과시켜 탄소 함량이 증가된 개선된 열분해 고체를 생성하는 단계를 포함한다. 특정 실시예에서, 단계 (h)는 단계 (e)로부터의 실질적으로 모든 비응축성 가스를 냉각된 열분해 고체에 걸쳐 통과시켜 탄소 함량이 증가된 개선된 열분해 고체를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0393] 일부 실시예에서, 프로세스는 탄소 강화를 위해 증기 또는 기체를 사용하기 전에 증기 또는 기체를 처리하거나 분리하는 방법을 포함한다. 일부 실시예에서, 단계 (e)로부터 획득한 응축성 증기 또는 비응축성 가스를 포함하는 중간 공급 스트림은 제1 및 제2 출력 스트림을 생성하도록 구성된 분리 유닛에 공급될 수 있다. 일부 실시예에서, 중간 공급 스트림은 응축성 증기 및 비응축성 가스를 포함한다.
- [0394] 분리 기술에는 증류 컬럼, 플래시 용기, 원심 분리기, 사이클론, 멤브레인, 필터, 충전층, 모세관 컬럼 등이 포함되거나 사용될 수 있다. 분리는 주로, 예를 들어, 증류, 흡수, 흡착 또는 확산에 기초할 수 있으며 증기압, 활성, 분자량, 밀도, 점도, 극성, 화학적 기능성, 고정상에 대한 친화력 및 그 임의의 조합의 차이를 이용할 수 있다.
- [0395] 일부 실시예에서, 제1 및 제2 출력 스트림은 상대 휘발성에 기초하여 중간 공급 스트림으로부터 분리된다. 예를 들어, 분리 유닛은 증류 컬럼, 플래시 탱크 또는 응축기일 수 있다.
- [0396] 따라서, 일부 실시예에서, 제1 출력 스트림은 응축성 증기를 포함하고, 제2 출력 스트림은 비응축성 가스를 포함한다. 응축성 증기는 테르펜, 알콜, 산, 알데히드 또는 케톤으로부터 선택된 적어도 하나의 탄소 함유 분자를 포함할 수 있다. 열분해로 인한 증기는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌과 같은 방향족 분자를 포함할 수 있다. 내화성 타르와 같은 더 무거운 방향족 분자가 증기에 존재할 수 있다. 일부 실시예에서, 비응축성 가스는 탄소 함유 분자를 포함한다. 일부 실시예에서, 탄소 함유 분자는 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄, 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0397] 일부 실시예에서, 제1 및 제2 출력 스트림은 상대 극성에 기초하여 분리된 중간 공급 스트림이다. 예를 들어, 분리 유닛은 스트리핑 컬럼, 충전층, 크로마토그래피 컬럼 또는 멤브레인일 수 있다.
- [0398] 일부 실시예에서, 제1 출력 스트림은 극성 분자를 포함하고, 제2 출력 스트림은 비극성 분자를 포함한다. 일부 실시예에서, 극성 분자는 탄소 함유 분자를 포함한다. 일부 실시예에서, 탄소 함유 분자는 메탄올, 푸르푸랄 또는 아세트산, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 비극성 분자는 탄소 함유 분자를 포함한다. 일부 실시예에서, 탄소 함유 분자는 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄, 터펜, 터펜 유도체, 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0399] 단계 (h)는 단계 (h)가 없는, 그 외에는 동일한 프로세스에 비해 생물기원 시약의 총 탄소 함량을 증가시킬 수 있다. 다양한 실시예에서, 탄소 함량의 증가 정도는 예를 들어 약 1%, 2%, 5%, 10%, 15%, 25%, 또는 심지어 그보다 더 높을 수 있다.
- [0400] 일부 실시예에서, 단계 (h)는 생물기원 시약의 고정 탄소 함량을 증가시킨다. 이들 또는 다른 실시예에서, 단계 (h)는 생물기원 시약의 휘발성 탄소 함량을 증가시킨다. 휘발성 탄소 함량은 시약의 휘발성 물질에 기인한 탄소이다. 휘발성 물질은 지방족 또는 방향족 분자(예를 들어, 테르펜)를 포함하는 탄화수소; 알콜, 알데히드 또는 케톤을 포함한 산소화물; 및 다양한 타르일 수 있지만 이에 제한되지는 않는다. 휘발성 탄소는 전형적으로 주변 조건에서 고체에 결합되거나 흡착된 상태로 유지되지만 가열 시 고정 탄소가 산화되거나 가스화되거나 또는 달리 증기로 방출되기 전에 방출된다.
- [0401] 단계 (h)와 연관된 조건에 따라 소정 양의 휘발성 탄소가 (예를 들어, CO로부터 Boudouard 탄소 형성을 통해) 고정 탄소가 될 수 있다. 전형적으로, 휘발성 물질은 고정 탄소의 미세 공극으로 들어가 응축/흡착된 증으로 존재하지만 상대적으로 휘발성을 유지한다. 이러한 잔류 휘발성은 높은 표면적과 다공성을 요구하는 생성물 응용

에 비교하여 연료 응용에 더 유리할 수 있다.

- [0402] 단계 (h)는 생물기원 시약의 에너지 함량(즉, 에너지 밀도)을 증가시킬 수 있다. 에너지 함량의 증가는 총 탄소, 고정 탄소, 휘발성 탄소 또는 심지어 수소의 증가로 인해 발생할 수 있다. 다양한 실시예에서, 에너지 함량의 증가 정도는 예를 들어 약 1%, 2%, 5%, 10%, 15%, 25%, 또는 심지어 그보다 더 높을 수 있다.
- [0403] 프로세스 내에서 사용하거나 추가 처리를 위해 하나 이상의 비응축성 가스 또는 응축성 증기를 회수하기 위해 추가 분리가 사용될 수 있다. 예를 들어, 정제된 일산화탄소 및/또는 수소를 생산하기 위해 추가 처리가 포함될 수 있다.
- [0404] 또 다른 예로서, 아세트산의 분리를 수행한 후, 아세트산을 에탄올로 환원시킬 수 있다. 아세트산의 환원은 생성된 비응축성 가스로부터 유래된 수소를 사용하여 적어도 부분적으로 달성될 수 있다.
- [0405] 응축성 증기는 프로세스의 에너지(예컨대, 열 산화) 또는 탄소 농축에 사용되어 생물기원 시약의 탄소 함량을 증가시킬 수 있다. CO 또는 CH<sub>4</sub>와 같은 특정 비응축성 가스는 프로세스의 에너지로 이용되거나 열분해 단계에서 실질적으로 불활성 가스의 일부로 이용될 수 있다. 앞서 설명한 것 중 임의의 것의 조합이 또한 가능하다.
- [0406] 단계 (h)를 포함함으로써 획득할 수 있는 잠재적인 이점은 가스 스트림이 세정되어 생성된 가스 스트림에 CO 및 CO<sub>2</sub>가 풍부해진다는 것이다. 생성된 가스 스트림은 에너지 회수에 이용되거나, 고체의 탄소 농축을 위해 재순환되거나, 및/또는 반응기에서 불활성 가스로 사용될 수 있다. 유사하게, 응축성 증기로부터 비응축성 가스를 분리함으로써 CO/CO<sub>2</sub> 스트림은 예를 들어 반응기 시스템 또는 냉각 시스템에서 불활성 가스로 사용하기 위해 준비된다.
- [0407] 다른 변형은 탄소 강화 단계의 원리가 탄소를 첨가하기를 원하는 임의의 공급원료에 적용될 수 있다는 인식을 전제로 한다.
- [0408] 일부 실시예에서, 생물기원 시약을 생산하기 위한 배치 또는 연속 프로세스는
- [0409] (a) 탄소 함유 물질을 함유하는 고체 스트림을 제공하는 단계;
- [0410] (b) 응축성 탄소 함유 증기, 비응축성 탄소 함유 기체, 또는 응축성 탄소 함유 증기와 비응축성 탄소 함유 기체의 혼합물을 함유하는 가스 스트림을 제공하는 단계; 및
- [0411] (c) 탄소 함유 물질에 비해 탄소 함량이 증가된 탄소 함유 생성물을 형성하기 위해 적절한 조건 하에서 고체 스트림에 걸쳐 가스 스트림을 통과시키는 단계를 포함한다.
- [0412] 일부 실시예에서, 출발 탄소 함유 물질은 열분해된 바이오매스 또는 반탄화된 바이오매스이다. 탄소 함유 물질을 제공하는 통합 프로세스 중에 가스 스트림을 획득할 수 있다. 또는, 탄소 함유 물질의 별도 처리를 통해 가스 스트림을 획득할 수 있다. 가스 스트림 또는 그 일부는 외부 소스(예를 들어, 제제소의 오븐)에서 획득할 수 있다. 다양한 소스에서 나오는 가스 스트림의 혼합물 뿐만 아니라 탄소 함유 물질의 혼합물이 가능하다.
- [0413] 일부 실시예에서, 프로세스는 탄소 함유 생성물의 탄소 및/또는 에너지 함량을 추가로 증가시키기 위해 프로세스를 반복하기 위해 가스 스트림을 재활용하거나 재사용하는 것을 더 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 탄소 함유 물질과 다른 또 다른 공급원료의 탄소 및/또는 에너지 함량을 증가시키기 위한 프로세스를 수행하기 위해 가스 스트림을 재활용하거나 재사용하는 것을 더 포함한다.
- [0414] 일부 실시예에서, 프로세스는 적어도 제1 및 제2 출력 스트림을 생성하도록 구성된 분리 유닛에 가스 스트림을 도입하는 단계를 더 포함하며, 가스 스트림은 응축성 탄소 함유 증기와 비응축성 탄소 함유 가스의 혼합물을 포함한다. 제1 및 제2 출력 스트림은 상대 휘발성, 상대 극성 또는 임의의 다른 속성을 기초로 분리될 수 있다. 가스 스트림은 탄소 함유 물질의 별도 처리를 통해 획득할 수 있다.
- [0415] 일부 실시예에서, 프로세스는 탄소 함유 생성물의 탄소 함량을 추가로 증가시키기 위해 프로세스를 반복하기 위해 가스 스트림을 재활용하거나 재사용하는 것을 더 포함한다. 일부 실시예에서, 프로세스는 또 다른 공급원료의 탄소 함량을 증가시키는 프로세스를 수행하기 위해 가스 스트림을 재활용하거나 재사용하는 것을 더 포함한다.
- [0416] 탄소 함유 생성물은 출발 탄소 함유 물질에 비해 증가된 총 탄소 함량, 더 높은 고정 탄소 함량, 더 높은 휘발성 탄소 함량, 더 높은 에너지 함량, 또는 그 임의의 조합을 가질 수 있다.

- [0417] 관련된 변형에서, 생물기원 시약 생산 시스템은
- [0418] (a) 탄소 함유 공급원료를 도입하도록 구성된 공급기;
- [0419] (b) 탄소 함유 공급원료 내에 함유된 습기를 제거하도록 구성된, 공급기와 동작 가능하게 연통하여 배치된 선택적인 건조기;
- [0420] (c) 건조기와 동작 가능하게 연통하여 배치된 다중 구역 반응기- 다중 구역 반응기는 공간적으로 분리된 냉각 구역과 동작 가능하게 연통하여 배치된 적어도 열분해 구역을 함유하고, 다중 구역 반응기는 고체로부터 응축성 증기 및 비응축성 가스를 제거하기 위한 출구를 갖도록 구성됨 -;
- [0421] (d) 다중 구역 반응기와 동작 가능하게 연통하여 배치된 고체 냉각기;
- [0422] (e) 고체 냉각기와 동작 가능하게 연통하여 배치되고 응축성 증기 및/또는 비응축성 가스를 고체에 걸쳐 통과시켜 탄소 함량이 증가된 개선된 고체를 형성하도록 구성된 물질 농축 유닛; 및
- [0423] (f) 물질 농축 유닛과 동작 가능하게 연통하여 배치된 생물기원 시약 회수 유닛을 포함한다.
- [0424] 시스템은 열분해 구역과 동작 가능하게 연통하여 배치된 예열 구역을 더 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 건조기는 다중 구역 반응기 내의 건조 구역으로 구성된다. 각각의 구역은 단일 유닛 내에 위치할 수 있거나 별개의 유닛에 위치할 수 있다. 또한, 고체 냉각기는 다중 구역 반응기 내에 배치될 수 있다.
- [0425] 일부 실시예에서, 냉각 구역은 가스 입구를 갖도록 구성되며, 열분해 구역은 고체 상에 대해 기체 상의 실질적 역류 유동을 발생시키기 위한 가스 출구를 갖도록 구성된다. 이러한 또는 다른 실시예에서, 예열 구역 및/또는 건조 구역(또는 건조기)은 고체 상에 대해 기체 상의 실질적 역류 유동을 생성하기 위한 가스 출구를 갖도록 구성된다.
- [0426] 특정 실시예에서, 시스템은 물질 농축 유닛을 포함하고, 이는
- [0427] (i) 상부 부분과 하부 부분을 갖는 하우징;
- [0428] (ii) 응축성 증기 및 비응축성 가스를 운반하도록 구성된 하우징 하부 부분의 바닥의 입구;
- [0429] (iii) 응축성 증기 및 비응축성 가스로부터 유도된 농축된 가스 스트림을 운반하도록 구성된 하우징 상부 부분의 상단의 출구;
- [0430] (iv) 하우징의 상부 부분과 하부 부분 사이에 정의된 경로; 및
- [0431] (v) 경로를 따르는 수송 시스템- 수송 시스템은 고체를 수송하도록 구성됨 -을 포함하고, 하우징은 고체가 응축성 증기의 적어도 일부 및/또는 비응축성 가스의 적어도 일부를 흡착하도록 형상화된다.
- [0432] 본 발명은 생물기원 시약으로 유용한 다양한 조성물 및 이러한 시약을 포함하는 생성물을 생산할 수 있다. 일부 변형예에서, 생물기원 시약은 예컨대, 다음 단계를 포함하는 프로세스와 같은, 본 출원에 개시된 임의의 프로세스에 의해 생산된다:
- [0433] (a) 바이오매스를 포함하는 탄소 함유 공급원료를 제공하는 단계;
- [0434] (b) 선택적으로 공급원료를 건조하여 공급원료 내에 함유된 습기의 적어도 일부를 제거하는 단계;
- [0435] (c) 선택적으로 공급원료에 함유된 격자간 산소(있는 경우)의 적어도 일부를 제거하기 위해 공급원료를 탈기하는 단계;
- [0436] (d) 열분해 구역에서, 실질적 불활성 가스의 존재 하에 약 250°C 내지 약 700°C에서 선택된 열분해 온도에서 적어도 10분 동안 공급원료를 열분해하여 고온 열분해 고체, 응축성 증기 및 비응축성 기체를 생성하는 단계;
- [0437] (e) 고온 열분해 고체로부터 응축성 증기의 적어도 일부와 비응축성 기체의 적어도 일부를 분리하는 단계;
- [0438] (f) 냉각 구역에서, 실질적으로 불활성 가스의 존재 하에 열분해 온도 미만의 냉각 온도로 적어도 5분 동안 고온 열분해 고체를 냉각시켜 따뜻한 열분해 고체를 생성하는 단계;
- [0439] (g) 따뜻한 열분해 고체를 냉각하여 저온인 열분해 고체를 생성하는 단계; 및
- [0440] (h) 냉각된 열분해 고체의 적어도 일부를 포함하는 생물기원 시약을 회수하는 단계.
- [0441] 일부 실시예에서, 시약은 건조 기준으로 적어도 약 70 wt%, 적어도 80 wt%, 적어도 90 wt%, 또는 적어도 95 wt%

의 총 탄소를 포함한다. 총 탄소에는 적어도 고정 탄소가 포함되며, 휘발성 물질로부터의 탄소를 더 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 휘발성 물질로부터의 탄소는 생물기원 시약에 존재하는 총 탄소의 적어도 약 5%, 적어도 10%, 적어도 25% 또는 적어도 50%이다. 고정 탄소는 ASTM D3172를 사용하여 측정할 수 있으며, 반면에, 휘발성 탄소는 예를 들어, ASTM D3175를 사용하여 측정할 수 있다.

- [0442] 생물기원 시약은 건조 기준으로 약 10 wt% 이하, 예컨대 약 5 wt% 이하의 수소를 포함할 수 있다. 생물기원 시약은 건조 기준으로 약 1 wt% 이하, 예컨대 약 0.5 wt% 이하의 질소를 포함할 수 있다. 생물기원 시약은 건조 기준으로 약 0.5 wt% 이하, 예컨대 약 0.2 wt% 이하의 인을 포함할 수 있다. 생물기원 시약은 건조 기준으로 약 0.2 wt% 이하, 예컨대 약 0.1 wt% 이하의 황을 포함할 수 있다.
- [0443] 탄소, 수소 및 질소는 궁극적 분석을 위해 예를 들어, ASTM D5373을 사용하여 측정할 수 있다. 산소는 예를 들어, ASTM D3176을 사용하여 측정할 수 있다. 황은 예를 들어, ASTM D3177을 사용하여 측정할 수 있다.
- [0444] 특정 실시예는 수소(존재할 수 있는 임의의 습기 제외), 질소, 인 또는 황이 거의 없거나 본질적으로 없는 시약을 제공하며, 실질적으로 탄소에, 존재하는 임의의 회분과 습기가 더해진다. 따라서, 일부 실시예에서는 건조/무회분(DAF) 기준으로 최대 100%의 탄소를 포함하는 생물기원 시약을 제공한다.
- [0445] 일반적으로 말하면, 바이오매스와 같은 공급원료는 열분해 중에 쉽게 방출되지 않는 실리카 및 다양한 금속을 포함한 비휘발성 종을 함유한다. 물론 무회분 공급원료를 이용하는 것도 가능하며, 이 경우 열분해 고체에 실질적인 양의 회분이 없어야 한다. 회분은 예를 들어, ASTM D3174를 사용하여 측정할 수 있다.
- [0446] 회분과 같은 불연성 물질은 다양한 양으로 존재할 수 있다. 생물기원 시약은 건조 기준으로 약 10 wt% 이하, 예컨대 약 5 wt%, 약 2 wt%, 약 1 wt% 이하의 불연성 물질을 포함할 수 있다. 특정 실시예에서, 시약은 회분을 거의 함유하지 않거나 심지어 본질적으로 회분 또는 기타 불연성 물질을 함유하지 않는다. 따라서, 일부 실시예에서는 건조 기준으로 100% 탄소를 포함하여 본질적으로 순수한 탄소를 제공한다.
- [0447] 다양한 양의 습기가 존재할 수 있다. 총 질량 기준으로, 생물기원 시약은 적어도 1 wt%, 2 wt%, 5 wt%, 10 wt%, 15 wt%, 25 wt%, 35 wt%, 50 wt% 이상의 습기를 포함할 수 있다. 본 출원에서 의도된 바와 같이, "습기 (moisture)"는 흡수된 습기, 흡착된 물 분자, 화학적 수화물 및 물리적 수화물을 포함하여 생물기원 시약에 존재하는 임의의 형태의 물을 포함하는 것으로 해석된다. 평형 습기 함량은 적어도 상대 습도와 같은 국지적 환경에 따라 달라질 수 있다. 또한, 운송, 사용 준비, 기타 물류 동안 습기가 달라질 수 있다. 습기는 예를 들어, ASTM D3173을 사용하여 측정할 수 있다.
- [0448] 생물기원 시약은 다양한 에너지 함량을 가질 수 있으며, 이는 현재 목적상 완전 건조(bone-dry) 시약의 총 연소와 연관된 더 높은 열량을 기초로 한 에너지 밀도를 의미한다. 예를 들어, 생물기원 시약은 적어도 약 11,000 Btu/lb, 적어도 12,000 Btu/lb, 적어도 13,000 Btu/lb, 적어도 14,000 Btu/lb, 또는 적어도 15,000 Btu/lb의 에너지 함량을 소유할 수 있다. 특정 실시예에서, 에너지 함량은 약 14,000 -15,000 Btu/lb 사이이다. 에너지 함량은 예를 들어, ASTM D5865를 사용하여 측정할 수 있다.
- [0449] 생물기원 시약은 거친 분말 또는 미세한 분말과 같은 분말로 형성될 수 있다. 예를 들어, 시약은 실시예에서 약 200 메시, 약 100 메시, 약 50 메시, 약 10 메시, 약 6 메시, 약 4 메시, 또는 약 2 메시의 평균 메시 크기를 갖는 분말로 형성될 수 있다.
- [0450] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 가압되거나, 결합되거나, 응집된 입자를 포함하는 구조적 물체로 형성된다. 이러한 물체를 형성하기 위한 출발 물질은 입자 크기 감소에 의해 획득된 중간체와 같은 분말 형태의 시약일 수 있다. 물체는 선택적으로 결합제 또는 입자를 함께 응집시키는 다른 수단을 사용하여 기계적 가압 또는 기타 힘에 의해 형성될 수 있다.
- [0451] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 그 구조가 실질적으로 공급원료로부터 유래하는 구조적 물체의 형태로 생산된다. 예를 들어, 공급원료 칩은 생물기원 시약의 생성물 칩을 생산할 수 있다. 또는, 공급원료 실린더는 다소 더 작을 수 있지만 그 외에는 출발 물질의 기본 구조와 기하형상을 유지하는 생물기원 시약 실린더를 생산할 수 있다.
- [0452] 본 발명에 따른 생물기원 시약은 적어도 약 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, 7 cm, 8 cm, 9cm, 10cm 이상의 최소 치수를 갖는 물체로서 생산되거나 형성될 수 있다. 다양한 실시예에서, 최소 치수 또는 최대 치수는 길이, 폭 또는 직경일 수 있다.
- [0453] 본 발명의 다른 변형은 프로세스, 생성물, 또는 양자 모두에 대한 첨가제의 혼입에 관한 것이다. 일부 실시예에

서, 생물기원 시약은 프로세스 동안 혼입된 적어도 하나의 프로세스 첨가제를 포함한다. 이러한 실시예 또는 다른 실시예에서, 시약은 프로세스 이후 시약에 도입되는 적어도 하나의 생성물 첨가제를 포함한다.

- [0454] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 건조 기준으로
- [0455] 70 wt% 이상의 총 탄소;
- [0456] 5 wt% 이하의 수소;
- [0457] 1 wt% 이하의 질소;
- [0458] 0.5 wt% 이하의 인;
- [0459] 0.2 wt% 이하의 황; 및
- [0460] 금속, 금속 산화물, 금속 수산화물, 금속 할로겐화물, 또는 이의 조합으로부터 선택되는 첨가제를 포함한다.
- [0461] 첨가제는 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 실리콘, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 산화마그네슘, 백운석, 백운석 석회, 플로라이트, 형석, 벤토나이트, 산화칼슘, 석회 및 이의 조합으로부터 선택될 수 있지만, 이에 제한되지 않는다.
- [0462] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 건조 기준으로
- [0463] 70 wt% 이상의 총 탄소;
- [0464] 5 wt% 이하의 수소;
- [0465] 1 wt% 이하의 질소;
- [0466] 0.5 wt% 이하의 인;
- [0467] 0.2 wt% 이하의 황; 및
- [0468] 산, 염기 또는 이들의 염으로부터 선택되는 첨가제를 포함한다.
- [0469] 첨가제는 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 또는 이의 조합으로부터 선택될 수 있지만, 이에 제한되지는 않는다.
- [0470] 특정 실시예에서, 생물기원 시약은 건조 기준으로
- [0471] 70 wt% 이상의 총 탄소;
- [0472] 5 wt% 이하의 수소;
- [0473] 1 wt% 이하의 질소;
- [0474] 0.5 wt% 이하의 인;
- [0475] 0.2 wt% 이하의 황;
- [0476] 금속, 금속 산화물, 금속 수산화물, 금속 할로겐화물, 또는 이의 조합으로부터 선택되는 제1 첨가제; 및
- [0477] 산, 염기 또는 이들의 염 중에서 선택되는 제2 첨가제를 포함하고,
- [0478] 제1 첨가제는 제2 첨가제와 상이하다.
- [0479] 제1 첨가제는 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 실리콘, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 산화마그네슘, 백운석, 백운석 석회, 플로라이트, 형석, 벤토나이트, 산화칼슘, 석회, 및 이의 조합으로부터 선택될 수 있고, 반면에, 제2 첨가제는 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨 또는 이의 조합으로부터 독립적으로 선택될 수 있다.
- [0480] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 건조 기준으로 탄소, 수소, 질소, 인, 황, 불연성 물질, 및 첨가제로 본질적으로 구성되고, 첨가제는 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 실리콘, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 산화마그네슘, 백운석, 백운석 석회, 플로라이트, 형석, 벤토나이트, 산화칼슘, 석회, 및 이의 조합으로 구성된 그룹으로부터 선택된다.
- [0481] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 건조 기준으로 탄소, 수소, 질소, 인, 황, 불연성 물질, 및 수산화나트륨,

수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨 및 이의 조합으로 구성된 그룹으로부터 선택되는 첨가제로 본질적으로 구성된다.

- [0482] 첨가제(또는 총 첨가제)의 양은 약 0.1 wt%, 약 1 wt%, 약 5 wt%, 약 10 wt%, 또는 약 20 wt%를 포함하여 약 0.01 wt% 내지 약 25 wt%와 같이 광범위하게 달라질 수 있다. 이때, 상대적으로 많은 양의 첨가제(예컨대, 약 1 wt% 초과)가 혼입되면, 총 시약 중량(첨가제 포함)을 기준으로 계산된 에너지 함량이 감소할 것이라는 것을 이해할 것이다. 또한, 다양한 실시예에서, 첨가제(들)가 포함된 생물기원 시약은 적어도 약 11,000Btu/lb, 적어도 12,000 Btu/lb, 적어도 13,000 Btu/lb, 적어도 14,000 Btu/lb, 또는 적어도 15,000 Btu/lb의 에너지 함량을 소유할 수 있다.
- [0483] 생성물 형태에 관한 위의 설명은 첨가제를 포함하는 실시예에도 적용된다. 실제로, 특정 실시예에서는 특정 응용에 대한 최종 특성을 개선시키기 위해 결합제, 용제 또는 기타 개질제로서 첨가제를 포함한다.
- [0484] 바람직한 실시예에서, 생물기원 시약에 함유된 대부분의 탄소는 재생 가능한 탄소로 분류된다. 일부 실시예에서, 실질적으로 모든 탄소는 재생 가능한 탄소로 분류된다. 가치가 생물기원 시약 내의 재생 가능한 탄소 함량에 기인하는 특정 시장 메커니즘(예를 들어, RIN(Renewable Identification Number), 세금 공제 등)이 있을 수 있다.
- [0485] 특정 실시예에서, 고정 탄소는 재생 불가능한 탄소(예를 들어, 석탄으로부터)로 분류될 수 있는 반면, 별도로 첨가될 수 있는 휘발성 탄소는 에너지 함량뿐만 아니라 재생 가능한 탄소 가치를 또한 증가시키기 위해 재생 가능한 탄소일 수 있다.
- [0486] 본 출원에 설명된 바와 같이 생산된 생물기원 시약은 다양한 탄소질 생성물에 유용하다. 생물기원 시약은 그 자체로 바람직한 시장 제품이 될 수 있다. 본 출원에 제공된 생물기원 시약은 최신 기술에 비교하여 더 낮은 수준의 불순물, 감소된 프로세스 배출 및 개선된 지속 가능성(더 높은 재생 가능한 탄소 함량 포함)과 연관된다.
- [0487] 변형에서, 생성물에는 개시된 프로세스에 의해 획득할 수 있는 또는 본 출원에 제시된 조성물, 또는 이의 임의의 부분, 조합 또는 유도체에 설명된 임의의 생물기원 시약이 포함된다.
- [0488] 일반적으로 말하면, 생물기원 시약은 연소되어 에너지(전기 및 열 포함)를 생산할 수 있고; 부분적으로 산화, 가스화 또는 스팀 개질되어 합성 가스를 생산하고; 그 흡착 또는 흡수 특성이 이용되고; 금속 정련(예컨대, 금속 산화물 환원) 또는 기타 산업 프로세스 동안 그 반응 특성이 이용되고; 또는 탄소강 및 기타 다양한 금속 합금에서 그 재료 특성이 이용된다. 본질적으로, 생물기원 시약은 개발될 특수 용도를 포함하여 탄소 기반 상품 또는 첨단 재료의 임의의 시장 응용에 이용될 수 있다.
- [0489] 임의의 생성물 응용에서의 적합성 또는 실제 사용 이전에, 개시된 생물기원 시약은 다양한 방식으로 분석, 측정 및 선택적으로 변형(예컨대, 첨가제를 통해)될 수 있다. 화학적 조성 및 에너지 함량 이외에 잠재적으로 관심을 가질 만한 일부 특성은 몇몇 특성을 들자면 밀도, 입자 크기, 표면적, 미공성, 흡수성, 흡착성, 결합 용량, 반응성, 탈황 활성 및 염기도를 포함한다.
- [0490] 이러한 생물기원 시약을 포함할 수 있는 생성물 또는 물질은 탄소 기반 블래스트 노 첨가 생성물, 탄소 기반 타코나이트 펠릿 첨가 생성물, 레이들 첨가 탄소 기반 생성물, 메트 코크스 탄소 기반 생성물, 석탄 대체 생성물, 탄소 기반 코크스화 생성물, 탄소 브리즈 생성물, 유동층 탄소 기반 공급원료, 탄소 기반 노 첨가 생성물, 주입 가능 탄소 기반 생성물, 미분화 탄소 기반 생성물, 스토커 탄소 기반 생성물, 탄소 전극, 또는 활성탄 생성물을 포함하지만 이에 제한되지는 않는다.
- [0491] 금속 생산에 개시된 생물기원 시약을 사용하면 슬래그를 감소시키고 전반적인 효율을 증가시키며 생애 주기 환경 영향을 감소시킬 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예는 금속 처리 및 제조에 특히 적합하다.
- [0492] 본 발명의 일부 변형에는 탄소 기반 블래스트 노 첨가 생성물로서 생물기원 시약을 이용한다. 블래스트 노는 철과 같은(그러나, 이에 제한되지 않음) 산업용 금속을 생산하기 위해 제련하는 데 사용되는 일종의 야금로이다. 제련은 추출 야금의 한 형태이고; 그 주요 용도는 그 광석으로부터 금속을 생산하는 것이다. 제련은 광석을 분해하기 위해 열과 화학적 환원제를 사용한다. 탄소 및/또는 탄소에서 유도된 일산화탄소는 광석에서 산소를 제거하여 원소 금속을 남긴다.
- [0493] 일부 실시예에서, 환원제는 생물기원 시약을 포함한다. 일부 실시예에서, 환원제는 생물기원 시약으로 본질적으로 구성된다. 블래스트 노에서, 생물기원 시약, 광석, 석회석은 노 상단을 통해 지속적으로 공급될 수 있으며, 반면에, 공기(선택적으로 산소 농축됨)는 챔버 바닥으로 송풍되고, 따라서, 재료가 하향 이동함에 따라 노 전체

에 걸쳐 화학 반응이 발생한다. 최종 생성물은 바닥에서 태핑된 용융 금속 및 슬래그 상과 노 상단으로부터 나오는 연도 가스를 포함한다. 고온 일산화탄소 풍부 가스의 상향 유동과 접촉하는 광석의 하향 유동은 역류 프로세스이다.

- [0494] 블래스트 노의 탄소 품질은 열화에 대한 그 내성으로 측정된다. 투과성 매체로서 탄소의 역할은 경제적인 블래스트 노 동작에 있어 매우 중요하다. 탄소의 열화는 블래스트 노 내의 위치에 따라 다르며 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 또는 O<sub>2</sub>와의 반응 및 서로에 대한, 그리고, 기타 부담 성분과의 탄소 입자의 마손의 조합을 수반한다. 열화된 탄소 입자는 플러깅 및 열악한 성능을 야기할 수 있다.
- [0495] 코크스 반응성 테스트는 블래스트 노에서의 탄소 성능의 높이 평가되는 척도이다. 이 테스트는 2개의 컴포넌트를 갖는다: 코크스 반응성 지수(CRI) 및 반응 후 코크스 강도(CSR). 더 나은 블래스트 노 성능을 위해서는 CRI 값이 낮고(반응성이 높음) CSR 값이 높은 탄소 기반 물질이 바람직하다. CRI는 본 기술 분야에 알려진 임의의 적절한 방법에 따라, 예를 들어 ASTM 방법 DS341에 따라 도착 기준으로 결정될 수 있다.
- [0496] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 블래스트 노에 직접 도입하기에 적절한 특성을 갖는 탄소 생성물을 제공한다.
- [0497] 생물기원 시약의 강도는 본 기술 분야에 알려진 임의의 적절한 방법, 예를 들어 낙하 파쇄 테스트 또는 CSR 테스트에 의해 결정될 수 있다. 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 선택적으로 다른 탄소 소스와 블렌딩될 때 적어도 약 50%, 60%, 또는 70%의 CSR을 갖는 최종 탄소 생성물을 제공한다. 조합 생성물은 또한 블래스트 노에서의 연소에 적절한 반응성을 갖는 최종 코크스 생성물을 제공할 수 있다. 일부 실시예에서, 생성물은 생물기원 시약이 메트 석탄, 메트 코크스, 코크스 브리즈, 주조 코크스, 또는 주입 가능한 석탄에 대한 첨가제 또는 대체 물질로서 사용하기에 적절하도록 하는 CRI를 갖는다.
- [0498] 일부 실시예는 CRI 또는 CSR이 블래스트 노 생성물로 사용하기에 불충분한 또 다른 탄소원(예를 들어, 코크스)에 첨가될 때 블래스트 노에서 사용하기에 충분한 CRI 및/또는 CSR을 갖는 복합 생성물을 제공하는 생물기원 시약을 제공하기에 충분한 양으로 하나 이상의 첨가제를 사용한다. 일부 실시예에서, 하나 이상의 첨가제는 약 40%, 30% 또는 20% 이하의 CRI를 갖는 생물기원 시약을 제공하기에 충분한 양으로 존재한다.
- [0499] 일부 실시예에서, 알칼리 토금속, 또는 이의 산화물 또는 카보네이트로부터 선택된 하나 이상의 첨가제는 생물기원 시약을 생산하는 프로세스 동안 또는 그 후에 도입된다. 예를 들어, 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘 또는 탄산마그네슘이 첨가제로서 도입될 수 있다. 열분해 이전, 도중 또는 후에 이러한 분자를 첨가하면 블래스트 노에서 생물기원 시약의 반응성이 증가할 수 있다. 이러한 분자는 더 강한 재료, 즉, 더 높은 CSR을 초래하고, 블래스트 노 효율을 개선시킬 수 있다. 또한, 알칼리 토금속, 그 산화물 또는 그 카보네이트로부터 선택된 것과 같은 첨가제는 더 낮은 배출(예를 들어, SO<sub>2</sub>)을 초래할 수 있다.
- [0500] 일부 실시예에서, 블래스트 노 대체 생성물은 적어도 약 55 wt%의 탄소, 약 0.5 wt% 이하의 황, 약 8 wt% 이하의 불연성 물질 및 파운드당 적어도 약 11,000Btu의 열량을 포함하는 본 발명에 따른 생물기원 시약이다. 일부 실시예에서, 블래스트 노 대체 생성물은 약 0.035 wt% 이하의 인, 약 0.5 wt% 내지 약 50 wt% 휘발성 물질, 및 선택적으로 하나 이상의 첨가제를 더 포함한다. 일부 실시예에서, 블래스트 노 대체 생성물은 약 2 wt% 내지 약 15 wt% 백운석, 약 2 wt% 내지 약 15 wt% 백운석 석회, 약 2 wt% 내지 약 15 wt% 벤토나이트, 및/또는 약 2 wt% 내지 약 15 wt% 산화칼슘을 포함한다. 일부 실시예에서, 블래스트 노 대체 생성물은 실질적으로 약 1 cm 내지 약 10 cm 범위의 치수를 갖는다.
- [0501] 일부 실시예에서, 본 발명에 따른 생물기원 시약은 주조 코크스 대체 생성물로 유용하다. 주조 코크스는 일반적으로 적어도 약 85 wt%의 탄소 함량, 약 0.6 wt%의 황 함량, 약 1.5 wt% 이하의 휘발성 물질, 약 13 wt% 이하의 회분, 약 8 wt% 이하의 습기, 약 0.035 wt%의 인, 약 30의 CRI 값, 약 5cm 내지 약 25cm 범위의 치수를 포함한다.
- [0502] 본 발명의 일부 변형에는 탄소 기반 타코나이트 펠릿 첨가 생성물로서 생물기원 시약을 이용한다. 철 및 강철을 제조하는 데 사용되는 광석은 산화철이다. 주요 산화철 광석은 적철광, 갈철광(브라운 오어라고도 지칭됨), 타코나이트 및 자철광, 블랙 오어를 포함한다. 타코나이트는 등급이 낮지만 중요한 광석으로 자철광과 적철광을 모두 함유하고 있다. 타코나이트의 철 함량은 일반적으로 25 wt% 내지 30 wt%이다. 블래스트 노는 전형적으로 효율적인 동작을 위해 적어도 50 wt%의 철 함량의 광석을 필요로 한다. 철광석은 파쇄, 스크리닝, 텀블링, 부유선광, 자기 분리를 비롯한 선광을 거칠 수 있다. 정련된 광석은 60%를 초과하도록 철이 풍부하며 운송 전에 펠

릿 형태로 형성되는 경우가 많다.

- [0503] 예를 들어, 타코나이트는 미세한 분말로 분쇄되어 벤토나이트 점토 및 석회석과 같은 결합제와 조합될 수 있다. 예를 들어, 약 65 wt%의 철을 함유하는 약 1cm 직경의 펠릿이 형성될 수 있다. 펠릿이 소성되어 자철광이 적철광으로 산화된다. 펠릿은 내구성이 있어 블래스트 노 장입물이 가열된 가스가 통과하여 펠릿화된 광석과 반응할 수 있게 하기에 충분한 다공성을 유지하는 것을 보장한다.
- [0504] 블래스트 노 추가 생성물과 관련하여 앞서 설명한 바와 같이 타코나이트 펠릿이 블래스트 노에 공급되어 철을 생산할 수 있다. 일부 실시예에서, 생물기원 시약이 블래스트 노에 도입된다. 이들 또는 다른 실시예에서, 생물기원 시약은 타코나이트 펠릿 자체에 혼입된다. 예를 들어, 선광 후 타코나이트 광석 분말을 생물기원 시약 및 결합제와 혼합하고 작은 물체로 롤링된 다음 경도를 위해 베이킹될 수 있다. 이러한 실시예에서, 적절한 조성을 갖는 타코나이트-탄소 펠릿은 별개의 탄소 소스가 필요 없이 블래스트 노에 편리하게 도입될 수 있다.
- [0505] 본 발명의 일부 변형에는 생물기원 시약을 레이들 첨가 탄소 기반 생성물로서 이용한다. 레이들은 용융 금속을 수송하고 부어내는 데 사용되는 용기이다. 주조 레이들은 용융 금속을 몰드에 부어 주조품을 생성하는 데 사용된다. 이송 레이들은 한 프로세스에서 다른 프로세스로 다량의 용융 금속을 전달하는 데 사용된다. 처리 레이들은 레이들에 다양한 요소를 첨가하여 주철을 연성 철로 변환하는 것과 같이 용융 금속의 일부 양태를 변화시키기 위해 레이들 내에서 발생하는 프로세스에 사용된다.
- [0506] 생물기원 시약은 임의의 유형의 레이들에 도입될 수 있지만 전형적으로 탄소는 목표 탄소 함량에 따라 적절한 양으로 처리 레이들에 첨가된다. 최종 조성물로의 탄소의 우수한 물질 수송을 위해 레이들에 주입된 탄소는 미세한 분말 형태일 수 있다. 일부 실시예에서, 본 발명에 따른 생물기원 시약은 레이들 첨가 생성물로 사용되는 경우 최소 치수가 약 0.5cm, 예컨대, 약 0.75cm, 약 1cm, 약 1.5cm 이상이다.
- [0507] 일부 실시예에서, 본 발명에 따른 고탄소 생물기원 시약은 예를 들어 탄소의 레이들 첨가가 사용되는(예를 들어, 강철 제조 동안 레이들 탄소에 첨가되는) 위치마다 순산소 전로 또는 전기 아크로 시설에서 레이들 첨가 탄소 첨가제로서 유용하다.
- [0508] 일부 실시예에서, 레이들 첨가 탄소 첨가제는 최대 약 5 wt%의 망간, 최대 약 5 wt%의 산화칼슘, 및/또는 최대 약 5 wt%의 백운석 석회를 더 포함한다.
- [0509] 해면철이라고도 지칭되는 직접 환원 철(DRI)은 천연 가스나 석탄에서 일반적으로 생산되는 환원 가스에 의해 철광석(덩어리, 펠릿 또는 미립자의 형태)을 직접 환원시켜 생산된다. 환원 가스는 전형적으로 환원제 역할을 하는 수소와 일산화탄소의 혼합물인 합성 가스이다. 본 출원에 제공된 생물기원 시약은 CO를 포함하는 가스 스트림으로 변환되어 직접 환원 철을 생성하는 환원제로서 작용할 수 있다.
- [0510] 철 너겟은 고품질 제강 및 철 주조 공급 물질이다. 철 너겟은 본질적으로 모두 철과 탄소가 되어 있으며 맥석(슬래그)이 거의 없고 금속 잔류물이 낮은 수준이다. 이 생성물은 우수한 운송 및 취급 특성을 갖춘 프리미엄 등급 선철 생성물이다. 철 너겟 또는 임의의 그 일부에 함유된 탄소는 본 출원에 제공된 생물기원 시약일 수 있다. 철 너겟은 환원제 및 에너지 소스로서 생물기원 시약을 사용하여 회전 노상에서의 철광석의 환원을 통해 생산할 수 있다.
- [0511] 본 발명의 일부 변형에는 생물기원 시약을 야금 코크스 탄소 기반 생성물로 이용한다. "메트(met)" 코크스(coke)라고도 알려진 야금 코크스는 일반적으로 다양한 역청탄 블렌드를 분해 증류하여 제조되는 탄소 물질이다. 최종 고체는 야금 코크스라고 지칭되는 비용융 탄소이다. 휘발성 가스의 손실과 부분적인 용융의 결과로 메트 코크스는 개방된 다공성 형태를 갖는다. 메트 코크스는 휘발성 물질 함량이 매우 낮다. 그러나, 원래의 역청탄 공급원료의 일부였던 회분 성분은 결과 코크스에 캡슐화되어 남아 있다. 메트 코크스 공급원료는 미세한 분말로부터 농구공 크기의 덩어리까지 광범위한 크기로 입수할 수 있다. 전형적인 순도 범위는 86-92 wt% 고정 탄소이다.
- [0512] 야금 코크스는 고품질, 강인함, 탄력성, 마멸성 탄소가 필요 한 곳에 사용된다. 응용은 전도성 바닥재, 마찰재(예를 들어, 탄소 라이닝), 주조 코팅, 주조 탄소 라이저, 부식 물질, 드릴링 응용, 환원제, 열처리제, 세라믹 팩킹 매체, 전해 프로세스 및 산소 배제를 포함하지만 이에 제한되지 않는다.
- [0513] 메트 코크스는 일반적으로 파운드당 약 10,000 내지 14,000Btu의 열량과 적어도 약 10 wt% 이상의 회분 함량을 포함한다. 따라서, 일부 실시예에서, 메트 코크스 대체 생성물은 적어도 약 80 wt%, 85 wt%, 또는 90 wt% 탄소, 약 0.8 wt% 이하 황, 약 3 wt% 이하 휘발성 물질, 약 15 wt% 이하 회분, 약 13 wt% 이하 습기, 약 0.035 wt%

이하 인을 포함하는 본 발명에 따른 생물기원 시약을 포함한다. 본 발명에 따른 생물기원 시약은 메트 코크스 대체 생성물로 사용되는 경우, 예를 들어 약 2cm 내지 약 15cm의 크기 범위를 가질 수 있다.

- [0514] 일부 실시예에서, 메트 코크스 대체 생성물은 크롬, 니켈, 망간, 산화마그네슘, 실리콘, 알루미늄, 백운석, 형석, 산화칼슘, 석회, 백운석 석회, 벤토나이트 및 이의 조합과 같은 첨가제를 더 포함한다.
- [0515] 본 발명의 일부 변형에는 석탄 대체 생성물로서 생물기원 시약을 이용한다. 석탄을 사용하는 임의의 프로세스나 시스템은 원본적으로 생물기원 시약을 사용하도록 적응될 수 있다.
- [0516] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 하나 이상의 석탄 기반 생성물과 조합되어 석탄 기반 생성물(들)보다 더 높은 등급을 갖고/거나 연소될 때 순수 석탄 기반 생성물보다 더 적은 배출을 갖는 복합 생성물을 형성한다.
- [0517] 예를 들어, 아역청탄과 같은 저등급 석탄은 본 발명에 따른 생물기원 시약의 선택된 양을 저등급 석탄 생성물과 조합함으로써, 일반적으로 역청탄 같은 고등급 석탄 생성물이 필요한 응용에 사용될 수 있다. 다른 실시예에서, 혼합 석탄 생성물의 등급(예를 들어, 상이한 등급의 복수의 석탄의 조합)은 혼합 석탄을 소정 양의 생물기원 시약과 조합함으로써 개선될 수 있다. 석탄 생성물(들)과 혼합되는 생물기원 시약의 양은 석탄 생성물(들)의 등급, 생물기원 시약의 특성(예를 들어, 탄소 함량, 열량 등) 및 최종 조합된 생성물의 원하는 등급에 따라 달라질 수 있다.
- [0518] 예를 들어, 무연탄은 적어도 약 80 wt%의 탄소, 약 0.6 wt% 황, 약 5 wt% 휘발성 물질, 최대 약 15 wt% 회분, 최대 약 10 wt% 습기 및 약 12,494Btu/lb의 열량을 가질 수 있다. 일부 실시예에서, 무연탄 대체 생성물은 적어도 약 80 wt%의 탄소, 약 0.6 wt% 이하의 황, 약 15 wt% 이하의 회분 및 적어도 약 12,000Btu/lb의 열량을 포함하는 생물기원 시약이다.
- [0519] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 열탄(thermal coal) 대체 생성물로 유용하다. 열탄 생성물은 일반적으로 높은 황 수준, 높은 인 수준, 높은 회분 함량 및 최대 약 15,000 Btu/lb의 열량을 가질 수 있다. 일부 실시예에서, 열탄 대체 생성물은 약 0.5 wt% 이하의 황, 약 4 wt% 이하의 회분 및 적어도 약 12,000Btu/lb의 열량을 포함하는 생물기원 시약이다.
- [0520] 본 발명의 일부 변형에는 탄소 기반 코크스화 생성물로서 생물기원 시약을 이용한다. 임의의 코크스화 프로세스나 시스템이 생물기원 시약을 사용하여 코크스를 생산하거나 이를 코크스 공급원료로 사용하도록 적응될 수 있다.
- [0521] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 열탄 또는 코크스 대체 생성물로 유용하다. 일부 실시예에서, 열탄 또는 코크스 대체 생성물은 적어도 약 50 wt%의 탄소, 최대 약 8 wt%의 회분, 최대 약 0.5 wt%의 황, 및 적어도 약 11,000Btu/lb의 열량을 포함하는 생물기원 시약을 포함한다. 일부 실시예에서, 열 코크스 대체 생성물은 약 0.5 wt% 내지 약 50 wt%의 휘발성 물질을 더 포함한다. 일부 실시예에서, 열탄 또는 코크스 대체 생성물은 적어도 약 0.4 wt% 내지 최대 약 15 wt%의 습기를 포함한다.
- [0522] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 석유(페트) 코크스 또는 하소 페트 코크스 대체 생성물로 유용하다. 하소 페트 코크스는 일반적으로 적어도 약 66 wt% 탄소, 최대 4.6 wt% 황, 최대 약 5.5 wt% 휘발성 물질, 최대 약 19.5 wt% 회분, 최대 약 2 wt% 습기를 가질 수 있으며, 전형적으로 크기는 약 3 메시 이하이다. 일부 실시예에서, 하소 페트 코크스 대체 생성물은 적어도 약 66 wt%의 탄소, 약 4.6 wt% 이하의 황, 약 19.5 wt% 이하의 회분, 약 2 wt% 이하의 습기를 포함하는 생물기원 시약이고, 크기는 약 3 메시 이하이다.
- [0523] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 코크스화 탄소 대체 탄소(예를 들어, 코킹로에서 야금 석탄과 함께 연소됨)로서 유용하다. 일 실시예에서, 코크스화 탄소 대체 생성물은 적어도 약 55 wt%의 탄소, 약 0.5 wt% 이하의 황, 약 8 wt% 이하의 불연성 물질 및 파운드당 적어도 약 11,000Btu의 열량을 포함하는 생물기원 시약이다. 일부 실시예에서, 코크스화 탄소 대체 생성물은 약 0.5 wt% 내지 약 50 wt%의 휘발성 물질, 및/또는 하나 이상의 첨가제를 포함한다.
- [0524] 본 발명의 일부 변형에는 생물기원 시약을 탄소 브리즈 생성물로 이용하며, 이는 전형적으로 6 mm, 3 mm, 2 mm, 1 mm 이하와 같은 매우 미세한 입자 크기를 갖는다. 일부 실시예에서, 본 발명에 따른 생물기원 시약은 코크스 브리즈 대체 생성물로 유용하다. 코크스 브리즈는 일반적으로 약 6 mm 이하의 최대 치수, 적어도 약 80 wt%의 탄소 함량, 0.6 내지 0.8 wt% 황, 1% 내지 20 wt% 휘발성 물질, 최대 약 13 wt% 회분, 및 최대 약 13 wt%의 습기를 가질 수 있다. 일부 실시예에서, 코크스 브리즈 대체 생성물은 적어도 약 80 wt%의 탄소, 약 0.8 wt% 이하의 황, 약 20 wt% 이하의 휘발성 물질, 약 13 wt% 이하의 회분, 약 13 wt% 이하의 습기 및 최대 치수 약 6 mm을

포함하는 본 발명에 따른 생물기원 시약이다.

- [0525] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 예를 들어 타코나이트 펠릿 생산 중 또는 제철 프로세스에서 탄소 브리즈 대체 생성물로 유용하다.
- [0526] 일부 변형에서는 생물기원 시약을 다양한 유동층의 공급원료로 이용하거나 유동층 탄소 기반 공급원료 대체 생성물로 이용한다. 탄소는 총 연소, 부분 산화, 가스화, 스티프 개질 등을 위해 유동층에 사용될 수 있다. 탄소는 주로 에너지 생산(예를 들어, 열병합 발전) 또는 액체 연료(예를 들어, 메탄올 또는 피셔-트롭쉬 디젤 연료)를 포함한 다양한 하류 용도를 위해 합성 가스로 변환될 수 있다.
- [0527] 일부 실시예에서, 본 발명에 따른 생물기원 시약은 (예를 들어, 프로세스 열 또는 에너지 생산을 위해) 예를 들어 석탄이 사용되는 모든 유동층 노에서 유동층 석탄 대체 생성물로서 유용하다.
- [0528] 일부 변형에서는 탄소 기반 노 추가 생성물로서 생물기원 시약을 이용한다. 석탄 기반 탄소에 첨가 생성물은 일반적으로 높은 황 수준, 높은 인 수준 및 높은 회분 함량을 가질 수 있으며, 이는 금속 생성물의 품질 열화에 기여하고 대기 오염을 생성한다. 일부 실시예에서, 생물기원 시약을 포함하는 탄소에 첨가 대체 생성물은 약 0.5 wt% 이하의 황, 약 4 wt% 이하의 회분, 약 0.03 wt% 이하의 인을 포함하고, 최대 치수 약 7.5cm를 포함한다. 일부 실시예에서, 탄소에 첨가 대체 생성물 대체 생성물은 약 0.5 wt% 내지 약 50 wt% 휘발성 물질 및 약 0.4 wt% 내지 약 15 wt% 습기를 포함한다.
- [0529] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 예를 들어 노 첨가 탄소가 사용되는 순산소 전로 또는 전기 아크로 시설에서 노 첨가 탄소 첨가제로서 유용하다. 예를 들어, 전기 아크로 시설에서 강철을 제조하는 동안 고철에 노 첨가 탄소를 첨가할 수 있다. 전기 아크로 응용의 경우 불순물을 조기에 제거한 이후 불순물이 프로세스에 다시 도입되지 않도록 고순도 탄소가 필요하다.
- [0530] 일부 실시예에서, 노 첨가 탄소 첨가제는 적어도 약 80 wt%의 탄소, 약 0.5 wt% 이하의 황, 약 8 wt% 이하의 불연성 물질 및 파운드당 적어도 약 11,000Btu의 열량을 포함하는 생물기원 시약이다. 일부 실시예에서, 노 첨가 탄소 첨가제는 최대 약 5 wt% 망간, 최대 약 5 wt% 형석, 약 5 wt% 내지 약 10 wt% 백운석, 약 5 wt% 내지 약 10 wt% 백운석 석회, 및/또는 약 5 wt% 내지 약 10 wt% 산화칼슘을 더 포함한다.
- [0531] 일부 변형에서는 생물기원 시약을 스토커로 탄소 기반 생성물로서 이용한다. 일부 실시예에서, 본 발명에 따른 생물기원 시약은 석탄이 사용되는 곳이면 어디든(예를 들어, 프로세스 열 또는 에너지 생산을 위해) 예를 들어 스토커로 시설에서 스토커 석탄 대체 생성물로 유용하다.
- [0532] 일부 변형에서 생물기원 시약을 주입 가능한 (예를 들어, 미분화된(pulverized)) 탄소 기반 물질로 이용한다. 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 주입 등급 하소 페트 코크스 대체 생성물로 유용하다. 주입 등급 하소 페트 코크스는 일반적으로 적어도 약 66 wt%의 탄소, 약 0.55 내지 약 3 wt% 황, 최대 약 5.5 wt% 휘발성 물질, 최대 약 10 wt% 회분, 최대 약 2 wt% 습기를 가질 수 있으며, 크기는 약 6 메시 이하이다. 일부 실시예에서, 하소 페트 코크스 대체 생성물은 적어도 약 66 wt%의 탄소, 약 3 wt% 이하의 황, 약 10 wt% 이하의 회분, 약 2 wt% 이하의 습기를 포함하는 생물기원 시약이고, 크기는 약 6 메시 이하이다.
- [0533] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 주입 가능한 탄소가 사용되는 (예를 들어, 강철 제조 동안 슬래그 또는 레이블에 주입되는) 임의의 응용에서 예를 들어 순산소 전로 또는 전기 아크로 시설에서 주입 가능한 탄소 대체 생성물로 유용하다.
- [0534] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 예를 들어, 미분탄(pulverized coal)이 사용될 때마다(예를 들어, 프로세스 열 또는 에너지 생산을 위해) 미분화된 탄소 대체 생성물로서 유용하다. 일부 실시예에서, 미분탄 대체 생성물은 최대 약 10%의 산화칼슘을 포함한다.
- [0535] 일부 변형에서는 금속 생산을 위한 탄소 첨가 생성물로서 생물기원 시약을 이용한다. 일부 실시예에서, 본 발명에 따른 생물기원 시약은 탄소강 또는 탄소를 포함하는 다른 금속 합금의 생산을 위한 탄소 첨가 생성물로서 유용하다. 석탄 기반 후기 스테이지 탄소 첨가 생성물은 일반적으로 높은 황 수준, 높은 인 수준, 높은 회분 함량을 가지고, 수은 수준이 높으며, 이는 금속 품질을 저하시키 대기 오염에 기여할 수 있다. 본 발명의 일부 실시예에서, 탄소 첨가 생성물은 약 0.5 wt% 이하의 황, 약 4 wt% 이하의 회분, 약 0.03 wt% 이하의 인, 약 1 내지 5 mm의 최소 치수, 및 약 8 내지 12 mm의 최대 치수를 포함한다.
- [0536] 일부 변형에서는 탄소 전극 내에 생물기원 시약을 이용한다. 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 예를 들어 알루미늄

미늄 생산에 사용하기에 적절한 전극(예를 들어, 양극) 물질로서 유용하다.

- [0537] 탄소 전극에서 생물기원 시약의 다른 용도는 배터리, 연료 전지, 커패시터 및 기타 에너지 저장 또는 에너지 전달 디바이스에서의 응용을 포함한다. 예를 들어, 리튬 이온 배터리에서 생물기원 시약은 리튬을 삽입하기 위해 양극층에서 사용될 수 있다. 이러한 응용에서, 탄소 순도와 낮은 회분이 매우 중요할 수 있다.
- [0538] 본 발명의 일부 변형에는 생물기원 시약을 촉매 지지체로서 이용한다. 탄소는 탄소 상에 지지된 황화 코발트-몰리브덴 금속 촉매 또는 합성 가스로부터의 고급 탄화수소의 피셔-트롭쉬 합성을 위해 탄소에 지지된 철 기반 촉매를 사용하여 합성 가스로부터 혼합 알콜 합성과 같은 광범위한 촉매 화학 반응에서 알려진 촉매 지지체이다.
- [0539] 일부 변형에서는 생물기원 시약을 활성탄 생성물로 이용한다. 활성탄은 수처리, 공기 정화, 용매 증기 회수, 식품 및 음료 처리, 제약을 비롯한 다양한 액체 및 기체 상 응용에 사용된다. 활성탄의 경우, 일반적으로 재료의 다공성과 표면적이 중요하다. 본 출원에 제공된 생물기원 시약은 다음에 기인하여 다양한 실시예에서 우수한 활성탄 생성물을 제공할 수 있다: (i) 화석 연료 기반 활성탄보다 더 큰 표면적; (ii) 탄소 재생성; (iii) 첨가제와 함께 바이오매스 공급원료의 맥관 특성은 오염물 제어를 개선하는 첨가제의 침투/분포를 더 잘 허용함; 및 (iv) 더 적은 불활성 물질(회분)이 더 큰 반응성을 생성함.
- [0540] 위의 생물기원 시약의 시장 응용에 대한 설명에서 설명된 응용은 배타적이지 않으며, 모두를 철저히 설명하는 것도 아님을 인식하여야 한다. 따라서, 한 유형의 탄소 생성물에 적절한 것으로 설명된 생물기원 시약은 다양한 실시예에서 설명된 임의의 다른 응용에 적절할 수 있다. 이러한 응용은 예시일 뿐이며, 생물기원 시약의 다른 응용이 존재한다.
- [0541] 또한, 일부 실시예에서는 동일한 물리적 재료가 통합된 방식으로 또는 순차적으로 다수의 시장 프로세스에서 사용될 수 있다. 따라서, 예를 들어, 탄소 전극 또는 활성탄으로 사용되는 생물기원 시약은 성능 재료로서의 그 유효 수명이 끝나면, 그 후, 에너지 가치를 위해 연소 프로세스 또는 금속 제조(예를 들어, 금속 광석 환원) 프로세스 등에 도입될 수 있다.
- [0542] 일부 실시예는 그 반응성/흡착 특성을 위해 그리고 또한 연료로서의 양자 모두를 위해 생물기원 시약을 사용할 수 있다. 예를 들어, 배출 스트림에 주입된 생물기원 시약은 오염물을 제거한 후 생물기원 시약 입자 및 가능한 오염물을 연소하여 에너지를 생성하고 오염물을 열적으로 파괴하거나 화학적으로 산화시키는 데 적합할 수 있다.
- [0543] 종래의 화석 연료 기반 생성물에 비교하여 상당한 환경 및 생성물 사용 이점이 생물기원 시약과 연관될 수 있다. 생물기원 시약은 환경적으로 우수할 뿐만 아니라, 예를 들어 더 높은 온도 때문에 처리 관점에서 기능적으로도 우수할 수 있다.
- [0544] 금속 생산의 일부 실시예와 관련하여, 개시된 프로세스에 의한 생물기원 시약의 생산은 금속 생산에 사용하기 위해 준비하는 데 필요한 석탄 기반 생성물의 코크스화와 비교하여 훨씬 더 낮은 CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> 및 유해 대기 오염물의 배출을 초래할 수 있다.
- [0545] 석탄이나 코크스 대신 생물기원 시약을 사용하면 SO<sub>2</sub>, 유해 대기 오염물 및 수은의 환경 배출도 크게 감소한다.
- [0546] 또한, 이러한 생물기원 시약의 순도(낮은 회분 함량 포함)로 인해, 개시된 생물기원 시약은 회분식 금속 제조 프로세스에서 슬래그를 감소시키고 생산 용량을 증가시킬 잠재력을 갖는다.
- [0547] 일부 실시예에서, 생물기원 시약은 활성탄으로서 기능한다. 예를 들어, 저 고정 탄소 물질이 활성화될 수 있고, 고 고정 탄소 물질이 활성화될 수 있고, 또는 두 물질이 모두 활성화될 수 있으며, 따라서, 바이오카본 조성물(블렌드)이 활성탄으로서 기능한다.
- [0548] 특정 실시예에서, 생물기원 시약의 일부는 활성탄 생성물로 회수되는 반면, 생물기원 시약의 다른 부분(예를 들어, 나머지)은 결합제로 펠릿화되어 바이오카본 펠릿을 생성한다. 다른 실시예에서, 생물기원 시약은 바이오카본 펠릿을 생성하기 위해 결합제로 펠릿화되며, 이는 나중에 활성탄 생성물로 변환하기 위해 운송된다. 나중의 변환은 분말로 다시 미분화하는 것을 포함할 수 있으며, 또한, 예를 들어, 스팀, 산 또는 염기를 이용한 화학적 처리도 포함될 수 있다. 이러한 실시예에서, 바이오카본 펠릿은 활성탄 전구체 펠릿으로 고려될 수 있다.
- [0549] 특정 실시예에서, 생물기원 시약 내의 고정 탄소는 주로 활성탄을 만드는 데 사용될 수 있는 반면, 생물기원 시약 내의 휘발성 탄소는 주로 환원 가스를 만드는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 단계 (b)에서 생성된 생물기원 시약 내의 고정 탄소의 적어도 50 wt%, 적어도 90 wt%, 또는 본질적으로 전부가 단계 (f)에서 활성탄으로서 회

수될 수 있는 반면, 예를 들어, 단계 (b)에서 생성된 생물기원 시약 내의 휘발성 탄소의 적어도 50 wt%, 적어도 90 wt%, 또는 본질적으로 전부가 (예를 들어, CO<sub>2</sub>로의 휘발성 탄소의 스팀 개질 반응을 통해) 환원 가스로 향해 질 수 있다.

- [0550] 일부 실시예에서, 활성탄은 적어도 약 500, 750, 800, 1000, 1500, 또는 2000의 요오드가를 포함한다. 일부 실시예에서, 활성탄은 활성탄의 <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C 동위원소 비율 측정을 통해 결정될 때, 적어도 약 50%, 적어도 약 60%, 적어도 약 70%, 적어도 약 80%, 적어도 약 90%, 또는 적어도 약 95%의 재생 가능한 탄소 함량을 포함한다. 일부 실시예에서, 활성탄은 활성탄의 <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C 동위원소 비율의 측정으로부터 결정된 바와 같은 재생 가능한 활성탄으로 본질적으로 구성된다.
- [0551] 일부 실시예에서, 열분해 반응기는 다양한 유형의 활성탄 생산을 최적화하도록 구성된다. 예를 들어, 반응 조건 (예를 들어, 시간, 온도 및 스팀 농도)은 요오드가와 같은 특정 속성을 가진 활성탄 생성물을 위해 선택될 수 있다. 요오드가가 더 높은 것과 같은 다른 활성탄 생성물에 대해 다른 반응 조건을 선택할 수 있다. 열분해 반응기는 캠페인 모드에서 동작하여 하나의 생성물을 생산한 다음 다른 생성물을 위해 다른 모드로 전환될 수 있다. 제1 생성물은 제1 캠페인 동안 연속적으로 또는 주기적으로 제거될 수 있거나, 열분해 반응기의 반응 조건을 전환하기 전에 제거될 수 있다.
- [0552] 일부 실시예에서, 활성탄은 적어도 약 500, 적어도 약 750, 적어도 약 1000, 적어도 약 1500, 또는 적어도 약 2000의 요오드가를 포함한다. 일부 실시예에서, 활성탄은 활성탄의 <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C 동위원소 비율의 측정으로부터 결정될 때 적어도 약 90%의 재생 가능한 탄소 함량을 포함한다. 일부 실시예에서, 활성탄은 활성탄의 <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C 동위원소 비율의 측정으로부터 결정된 바와 같은 재생 가능한 활성탄으로 본질적으로 구성된다.
- [0553] 본 출원에 개시된 프로세스에 의해 생성된 활성탄은 다양한 방식으로 사용될 수 있다.
- [0554] 일부 실시예에서, 활성탄은 하나 이상의 1차 생성물을 정제하기 위해 프로세스 현장에서 내부적으로 이용된다. 일부 실시예에서, 활성탄은 정수를 위해 현장에서 이용된다. 이러한 또는 다른 실시예에서, 활성탄은 현장에서 액체 폐기물 스트림을 처리하여 액체 상 배출을 감소시키고/거나 증기 폐기물 스트림을 처리하여 대기 배출을 감소시키는 데 이용된다. 일부 실시예에서, 활성탄은 새로운 바이오매스의 생성을 돕기 위해 토양 개량제로서 이용되고, 이러한 새로운 바이오매스는 현장에서 국지 공급원료로 이용되는 것과 동일한 유형의 바이오매스일 수 있다.
- [0555] 본 출원에 개시된 프로세스에 따라 제조된 활성탄은 전통적인 화석 연료 기반 활성탄과 동일하거나 더 나은 특성을 가질 수 있다. 일부 실시예에서, 활성탄은 화석 연료 기반 활성탄과 연관된 표면적과 비슷하거나, 동일하거나, 더 큰 표면적을 갖는다. 일부 실시예에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 같거나 그보다 더 나은 정도로 오염물을 제어할 수 있다. 일부 실시예에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 연관된 불활성 물질(예를 들어, 회분) 수준과 비슷하거나, 동일하거나, 그 미만인 불활성 물질(예를 들어, 회분) 수준을 갖는다. 일부 실시예에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 연관된 입자 크기 및/또는 입자 크기 분포와 비슷하거나, 동일하거나, 더 크거나, 더 작은 입자 크기 및/또는 입자 크기 분포를 갖는다. 일부 실시예에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 연관된 입자 형상과 비슷하거나, 실질적으로 유사하거나 동일한 입자 형상을 갖는다. 일부 실시예에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 연관된 입자 형상과 실질적으로 다른 입자 형상을 갖는다. 일부 실시예에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 연관된 공극 체적과 비슷하거나, 동일하거나, 더 큰 공극 체적을 갖는다. 일부 실시예에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 연관된 공극 치수와 비슷하거나, 실질적으로 유사하거나, 동일한 공극 치수를 갖는다. 일부 실시예에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 연관된 입자의 내마모성 값과 비슷하거나, 실질적으로 유사하거나 동일한 입자의 내마모성 값을 갖는다. 일부 실시예에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 연관된 경도 값과 비슷하거나, 실질적으로 유사하거나 동일한 경도 값을 갖는다. 일부 실시예에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 연관된 벌크 밀도 값과 비슷하거나, 실질적으로 유사하거나 동일한 벌크 밀도 값을 갖는다. 일부 실시예에서, 활성탄 생성물은 전통적인 활성탄 생성물과 연관된 흡착 용량과 비슷하거나, 실질적으로 유사하거나 동일한 흡착 용량을 갖는다.
- [0556] 임의의 생성물 응용에서의 적합성 또는 실제 사용 이전에, 개시된 활성탄은 다양한 방식으로 분석, 측정 및 선택적으로 변형(에켄대, 첨가제를 통해)될 수 있다. 잠재적으로 관심을 가질 만한 일부 특성에는 밀도, 입자 크기, 표면적, 미공성, 흡수성, 흡착성, 결합 용량, 반응성, 탈황 활성, 염기도, 경도 및 요오드가가 포함된다.
- [0557] 활성탄은 수처리, 공기 정화, 용매 증기 회수, 식품 및 음료 처리, 설탕 및 감미료 정제, 자동차 용도 및 제약

을 비롯한 다양한 액체 및 기체 상 응용에서 상업적으로 사용된다. 활성탄의 경우 주요 생성물 속성은 입자 크기, 형상, 조성, 표면적, 공극 체적, 공극 치수, 입자 크기 분포, 탄소 표면 및 내부의 화학적 특성, 입자의 내마모성, 경도, 벌크 밀도, 및 흡착 용량을 포함할 수 있다.

- [0558] 생물기원 활성탄의 벌크 밀도는 예를 들어 약 50 g/리터 내지 약 650 g/리터일 수 있다.
- [0559] 생물기원 활성탄의 표면적은 광범위하게 달라질 수 있다. 예시적인 표면적(예를 들어, BET 표면적)은 약  $400\text{m}^2/\text{g}$  내지 약  $2000\text{m}^2/\text{g}$  이상, 예컨대 약  $500\text{m}^2/\text{g}$ ,  $600\text{m}^2/\text{g}$ ,  $800\text{m}^2/\text{g}$ ,  $1000\text{m}^2/\text{g}$ ,  $1200\text{m}^2/\text{g}$ ,  $1400\text{m}^2/\text{g}$ ,  $1600\text{m}^2/\text{g}$ , 또는  $1800\text{m}^2/\text{g}$ 의 범위이다. 표면적은 일반적으로 흡착 용량과 상관 관계가 있다.
- [0560] 공극 크기 분포는 활성탄의 궁극적인 성능을 결정하는 데 중요할 수 있다. 공극 크기 측정은 미세공극 함량, 중간공극 함량 및 거대공극 함량을 포함할 수 있다.
- [0561] 요오드가는 활성탄 성능을 특성화하는 데 사용되는 파라미터이다. 요오드가는 탄소의 활성화 정도의 척도이며 미세공극(예를 들어, 0 내지  $20\text{\AA}$ ) 함량의 척도이다. 이는 액체 상 응용에 중요한 측정이다. 본 개시의 실시예에 의해 생산된 활성탄 생성물의 예시적인 요오드가는 모든 중간 범위를 포함하여 약 500, 600, 750, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1500, 1600, 1750, 1900, 2000, 2100 및 2200을 포함한다. 요오드가의 단위는 탄소 그램당 요오드 밀리그램이다.
- [0562] 또 다른 공극 관련 측정은 중간공극 함량(예를 들어, 20 내지  $500\text{\AA}$ )을 측정하는 메틸렌 블루 수치이다. 본 개시의 실시예에 의해 생산된 활성탄 생성물에 대한 예시적인 메틸렌 블루 수치는 모든 중간 범위를 포함하여 약 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 및 500을 포함한다. 메틸렌 블루 수치의 단위는 탄소 그램당 밀리그램 메틸렌 블루(염화메틸티오니늄)이다.
- [0563] 또 다른 공극 관련 측정은 거대공극 함량(예를 들어,  $>500\text{\AA}$ )을 측정하는 당밀가이다. 본 개시의 실시예에 의해 생산된 활성탄 생성물에 대한 예시적인 당밀가는 모든 중간 범위를 포함하여 약 100, 150, 200, 250, 300, 350 및 400을 포함한다. 당밀(Molasses Number)의 단위는 탄소 그램당 당밀 밀리그램의 양이다.
- [0564] 일부 실시예에서, 활성탄은 예를 들어 적어도 약  $0.5\text{cm}^3/\text{g}$ , 예컨대 적어도 약  $1\text{cm}^3/\text{g}$ 의 중간공극 체적을 포함한다.
- [0565] 활성탄은 그 흡습 능력을 특징으로 할 수 있다. 다양한 실시예에서, 본 개시의 실시예에 의해 생산된 활성탄 생성물은  $25^\circ\text{C}$ 에서 약 10% 내지 약 300%(물 중량을 건조 활성탄의 중량으로 나눈 값), 예컨대 약 50% 내지 약 100%, 예를 들어 약 60-80%의 흡습 능력을 갖는다.
- [0566] 경도 또는 마모수는 활성탄의 내마모성의 척도이다. 이는 취급 또는 사용 중 마찰력과 기계적 응력을 견디는 활성탄의 물리적 무결성을 나타내는 지표이다. 소정 양의 경도가 바람직하지만, 경도가 너무 높으면 과도한 장비 마멸을 초래할 수 있다. ASTM D3802에 따라 측정된 예시적인 마모수는 약 1% 내지 약 99% 초과, 예컨대 약 1%, 약 5%, 약 10%, 약 15%, 약 20%, 약 25%, 약 30%, 약 35%, 약 40%, 약 45%, 약 50%, 약 55%, 60%, 약 65%, 약 70%, 약 75%, 약 80%, 약 85%, 약 90%, 약 95%, 약 96%, 약 97%, 약 98%, 약 99%, 또는 약 99% 초과 범위이다.
- [0567] 일부 실시예에서, 활성탄이 합리적으로 마모에 저항하지만 활성탄을 처리하는 자본 시설에서 마손 및 마멸을 유발하지 않는 최적 범위의 경도가 달성될 수 있다. 이러한 최적은 공급원료의 선택 및 처리 조건으로 인해 본 개시의 일부 실시예에서 가능해진다. 하류 용도가 높은 경도를 처리할 수 있는 일부 실시예에서, 본 개시의 프로세스는 경도를 증가시키거나 최대화하여 마모수가 약 75%, 약 80%, 약 85%, 약 90%, 약 95%, 약 96%, 약 97%, 약 98%, 약 99%, 또는 약 99% 초과인 생물기원 활성탄 생성물을 생성하도록 동작될 수 있다.
- [0568] 본 개시에 의해 제공되는 생물기원 활성탄은 광범위한 상업적 용도를 갖는다. 예를 들어, 제한 없이, 생물기원 활성탄은 배출 제어, 물 정화, 지하수 처리, 폐수 처리, 에어 스트리퍼 응용, PCB 제거 응용, 악취 제거 응용, 토양 증기 추출, 제조된 가스 플랜트, 산업 용수 여과, 산업용 훈증, 탱크 및 프로세스 통기구, 펌프, 송풍기, 필터, 사전 필터, 미스트 필터, 배관, 배관 모듈, 흡착기, 흡수기 및 컬럼에 이용될 수 있다.
- [0569] 일 실시예에서, 배출을 감소시키기 위해 활성탄을 사용하는 방법은
- [0570] (a) 본 출원에 개시된 제2 반응기로부터 회수된 생물기원 활성탄 조성물을 포함하는 활성탄 입자를 제공하는 단계;

- [0571] (b) 적어도 하나의 선택된 오염물을 포함하는 기체 상 배출 스트림을 제공하는 단계;
- [0572] (c) 기체 상 배출 스트림으로부터 선택된 오염물의 제거를 돕기 위해 선택된 첨가제를 제공하는 단계;
- [0573] (d) 활성탄 입자 및 첨가제를 기체 상 배출 스트림에 도입하여 선택된 오염물의 적어도 일부를 활성탄 입자 상에 흡착함으로써 기체 상 배출 스트림 내에 오염물이 흡착된 탄소 입자를 생성하는 단계; 및
- [0574] (e) 오염물이 감소된 기체 상 배출 스트림을 생성하기 위해 기체 상 배출 스트림으로부터 오염물이 흡착된 탄소 입자의 적어도 일부를 분리하는 단계를 포함한다.
- [0575] 생물기원 활성탄 조성물용 첨가제가 활성탄 입자의 일부로서 제공될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 첨가제는 기체 상 배출 스트림, 연료층 또는 연소 구역에 직접 도입될 수 있다. 본 기술 분야의 숙련자가 이해하는 바와 같이, 선택된 오염물을 제거하기 위해 첨가제를 기체 상 배출 스트림에 직접 또는 간접적으로 도입하는 다른 방식도 가능하다.
- [0576] 일부 실시예에서, (기체 상 배출 스트림 내의) 선택된 오염물은 금속을 포함한다. 일부 실시예에서, 금속은 수은, 붕소, 셀레늄, 비소, 이들의 염, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 선택된 오염물은 유해 대기 오염물, 유기 분자(예컨대, 휘발성 유기 화합물 또는 "VOC") 또는 비응축성 가스를 포함한다. 일부 실시예에서, 생물기원 활성탄 생성물은 비교 가능한 양의 비생물기원 활성탄 생성물보다 더 많은 양으로 오염물을 흡착, 흡수 또는 화학흡착한다. 일부 실시예에서, 오염물은 금속, 유해 대기 오염물, 유기 분자(예컨대, VOC), 비응축성 가스 또는 이의 조합이다. 일부 실시예에서, 오염물은 수은을 포함한다. 일부 실시예에서, 오염물은 VOC를 포함한다. 일부 실시예에서, 생물기원 활성탄은 적어도 약 1 wt%의 수소 또는 적어도 약 10 wt%의 산소를 포함한다.
- [0577] 유해 대기 오염물은 암이나 기타 심각한 건강 영향, 예컨대, 생식 영향, 선천적 결함, 또는 부정적인 환경 및 생태계 영향을 유발하거나 유발할 수 있는 오염물이다. 개정된 대기 청정법(Clean Air Act) 섹션 112는 전체 내용이 본 출원에 참조로 포함된다. 대기 청정법(Clean Air Act) 섹션 112에 따르면, 미국 환경 보호국(EPA)은 189종의 유해 대기 오염물을 통제할 의무가 있다. EPA에 의해 유해 대기 오염물로 분류된 임의의 현재 또는 미래의 분자는 현재 문맥에서 선택 가능한 오염물에 포함된다.
- [0578] 그 중 일부가 유해 대기 오염물이기도한 휘발성 유기 분자는 일반적인 실온 조건에서 증기압이 높은 유기 화합물 물질이다. 예는 단쇄 알칸, 올레핀, 알콜, 케톤 및 알데히드를 포함한다. 많은 휘발성 유기 분자는 인체 건강에 위험하거나 환경에 해를 유발한다. EPA는 공기, 물, 토지의 휘발성 유기 분자를 규제한다. 휘발성 유기 분자에 대한 EPA의 정의는 40 CFR 섹션 51.100에 설명되어 있으며, 이는 그 전체 내용이 참조로 본 출원에 포함된다.
- [0579] 비응축성 가스는 일반적인 실온 조건 하에 응축되지 않는 가스이다. 비응축성 가스는 산화질소, 일산화탄소, 이산화탄소, 황화수소, 이산화황, 삼산화황, 메탄, 에탄, 에틸렌, 오존, 암모니아 또는 이의 조합을 포함할 수 있지만 이에 제한되지 않는다.
- [0580] 개시된 활성탄 입자에 의해 다수의 오염물이 제거될 수 있다. 일부 실시예에서, 오염물이 흡착된 탄소 입자는 적어도 2개 오염물, 적어도 3개 오염물 또는 그 이상을 포함한다. 본 출원에 개시된 활성탄은 다중 오염물 제거뿐만 아니라 특정 타겟 오염물(예를 들어, 셀레늄)의 제어도 가능하게 할 수 있다.
- [0581] 일부 실시예에서, 오염물이 흡착된 탄소 입자를 처리하여 활성탄 입자를 재생한다. 일부 실시예에서, 방법은 오염물이 흡착된 탄소 입자를 열산화시키는 단계를 포함한다. 오염물이 흡착된 탄소 입자 또는 이의 재생된 형태는 연소되어 에너지를 제공할 수 있다.
- [0582] 일부 실시예에서, 활성탄용 첨가제는 산, 염기, 염, 금속, 금속 산화물, 금속 수산화물, 금속 할로젠화물, 또는 이의 조합으로부터 선택된다. 일부 실시예에서, 첨가제는 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 철, 크롬, 실리콘, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 산화마그네슘, 백운석, 백운석 석회, 플로라이트, 형석, 벤토나이트, 산화칼슘, 석회, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 유기산(예를 들어, 시트르산) 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0583] 일부 실시예에서, 기체 상 배출 스트림은 황 함량이 높은 금속 광석의 처리와 같은 금속 처리로부터 유래된다.
- [0584] 수은 제어에 관한 예시적인 실시예로서, 활성탄은 전기 집진기 또는 식물 필터와 같은 미립자 물질 제어 디바이스의 상류에(예컨대, 배관 내로) 주입될 수 있다. 일부 경우에, 연도 가스 탈황(건식 또는 습식) 시스템이 활성탄 주입 지점 하류에 있을 수 있다. 활성탄은 공압식으로 분말로서 주입될 수 있다. 주입 위치는 전형적으로 기존 플랜트 구성(새로운 현장이 아닌 경우)과 추가 하류 미립자 물질 제어 장비의 수정 여부에 따라 결정된다.

- [0585] 현재 미립자 물질 제어 디바이스가 장착된 보일러의 경우, 수은 제어를 위해 생물기원 활성탄 주입을 구현하는 것은 다음을 수반할 수 있다: (i) 기존 미립자 물질 제어 디바이스(전기 집진기 또는 직물 필터)의 상류에 분말 활성탄을 주입하는 것; (ii) 기존 전기 집진기의 하류에, 그리고, 개조 직물 필터의 상류에 분말 활성탄을 주입하는 것; 또는 (iii) 전기 집진기 전기장 사이에 분말 활성탄을 주입하는 것. 철 또는 철 함유 분자를 함유하면 수은 제어를 위한 전기 집진기의 성능이 크게 개선될 수 있다. 더욱이, 철 또는 철 함유 분자를 함유시키면 사용된 활성탄 고체가 다른 회분으로부터 분리될 수 있기 때문에 수명 종료 옵션이 크게 변할 수 있다.
- [0586] 일부 실시예에서, 분말 활성탄 주입 접근법은 기존 SO<sub>2</sub> 제어 디바이스와 함께 사용될 수 있다. 활성탄은 주입 지점의 하류에서 활성탄 흡착제를 수집하는 수단의 가용성에 따라 SO<sub>2</sub> 제어 디바이스 이전 또는 SO<sub>2</sub> 제어 디바이스 이후에 주입될 수 있다.
- [0587] 일부 실시예에서, 동일한 물리적 재료는 통합된 방식으로 또는 순차적으로 다수의 프로세스에 사용될 수 있다. 따라서, 예를 들어 활성탄은 성능 재료로서의 그 유효 수명이 끝나면, 그 후, 에너지 가치를 위한 연소 프로세스나 탄소가 필요하지만 활성탄의 특성은 필요하지 않은 금속 제조 프로세스 등에 도입될 수 있다.
- [0588] 생물기원 활성탄 및 본 개시의 원리는 예를 들어 물, 다양한 순도의 수성 스트림, 용매, 액체 연료, 폴리머, 용융염 및 용융 금속의 처리를 포함하는 액체 상 응용에 적용될 수 있다. 본 출원에서 의도된 바와 같이, "액체 상(liquid phase)"은 슬러리, 현탁액, 에멀전, 다상 시스템, 또는 적어도 일부 양의 액체 상태가 존재하는 (또는 가지도록 조절될 수 있는) 임의의 다른 물질을 포함한다.
- [0589] 일 실시예에서, 본 개시는 활성탄을 사용하여 액체를 정제하는 방법을 제공하며, 일부 변형예에서, 이는 다음 단계를 포함한다:
  - [0590] (a) 제2 반응기로부터 회수된 활성탄 입자를 제공하는 단계;
  - [0591] (b) 적어도 하나의 선택된 오염물을 포함하는 액체를 제공하는 단계;
  - [0592] (c) 액체로부터 선택된 오염물의 제거를 돕기 위해 선택된 첨가제를 제공하는 단계; 및
  - [0593] (d) 액체를 활성탄 입자 및 첨가제와 접촉시켜 적어도 하나의 선택된 오염물의 적어도 일부를 활성탄 입자 상에 흡착시켜 오염물이 흡착된 탄소 입자 및 오염물이 감소된 액체를 생성하는 단계.
- [0594] 첨가제는 활성탄 입자의 일부로서 제공될 수 있다. 또는 첨가제를 액체에 직접 도입할 수 있다. 일부 실시예에서, 동일하거나 상이할 수 있는 첨가제는 활성탄 입자의 일부로서 뿐만 아니라 액체에 직접 도입되는 둘 모두의 방식으로 도입된다.
- [0595] 액체 상 응용과 관련된 일부 실시예에서, 첨가제는 산, 염기, 염, 금속, 금속 산화물, 금속 수산화물, 금속 할로겐화물, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 첨가제는 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 철, 크롬, 실리콘, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 산화마그네슘, 백운석, 백운석 석회, 플ورا이트, 형석, 벤토나이트, 산화갈륨, 석회, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 유기산(예를 들어, 시트르산) 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0596] 일부 실시예에서, 오염물(처리될 액체에 있는 것과 같은)은 금속을 포함한다. 일부 실시예에서, 금속은 비소, 붕소, 셀레늄, 수은, 이들의 염, 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 선택된 오염물은 유기 분자(예컨대, VOC), 할로젠, 생물학적 분자, 살충제 또는 제초제를 포함한다. 일부 실시예에서, 오염물이 흡착된 탄소 입자는 2개, 3개 이상의 오염물 또는 그 유도체를 포함한다. 일부 실시예에서, 활성탄 생성물은 비교 가능한 양의 비생물기원 활성탄 생성물보다 더 많은 양으로 오염물을 흡착, 흡수 또는 화학흡착한다. 일부 실시예에서, 오염물은 금속, 유해 대기 오염물, 유기 분자(예컨대, VOC), 비응축성 가스 또는 이의 조합을 포함한다. 일부 실시예에서, 선택된 오염물은 수은을 포함한다. 일부 실시예에서, 선택된 오염물은 VOC를 포함한다. 일부 실시예에서, 생물기원 활성탄은 적어도 약 1 wt%의 수소 또는 적어도 약 10 wt%의 산소를 포함한다.
- [0597] 처리될 액체는 전형적으로 수성일 것이지만, 이는 본 개시의 원리에 반드시 필요한 것은 아니다. 일부 실시예에서, 액체는 고정층에서 활성탄 입자로 처리된다. 다른 실시예에서, 액체는 용액 내 또는 이동층 내 활성탄 입자로 처리된다.
- [0598] 일 실시예에서, 본 개시는 액체로부터 황 함유 오염물의 적어도 일부를 제거하기 위해 생물기원 활성탄 조성물을 사용하는 방법을 제공하며, 이 방법은 다음을 포함한다:

- [0599] (a) 본 출원에 개시된 제2 반응기로부터 회수된 활성탄 입자를 제공하는 단계;
- [0600] (b) 황 함유 오염물을 함유한 액체를 제공하는 단계;
- [0601] (c) 액체로부터 황 함유 오염물의 제거를 돕기 위해 선택된 첨가제를 제공하는 단계; 및
- [0602] (d) 액체를 활성탄 입자 및 첨가제와 접촉시켜 황 함유 오염물의 적어도 일부를 활성탄 입자 상에 또는 내부로 흡착 또는 흡수하는 단계.
- [0603] 일부 실시예에서, 황 함유 오염물은 원소 황, 황산, 아황산, 이산화황, 삼산화황, 황산염 음이온, 중황산염 음이온, 아황산염 음이온, 중황산염 음이온, 티올, 황화물, 디설피드, 다황화물, 티오에테르, 티오에스테르, 티오아세탈, 설펍시드, 설펍, 티오설피네이트, 설피미드, 설펍시미드, 설펍디이민, 할로겐화황, 티오케톤, 티오알데히드, 황 산화물, 티오카르복실산, 티오아미드, 설펍산, 설펍산, 설펍산, 설펍산, 설펍산, 옥소설펍산, 설펍란, 파설펍란, 또는 그 염, 또는 그 유도체, 또는 이의 조합을 포함한다. 예를 들어, 황 함유 오염물은 음이온 및/또는 염 형태의 황산염일 수 있다.
- [0604] 액체는 물과 같은 수성 액체일 수 있다. 일부 실시예에서, 물은 프로세스와 연관된 폐수이다. 일부 실시예에서, 프로세스는 금속 채굴, 산성 광산 배수, 광물 처리, 도시 하수 처리, 펄프 및 종이, 에탄올, 또는 폐수에서 황 함유 오염물을 배출할 수 있는 다른 산업 프로세스를 포함한다. 일부 실시예에서, 물은 호수, 강 또는 하천과 같은 자연 수역을 포함한다.
- [0605] 일 실시예에서, 본 개시는 물 중 황산염의 농도를 감소시키는 프로세스를 제공하며, 이 프로세스는 다음을 포함한다:
  - [0606] (a) 본 출원에 개시된 제2 반응기로부터 회수된 활성탄 입자를 제공하는 단계;
  - [0607] (b) 황산염을 함유한 물의 체적 또는 스트림을 제공하는 단계;
  - [0608] (c) 물로부터 황산염의 제거를 돕기 위해 선택된 첨가제를 제공하는 단계; 및
  - [0609] (d) 물을 활성탄 입자 및 첨가제와 접촉시켜 황산염의 적어도 일부를 활성탄 입자 상에 흡착하거나 흡수시키는 단계.
- [0610] 일부 실시예에서, 황산염은 물에서 약 50 mg/L 이하의 농도, 예컨대 물에서 약 10 mg/L 이하의 농도로 감소된다. 일부 실시예에서, 황산염은 주로 황산염 음이온 및/또는 중황산염 음이온의 형태로 존재한다. pH에 따라 황산염은 또한 황산염 염의 형태로 존재할 수 있다.
- [0611] 물은 폐수 스트림의 일부 또는 전체에서 유도될 수 있다. 예시적인 폐수 스트림은 금속 채굴, 산성 광산 배수, 광물 처리, 도시 하수 처리, 펄프 및 종이, 에탄올 또는 황 함유 오염물을 폐수로 배출할 수 있는 임의의 다른 산업 프로세스와 연관될 수 있는 것들이다. 물은 호수, 강 또는 하천과 같은 자연 수역일 수 있다. 일부 실시예에서, 프로세스는 연속적으로 수행된다. 다른 실시예에서, 프로세스는 회분식으로 수행된다.
- [0612] 물을 활성탄으로 처리할 때, 물의 여과, 물의 삼투 및/또는 활성탄 입자를 물에 직접 첨가(침전, 정화 등을 통해)할 수 있다. 삼투를 사용하는 경우, 활성탄은 삼투 디바이스 내에서 또는 삼투 디바이스를 보조하기 위해 여러 방식으로 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 활성탄 입자 및 첨가제는 삼투 이전에 물에 직접 도입된다. 활성탄 입자 및 첨가제는 삼투 이전 사전 여과에 선택적으로 사용된다. 특정 실시예에서, 활성탄 입자 및 첨가제는 삼투를 위해 멤브레인에 혼입된다.
- [0613] 일부 실시예에서, 활성탄은 황 함유 오염물을 제거하는 데 효과적이다. 일부 실시예에서, 황 함유 오염물은 원소 황, 황산, 아황산, 이산화황, 삼산화황, 황산염 음이온, 중황산염 음이온, 아황산염 음이온, 중황산염 음이온, 티올, 황화물, 디설피드, 다황화물, 티오에테르, 티오에스테르, 티오아세탈, 설펍시드, 설펍, 티오설피네이트, 설피미드, 설펍시미드, 설펍디이민, 할로겐화황, 티오케톤, 티오알데히드, 황 산화물, 티오카르복실산, 티오아미드, 설펍산, 설펍산, 설펍산, 설펍산, 설펍산, 옥소설펍산, 설펍란, 파설펍란, 또는 그 염, 또는 그 유도체, 또는 이의 조합을 포함한다.
- [0614] 일반적으로 말하면, 개시된 활성탄은 전통적인 활성탄이 사용될 수 있는 임의의 응용에 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 활성탄은 전통적인 활성탄의 전체(즉, 100%) 대체물로서 사용된다. 일부 실시예에서, 활성탄은 특정 응용에 사용되는 활성탄의 본질적으로 전부 또는 실질적으로 전부를 포함한다. 일부 실시예에서, 활성탄은 약 1% 내지 약 100%의 생물기원 활성탄을 포함한다.

- [0615] 예를 들어, 제한 없이 활성탄은 단독으로 또는 전통적인 활성탄 생성물과 함께 필터에 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 충전층 또는 충전 컬럼은 개시된 활성탄을 포함한다. 이러한 실시예에서, 생물기원 활성탄은 특정 충전층 또는 충전 컬럼에 적절한 크기를 포함한다. 가스 스트림에 생물기원 활성탄을 주입하는 것은 석탄 화력 발전소, 바이오매스 화력 발전소, 금속 처리 플랜트, 원유 정제소, 화학 플랜트, 폴리머 플랜트, 펄프 및 제지 플랜트, 시멘트 플랜트, 폐기물 소각로, 식품 가공 플랜트, 가스화 플랜트 및 합성 가스 플랜트에서 유도된 가스 스트림 또는 액체 스트림의 오염물 배출을 제어하는 데 유용할 수 있다.
- [0616] 금속 산화물 환원에서의 바이오카본 조성물의 용도
- [0617] 바이오카본 펠릿, 또는 이의 미분화된 형태, 또는 본 출원에 개시된 다른 바이오카본 조성물이 금속 광석 노 및/또는 화학 환원로에 공급되는 다양한 실시예가 있다.
- [0618] 금속 광석 노 또는 화학 환원로는 블래스트 노, 상단 가스 재활용 블래스트 노, 고로, 반사로(공기로라고도 알려짐), 도가니로, 머플링 노, 레토르트 노, 플래시 노, 테크노어드 노, Ausmelt 노, ISASMELT 노, 퍼들링 노, 보기 노상로, 연속 체인 노, 푸셔로, 회전 노상로, 워킹 빔 노, 전기 아크로, 유도로, 순산소 전로, 퍼들링 노, Bessemer 노, 직접 환원 금속 노, 또는 이의 조합이나 파생물일 수 있다.
- [0619] 금속 광석 노 또는 화학 환원로는 수평, 수직 또는 경사지게 배열될 수 있다. 고체와 유체(액체 및/또는 기체)의 유동은 병류 또는 역류일 수 있다. 노 내의 고체는 고정층 및/또는 유동층에 있을 수 있다. 금속 광석 노 또는 화학 환원로는 온도, 압력, 체류 시간 등 다양한 처리 조건에서 동작할 수 있다.
- [0620] 본 발명의 일부 변형에는 구체적으로 블래스트 노에 관한 것이다. 블래스트 노는 철이나 구리와 같은 산업용 금속을 생산하기 위해 제련하는 데 사용되는 야금로의 일종이다. 블래스트 노는 철광석을 제련하여 상업용 철 및 강철 생산에 이용되는 중간 물질인 선철을 생산하는 데 사용된다. 블래스트 노는 예를 들어, 비금속 제련시 소결 플랜트와 함께 사용되기도 한다.
- [0621] "블래스트(blast)"는 연소 공기가 대기압을 초과하여 강제 송풍되거나 공급되는 것을 의미한다. 블래스트 노에서는 금속 광석, 탄소(본 개시에서는 생물기원 시약 또는 그 유도체), 일반적으로 플럭스(예를 들어, 석회석)가 노 상단을 통해 연속적으로 공급되고, 동시에, 고온 공기 블래스트(선택적으로 산소 농축과 함께)가 송풍구라고 지칭되는 일련의 파이프를 통해 노의 하부 섹션으로 송풍된다. 물질이 하향 낙하함에 따라 노 전체에 걸쳐 화학적 환원 반응이 발생한다. 최종 생성물은 일반적으로 바닥에서 태핑되는 용융 금속 및 슬래그 상과 노 상단에서 배출되는 폐가스(환원 오프-가스)이다. 고온 CO가 풍부한 가스의 상향 유동과 역류 접촉하는 플럭스와 함께 금속 광석의 하향 유동은 금속 광석을 금속으로 환원시키는 효율적인 화학 반응을 가능하게 한다.
- [0622] 공기로(예컨대, 반사로)는 일반적으로 굴뚝 연도에서 고온 가스의 대류에 의해 자연적으로 흡인된다. 이러한 넓은 정의에 따르면, 철을 위한 블루머리, 주석을 위한 블로잉 하우스, 납을 위한 스텔트 밀은 블래스트 노로 분류된다.
- [0623] 블래스트 노는 현대 철 생산의 중요한 부분으로 남아 있다. 연도 가스로부터의 폐열로 유입 블래스트 공기를 예열하는 Cowper 스토프와 노에서 배출되는 고온 가스로부터 열을 추출하는 회수 시스템을 포함하여 현대식 노는 매우 효율적이다. 블래스트 노는 전형적으로 내화 벽돌로 라이닝된 높은 구조 형태로 구축되며, 공급 물질이 하강하는 동안 가열되면서 팽창하고 후속하여 용융이 시작되면서 크기가 감소가 발생하게 하도록 프로파일링된다.
- [0624] 철 생산과 관련된 일부 실시예에서, 바이오카본 펠릿, 철광석(산화철) 및 석회석 플럭스는 블래스트 노의 상단에 장입된다. 철광석 및/또는 석회석 플럭스는 바이오카본 펠릿 내에 혼입될 수 있다. 선택적으로, 바이오카본 펠릿은 블래스트 노에 공급되기 전에 크기가 감소된다. 예를 들어, 바이오카본 펠릿은 미분화되어 블래스트 노에 공급되는 분말로 형성될 수 있다.
- [0625] 블래스트 노는 일산화탄소 함량이 높은 고온의 더러운 가스가 노구에서 배출되게 하도록 구성할 수 있으며, 동시에, 블리더 밸브는 갑작스러운 가스 압력 급증으로부터 노 상단을 보호할 수 있다. 배기 가스의 거친 입자는 침강되어 처분될 수 있는 반면, 가스는 벤츄리 스크러머 및/또는 전기 집진기 및/또는 가스 냉각기를 통해 흘러 세정된 가스의 온도를 감소시킬 수 있다. 노 바닥에 있는 캐스트하우스에는 액체 철과 슬래그를 주조하는 장비가 포함된다. 내화성 플러그를 통해 탭홀이 천공될 수 있으며, 그래서, 액체 철과 슬래그가 개구를 통해 트로프 아래로 흘러 철과 슬래그가 분리된다. 선철과 슬래그를 태핑한 후에는 내화성 점토로 탭홀을 막을 수 있다. 송풍구라고 지칭되는 노들은 블래스트 노의 효율을 증가시키기 위해 고온 블래스트를 구현하는 데 사용된다. 고온 블래스트는 베이스 근방의 냉각된 송풍구를 통해 노로 향하게 된다. 예를 들어, 고온 블래스트 온도는 900℃ 내

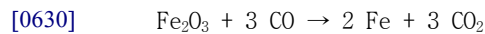
지 1300℃(공기 온도)일 수 있다. 블래스트 노 내부의 온도는 2000℃ 이상일 수 있다. 다른 탄소질 물질 및/또는 산소를 또한 송풍구 수준에서 노에 주입하여 (바이오카본 펠릿으로부터의) 탄소와 조합하여 추가 에너지를 방출하고 존재하는 환원 가스의 백분율을 증가시켜 생산성을 증가시킬 수 있다.

[0626] 블래스트 노는 금속 광석(예를 들어, 철광석)의 산소에 대한 친화력이 대응 금속보다 강한 일산화탄소가 금속을 그 원소 형태로 환원시키는 화학적 환원 원리에 따라 동작한다. 블래스트 노는, 블래스트 노에서, 연도 가스가 광석 및 금속과 직접 접촉하여 일산화탄소가 광석으로 확산되고 금속 산화물이 탄소와 혼합된 원소 금속으로 환원되게 한다는 점에서 블루머리 및 반사노와 다르다. 블래스트 노는 일반적으로 연속적인 역류 교환 프로세스로 동작한다.

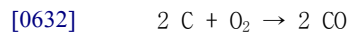
[0627] 실리카는 일반적으로 선철로부터 제거된다. 실리카는 산화칼슘과 반응하여 용선 표면에 슬래그로서 부유하는 규산염을 형성한다. 하향 이동하는 금속 광석, 플럭스, 탄소 및 반응 생성물의 컬럼은 연도 가스가 통과하기에 충분하게 다공성이어야 한다. 이를 위해서는 생물기원 시약 탄소가 투과성이 있을 만큼 충분히 큰 입자(예를 들어, 바이오카본 펠릿 또는 펠릿으로부터 유도된 더 작은 물체)로 되어 있어야 한다. 따라서, 펠릿 또는 파쇄된 펠릿은 위에 있는 물질의 중량으로 인해 파쇄되지 않도록 충분히 강해야 한다. 탄소의 물리적 강도 외에도, 이는 황, 인, 회분의 함량이 낮을 수 있다.

[0628] 블래스트 노에서는 많은 화학 반응이 발생한다. 화학은 출발 금속 산화물로서 적철광( $Fe_2O_3$ )에 관련하여 이해할 수 있다. 이러한 형태의 산화철은 초기 공급원료 또는 블래스트 노 내에서 생산되는 철광석 처리에서 일반적이다. 다른 형태의 철광석(예를 들어, 타코나이트)은 다양한 농도의 다양한 산화철( $Fe_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$  등)을 갖는다.

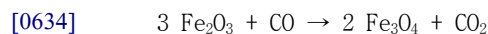
[0629] 블래스트 노에서 용철을 생성하는 주요 전체 화학 반응은 다음과 같으며,



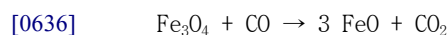
[0631] 이는 흡열 반응이다. 이러한 전체 반응은 많은 단계에 걸쳐 발생하며, 첫 번째는 노에 송풍된 예열된 블래스트 공기가 (예를 들어, 바이오카본 펠릿으로부터의) 탄소와 반응하여 일산화탄소와 열을 생성하는 것이다:



[0633] 고온 일산화탄소는 철광석의 환원제이며 산화철과 반응하여 용철과 이산화탄소를 생성한다. 노의 다양한 부분의 온도(전형적으로 바닥에서 가장 높음)에 따라 철은 여러 단계로 환원된다. 상단에서, 일반적으로, 온도는 200 내지 700℃ 범위이고, 산화철이 산화철(II, III),  $Fe_3O_4$ 로 부분적으로 환원된다:



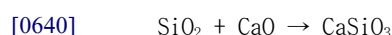
[0635] 노의 더 아래에서의 온도인 약 850℃에서 철(II, III)은 산화철(II)인  $FeO$ 로 추가로 환원된다:



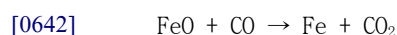
[0637] 고온 이산화탄소, 미반응 일산화탄소, 공기로부터의 질소는 새로운 공급 물질이 반응 구역으로 하향 이동함에 따라 노를 통해 상향 통과한다. 물질이 하향 이동함에 따라, 역류 가스는 공급 장입물을 예열하고 석회석(사용될 때)을 산화칼슘과 이산화탄소로 분해하는 둘 모두를 수행한다:



[0639] 분해에 의해 형성된 산화칼슘은 철(특히 실리카)의 다양한 산성 불순물과 반응하여 슬래그를 형성하며, 이는 주로 규산칼슘  $CaSiO_3$ 이다:



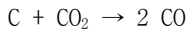
[0641]  $FeO$ 가 최대 1200℃ 범위의 더 높은 온도를 갖는 구역으로 하향 이동함에 따라  $FeO$ 는 다시 일산화탄소를 반응물로 사용하여 철 금속으로 추가 환원된다:



[0643] 이 프로세스에서 형성된 이산화탄소는 역부두아르 반응(reverse Boudouard reaction)을 통해 탄소와 반응하여

일산화탄소로 다시 변환될 수 있다:

[0644]



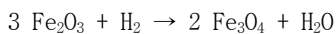
[0645]

위에 나타난 화학 반응에서, 환원 가스는 노 내의 현장 생성물이 되기 보다는 대안적으로 또는 추가적으로 블래스트 노에 직접 도입될 수 있다는 점에 유의하는 것이 중요하다. 전형적으로, 이러한 실시예에서, 환원 가스는 수소와 일산화탄소를 모두 포함하며, 이들은 양자 모두 금속 산화물을 화학적으로 환원시키는 기능을 한다. 선택적으로, 환원 가스는 개질, 가스화 또는 부분 산화를 통해 바이오카본 펠릿으로부터 별도로 생산될 수 있다.

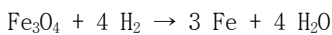
[0646]

종래의 블래스트 노에는 금속 산화물 환원을 야기하는 데 사용할 수 있는 수소가 없다. 수소는 블래스트 노에 직접 주입될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 바이오카본 펠릿에 수소와 연관된 휘발성 탄소(예를 들어, 무거운 타르 성분)가 함유되어 있는 경우, 블래스트 노에 공급되는 바이오카본 펠릿 내에서 수소를 사용할 수 있다. 소스에 무관하게 수소는, 위의 것들과 유사한 추가 환원 반응을 야기할 수 있지만 CO를 H<sub>2</sub>로 대체한다:

[0647]



[0648]



[0649]

이는 CO와의 환원 반응과 병행하여 발생한다. 또한, 수소는 이산화탄소와 반응하여 역 수성 가스 전환 반응에서 더 많은 CO를 생성할 수 있다. 일부 실시예에서, 수소로 본질적으로 구성된 환원 가스가 블래스트 노에 공급된다.

[0650]

블래스트 노에서 생산되는 "선철(pig iron)"은 전형적으로 약 3 wt% 내지 6 wt%의 상대적으로 높은 탄소 함량을 갖는다. 선철을 사용하여 주철을 만들 수 있다. 블래스트 노에서 생산된 선철은 일반적으로 탄소와 황 함량을 감소시키고 상업적으로 사용되는 다양한 등급의 강철을 생산하기 위해 추가 처리를 거친다. 기본 산소 제강이라고 지칭되는 추가 프로세스 단계에서는 액체 선철에 산소를 송풍하여 탄소를 산화시켜 조강을 형성한다.

[0651]

일반적으로, 탈황은 액체 철을 제철소로 수송하는 동안 선철에 함유된 황화철과 반응하여 황화칼슘을 형성하는 산화칼슘을 첨가함으로써 수행된다. 일부 실시예에서, 금속 황화물을 (환원 가스 내의) CO와 반응시켜 금속 및 카르보닐 황화물, CSO를 형성함으로써 탈황이 또한 노 내에서 또는 노의 하류에서 발생할 수 있다. 이들 또는 다른 실시예에서, 탈황은 또한 금속 황화물을 (환원 가스 내의) H<sub>2</sub>와 반응시켜 금속 및 황화수소 H<sub>2</sub>S를 형성함으로써 노 내에서 또는 노의 하류에서 발생할 수 있다.

[0652]

다른 유형의 노는 다른 화학 반응을 사용할 수 있다. 변환시 탄소 및/또는 환원 가스를 사용하여 금속 산화물을 금속으로 화학적으로 변환할 때 해당 탄소는 재생 가능한 탄소일 수 있다는 것을 이해할 것이다. 본 개시는 바이오매스의 열분해를 통해 생산된 생물기원 시약의 재생 가능한 탄소를 제공한다. 특정 실시예에서, 노에서 이용되는 일부 탄소는 재생 가능한 탄소가 아니다. 다양한 실시예에서, 금속 광석 노에서 소비되는 총 탄소 중, 재생 가능한 탄소의 백분율은 적어도 약 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95%, 99% 또는 100%일 수 있다.

[0653]

일부 변형예에서, 테크노어드 노 또는 그 변형이 이용된다. 테크노어드 프로세스는 원래 브라질의 TecnoredDesenvolvimentoTecnologico S.A.가 개발했으며, 냉간 결합, 탄소 함유, 자용성 및 자가 환원 펠릿을 환원시키는 저압 이동층 환원로를 기초로 한다. 환원은 전형적인 환원 온도의 짧은 높이의 고로에서 수행된다. 이 프로세스에서는 고효율로 고온 금속(전형적으로 액체 철)이 생성된다.

[0654]

테크노어드 기술은 코크스가 없는 제철 프로세스로 개발되어 환경적으로 유해한 코크스 오븐 대한 투자와 운영을 피하고, 그에 더하여, 고온 금속의 생산시 온실가스 배출을 크게 감소시켰다. 테크노어드 프로세스는 고온 블래스트와 저온 블래스트를 조합하여 사용하며 추가 산소가 필요하지 않다. 이는 코크스 플랜트, 소결 플랜트, 톤수 산소 플랜트에 대한 필요성을 제거한다. 따라서, 이 프로세스는 전통적인 제철 경로보다 동작 및 투자 비용이 훨씬 더 낮다.

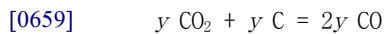
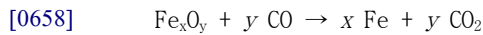
[0655]

본 개시에서, 테크노어드 프로세스는 다양한 방식으로 사용되도록 적용될 수 있다. 일부 실시예는 철광석 미립자 또는 철 함유 잔류물로부터 생성된 자가 환원 응집체(예컨대, 바이오카본 펠릿)와 본 출원에 개시된 생물기원 시약을 제공한다. 용제 및 결합제와 혼합된 이러한 재료는 응집되고 열 경화되어 테크노어드 프로세스의 물리적 및 야금적 요구에 충분한 강도를 갖는 바이오카본 펠릿을 생성한다. 그 후, 생산된 응집체는 테크노어드 노에서 제련된다. 테크노어드 노의 연료는 그 자체로 바이오카본 펠릿이거나 펠릿이 아닌 바이오카본 조성물(예

를 들어, 분말)일 수 있다.

[0656] 브리켓 내에서 산화철의 미세 입자와 환원제를 조합함으로써 환원제와 접촉하는 산화물의 표면적과 결과적으로 반응 속도 둘 모두가 극적으로 증가한다. 자가 환원 브리켓은 함유된 철 함유 공급물의 완전한 환원을 허용하기에 충분한 환원제를 함유하고, 선택적으로 원하는 슬래그 화학을 제공하기 위한 플럭스를 함유하도록 설계될 수 있다. 자가 환원 브리켓은 노에 공급되기 전에 낮은 온도에서 경화된다. 자가 환원 브리켓 내에서 반응을 추진하는 데 필요한 열은 또한 브리켓 형태일 수 있는 고체 연료 층에 의해 제공되며, 그 위에 자가 환원 브리켓이 노 내에 공급된다.

[0657] 테크노어드 노는 3개의 구역을 갖는다: (i) 상부 샤프트 구역; (ii) 용융 구역; 및 (iii) 하부 샤프트 구역. 상부 샤프트 구역에서, 고체 연료(예를 들어, 생물기원 시약)가 장입된다. 이 구역에서, Boudouard 반응( $C + CO_2 \rightarrow 2 CO$ )이 방지되어 에너지가 절약된다. 노의 이 구역에서의 사후 연소는 예열을 위한 에너지와 장입량 감소를 제공하는 CO를 연소시킨다. 펠릿 내부에서는 다음과 같은 반응이 매우 빠른 속도로 발생한다:



[0660] 여기서  $x$ 은 1에서 전형적으로 5까지이고  $y$ 는 1에서 전형적으로 7까지이다.

[0661] 용융 구역에서, 장입물의 환원 분위기로 인해 재산화가 방지된다. 장입물의 용융은 환원 분위기 하에 발생한다. 하부 샤프트 구역에서, 고체 연료가 장입된다. 일부 실시예에서, 고체 연료는 바이오카본 펠릿을 포함한다. 일부 실시예에서, 고체 연료는 바이오카본 펠릿으로 본질적으로 구성된다. 이 구역에서, 잔류 산화철의 추가 감소와 맥석 물질 및 연료 회분의 슬래그화 반응이 액체 상태에서 발생한다. 또한, 금속 및 슬래그 액체의 과열이 발생한다. 이러한 과열된 금속 및 슬래그 액체는 중력으로 인해 노상으로 가라앉아 그곳에 축적된다.

[0662] 이 수정된 테크노어드 프로세스는 탄소 유닛의 2개의 상이한 투입물, 즉, 환원제와 고체 연료를 사용한다. 환원제는 일반적으로 석탄 미립자이지만, 본 개시에서, 환원제는 미분화된 바이오카본 펠릿을 포함할 수 있다. 자가 환원 응집체는 본 출원에 개시된 바이오카본 펠릿일 수 있다. 필요한 탄소 미립자의 양은 탄소 대 광석 미립자의 비율에 의해 설정되고, 이는 금속 산화물의 완전한 환원을 달성하도록 선택될 수 있다.

[0663] 고체 연료는 미립자 형태일 필요는 없다. 예를 들어, 고체 연료는 테크노어드 프로세스에서 고체 연료에 필요한 물리적 및 열적 요구를 처리하기 위해 크기가 약 40-80 mm와 같은 덩어리 형태일 수 있다. 이러한 덩어리는 바이오카본 펠릿을 완전히 분말까지는 아니도록 분해(예를 들어, 파쇄)함으로써 만들 수 있다. 고체 연료는 (상부 샤프트의 흡열 Boudouard 반응을 피하기 위해) 측면 공급기를 통해 장입되며, 프로세스에 필요한 대부분의 에너지를 제공한다. 이 에너지는 1차 블래스트( $C + O_2 \rightarrow CO_2$ )와 2차 블래스트에 의해 형성되며, 여기서 노상에서 고체 연료가 가스화되면서 생성된 상류 CO가 연소된다( $2 CO + O_2 \rightarrow 2 CO_2$ ).

[0664] 특정한 예시적인 실시예에서, 변형-테크노어드 프로세스는 결합체로서 시멘트를 사용하여 140 메시 미만 크기의 철광석 미립자, 200 메시 미만 크기의 생물기원 시약 미립자, 및 140 메시 미만 크기의 소석회와 같은 플럭스를 펠릿화하는 것을 포함한다. 펠릿은 테크노어드 노 상단에 공급되기 전에 200°C에서 경화 및 건조된다. 노 내 장입물의 총 체류 시간은 약 30 내지 40분이다. 40 mm 내지 80 mm 크기 범위의 고체 연료 형태의 생물기원 시약이 측면 공급기를 사용하여 고온 펠릿 영역 아래의 노에 공급된다. 약 1150°C의 고온 블래스트 공기가 노 측면에 위치한 송풍구를 통해 송풍되어 생물기원 탄소에 연소 공기를 제공한다. 소량의 노 가스가 측면 공급기를 통해 유동하도록 허용되어 고체 연료 건조 및 예열에 사용된다. 상부 샤프트에서 CO의 사후 연소를 촉진하기 위해 저온 블래스트 공기를 더 높은 지점에서 송풍한다. 생산된 고온 금속은 레이들 카의 레이들로 태핑되며, 레이들은 슬래그 제거를 위해 레이들을 기울일 수 있다. 액체 철은 선택적으로 레이들에서 탈황되고, 슬래그는 슬래그 포트에 굽어 모아진다. 고온 금속은 전형적으로 약 3-5 wt%의 탄소를 함유한다.

[0665] 일반적으로, 외부 CO나 H<sub>2</sub>는 테크노어드 노를 사용한 자가 환원 프로세스에서 중요한 역할을 하지 않는다. 그러나, 외부 H<sub>2</sub> 및/또는 CO(환원 가스로부터)는 위 반응( $Fe_xO_y + y CO \rightarrow x Fe + y CO_2$ )에서 또는 반응물로서의 수소와의 반응( $Fe_xO_y + y H_2 \rightarrow x Fe + y H_2O$ )에서 속도 및/또는 산화철의 변환을 증가시킴으로써 전체 화학 반응을 보조할 수 있다. 환원 화학은 적어도 펠릿 또는 브리켓의 표면에서 보조될 수 있으며, 그리고 가능하게는, 고온 환원 가스의 물질 전달이 빠르기 때문에 펠릿이나 브리켓의 벌크 상 내에서 보조될 수 있다. 본 개시의 일부 실

시에는 블래스트 노의 양태와 테크노어드 노의 양태를 조합하여, 노 내의 환원 가스의 사용에 더하여 자가 환원 펠릿 또는 브리켓이 이용될 수 있게 한다.

[0666] 앞서 설명한 바와 같이, 금속 광석 처리를 위한 많은 수의 가능한 노 구성이 존재한다. 본 명세서에서는 모든 가능한 노에서 발생할 수 있는 다양한 조건 및 화학을 자세히 설명하지는 않지만, 본 기술 분야의 숙련자는 본 발명의 원리가 본질적으로 금속 광석에서 금속을 제조하는 프로세스 중 소정 위치에서 탄소를 사용하는 임의의 노 또는 프로세스에 적용될 수 있음을 이해할 것이다.

[0667] 또한, 일부 프로세스는 바이오카본 펠릿을 이용하고, 일부 프로세스는 환원 가스를 이용하고, 일부 프로세스는 바이오카본 펠릿과 환원 가스를 모두 이용한다는 것도 관찰할 수 있을 것이다. 본 출원에 제공된 프로세스는 고체 바이오카본 펠릿뿐만 아니라 환원 가스를 모두 생산할 수 있다. 일부 실시예에서, 고체 바이오카본 펠릿만이 금속 광석 변환 프로세스에 사용된다. 다른 실시예에서, 환원 가스만이 금속 광석 변환 프로세스에 사용된다. 또 다른 실시예에서, 바이오카본 펠릿과 환원 가스 모두가 금속 광석 변환 프로세스에 사용된다. 재생 가능한 탄소의 두 소스를 모두 이용하는 이러한 실시예에서, 환원 가스로부터의 금속 광석 변환에서 전체 탄소 사용량의 백분율은 약, 적어도 약, 또는 최대 약 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95% 또는 100% 일 수 있다. 다른 탄소 사용량은 바이오카본 펠릿에서 획득할 수 있다. 대안적으로, 다른 탄소 사용량의 일부 또는 전부는 석탄 미립자와 같은 종래의 탄소 투입에서 유래할 수 있다.

[0668] 바이오카본 조성물의 환원 가스로의 변환

[0669] 일부 변형에서는 환원 가스를 생성하기 위해 바이오카본 조성물(펠릿, 분말 또는 다른 형태)을 사용하며, 환원 가스는 프로세스에서 현장에서 이용될 수 있거나 회수 및 판매될 수 있다. 관련 실시예에서, 저 고정 탄소 물질의 일부 및/또는 고 고정 탄소 물질의 일부(예를 들어, 이들 물질 중 하나의 오프-스펙 부분, 또는 최종 생성물 수요에 필요하지 않은 과량의 물질)은 블렌딩 동작으로부터 전향되어 대신 환원 가스를 생성하는 데 이용될 수 있다. 환원 가스를 생성하기 위해 바이오카본 조성물을 사용하는 것에 대한 모든 언급은 또한 환원 가스를 생성하기 위해 구체적으로 저 고정 탄소 물질 및/또는 고 고정 탄소 물질을 사용하는 것에 대한 언급으로 이해할 것이다.

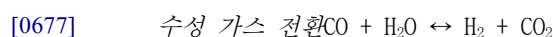
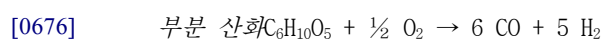
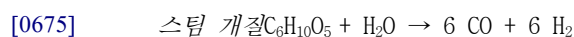
[0670] 환원 가스(본 출원에서는 "바이오-환원제 가스(bio-reductant gas)"라고도 지칭됨)의 선택적인 생산이 이제 더 설명될 것이다. 바이오카본 조성물을 환원 가스로 변환하는 과정은 바이오-환원제 형성 유닛이라고 지칭될 수 있는 반응기에서 발생한다.

[0671] 반응물은 바이오카본 조성물과 반응하여 환원 가스를 생성하는 데 사용될 수 있다. 반응물은 산소, 스팀, 또는 이의 조합으로부터 선택될 수 있다. 일부 실시예에서, 산소는 스팀과 혼합되며, 생성된 혼합물은 제2 반응기에 첨가된다. 산소 또는 산소 농후 공기를 첨가하여 탄소를 산소로 부분적으로 또는 전체 산화시키는 것과 같은 발열 반응을 야기하고; 환원 가스에서 더 유리한 H<sub>2</sub>/CO 비율을 달성하고; (iii) 환원 가스의 수율을 증가시키고; 및/또는 (iv) 예를 들어, CO<sub>2</sub>, 열분해 생성물, 타르, 방향족 분자 및/또는 기타 바람직하지 않은 생성물의 양을 감소시킴으로써 환원 가스의 순도를 증가시킬 수 있다.

[0672] 일부 실시예에서, 스팀은 바람직한 반응물이다. 스팀(즉, 증기 상의 H<sub>2</sub>O)는 하나 이상의 입력 스트림으로 반응기에 도입될 수 있다. 스팀은 바이오카본 펠릿에 함유된 습기에 의해 생성된 스팀뿐만 아니라 물을 생성하는 임의의 화학 반응에 의해 생성된 스팀도 포함할 수 있다.

[0673] 본 출원에서 화학종의 "비율(ratio)"에 대한 모든 언급은 달리 표시되지 않는 한 몰비에 대한 언급이다. 예를 들어, H<sub>2</sub>/CO 비율 1은 이산화탄소 1몰당 수소 1몰을 의미한다.

[0674] 산소나 스팀을 첨가할 때, 스팀 개질, 부분 산화, 수성 가스 전환(WGS) 및/또는 연소 반응이 발생할 수 있다. 예시적인 반응이 예를 들어, 셀룰로스 공급원료에서 발견되는 셀룰로스 반복 유닛(C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)에 관련하여 아래에 제시된다. 바이오카본 펠릿을 비롯한 임의의 탄소 함유 공급원료에서도 유사한 반응이 발생할 수 있다.



- [0678] 완전 연소  $C_6H_{10}O_5 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 5 H_2O$
- [0679] 바이오-환원제 형성 유닛은 환원 가스를 생성하는 적어도 하나의 화학 반응을 야기할 수 있는 임의의 반응기이다. 본 기술 분야에 잘 알려진 전통적인 스팀 개질기가 촉매와 함께 또는 촉매 없이 사용될 수 있다. 다른 가능성은 자열 개질기, 부분 산화 반응기 및 여러 반응 메커니즘을 조합하는(예를 들어, 부분 산화 후 수성 가스 전환) 다단 반응기를 포함한다. 반응기 구성은 고정층, 유동층, 복수의 마이크로채널, 또는 소정의 다른 구성일 수 있다.
- [0680] 일부 실시예에서, 반응물로서 스팀의 총량은 공급 물질의 탄소 1몰당 적어도 약 0.1몰의 스팀이다. 다양한 실시예에서, 탄소 1몰당 적어도 약 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0몰 이상 중 임의의 스팀이 첨가되거나 존재한다. 일부 실시예에서, 탄소 1몰당 약 1.5-3.0몰 사이의 스팀이 첨가되거나 존재한다.
- [0681] 제2 반응기에 첨가되는 스팀의 양은 열분해 반응기의 조건 같은 요인에 따라 달라질 수 있다. 열분해가 탄소가 풍부한 고체 물질을 생성할 때 일반적으로 더 많은 스팀(및/또는 더 많은 산소)을 사용하여 CO 및 H<sub>2</sub>를 생성하는 데 사용할 수 있는 C에 필요한 H 및 O 원자를 추가한다. 전체 시스템의 관점에서 볼 때, 바이오카본 펠릿에 함유된 습기는 얼마나 많은 추가적인 양의 물(스팀)이 프로세스에 첨가될지를 결정하기 위해 고려될 수 있다.
- [0682] 예시적인 산소 대 스팀의 비율(O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O)은 제2 반응기에서 약 2, 1.5, 1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.05, 0.02, 0.01 이하 중 임의의 것 이하이다. O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O의 비율이 1보다 더 클 때, 연소 반응이 부분 산화에 비해 우세해지기 시작하여 바람직하지 않게 낮은 CO/CO<sub>2</sub> 비율을 생성할 수 있다.
- [0683] 일부 실시예에서, 스팀이 없는 산소가 반응물로 사용된다. 산소는 실질적으로 순수한 형태로 첨가될 수 있거나, 또는 선택적으로 산소 풍부 공기의 첨가를 통해 프로세스에 공급될 수 있다. 일부 실시예에서는 산소가 풍부하지 않은 공기가 첨가된다. 다른 실시예에서, 예를 들어 인근 공기 분리 플랜트로부터의 스트림일 수 있는 오프-스펙 또는 재순환 스트림으로부터의 농축 공기가 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, N<sub>2</sub>의 양이 감소된(즉, 79체적% 미만) 농축 공기를 사용하면 생성된 환원 가스에서 더 적은 N<sub>2</sub>를 유발한다. N<sub>2</sub>를 제거하는 데 비용이 많이 들 수 있기 때문에 N<sub>2</sub>이 더 적거나 전혀 없는 환원 가스를 생성하는 방법이 전형적으로 바람직하다.
- [0684] 일부 실시예에서, 산소의 존재는 산소가 없는 동일한 방법에 의해 생성된 비율과 비교하여 환원 가스 내 H<sub>2</sub>/CO의 비율을 변경한다. 환원 가스의 H<sub>2</sub>/CO 비율은 약 0.5 내지 약 2.0 사이, 예컨대 약 0.75-1.25 사이, 약 1-1.5, 또는 약 1.5-2.0일 수 있다. 인식 수 있는 바와 같이, 증가된 수성 가스 전환(더 높은 스팀 첨가 속도에 의해)은 예컨대, 적어도 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 또는 심지어 그 이상과 같은 더 높은 H<sub>2</sub>/CO 비율을 생성하는 경향이 있으며, 이는 수소 생산을 포함한 특정 응용에 바람직할 수 있다.
- [0685] 촉매는 환원 가스를 생성하기 위해 반응기에서 선택적으로 이용될 수 있다. 촉매는 알칼리 금속염, 알칼리 토금속 산화물 및 염, 광물 물질 또는 석탄 내 회분, 전이 금속 및 이들의 산화물 및 염, 그리고 공융염 혼합물을 포함할 수 있지만 이에 제한되지 않는다. 촉매의 특정 예는 수산화칼륨, 탄산칼륨, 수산화리튬, 탄산리튬, 수산화세슘, 산화니켈, 니켈 치환 합성 운모 몬모릴로나이트(NiSMM), NiSMM 지지 폴리브덴, 수산화철, 질산철, 철-갈슘 합침 염, 니켈 우라닐 산화물, 불화나트륨 및 빙정석을 포함하지만 이에 제한되지 않는다.
- [0686] 다른 예시적인 촉매에는 니켈, 산화니켈, 로듐, 루테튬, 이리듐, 팔라듐 및 백금이 포함되지만 이에 제한되지 않는다. 이러한 촉매는 예를 들어 감마-알루미나(선택적으로 마그네슘, 란타늄 또는 바륨과 같은 안정화 요소로 도핑됨)와 같은 하나 이상의 지지체 물질 상에 코팅되거나 침착될 수 있다.
- [0687] 시스템에 첨가되기 전에, 임의의 촉매는 전체 표면적, 활성 표면적, 사이트 밀도, 촉매 안정성, 촉매 수명, 촉매 조성, 표면 거칠기, 표면 분산, 다공성, 밀도 및/또는 열 확산성에 영향을 미치는 알려진 기술을 사용하여 전처리되거나 활성화될 수 있다. 촉매의 전처리에는 하소, 워시코트 추가, 입자 크기 감소 및 열적 또는 화학적 수단에 의한 표면 활성화가 포함되지만 이에 제한되지 않는다.
- [0688] 촉매 첨가는 먼저 촉매(들)를 물 또는 가스화 및/또는 개질될 수 있는 임의의 탄화수소와 같은 용매에 용해시키거나 슬러리화함으로써 수행될 수 있다. 일부 실시예에서, 촉매는 이러한 슬러리를 용기에 직접 주입함으로써 첨가된다. 일부 실시예에서, 촉매는 스팀에 첨가되고 스팀/촉매 혼합물이 시스템에 첨가된다. 이러한 실시예에서, 첨가된 촉매는 스팀에서 평형 용해도 또는 그 근방에 있을 수 있거나 스팀에 비말동반된 입자로서 도입되어

시스템에 도입될 수 있다.

- [0689] 물질은 일반적으로 단일 스크류, 트윈 스크류, 램 등에 의해 반응기 안팎으로 운반될 수 있다. 물질은 물리적 힘(금속 접촉), 압력 구동 유동, 공압 구동 유동, 원심 유동, 중력 유동, 유동화 유동 또는 소정의 다른 알려진 고체 및 기체 상 이동 수단을 통해 기계적으로 운반될 수 있다. 특히, 기계적으로 강인할 필요가 있는 바이오카본 펠릿 층 위에 배치된 금속 산화물 층을 사용하는 실시예에서는 반응기에서 바이오카본 펠릿의 고정층을 이용하는 것이 바람직할 수 있다.
- [0690] 일부 실시예에서, 반응기는 환원 가스를 생성하기 위해 바이오카본 조성물의 가스화를 사용한다. 가스화는 전형적으로 약 600°C 내지 약 1100°C의 상승된 온도에서 수행된다. 반응성이 낮은 생물기원 시약에는 더 높은 동작 온도가 필요하다. 도입되는 반응물의 양(예를 들어, 공기, 산소, 농축 공기 또는 산소-스팀 혼합물)은 전형적으로 가스화 온도를 제어하는 주요인이 된다. 바이오매스 가스화에는 대기압에서 약 50bar까지의 동작 압력이 사용되었다. 또한, 가스화에는 반응물, 일반적으로 공기, 고순도 산소, 스팀 또는 이러한 가스의 일부 혼합물이 필요하다.
- [0691] 가스화기는 용기 내에서 고체를 지지하는 수단, 고체와 기체 둘 모두의 유동 방향, 반응기에 열을 공급하는 방법에 따라 구별될 수 있다. 가스화기가 대기압 근방에서 동작하는지 상승된 압력에서 동작하는지, 그리고, 가스화기가 공기 취입식인지 산소 취입식인지 여부 또한 구별되는 특성이다. 일반적인 분류는 고정층 상승 기류, 고정층 하강 기류, 버블링 유동층 및 순환 유동층이 있다.
- [0692] 일반적으로, 고정층 가스화기는 밀짚, 옥수수대 또는 정원 폐기물과 같은 섬유질 초본 공급원료를 처리할 수 없다. 그러나, 개시된 프로세스에서, 바이오매스는 먼저 생물기원 시약으로 열분해되고, 펠릿화되고, 그리고 바이오카본 펠릿이 가스화될 수 있다. 바이오카본 펠릿은 펠릿의 크기를 반드시 감소시킬 필요 없이 고정층 가스화기를 사용하여 직접 가스화할 수 있다.
- [0693] 순환 유동층 가스화 기술은 Lurgi 및 Foster Wheeler로부터 입수할 수 있으며 바이오매스와 기타 폐기물에 이용되는 기존 가스화 기술의 대부분을 나타낸다. 버블링 유동층 가스화(예를 들어, U-GAS® 기술)가 상업적으로 사용되었다.
- [0694] 직접 가열식 가스화기는 단일 반응 용기에서 흡열 및 발열 가스화 반응을 수행하고; 추가 가열이 필요하지 않다. 대조적으로, 간접 가열식 가스화기에는 외부 열원이 필요하다. 간접 가열식 가스화기는 일반적으로 2개의 용기를 사용한다. 제1 용기는 스팀으로 공급물을 가스화한다(흡열 과정). 열은 일반적으로 모래와 같은 열 전달 매체를 순환시켜 공급된다. 제1 용기에서 생성된 환원 가스와 고체 숯은 모래와 함께 분리된다. 혼합된 숯과 모래가 제2 용기에 공급되고, 여기서, 숯이 공기와 함께 연소되어 모래를 가열한다. 고온 모래는 제1 용기로 다시 순환된다.
- [0695] 바이오카본 조성물은 "건식 공급물(dry feed)"(선택적으로 습기는 포함하지만 유리 액체 상은 없음)로 가스화기에 도입되거나 물에 용해된 슬러리 또는 현탁액으로 도입될 수 있다. 건식 공급 가스화기는 전형적으로 높은 통과당 탄소 변환을 허용하여 환원 가스와 우수한 에너지 효율을 허용한다. 건식 공급 가스화기에서, 가스화 반응에 의해 방출된 에너지로 인해 가스화기가 극도로 높은 온도에 도달할 수 있다. 이 문제는 습식-벽 설계를 사용하여 해결할 수 있다.
- [0696] 일부 실시예에서, 가스화기로의 공급물은 수소 함량이 높은 바이오카본 펠릿이다. 생성된 환원 가스는 수소가 상대적으로 풍부하며,  $H_2/CO > 1.5$  이상과 같이 높은  $H_2/CO$  비율을 갖는다.
- [0697] 일부 실시예에서, 가스화기로의 공급물은 수소 함량이 낮은 바이오카본 펠릿이다. 생성된 환원 가스는 상대적으로 낮은  $H_2/CO$  비율을 가질 것으로 예상된다.  $H_2/CO > 1$ 을 요구하는 하류 프로세스의 경우, 가스화기 온도를 조절하고(현열 효과 및/또는 흡열 화학을 통해), 그리고,  $H_2/CO$  비율을 더 높고 더욱 바람직한 비율로 이동시키는 둘 모두를 위해 물이나 스팀을 가스화기에 주입하는 것이 바람직할 수 있다. 물 추가는 또한 스팀 개질 화학을 통해 흡열 소비로 온도 조절에 기여할 수 있다. 스팀 개질에서  $H_2O$ 는 탄소나 타르, 벤젠/톨루엔/자일렌과 같은 탄화수소와 반응하여 환원 가스를 생성하고 단열 가스화 온도를 낮춘다.
- [0698] 특정 변형에서, 가스화기는 버블링 유동화 가스화 반응기와 같은 유동층 가스화기이다. 유동화는 가스화기 층 내 온도가 실질적으로 균일해지게 한다. 알루미늄 모래나 규사 같은 유동층 재료는 잠재적인 마모 문제를 감소시킬 수 있다. 가스화기 온도는 충분히 낮은 온도로 조절되어 회분 입자가 고체에서 용융 형태- 가스화기 내에

서 응집 및 유동화 손실을 야기할 수 있음 -로 변형되기 시작하지 않도록 할 수 있다.

- [0699] 유동층 가스화기를 사용하는 경우, 모든 성분의 총 유량은 가스화기 층이 유동화되도록 보장해야 한다. 총 가스 유량과 층 직경은 가스화기를 통한 가스 속도를 설정한다. 적절한 유동화를 보장하려면 올바른 속도를 유지해야 한다.
- [0700] 변형에서, 가스화기 유형은 동반 유동 슬래그화, 동반 유동 비슬래그화, 수송, 버블링 유동층, 순환 유동층 또는 고정층일 수 있다. 일부 실시예는 가스화 촉매를 사용한다.
- [0701] 순환 유동층 가스화기가 사용할 수 있으며, 여기서, 가스, 모래 및 공급원료(예를 들어, 파쇄 또는 미분화된 바이오카본 펠릿)는 함께 이동한다. 예시적인 수송 가스는 재순환된 생성물 가스, 연소 가스 또는 재순환 가스를 포함한다. 모래로부터의 높은 열 전달 속도는 공급원료의 신속한 가열을 보장하며, 절제는 일반 유동층보다 더 강할 것으로 예상된다. 모래와 숯 입자에서 환원 가스를 분리하기 위해 분리가 사용될 수 있다. 모래 입자는 유동화 버너 용기에서 재가열되어 반응기로 재순환될 수 있다.
- [0702] 역류 고정층 가스화기가 사용되는 일부 실시예에서, 반응기는 가스화제(예컨대, 스팀, 산소 및/또는 재순환 가스)가 그를 통해 역류 구성으로 유동하는 공급원료의 고정층을 포함한다. 회분은 건조 상태로 제거되거나 슬래그로서 제거된다.
- [0703] 병류 고정층 가스화기가 사용되는 일부 실시예에서, 반응기는 역류형과 유사하지만 가스화제 가스는 공급원료와 병류 구성으로 유동한다. 소량의 공급원료를 연소하거나 외부 열원으로부터 층의 상부에 열이 추가된다. 생성된 가스는 고온으로 반응기를 빠져나가며, 이 열의 대부분은 층 상단에 추가된 가스화제로 전달되어 우수한 에너지 효율을 초래한다.
- [0704] 유동층 반응기가 사용되는 일부 실시예에서, 공급원료는 재순환 가스, 산소, 공기 및/또는 스팀에서 유동화된다. 회분은 건조된 상태로 제거되거나 탈유동화되는 무거운 응집체로서 제거될 수 있다. 변환을 증가시키기 위해 고체의 재순환 또는 후속 연소가 사용될 수 있다. 유동층 반응기는 슬래그화 반응기의 벽을 손상시킬 수 있는 부식성이 높은 회분을 형성하는 공급원료에 유용하다.
- [0705] 동반 유동 가스화기가 사용되는 일부 실시예에서, 바이오카본 펠릿은 병류 유동하는 산소, 공기 또는 재순환 가스로 미분화 및 가스화된다. 가스화 반응은 매우 미세한 입자로 구성된 조밀한 구름에서 발생한다. 고온을 사용하여, 환원 가스에서 낮은 양의 타르와 메탄을 제공할 수 있다.
- [0706] 동반 유동 반응기는 동작 온도가 전형적으로 회분 용합 온도를 훨씬 초과하기 때문에 회분의 대부분을 슬래그로서 제거한다. 회분의 작은 부분은 매우 미세한 건조 비산재나 비산재 슬러리로서 생성된다. 특정 동반층 반응기는 부분적으로 응고된 슬래그로 덮인 내부 수냉 또는 스팀 냉각식 벽이 있다.
- [0707] 가스화기 챔버는 프리보드의 적절한 구성이나 내부 사이클론의 사용을 통해 적절한 열 회수 수준으로 하류 동작으로의 고체의 이전을 유지하도록 설계될 수 있다. 미반응 탄소는 가스화기 챔버 바닥에서 흡입되어 냉각된 후 회수될 수 있다.
- [0708] 가스화기는 부분 산화, 역 수성 가스 전환 또는 탄소 함유 중의 건식(CO<sub>2</sub>) 개질에 효과적인 촉매와 같은 하나 이상의 촉매를 포함할 수 있다.
- [0709] 일부 실시예에서, 버블링 유동층(fluid-bed) 탈휘발(devolatilization) 반응기가 이용된다. 반응기는 고온 재순환 가스 스트림에 의해 예상 슬래그화 온도보다 더 낮은 약 600°C까지 적어도 부분적으로 가열된다. 스팀, 산소 또는 공기가 또한 제2 반응기에 도입될 수 있다. 제2 반응기는 프리보드의 적절한 구성이나 내부 사이클론의 사용을 통해 하류의 열 회수에 적절한 수준으로 고체의 이전을 유지하도록 설계될 수 있다. 미반응 숯은 탈휘발 챔버 바닥으로부터 인출되어 냉각된 다음 유틸리티 보일러에 공급되어 이 스트림의 잔여 열량이 회수될 수 있다.
- [0710] 유동층 가스화기를 사용하는 경우, 공급원료는 재순환 가스와 같은 가스에 의해 유동화된 고온 모래의 층으로도 도입될 수 있다. 본 출원에서 "모래(sand)"에 대한 언급은 또한 예컨대, 유리 입자, 회수된 회분 입자 등과 유사하고 실질적으로 불활성인 물질도 포함된다. 유동화된 모래로부터의 높은 열 전달 속도는 공급원료가 신속히 가열될 수 있게 한다. 모래 입자로 인한 마모로 인해 약간의 절제가 있을 수 있다. 고온 연소 가스가 그를 통해 유동하는 열 교환기 튜브에 의해 열이 제공될 수 있다.
- [0711] 순환 유동층 반응기를 사용할 수 있으며, 여기서 가스, 모래, 공급원료가 함께 이동한다. 예시적인 수송 가스

는 재순환된 생성물 가스, 연소 가스 또는 재순환 가스를 포함한다. 모래로부터의 높은 열 전달 속도는 공급원료의 신속한 가열을 보장하며, 질체는 일반 유동층보다 더 강할 것으로 예상된다. 모래와 숯 입자에서 환원 가스를 분리하기 위해 분리가 사용될 수 있다. 모래 입자는 유동화 버너 용기에서 재가열되어 반응기로 재순환될 수 있다.

- [0712] 역류 고정층 반응기가 사용되는 일부 실시예에서, 반응기는 가스화제(예컨대, 스팀, 산소 및/또는 재순환 가스)가 그를 통해 역류 구성으로 유동하는 공급원료의 고정층을 포함한다. 회분은 건조 상태로 제거되거나 슬래그로서 제거된다.
- [0713] 병류 고정층 반응기가 사용되는 일부 실시예에서, 반응기는 역류형과 유사하지만 가스화제 가스는 공급원료와 병류 구성으로 유동한다. 소량의 공급원료를 연소하거나 외부 열원으로부터 층의 상부에 열이 추가된다. 환원 가스는 고온으로 반응기를 빠져나가며, 이 열의 대부분은 층 상단에 추가된 반응물로 전달되어 우수한 에너지 효율을 초래한다. 이 구성에서는 타르가 탄소의 고온 층을 통과하므로 타르 수준은 역류형을 사용할 때보다 더 낮을 것으로 예상된다.
- [0714] 유동층 반응기가 사용되는 일부 실시예에서, 공급원료는 재순환 가스, 산소, 공기 및/또는 스팀에서 유동화된다. 회분은 건조된 상태로 제거되거나 탈유동화되는 무거운 응집체로서 제거된다. 변환을 증가시키기 위해 고체의 재순환 또는 후속 연소가 사용될 수 있다.
- [0715] 열 및 물질 전달을 개선시키기 위해 노즐을 사용하여 반응기에 물을 도입할 수 있으며, 노즐은 일반적으로 유체가 오리피스스를 통해 밀폐된 챔버나 파이프로 진입할 때 유체 유동의 방향이나 특성을 제어하도록 설계된 기계 디바이스이다. 노즐은 물 액적 크기를 감소시켜 미세한 물 분사를 생성할 수 있다. 노즐은 분무기 노즐(연료 분사기와 유사), 액체를 접선 방향으로 분사하는 스월 노즐 등 중에서 선택할 수 있다.
- [0716] 수원은 프로세스 응축수, 기타 재활용수, 폐수, 보충수, 보일러 급수, 도시 용수 등의 직접 배관을 포함할 수 있다. 물은 선택적으로 먼저 세정, 정제, 처리, 이온화, 증류 등을 수행할 수 있다. 여러 수원을 사용하는 경우, 수원의 다양한 체적 비율이 가능하다. 일부 실시예에서, 제2 반응기를 위한 물의 일부 또는 전부는 폐수이다.
- [0717] 일부 변형예에서, 환원 가스는 다른 생성물로 변환되기 전에 여과, 정제 또는 달리 조절된다. 예를 들어, 냉각된 환원 가스가 컨디셔닝 유닛에 도입될 수 있고, 컨디셔닝 유닛에서, 벤젠, 톨루엔, 에틸 벤젠, 자일렌, 황 분자, 질소, 금속 및/또는 기타 불순물이 환원 가스로부터 선택적으로 제거된다.
- [0718] 일부 실시예는 환원 가스 정화 유닛을 포함한다. 환원 가스 정화 유닛은 그 설계에 있어서 특별히 제한되지 않는다. 예시적인 환원 가스 정화 유닛은 사이클론, 원심 분리기, 필터, 멤브레인, 용매 기반 시스템 및 미립자 및/또는 기타 특정 오염물을 제거하는 기타 수단을 포함한다. 일부 실시예에서, 산성 가스 제거 유닛이 포함되며, 환원 가스로부터 H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> 및/또는 기타 산성 가스를 제거하기 위해 본 기술 분야에 알려진 임의의 수단일 수 있다.
- [0719] 산성 가스 제거 단계의 예는 CO<sub>2</sub>에 대한 하나 이상의 용매를 사용한 CO<sub>2</sub> 제거 또는 압력 스윙 흡착 유닛에 의한 CO<sub>2</sub> 제거를 포함한다. 반응성 용매 기반 산성 가스 제거에 적절한 용매는 모노에탄올아민, 디에탄올아민, 메틸디에탄올아민, 디이소프로필아민 및 아미노에톡시에탄올을 포함한다. 물리적 용매 기반 산성 가스 제거에 적절한 용매는 폴리에틸렌 글리콜의 디메틸 에테르(예컨대, Selexol® 프로세스) 및 냉장 메탄올(예컨대, Rectisol® 프로세스)을 포함한다.
- [0720] 본 발명에 따라 설명된 바와 같이 생성된 환원 가스는 다양한 방식으로 이용될 수 있다. 환원 가스는 일반적으로 수소, 일산화탄소, 메탄, 올레핀(예컨대, 에틸렌), 산소화물(예컨대, 디메틸 에테르), 알콜(예컨대, 메탄올 및 에탄올), 파라핀 및 기타 탄화수소로 화학적으로 변환 및/또는 정제될 수 있다. 환원 가스는 피셔-트롭쉬 화학에 의해 선형 또는 분지형 C<sub>5</sub>-C<sub>15</sub> 탄화수소, 디젤 연료, 가솔린, 왁스 또는 올레핀으로; 다양한 촉매에 의해 혼합 알콜로; 이소합성에 의해 이소부탄으로; 수소 생산 후 하버(Haber) 프로세스에 의해 암모니아로; 옥소합성에 의해 알데히드 및 알콜로; 및 다양한 프로세스를 통해 디메틸 에테르, 아세트산, 에틸렌, 프로필렌 및 포름알데히드를 포함한 많은 메탄올 유도체로 변환될 수 있다. 환원 가스는 또한 고체 산화물 연료 전지, 스팀터빈 엔진, 마이크로 터빈, 내연 기관, 열전기 발전기, 스크롤 확장기, 가스 버너 또는 열광발전 디바이스와 같은 에너지 변환 디바이스를 사용하여 에너지로 변환될 수 있다.
- [0721] 본 상세한 설명에서, 본 발명을 이해하고 실시할 수 있는 방식에 관한 본 발명의 다수의 실시예 및 비제한적인

예가 참조되었다. 본 발명의 정신과 범위를 벗어나지 않으면서 본 출원에 제시된 모든 특징과 이점을 제공하지는 않는 다른 실시예가 이용될 수 있다. 본 발명은 본 출원에 설명된 방법과 시스템의 일상적인 실험과 최적화를 포함한다. 이러한 수정 및 변형은 청구범위에 의해 정의된 본 발명의 범위 내에 있는 것으로 고려된다.

- [0722] 본 명세서에 인용된 모든 간행물, 특허 및 특허 출원은 각각의 간행물, 특허 또는 특허 출원이 구체적으로 개별적으로 본 출원에 제시된 것처럼 전체 내용이 참조로 본 출원에 포함된다.
- [0723] 앞서 설명된 방법 및 단계가 특정 순서로 발생하는 특정 이벤트를 나타내는 경우, 본 기술 분야의 숙련자는 특정 단계의 순서가 수정될 수 있으며 이러한 수정이 본 발명의 변형에 따른다는 것을 인식할 것이다. 추가적으로, 가능하면 특정 단계는 병렬 프로세스에서 동시에 수행될 수 있을 뿐만 아니라 순차적으로 수행될 수도 있다.
- [0724] 예
- [0725] 예 1: 10% HFC와 90% LFC를 갖는 바이오카본 펠릿.
- [0726] 경목과 연목이 혼합된 제1 공급원료를 열분해 온도 약 375°C, 열분해 시간 15 내지 30분에서 열분해하여 저 고정 탄소(LFC) 물질을 생성한다. 경목과 연목이 혼합된 제2 공급원료를 열분해 온도 650°C, 열분해 시간 15 내지 30분에서 열분해하여 고 고정 탄소(HFC) 물질을 생성한다. 제1 공급원료에 대한 열분해 온도가 낮을수록 고정 탄소 함량이 비교적 더 낮아진다. 열분해 압력은 N2로 본질적으로 구성된 불활성 가스 하에서 약 1bar(대기압)이다. 각각의 열분해 반응기로부터 고체 출력과 증기 출력이 존재한다. 고체 출력은 탄소를 포함하는 생물기원 시약이다. 증기 출력은 열분해 오프-가스이며, 이는 연소되어 열을 생성할 수 있다.
- [0727] 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질은 저 고정 탄소 물질 약 90 wt%와 고 고정 탄소 물질 약 10 wt%의 비율로 블렌딩되어 조합된 바이오카본 물질을 형성한다.
- [0728] 조합된 바이오카본 물질을 압출기를 사용하여 기계적으로 처리하여 분말을 형성한다. 분말을 수직 링 다이 펠릿 화기로 구성된 펠릿화 장치를 사용하여 펠릿화하여 직경 약 8 mm의 원통형 펠릿을 생성한다. 저 고정 탄소 물질은 펠릿의 결합제로서 기능한다. 특히, 제한 없이, 저 고정 탄소 물질에 함유된 리그닌 또는 리그닌 유도체는 펠릿 내의 탄소를 결합시킬 수 있는 것으로 여겨진다. 외부 펠릿 결합제는 추가되지 않으며; 자체 생성된 리그닌 결합제만 이용된다. 펠릿은 약 8 wt% 습기로 건조된다. 도 3은 바이오카본 펠릿의 사진이다.
- [0729] 예 2: 57.5% HFC 및 42.5% LFC를 갖는 바이오카본 펠릿.
- [0730] 경목과 연목이 혼합된 제1 공급원료를 열분해 온도 약 375°C, 열분해 시간 15 내지 30분에서 열분해하여 저 고정 탄소(LFC) 물질을 생성한다. 경목과 연목이 혼합된 제2 공급원료를 열분해 온도 650°C, 열분해 시간 15 내지 30분에서 열분해하여 고 고정 탄소(HFC) 물질을 생성한다. 제1 공급원료에 대한 열분해 온도가 낮을수록 고정 탄소 함량이 비교적 더 낮아진다. 열분해 압력은 N2로 본질적으로 구성된 불활성 가스 하에서 약 1bar(대기압)이다. 각각의 열분해 반응기로부터 고체 출력과 증기 출력이 존재한다. 고체 출력은 탄소를 포함하는 생물기원 시약이다. 증기 출력은 열분해 오프-가스이며, 이는 연소되어 열을 생성할 수 있다.
- [0731] 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질은 저 고정 탄소 물질 약 42.5 wt%와 고 고정 탄소 물질 약 57.5 wt%의 비율로 블렌딩되어 조합된 바이오카본 물질을 형성한다.
- [0732] 조합된 바이오카본 물질을 압출기를 사용하여 기계적으로 처리하여 분말을 형성한다. 분말을 수직 링 다이 펠릿 화기로 구성된 펠릿화 장치를 사용하여 펠릿화하여 직경 약 8 mm의 원통형 펠릿을 생성한다. 저 고정 탄소 물질은 펠릿의 결합제로서 기능한다. 특히, 제한 없이, 저 고정 탄소 물질에 함유된 리그닌 또는 리그닌 유도체는 펠릿 내의 탄소를 결합시킬 수 있는 것으로 여겨진다. 외부 펠릿 결합제는 추가되지 않으며; 자체 생성된 리그닌 결합제만 이용된다. 바이오카본 펠릿은 습기가 약 7 wt%가 될 때까지 건조된다.
- [0733] 그 후, 건조된 바이오카본 펠릿을 실온(약 25°C)에서 과량의 물에 24시간 동안 침지시켜 테스트한다. 침지시킨 후 체를 사용하여 유리수 액적을 걸러낸 다음 ASTM D3173에 따라 샘플의 총 습기를 테스트한다. 그 결과 습기는 약 13 wt%이고, 이는 약 6 wt% 물의 순 습기 흡수이다.
- [0734] 예 3: 90% HFC와 10% LFC를 갖는 바이오카본 펠릿.
- [0735] 경목과 연목이 혼합된 제1 공급원료를 열분해 온도 약 375°C, 열분해 시간 15 내지 30분에서 열분해하여 저 고정 탄소(LFC) 물질을 생성한다. 경목과 연목이 혼합된 제2 공급원료를 열분해 온도 650°C, 열분해 시간 15 내지 30분에서 열분해하여 고 고정 탄소(HFC) 물질을 생성한다. 제1 공급원료에 대한 열분해 온도가 낮을수록 고정

탄소 함량이 비교적 더 낮아진다. 열분해 압력은 N<sub>2</sub>로 본질적으로 구성된 불활성 가스 하에서 약 1bar(대기압)이다. 각각의 열분해 반응기로부터 고체 출력과 증기 출력이 존재한다. 고체 출력은 탄소를 포함하는 생물기원 시약이다. 증기 출력은 열분해 오프-가스이며, 이는 연소되어 열을 생성할 수 있다.

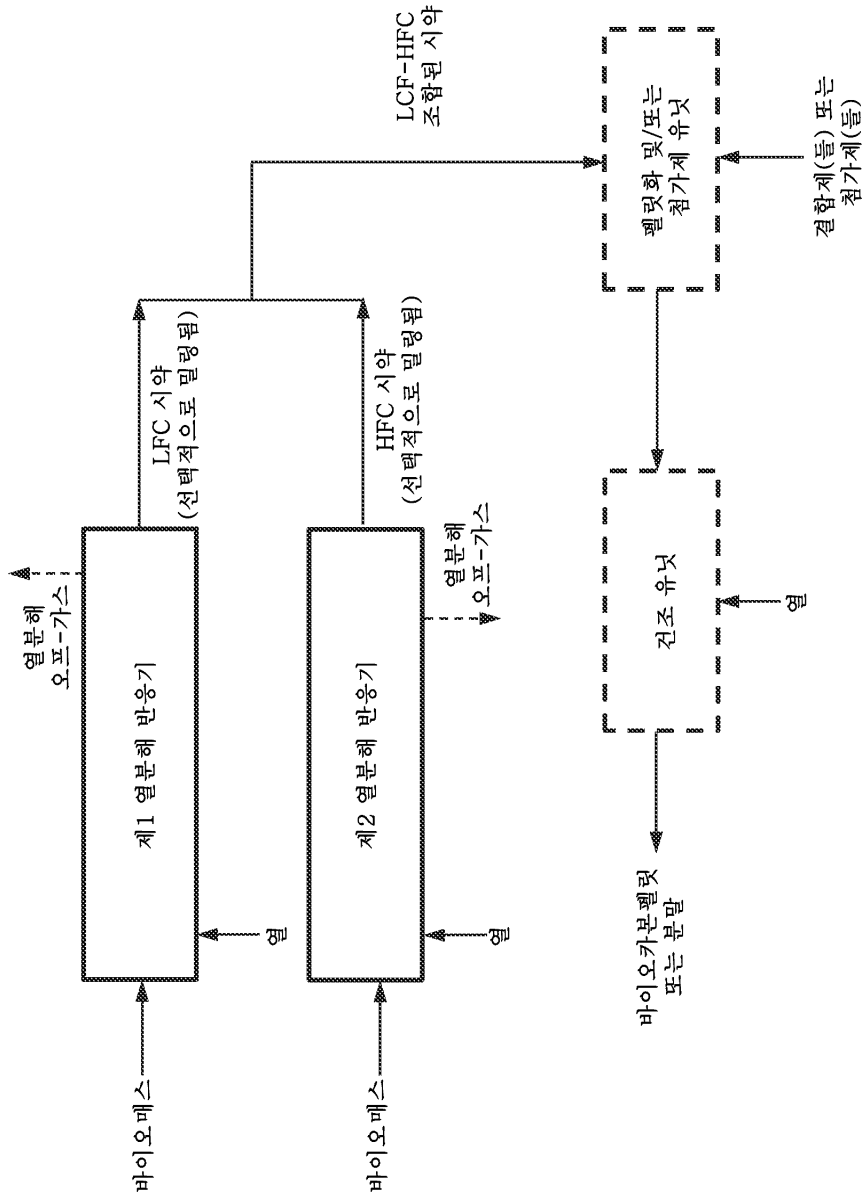
[0736] 저 고정 탄소 물질과 고 고정 탄소 물질은 저 고정 탄소 물질 약 10 wt%와 고 고정 탄소 물질 약 90 wt%의 비율로 블렌딩되어 조합된 바이오카본 물질을 형성한다.

[0737] 조합된 바이오카본 물질을 압출기를 사용하여 기계적으로 처리하여 분말을 형성한다. 분말을 수직 링 다이 펠릿 화기로 구성된 펠릿화 장치를 사용하여 펠릿화하여 직경 약 8 mm의 원통형 펠릿을 생성한다. 저 고정 탄소 물질은 펠릿의 결합제로서 기능한다. 특히, 제한 없이, 저 고정 탄소 물질에 함유된 리그닌 또는 리그닌 유도체는 펠릿 내의 탄소를 결합시킬 수 있는 것으로 여겨진다. 외부 펠릿 결합제는 추가되지 않으며; 자체 생성된 리그닌 결합제만 이용된다. 바이오카본 펠릿은 습기가 약 7 wt%가 될 때까지 건조된다.

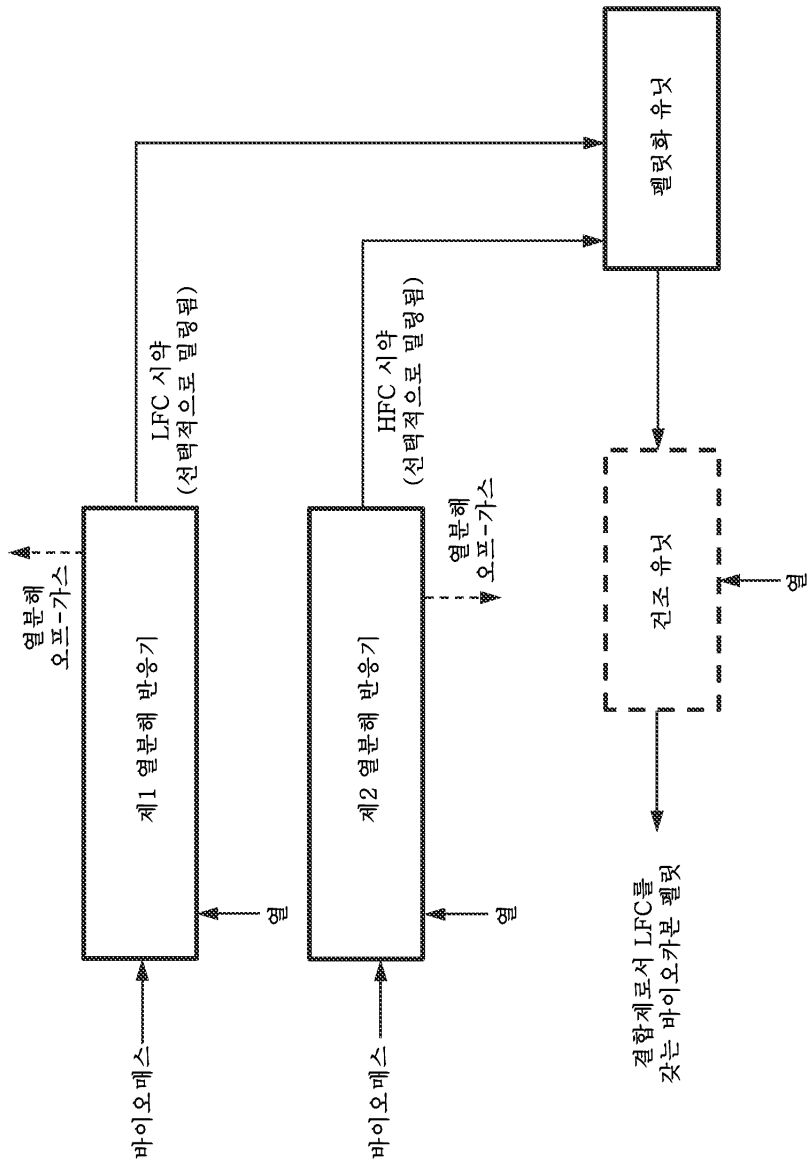
[0738] 그 후, 건조된 바이오카본 펠릿을 실온(약 25°C)에서 과량의 물에 24시간 동안 침지시켜 테스트한다. 침지시킨 후 체를 사용하여 유리수 액적을 걸러낸 다음 ASTM D3173에 따라 샘플의 총 습기를 테스트한다. 결과는 약 28 wt%의 습기이고, 이는 약 21 wt% 물의 순 습기 흡수이다.

도면

도면1



도면2



도면3

