(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0101832
(43) 공개일자 2024년07월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C10B 53/02 (2006.01) *C04B 18/02* (2006.01)
C04B 18/10 (2006.01) *C04B 20/04* (2006.01)
C10B 57/06 (2006.01) *C10G 1/00* (2006.01)
C10G 1/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C10B 53/02 (2013.01)
C04B 18/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7019083
(22) 출원일자(국제) 2022년11월08일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년06월07일
(86) 국제출원번호 PCT/US2022/049240
(87) 국제공개번호 WO 2023/086324
국제공개일자 2023년05월19일
(30) 우선권주장
63/278,573 2021년11월12일 미국(US)

(71) 출원인
카본 테크놀로지 홀딩스, 엘엘씨
미국 55128 미네소타 오크데일 이메이션 웨이 1
(72) 발명자
멘넬, 제임스 에이.
미국 84121 유타 브라이튼 이. 빅 코튼우드 캐년 로드 12080
슬랙, 더스틴
미국 49841 미시간 그윈 프로바이더 스트리트 108
다우가드, 데런
미국 65550 미주리 뉴버그 카운티 로드 7250 16191
(74) 대리인
양영준, 이상남

전체 청구항 수 : 총 40 항

(54) 발명의 명칭 **최적화된 조성 파라미터를 갖는 바이오카본 조성물 및 이를 제조하는 공정**

(57) 요 약

일부 변형에서, 본 개시내용은 50 중량% 내지 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 재생 가능한 바이오카본 조성물을 제공하며, 상기 바이오카본 조성물은 0.1 내지 10으로부터 선택되는 염기-산 비율, 0.05 내지 5로부터 선택되는 철-칼슘 비율, 5 내지 50 중량%로부터 선택되는 철 + 칼슘 파라미터, 0.001 내지 1로부터 선택되는 슬래깅 인자,

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



및/또는 0.1 내지 10으로부터 선택되는 파울링 인자 또는 변형된 파울링 인자를 특징으로 한다. 일부 변형은 바이오매스 공급원료를 제공하는 단계; 상기 바이오매스 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림을 생성하는 단계; 상기 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하고/하거나 공정에 첨가제를 도입하여 염기-산 비율 또는 기타 조성 파라미터를 조정하는 단계; 및 50 중량% 내지 99 중량%의 총 탄소를 포함하고 조성 파라미터에 대해 최적화된 바이오카본 조성물을 회수하는 단계를 포함하는 공정을 제공한다.

(52) CPC특허분류
C04B 18/101 (2013.01)
C04B 20/04 (2013.01)
C10B 57/06 (2013.01)
C10G 1/002 (2013.01)
C10G 1/042 (2013.01)
C10G 2300/1011 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

최적화된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정으로서, 상기 공정은,

(a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

(b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 하기 식으로 정의되는 염기-산 비율을 특징으로 하며,

$$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따른 중량 백분율에 해당하는 것인, 단계;

(c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 염기-산 비율을 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 염기-산 비율을 조정하는 단계; 및

(d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 상기 바이오카본 조성물의 염기-산 비율은 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택되는, 공정.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 바이오매스는 침엽수 칩, 활엽수 칩, 목재 수확 잔류물, 나뭇가지, 나무 그루터기, 잎, 나무껍질, 톱밥, 옥수수, 옥수수 대, 밀, 밀짚, 벼, 볏짚, 사탕수수, 사탕수수 찌꺼기, 사탕수수 짚, 에너지 수수(energy cane), 사탕무, 사탕무 펄프, 해바라기, 수수, 캐놀라, 조류, 억새풀, 알팔파(alfalfa), 스위치그래스(switchgrass), 과일, 과일 표피, 과일 줄기, 과일 껍질, 과일 피트(fruit pit), 야채, 야채 표피, 야채 줄기, 야채 껍질, 야채 피트, 포도 부스러기(grape pumice), 아몬드 표피, 피칸 표피, 코코넛 표피, 커피 찌꺼기, 음식물 쓰레기, 상업 폐기물, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 종이 펄프, 종이 패키징, 종이 트리밍, 식품 패키징, 건설 또는 철거 폐기물, 철도 침목, 리그닌, 동물 거름, 도시 고형 폐기물, 도시 하수, 또는 이들의 조합을 포함하는, 공정.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시키는, 공정.

청구항 4

청구항 1에 있어서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용하는, 공정.

청구항 5

청구항 4에 있어서, 상기 산성수는 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 수득되는, 공정.

청구항 6

청구항 1에 있어서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시키는, 공정.

청구항 7

청구항 1에 있어서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용하는, 공정.

청구항 8

청구항 1에 있어서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용하는, 공정.

청구항 9

청구항 1에 있어서, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용하는, 공정.

청구항 10

청구항 1에 있어서, 단계 (c)의 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광(iron ore concentrate), 형석, 플루오르스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체를 포함하는, 공정.

청구항 11

청구항 1에 있어서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 염기-산 비율을 조정하고; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 염기-산 비율을 조정하는 것을 포함하는, 공정.

청구항 12

청구항 1에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량(heating value)을 갖는, 공정.

청구항 13

청구항 1에 있어서, 상기 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 제조하고, 여기서 펠릿화를 돕기 위해 결합제가 선택적으로 사용되며, 상기 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분(coal fine), 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 쉉글(recycled shingles), 재활용 타이어, 또는 이들의 조합 또는 유도체를 포함하는, 공정.

청구항 14

청구항 1 내지 13 중 어느 한 항에 있어서, 상기 염기-산 비율은 적어도 약 1.5 내지 최대 약 5인, 공정.

청구항 15

청구항 1 내지 14 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 각각 ASTM D4326에 따른 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Fe_2O_3을 CaO로 나눈 것으로 정의된 철-칼슘 비율을 특징으로 하며, 상기 바이오카본 조성물의 철-칼슘 비율은 약 0.05 내지 약 5로부터 선택되는, 공정.

청구항 16

청구항 1 내지 15 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 각각 ASTM D4326에 따른 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Fe_2O_3 및 CaO의 합으로 정의되는 철 + 칼슘 파라미터를 특징으로 하며, 상기 바이오카본 조성물의 철 + 칼슘 파라미터는 약 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택되는, 공정.

청구항 17

청구항 1 내지 16 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 건조 기준으로 바이오카본 조성물에 존재하는 황의 중량 백분율을 곱한 것으로 정의되는 슬래깅 인자(slagging factor)를 특징으로 하며, 상기 바이오카본 조성물의 슬래깅 인자는 약 0.001 내지 약 1로부터 선택되는, 공정.

청구항 18

청구항 1 내지 17 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 ASTM D4326에 따른 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 파울링 인자(fouling factor)를 특징으로 하며, 상기 바이오카본 조성물의 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택되는, 공정.

청구항 19

청구항 1 내지 18 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 수용성 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 변형된 파울링 인자를 특징으로 하며, 상기 수용성 Na_2O는 물의 존재 하에 ASTM D4326에 따른 바이오카본 조성물로부터 유래된 회분으로부터 침출되는 Na_2O의 중량 백분율이며, 상기 변형된 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택되는, 공정.

청구항 20

청구항 1 내지 19 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 고정 탄소를 포함하고, 상기 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 90% 재생 가능한 것인, 공정.

청구항 21

최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정으로서, 상기 공정은,

(a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

(b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 하기 식으로 정의되는 확장된 염기-산 비율을 특징으로 하고,

$$\text{확장된 염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O + MnO + SrO + BaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2 + P_2O_5 + SO_3}$$

상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, MnO, SrO, BaO, SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, P_2O_5, 및 SO_3 각각은 ASTM D4326에 따른 중량 백분율에 해당하는 것인, 단계;

(c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 확장된 염기-산 비율을 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 확장된 염기-산 비율을 조정하는 단계; 및

(d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 상기 바이오카본 조성물의 확장된 염기-산 비율은 약 0.05 내지 약 8로부터 선택되는, 단계를 포함하는, 공정

청구항 22

청구항 21에 있어서, 상기 바이오매스는 침엽수 칩, 활엽수 칩, 목재 수확 잔류물, 나뭇가지, 나무 그루터기,

잎, 나무껍질, 톱밥, 옥수수, 옥수수 대, 밀, 밀짚, 벼, 볏짚, 사탕수수, 사탕수수 찌꺼기, 사탕수수 짚, 에너지 수수, 사탕무, 사탕무 펄프, 해바라기, 수수, 캐놀라, 조류, 억새풀, 알팔파, 스위치그래스, 과일, 과일 표피, 과일 줄기, 과일 껍질, 과일 피트, 야채, 야채 표피, 야채 줄기, 야채 껍질, 야채 피트, 포도 부스러기, 아몬드 표피, 피칸 표피, 코코넛 표피, 커피 찌꺼기, 음식물 쓰레기, 상업 폐기물, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 종이 펄프, 종이 패키징, 종이 트리밍, 식품 패키징, 건설 또는 철거 폐기물, 철도 침목, 리그닌, 동물 거름, 도시 고형 폐기물, 도시 하수, 또는 이들의 조합을 포함하는, 공정.

청구항 23

청구항 21에 있어서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시키는, 공정.

청구항 24

청구항 21에 있어서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용하는, 공정.

청구항 25

청구항 24에 있어서, 상기 산성수는 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 수득되는, 공정.

청구항 26

청구항 21에 있어서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시키는, 공정.

청구항 27

청구항 21에 있어서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용하는, 공정.

청구항 28

청구항 21에 있어서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용하는, 공정.

청구항 29

청구항 21에 있어서, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용하는, 공정.

청구항 30

청구항 21에 있어서, 단계 (c)의 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오르스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체를 포함하는, 공정.

청구항 31

청구항 21에 있어서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 확장된 염기-산 비율을 조정하고; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 확장된 염기-산 비율을 조정하는 것을 포함하는, 공정.

청구항 32

청구항 21에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는, 공정.

청구항 33

청구항 21에 있어서, 상기 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 제조하고, 여기서 펠릿화를 돕기 위해 결합제가 선택적으로 사용되며, 상기 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 섬글, 재활용 타이어, 또는 이들의 조합 또는 유도체를 포함하는, 공정.

청구항 34

청구항 21 내지 33 중 어느 한 항에 있어서, 상기 확장된 염기-산 비율은 적어도 약 0.5 내지 최대 약 5인, 공정.

청구항 35

청구항 21 내지 34 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 각각 ASTM D4326에 따른 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Fe_2O_3을 CaO로 나눈 것으로 정의된 철-칼슘 비율을 특징으로 하며, 상기 바이오카본 조성물의 철-칼슘 비율은 약 0.05 내지 약 5로부터 선택되는, 공정.

청구항 36

청구항 21 내지 35 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 각각 ASTM D4326에 따른 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Fe_2O_3 및 CaO의 합으로 정의되는 철 + 칼슘 파라미터를 특징으로 하며, 상기 바이오카본 조성물의 철 + 칼슘 파라미터는 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택되는, 공정.

청구항 37

청구항 21 내지 36 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 건조 기준으로 바이오카본 조성물에 존재하는 황의 중량 백분율을 곱한 것으로 정의되는 슬래깅 인자를 특징으로 하며, 상기 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며:

$$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따른 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당하고, 상기 바이오카본 조성물의 슬래깅 인자는 약 0.001 내지 약 1로부터 선택되는, 공정.

청구항 38

청구항 21 내지 37 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 ASTM D4326에 따른 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 파울링 인자를 특징으로 하며, 상기 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며:

$$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따른 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당하고, 상기 바이오카본 조성물의 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택되는, 공정.

청구항 39

청구항 21 내지 38 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 수용성 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 변형된 파울링 인자를 특징으로 하며, 상기 수용성 Na_2O는 물의 존재 하에 ASTM D4326에 따른 바이오카본 조성물로부터 유래된 회분으로부터 침출되는 Na_2O의 중량 백분율이며, 상기 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며:

$$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따른 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당하고, 상기 변형된 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택되는, 공정.

청구항 40

청구항 21 내지 39 중 어느 한 항에 있어서, 상기 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 고정 탄소를 포함하고, 상기 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 90% 재생 가능한 것인, 공정.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련 출원(들)에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 2021년 11월 12일에 출원된 미국 가특허 출원 제63/278,573호의 우선권 이익을 주장하며, 이는 그 전체가 본원에 참조로 포함된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본 발명은 일반적으로 최적화된 조성 파라미터를 갖는 바이오카본 조성물, 및 그러한 바이오카본 조성물을 제조하는 공정에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 바이오매스(biomass)는 모든 생물학적으로 생성된 물질 또는 바이오제닉(biogenic) 물질을 설명하는 데 사용되는 용어이다. 바이오매스에 포함된 화학 에너지는 광합성이라는 자연적인 과정을 사용하여 태양 에너지로부터 유래한다. 이것은 식물이 그들의 주변으로부터 이산화탄소 및 물을 흡수하고 태양광으로부터의 에너지를 사용하여 당, 전분, 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌으로 전환시키는 과정이다. 모든 재생 가능한 에너지원 중에서, 바이오매스는 효과적으로 저장된 태양 에너지라는 점에서 독특하다. 더욱이, 바이오매스는 유일한 재생 가능한 탄소원이다.

[0006] 탄소질 물질에는 일반적으로 천연 가스, 석유, 석탄 및 갈탄과 같은 화석 자원, 또는 리그노셀룰로오스 바이오매스 및 다양한 탄소가 풍부한 폐기물과 같은 재생 가능한 자원이 포함된다. 화석 자원과 관련된 경제적, 환경적 및 사회적 비용의 증가로 인해, 재생 가능한 바이오매스를 사용하여 탄소-기반 시약을 제조하는 것에 대한 관심이 증가하고 있다.

[0007] 최적화된 조성 파라미터를 갖는 바이오카본 조성물 및 최적화된 바이오카본 조성물을 제조하는 공정이 필요하다. 바이오카본 조성 파라미터는 다양한 상업적 적용에 최적화되어야 한다.

발명의 내용

[0008] 일부 변형에서, 본 발명은 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하며, 바이오카본 조성물은 하기 식으로 정의되는 염기-산 비율을 특징으로 하며, 염기-산 비율은 적어도 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다:

[0009] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0010] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0011] 일부 실시형태에서, 염기-산 비율은 약 0.1 내지 약 0.4, 또는 약 0.5 내지 약 10, 또는 약 0.8 내지 약 10, 또는 약 1.5 내지 약 5, 또는 약 0.4 내지 약 0.7로부터 선택된다. 특정 실시형태에서, 염기-산 비율은 최대 0.4 또는 적어도 0.7이다.

[0012] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3을 CaO로 나눈 것으로 정의된 철-칼슘 비율을 추가로 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 여기서 철-칼슘 비율은 약 0.05 내지 약 5로부터 선택된다.

[0013] 본 발명은 또한 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하며, 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3을 CaO로 나눈 것으로 정의된 철-칼슘 비율을 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 철-칼슘 비율은 약 0.05 내지 약 5로부터 선택된다.

[0014] 일부 실시형태에서, 철-칼슘 비율은 약 0.1 내지 약 2, 또는 약 0.3 내지 약 1로부터 선택된다. 특정 실시형태에서, 철-칼슘 비율은 최대 0.3 또는 적어도 3이다.

[0015] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3 및 CaO의 합으로 정의되는 철 + 칼슘 파라미터를 추가로 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 여기서 철 + 칼슘 파라미터는 약 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다.

[0016] 본 발명은 또한 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하며, 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3 및 CaO의 합으로 정의되는 철 + 칼슘 파라미터를 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 철 + 칼슘 파라미터는 약 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다.

[0017] 일부 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 약 10 중량% 내지 약 40 중량%, 또는 약 20 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다. 특정 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 최대 10 중량%이다. 다른 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 적어도 10 중량%이다.

[0018] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 건조 기준으로 바이오카본 조성물에 존재하는 황의 중량 백분율을 곱한 것으로 정의되는 슬래깅 인자(slagging factor)를 추가로 특징으로 하며, 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 슬래깅 인자는 약 0.001 내지 약 1로부터 선택된다:

[0019] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0020] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0021] 본 발명은 또한 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하며, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 건조 기준으로 바이오카본 조성물에 존재하는 황의 중량 백분율을 곱한 것으로 정의되는 슬래깅 인자를 특징으로 하며, 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 슬래깅 인자는 약 0.001 내지 약 1로부터 선택된다:

[0022] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0023] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0024] 일부 실시형태에서, 슬래깅 인자는 약 0.01 내지 약 0.5, 또는 약 0.01 내지 약 0.1로부터 선택된다. 특정 실시형태에서, 슬래깅 인자는 최대 0.6이다.

[0025] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 파울링 인자(fouling factor)를 추가로 특징으로 하며, 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다:

[0026] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0027] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0028] 본 발명은 또한 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하며, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 파울링 인자를 특징으로 하며, 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다:

[0029] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0030] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0031] 일부 실시형태에서, 파울링 인자는 최대 2이다. 특정 실시형태에서, 파울링 인자는 최대 1이다. 전형적으로, 낮은 파울링 인자가 바람직하다. 그러나, 특정 실시형태에서, 중간 정도 또는 심지어 높은 파울링 인자는 알칼리를 포함하는 복합재를 제조할 때와 같이 알칼리-결합된 침전물을 형성하는 데 유리하다.

[0032] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 수용성 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 변형된 파울링 인자를 추가로 특징으로 하며, 여기서 수용성 Na_2O는 물의 존재 하에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물로부터 유래된 회분으로부터 침출되는 Na_2O의 중량 백분율이며, 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 변형된 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다:

[0033] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0034] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0035] 본 발명은 또한 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하며, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 수용성 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 변형된 파울링 인자를 특징으로 하며, 여기서 수용성 Na_2O는 물의 존재 하에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물로부터 유래된 회분으로부터 침출되는 Na_2O의 중량 백분율이며, 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 변형된 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다:

[0036] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0037] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0038] 일부 실시형태에서, 변형된 파울링 인자는 최대 2이다. 특정 실시형태에서, 변형된 파울링 인자는 최대 1이다.

[0039] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 SiO_2의 중량 백분율로 정의되는 실리카 백분율을 추가로 특징으로 하며, 여기서 실리카 백분율은 약 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다. 특정 실시형태에서, 실리카 백분율은 약 10 중량% 내지 약 30 중량%로부터 선택된다.

[0040] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 낮은 수은 함량을 추가로 특징으로 한다. 바이오카본 조성물은 최대 100 ppm 수은(ppm = 중량 기준 백만분율)을 포함할 수 있거나, 최대 10 ppm 수은을 포함할 수 있거나, 본질적으로 수은이 없을 수 있다.

[0041] 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 ASTM D1412에 따른 평형 수분 함량을 추가로 특징으로 한다. 평형 수분은 모든 중간 범위를 포함하여, 약 0.1 중량% 내지 약 10 중량%, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 1, 1.2, 1.5, 2, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 3, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 또는 10 중량%일 수 있다.

[0042] 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 고정 탄소를 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 75 중량%의 고정 탄소 또는 적어도 약 90 중량%의 고정 탄소를 포함한다.

[0043] 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 90% 재생 가능하다. 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 99% 재생 가능할 수 있다. 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 완전히 재생 가능할 수 있다.

[0044] 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물 내의 고정 탄소는 고정 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 80% 재생 가능하다. 바이오카본 조성물 내의 고정 탄소는 고정 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 90% 재생 가능할 수 있다. 바이오카본 조성물 내의 고정 탄소는 고정 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 95% 재생 가능할 수 있다.

[0045] 바이오카본 조성물은 펠릿 형태일 수 있다. 펠릿은 결합제를 포함할 수 있다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 텍스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분(coal fine), 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광(iron ore concentrate), 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 쉉글(recycled shingle), 재활용 타이어, 이들의 유도체, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택될 수 있다. 일부 실시형태에서, 바이오카본 펠릿은 외부로부터 첨가된 결합제를 포함하지 않는다.

[0046] 바이오카본 조성물은 분말 형태일 수 있으며, 이는 루스 분말(loose powder), 압축 분말, 과립 분말 또는 기타 형태일 수 있다.

[0047] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 하기 식으로 정의되는 확장된 염기-산 비율을 추가로 특징으로 하며, 여기서 확장된 염기-산 비율은 약 0.05 내지 약 8로부터 선택된다:

[0048] $$\text{확장된 염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O + MnO + SrO + BaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2 + P_2O_5 + SO_3}$$

[0049] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, MnO, SrO, BaO, SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, P_2O_5, 및 SO_3 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 분율에 해당한다.

[0050] 본 발명의 일부 변형은 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여

기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하며, 바이오카본 조성물은 하기 식으로 정의되는 확장된 염기-산 비율을 특징으로 하며, 확장된 염기-산 비율은 약 0.05 내지 약 8로부터 선택된다:

[0051]
$$\text{확장된 염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O + MnO + SrO + BaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2 + P_2O_5 + SO_3}$$

[0052] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, MnO, SrO, BaO, SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, P_2O_5, 및 SO_3 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 분율에 해당한다.

[0053] 일부 실시형태에서, 확장된 염기-산 비율은 약 0.1 내지 약 0.4, 또는 약 0.5 내지 약 10, 또는 약 0.8 내지 약 10, 또는 약 1.5 내지 약 5, 또는 약 0.4 내지 약 0.7로부터 선택된다. 특정 실시형태에서, 확장된 염기-산 비율은 최대 0.4 또는 적어도 0.7이다.

[0054] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3을 CaO로 나눈 것으로 정의된 철-칼슘 비율을 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 여기서 철-칼슘 비율은 약 0.05 내지 약 5로부터 선택된다. 철-칼슘 비율은, 예를 들어, 약 0.1 내지 약 2, 또는 약 0.3 내지 약 1로부터 선택될 수 있다, 특정 실시형태에서, 철-칼슘 비율은 최대 0.3 또는 적어도 3이다.

[0055] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3 및 CaO의 합으로 정의되는 철 + 칼슘 파라미터를 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 여기서 철 + 칼슘 파라미터는 약 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다. 철 + 칼슘 파라미터는, 예를 들어, 약 10 중량% 내지 약 40 중량%, 또는 약 20 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택될 수 있다. 특정 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 최대 10 중량%이다. 다른 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 적어도 10 중량%이다.

[0056] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 건조 기준으로 바이오카본 조성물에 존재하는 황의 중량 백분율을 곱한 것으로 정의되는 슬래깅 인자를 특징으로 하며, 여기서 슬래깅 인자는 약 0.001 내지 약 1로부터 선택된다. 슬래깅 인자는, 예를 들어, 약 0.01 내지 약 0.5, 또는 약 0.01 내지 약 0.1로부터 선택될 수 있다. 특정 실시형태에서, 슬래깅 인자는 최대 0.6이다.

[0057] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 파울링 인자를 특징으로 하며, 여기서 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다. 파울링 인자는, 예를 들어, 최대 2 또는 최대 1일 수 있다.

[0058] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 수용성 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 변형된 파울링 인자를 특징으로 하며, 여기서 수용성 Na_2O는 물의 존재 하에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물로부터 유래된 회분으로부터 침출되는 Na_2O의 중량 백분율이며, 변형된 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다. 변형된 파울링 인자는, 예를 들어, 최대 2 또는 최대 1일 수 있다.

[0059] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 SiO_2의 중량 백분율로 정의되는 실리카 백분율을 특징으로 하며, 여기서 실리카 백분율은 약 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다. 실리카 백분율은, 예를 들어, 약 10 중량% 내지 약 30 중량%로부터 선택될 수 있다.

[0060] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 최대 100 ppm 수은을 포함하거나, 최대 10 ppm 수은을 포함하거나, 본질적으로 수은이 없을 수 있다.

[0061] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 고정 탄소를 포함한다. 특정 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 건조 기

준으로 적어도 약 75 중량%의 고정 탄소 또는 적어도 약 90 중량%의 고정 탄소를 포함한다.

[0062] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 90% 재생 가능하다. 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 99% 재생 가능할 수 있다. 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 완전히 재생 가능할 수 있다.

[0063] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 펠릿 형태이다. 펠릿은 선택적으로 결합제를 포함한다.

[0064] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 분말 형태이다. 분말은 루스 분말, 압축 분말, 과립 분말, 또는 또 다른 형태의 분말일 수 있다.

[0065] 개시된 임의의 바이오카본 조성물은 첨가제를 추가로 포함할 수 있으며, 여기서 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오르스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0066] 본 발명의 일부 변형은 최적화된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0067] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0068] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 하기 식으로 정의되는 염기-산 비율을 특징으로 하고:

[0069] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0070] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 중량 백분율에 해당하는 것인, 단계;

[0071] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 염기-산 비율을 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 염기-산 비율을 조정하는 단계; 및

[0072] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 염기-산 비율은 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택되는, 단계

[0073] 를 포함한다.

[0074] 일부 공정에서, 바이오매스는 침엽수 칩, 활엽수 칩, 목재 수확 잔류물, 나뭇가지, 나무 그루터기, 잎, 나무껍질, 톱밥, 옥수수, 옥수수 대, 밀, 밀짚, 벼, 볏짚, 사탕수수, 사탕수수 찌꺼기, 사탕수수 짚, 에너지 수수(energy cane), 사탕무, 사탕무 펄프, 해바라기, 수수, 캐놀라, 조류, 억새풀, 알팔파(alfalfa), 스위치그래스(switchgrass), 과일, 과일 표피, 과일 줄기, 과일 껍질, 과일 피트(fruit pit), 야채, 야채 표피, 야채 줄기, 야채 껍질, 야채 피트, 포도 부스러기(grape pumice), 아몬드 표피, 피칸 표피, 코코넛 표피, 커피 찌꺼기, 음식물 쓰레기, 상업 폐기물, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 종이 펄프, 종이 패키징, 종이 트리밍, 식품 패키징, 건설 또는 철거 폐기물, 철도 침목, 리그닌, 동물 거름, 도시 고형 폐기물, 도시 하수, 또는 이들의 조합으로부터 선택된다.

[0075] 일부 실시형태에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시

킨다.

[0076] 일부 실시형태에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0077] 일부 실시형태에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0078] 일부 실시형태에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0079] 일부 실시형태에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0080] 일부 공정에서, 단계 (c)가 수행된다. 일부 공정에서, 단계 (d)가 수행된다. 특정 공정에서, 단계 (c) 및 (d)가 둘 모두 수행된다.

[0081] 단계 (d)를 사용하는 경우, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0082] 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량(heating value)을 갖는다.

[0083] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 섕글, 재활용 타이어, 이들의 유도체, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0084] 일부 공정에서, 염기-산 비율은 약 0.1 내지 약 0.4, 또는 약 0.5 내지 약 10, 또는 약 0.8 내지 약 10, 또는 약 1.5 내지 약 5, 또는 약 0.4 내지 약 0.7이 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 염기-산 비율은 최대 0.4 또는 적어도 0.7이 되도록 최적화된다.

[0085] 본 발명의 일부 변형은 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0086] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0087] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 하기 식으로 정의되는 확장된 염기-산 비율을 특징으로 하고:

[0088] $$\text{확장된 염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O + MnO + SrO + BaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2 + P_2O_5 + SO_3}$$

[0089] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, MnO, SrO, BaO, SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, P_2O_5, 및 SO_3 각각은 ASTM D4326에 따라 중량 백분율에 해당하는 것인, 단계;

[0090] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 염기-산 비율을 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 염기-산 비율을 조정하는 단계; 및

[0091] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄

소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 확장된 염기-산 비율은 약 0.05 내지 약 8로부터 선택되는, 단계

[0092] 를 포함한다.

[0093] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시킨다.

[0094] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0095] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0096] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0097] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0098] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)가 수행된다. 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (d)가 수행된다. 특정 공정에서, 단계 (c) 및 (d)가 둘 모두 수행된다.

[0099] 단계 (d)를 사용하는 경우, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0100] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는다.

[0101] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다.

[0102] 일부 공정에서, 확장된 염기-산 비율은 약 0.1 내지 약 0.4, 또는 약 0.5 내지 약 10, 또는 약 0.8 내지 약 10, 또는 약 1.5 내지 약 5, 또는 약 0.4 내지 약 0.7이 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 확장된 염기-산 비율은 최대 0.4 또는 적어도 0.7이 되도록 최적화된다.

[0103] 개시된 임의의 공정에서, 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3을 CaO로 나눈 것으로 정의된 철-칼슘 비율을 특징으로 할 수 있으며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 여기서 바이오카본 조성물의 철-칼슘 비율은 약 0.05 내지 약 5로부터 선택된다.

[0104] 일부 변형은 최적화된 철-칼슘 비율을 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0105] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0106] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 Fe_2O_3을 CaO로 나눈 것으로 정의된 철-칼슘 비율을 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율인, 단계;

[0107] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 철-칼슘 비율을 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 철-칼슘 비율을 조정하는 단계; 및

[0108] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄

소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 철-칼슘 비율은 약 0.05 내지 약 5로부터 선택되는, 단계

[0109] 를 포함한다.

[0110] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시킨다.

[0111] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0112] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0113] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0114] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0115] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)가 수행된다. 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (d)가 수행된다. 특정 공정에서, 단계 (c) 및 (d)가 둘 모두 수행된다.

[0116] 단계 (d)를 사용하는 경우, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0117] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는다.

[0118] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다.

[0119] 일부 공정에서, 철 + 칼슘 파라미터는 약 10 중량% 내지 약 40 중량%, 또는 약 20 중량% 내지 약 50 중량%가 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 최대 10 중량%가 되도록 최적화된다. 다른 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 적어도 10 중량%가 되도록 최적화된다.

[0120] 상기 개시된 임의의 공정에서, 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3 및 CaO의 합으로 정의되는 철 + 칼슘 파라미터를 특징으로 할 수 있으며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 여기서 바이오카본 조성물의 철 + 칼슘 파라미터는 약 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다.

[0121] 일부 변형은 최적화된 철 + 칼슘 파라미터를 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0122] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0123] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 Fe_2O_3 및 CaO의 합으로 정의되는 철 + 칼슘 파라미터를 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율인, 단계;

[0124] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 철 + 칼슘 파라미터를 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 철 + 칼슘 파라미터를 조정하는 단계; 및

[0125] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄

소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 철 + 칼슘 파라미터는 5 중량% 내지 약 50 중량%부터 선택되는, 단계

[0126] 를 포함한다.

[0127] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시킨다.

[0128] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0129] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0130] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0131] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0132] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)가 수행된다. 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (d)가 수행된다. 특정 공정에서, 단계 (c) 및 (d)가 둘 모두 수행된다.

[0133] 단계 (d)를 사용하는 경우, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0134] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는다.

[0135] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다.

[0136] 일부 공정에서, 철 + 칼슘 파라미터는 약 10 중량% 내지 약 40 중량%, 또는 약 20 중량% 내지 약 50 중량%가 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 최대 10 중량%가 되도록 최적화된다. 다른 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 적어도 10 중량%가 되도록 최적화된다.

[0137] 상기 개시된 임의의 공정에서, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 건조 기준으로 바이오카본 조성물에 존재하는 황의 중량 백분율을 곱한 것으로 정의되는 슬래깅 인자를 특징으로 할 수 있으며, 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 바이오카본 조성물의 슬래깅 인자는 약 0.001 내지 약 1로부터 선택된다:

[0138] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0139] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0140] 일부 변형은 최적화된 슬래깅 인자를 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0141] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0142] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 염기-산 비율에 건조 기준으로 바이오카본 조성물에 존재하는 황의 중량 백분율을 곱한 것으로 정의되는 슬래깅 인자를 특징으로 하며;

[0143] 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며:

[0144] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0145] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당하는 것인, 단계;

[0146] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 슬래깅 인자를 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 슬래깅 인자를 조정하는 단계; 및

[0147] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 슬래깅 인자는 약 0.001 내지 약 1로부터 선택되는, 단계

[0148] 를 포함한다.

[0149] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시킨다.

[0150] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0151] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0152] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0153] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0154] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)가 수행된다. 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (d)가 수행된다. 특정 공정에서, 단계 (c) 및 (d)가 둘 모두 수행된다.

[0155] 단계 (d)를 사용하는 경우, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0156] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는다.

[0157] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다.

[0158] 일부 공정에서, 슬래깅 인자는 약 0.01 내지 약 0.5, 또는 약 0.01 내지 약 0.1이 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 슬래깅 인자는 최대 0.6, 예컨대 약 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1, 0.05, 0.04, 0.03, 0.02, 0.01, 0.005, 0.002, 또는 0.001이거나 그 미만이 되도록 최적화된다.

[0159] 상기 개시된 임의의 공정에서, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 파울링 인자를 특징으로 할 수 있으며, 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 바이오카본 조성물의 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다:

[0160] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0161] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0162] 일부 변형은 최적화된 파울링 인자를 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0163] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0164] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 염기-산 비율에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 파울링 인자를 특징으로 하며,

[0165] 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며:

[0166] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0167] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당하는 것인, 단계:

[0168] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 파울링 인자를 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 파울링 인자를 조정하는 단계; 및

[0169] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택되는, 단계

[0170] 를 포함한다.

[0171] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시킨다.

[0172] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0173] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0174] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0175] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0176] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)가 수행된다. 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (d)가 수행된다. 특정 공정에서, 단계 (c) 및 (d)가 둘 모두 수행된다.

[0177] 단계 (d)를 사용하는 경우, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0178] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는다.

[0179] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다.

[0180] 일부 공정에서, 파울링 인자는 최대 2가 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 파울링 인자는 최대 1, 예컨대 약 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 또는 0.1이거나 그 미만이 되도록 최적화된다.

[0181] 상기 개시된 임의의 공정에서, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 수용성 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 변형된 파울링 인자를 특징으로 할 수 있으며, 여기서 수용성 Na_2O는 물의 존재 하에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물로부터 유래된 회분으로부터 침출되는 Na_2O의 중량 백분율이며, 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 바이오카본 조성물의 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다:

[0182] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0183] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0184] 일부 변형은 최적화된 변형된 파울링 인자를 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0185] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0186] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 염기-산 비율에 수용성 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 변형된 파울링 인자를 특징으로 하며, 여기서 수용성 Na_2O는 물의 존재 하에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물로부터 유래된 회분으로부터 침출되는 Na_2O의 중량 백분율이며;

[0187] 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며:

[0188] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0189] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당하는 것인, 단계;

[0190] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 변형된 파울링 인자를 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 변형된 파울링 인자를 조정하는 단계; 및

[0191] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 변형된 파울링 인자는 약 0.001 내지 약 1로부터 선택되는, 단계

[0192] 를 포함한다.

[0193] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시킨다.

[0194] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0195] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0196] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0197] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0198] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)가 수행된다. 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (d)가 수행된다. 특정 공정에서, 단계 (c) 및 (d)가 둘 모두 수행된다.

[0199] 단계 (d)를 사용하는 경우, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0200] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는다.

[0201] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다.

[0202] 일부 공정에서, 변형된 파울링 인자는 최대 2가 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 변형된 파울링 인자는 최대 1, 예컨대 약 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 또는 0.1이거나 그 미만이 되도록 최적화된다.

도면의 간단한 설명

[0203] 도 1은 최적화된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 펠릿 형태의 예시적인 바이오카본 조성물의 사진이다.

도 2는 최적화된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 분말 형태의 예시적인 바이오카본 조성물의 사진이다.

도 3은 일부 실시형태에서 바이오매스 공급원료를 최적화된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물로 전환시키는 공정의 단순화된 블록-흐름도이다. 점선은 선택적 스트림 및 장치를 나타낸다.

도 4는 일부 실시형태에서 바이오매스 공급원료를 최적화된 향상된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물로 전환시키는 공정의 단순화된 블록-흐름도이다. 점선은 선택적 스트림 및 장치를 나타낸다.

도 5는 실시예 1의 바이오카본 조성물에 대한 조성, 염기-산 비율, 및 기타 특성을 보여주는 데이터 시트이다.

도 6은 실시예 2의 바이오카본 조성물에 대한 조성, 염기-산 비율, 및 기타 특성을 보여주는 데이터 시트이다.

도 7은 실시예 3의 바이오카본 조성물에 대한 조성, 염기-산 비율, 및 기타 특성을 보여주는 데이터 시트이다.

도 8은 실시예 4의 바이오카본 조성물에 대한 조성, 염기-산 비율, 및 기타 특성을 보여주는 데이터 시트이다.

도 9는 실시예 5의 바이오카본 조성물에 대한 조성(염기-산 비율을 계산할 수 있음) 및 기타 특성을 보여주는 데이터 시트이다.

도 10은 실시예 6의 바이오카본 조성물에 대한 조성, 염기-산 비율, 및 기타 특성을 보여주는 데이터 시트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0204] 본 설명은 당업자로 하여금 본 발명을 제조하고 사용하는 것을 가능하게 할 것이며, 본 발명의 여러 실시형태, 개조, 변형, 대안 및 용도를 기술한다. 본 발명의 이들 및 다른 실시형태, 특징 및 이점은 첨부된 도면과 함께 본 발명의 다음의 상세한 설명을 참조할 때 당업자에게 더욱 명백해질 것이다.

[0205] 본 명세서 및 첨부된 청구범위에 사용된 바와 같이, 단수 형태인 "a", "an" 및 "the"는 문맥상 달리 명확하게 지시되지 않는 한 복수의 대상을 포함한다. 달리 정의되지 않는 한, 본원에 사용된 모든 기술 및 과학 용어는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 당업자에게 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖는다.

[0206] 달리 지시되지 않는 한, 명세서 및 청구범위에서 사용된 반응 조건, 화학량론, 성분의 농도 등을 나타내는 모든 수는, 모든 경우에 "약"이라는 용어에 의해 수식되는 것으로 이해되어야 한다. 따라서, 달리 지시되지 않는 한, 다음 명세서 및 첨부된 청구범위에 제시된 수치 파라미터는 적어도 특정 분석 기술에 따라 달라질 수 있는 근사치이다.

[0207] "포함하는(including)", "포함하는(including)" 또는 "특징으로 하는"과 동의어인 "포함하는(comprising)"이라는 용어는 포괄적이거나 개방형이며, 추가의 언급되지 않은 요소 또는 방법 단계를 배제하지 않는다. "포함하는"은 명명된 청구 요소가 필수적이지만 다른 청구 요소가 추가될 수 있고 여전히 청구항의 범위 내에서 구성을 형성할 수 있음을 의미하는 청구 언어에서 사용되는 기술 용어이다.

[0208] 본원에 사용된 바와 같이, "로 이루어지는"이라는 문구는 청구범위에서 특정되지 않은 임의의 요소, 단계 또는 성분을 배제한다. "로 이루어진다"라는 문구(또는 이의 변형)가 전제부 바로 다음에 오는 것이 아니라 청구범위 본문의 절에 나타날 때 해당 절에 기재된 요소만 한정하며; 다른 요소는 전체적으로 청구범위에서 배제되지 않는다. 본원에 사용된 바와 같이, "로 본질적으로 이루어지는"이라는 문구는 청구범위를 특정된 요소 또는 방법 단계에 추가하여 청구된 주제의 기초 및 신규한 특성(들)에 실질적으로 영향을 미치지 않는 것들로 제한한다.

[0209] 가능한 기술적 개시를 위해, 다양한 설명, 가설, 이론, 추측, 가정 등이 개시된다. 본 발명은 이들 중 어느 것도 실제로 사실이라는 것에 의존하지 않는다. 이러한 상세한 설명의 어떠한 설명, 가설, 이론, 추측, 또는 가정도 본 발명의 범위를 어떤 식으로든 제한하는 것으로 해석되어서는 안 된다.

[0210] 본 목적상, "바이오제닉"은 수개월, 수년 또는 수십년의 시간 척도에서 재생 가능한 탄소와 같은 원소를 포함하는 물질(공급원료, 생성물 또는 중간체 여부)을 의미하도록 의도된다. 비-바이오제닉 물질은 재생 불가능하거나, 수세기, 수천 년, 수백만 년 또는 더 긴 지질학적 시간 척도에서 재생 가능할 수 있다. 바이오제닉 물질은 바이오제닉 공급원과 비-바이오제닉 공급원의 혼합물을 포함할 수 있음에 주목한다.

[0211] 본 목적상, "시약"은 가장 넓은 의미의 물질을 의미하도록 의도되며; 시약은 연료, 화학 물질, 물질, 화합물, 첨가제, 블렌드 성분, 용매 등일 수 있다. 시약은 반드시 화학 반응을 야기하거나 이에 참여하는 화학 시약일 필요는 없다. 일부 실시형태에서, 시약은 화학 반응물이고; 일부 실시형태에서, 시약은 반응에서 소모된다. 시약은 특정 반응을 위한 화학적 촉매가 될 수 있다. 시약은 시약이 첨가될 수 있는 물질의 기계적, 물리적 또는 유체역학적 특성을 조정하거나 조정에 참여할 수 있다. 예를 들어, 금속에 특정 강도 특성을 부여하기 위해 시약을 금속에 도입할 수 있다. 시약은 화학적 분석 또는 물리적 테스트에 사용하기에 충분한 순도(이는 현재 맥락에서 전형적으로 탄소 순도임)의 물질일 수 있다.

[0212] 본 개시내용에서, "생성물"은, 예를 들어, 조성물, 물질, 물체 또는 구조체일 수 있다. "생성물"이라는 용어는 해당 생성물이 판매, 저장, 거래, 추가 처리, 추가 처리를 위한 중간체로서 또 다른 당사자에게 판매 여부 등과 같은 상업적 운명에 의해 제한되지 않는다.

[0213] 본원에 사용된 바와 같이, 바이오제닉 시약을 기술하는 "고탄소"는 바이오제닉 시약이 고탄소 바이오제닉 시약을 제조하는 데 사용되는 초기 공급원료와 비교하여 고탄소 함량을 갖는 것을 의미한다. 고탄소 바이오제닉 시약은 그 중량의 적어도 약 절반을 탄소로 포함할 수 있다. 보다 전형적으로, 고탄소 바이오제닉 시약은 적어도 55 중량%, 60 중량%, 65 중량% 또는 70 중량%의 탄소를 포함할 것이다.

[0214] 본원에 사용된 바와 같이, "고탄소 바이오제닉 시약"이라는 용어는 다양한 실시형태에서 본원에 개시된 바와 같은 공정 및 시스템에 의해 제조될 수 있는 물질을 설명한다. 탄소 함량 또는 임의의 기타 농도에 관한 제한은 용어 자체로부터 귀속되는 것이 아니라, 오히려 특정 실시형태 및 그 등가물을 참조함으로써만 귀속되어야 한다. 예를 들어, 개시된 공정에 적용된, 매우 낮은 탄소 함량을 갖는 출발 물질은, 출발 물질에 비해 탄소가 고도로 풍부하지만(높은 수율의 탄소), 그럼에도 불구하고 최대 50 중량%의 탄소를 포함하여 상대적으로 탄소가 낮은(낮은 순도의 탄소) 고탄소 바이오제닉 시약을 제조할 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0215] 바이오매스 공급원료를 고탄소 물질로 전환하기 위한 다양한 기술이 존재한다. 열분해는 산화제(예를 들어, 공기 또는 산소)가 전혀 없는 상태에서 또는 산화가 임의의 상당한 정도로 발생하지 않는 산화제의 그러한 제한된 공급 상태에서 고체 물질의 열적 전환을 위한 공정이다. 공정 조건 및 첨가제에 따라, 바이오매스 열분해를 조정하여 다양한 양의 가스, 액체 및 고체를 생성할 수 있다. 더 낮은 공정 온도 및 더 긴 증기 체류 시간은 고체 생성에 유리하다. 높은 온도 및 더 긴 체류 시간은 합성가스(syngas)로의 바이오매스 전환을 증가시키는 반면, 적당한 온도 및 짧은 증기 체류 시간은 일반적으로 액체 생성에 최적이다. 역사적으로, 목재의 느린 열분해는 배출 제어 없이 간단한 배치 공정으로 큰 더미(pile)에서 수행되었다. 전통적인 숯 제조 기술은 에너지-비효율

적일 뿐만 아니라 오염도가 높다.

[0216] 많은 산업 응용 분야에서, 바이오매스 열분해로부터 유래된 바이오카본 조성물을 제공함으로써 석탄을 대체하는 것이 바람직하다. 석탄과 마찬가지로, 바이오카본 생성물은 순수한 탄소인 경우가 거의 없다. 다양한 금속을 포함하여 많은 다른 성분이 전형적으로 존재한다. "회분"에 대한 언급은 실제로 연소 후 잔류하는 물질을 지칭하며, 이 물질 자체는 많은 개별 성분을 포함한다.

[0217] 본 개시내용에서, "조성 파라미터"는 바이오카본 조성물의 함수이거나 바이오카본 조성물과 상관관계가 있는 임의의 파라미터이다. 일부 실시형태에서, 조성 파라미터는 ASTM D4326, 및 ASTM D4326 결과로부터의 입력된 식에 따라 결정된다.

[0218] 선행 기술은 특정 응용 분야에 최적화된 조성 파라미터를 갖는 바이오카본 조성물을 교시하지 않으며, 어떤 조성 파라미터가 다양한 응용 분야에 중요할 수 있는지도 교시하지 않는다. 중요한 조성 파라미터는 이제 자세히 설명될 염기-산 비율이다.

[0219] 일부 변형에서, 본 발명은 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하며, 바이오카본 조성물은 하기 식으로 정의되는 염기-산 비율을 특징으로 하며, 염기-산 비율은 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다:

[0220]
$$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0221] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0222] 일부 실시형태에서, 염기-산 비율은 약 0.1 내지 약 0.4, 또는 약 0.5 내지 약 10, 또는 약 0.8 내지 약 10, 또는 약 1.5 내지 약 5, 또는 약 0.4 내지 약 0.7로부터 선택된다. 특정 실시형태에서, 염기-산 비율은 최대 0.4 또는 적어도 0.7이다.

[0223] Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 농도는 ASTM D4326-13 "XRF에 의한 주요 원소 및 미량 원소에 대한 표준 테스트 방법"에 따라 샘플 연소 후 회분 분획에 있는 농도이며, 이는 그 전체가 본원에 참조로 포함되며 본원에 "ASTM D4326"으로 지칭됨에 주목한다.

[0224] Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2가 모두 바이오카본 조성물의 회분에 존재할 필요는 없다. 그러나, 0이 아닌 유한한 염기-산 비율을 갖기 위해서는 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O 중 적어도 하나와 SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 중 적어도 하나의 검출 가능한 양(ASTM D4326에 따름)이 있어야 한다.

[0225] ASTM D4326은 X선 형광(XRF) 기술을 사용하여 탄소 샘플로부터의 회분에서 통상적으로 결정되는 주요 원소 및 미량 원소를 분석하기 위한 테스트 방법이다. 분석될 탄소는 표준 조건 하에서 회분 처리되고 일정한 무게로 점화된다. 이전에 회분 처리된 물질은 표준 조건에서 일정한 무게로 점화된다. 회분은 사붕산리튬($Li_2B_4O_7$) 또는 기타 적합한 플럭스와 융합되고, 분쇄되어 펠릿으로 압착되거나 유리 디스크로 주조된다. 이어서, 펠릿 또는 디스크는 단파장의 X선 빔에 의해 조사된다. 1차 또는 입사 X선의 흡수 시 방출되거나 형광을 발하는 특징적인 X선은 분산되고, 선택된 파장에서의 강도는 민감한 검출기에 의해 측정된다. 검출기 출력은 보정 곡선 또는 컴퓨터 알고리즘에 의한 농도와 관련이 있다. K 스펙트럼 선은 이 절차에 의해 결정된 모든 요소에 사용된다. 모든 원소는 원소로서 결정되고 산화물로서 보고된다. 분석된 원소는 Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, P, Ti, Mn, Sr 및 Ba를 포함한다. 회분의 조성 분석은 바이오카본의 완전한 특성 분석을 위해 바이오카본의 품질을 설명하는 데 사용된다. 회분 조성은 슬래깅 및 파울링 특성을 예측하고 다양한 상업적 응용 분야에서의 잠재적 이용을 평가하는 데 유용하다.

[0226] 중요한 것은, ASTM D4326에 따라 염기-산 비율에 대한 식에서 성분이 결정되었다고 해서 상기 성분이 실제로 바이오카본 조성물 내에 특정 산화물로서 존재한다는 것을 의미하지는 않지만, 특정 산화물로서의 존재가 배제되는 것은 아니라는 것이다. 예를 들어, ASTM D4326 분석으로부터 되돌아온 CaO의 경우, 최종 칼슘 원자는 순수한 칼슘 원자(Ca), 산화칼슘(CaO), 탄산칼슘($CaCO_3$), 수산화칼슘($Ca(OH)_2$), 탄화칼슘(CaC_2), 수소화칼슘(CaH_2), 유

리 또는 느슨하게 결합된 칼슘 양이온(Ca^{2+}), 다른 성분과의 이온 가교 결합에서와 같은 이온 결합된 칼슘 양이온(Ca^{2+}), 다른 형태의 칼슘 또는 이들의 조합으로서 출발 바이오카본 조성물에 실제로 존재했을 수 있다. ASTM D4326 테스트 프로토콜 동안, Ca는 CaO로 산화되고 $CaCO_3$은 열에 의해 CaO 등으로 분해된다.

[0227] 선택적으로, 바이오카본 조성물 내의 정확한 원자 및 분자를 결정하기 위해 바이오카본 조성물의 별도 분석이 수행될 수 있다. 별도의 분석은, 예를 들어, 원자 흡수 분광법, 원자 방출 분광법, 유도 결합 플라즈마 질량 분석법, 유도 결합 플라즈마 광학 방출 분광법 또는 X선 흡수 미세 구조 분광법을 사용할 수 있다.

[0228] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3을 CaO로 나눈 것으로 정의된 철-칼슘 비율을 추가로 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 여기서 철-칼슘 비율은 약 0.05 내지 약 5로부터 선택된다.

[0229] 본 발명은 또한 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하며, 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3을 CaO로 나눈 것으로 정의된 철-칼슘 비율을 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 철-칼슘 비율은 약 0.05 내지 약 5로부터 선택된다.

[0230] 일부 실시형태에서, 철-칼슘 비율은 약 0.1 내지 약 2, 또는 약 0.3 내지 약 1로부터 선택된다. 특정 실시형태에서, 철-칼슘 비율은 최대 0.3 또는 적어도 3이다. 다양한 실시형태에서, 철-칼슘 비율은 모든 중간 범위를 포함하여, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 4, 4.5, 또는 5이다.

[0231] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3 및 CaO의 합으로 정의되는 철 + 칼슘 파라미터를 추가로 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 여기서 철 + 칼슘 파라미터는 약 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다. 다양한 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 모든 중간 범위를 포함하여, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 또는 50 중량%이다.

[0232] 본 발명은 또한 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하며, 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3 및 CaO의 합으로 정의되는 철 + 칼슘 파라미터를 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 철 + 칼슘 파라미터는 약 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다.

[0233] 일부 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 약 10 중량% 내지 약 40 중량%, 또는 약 20 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다. 특정 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 최대 10 중량%이다. 다른 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 적어도 10 중량%이다.

[0234] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 건조 기준으로 바이오카본 조성물에 존재하는 황의 중량 백분율을 곱한 것으로 정의되는 슬래깅 인자를 추가로 특징으로 하며, 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 슬래깅 인자는 약 0.001 내지 약 1로부터 선택된다:

[0235] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0236] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0237] 본 발명은 또한 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하며, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 건조 기준으로 바이오카본 조성물에 존재하는 황의 중량 백분율을 곱한 것으로 정의되는 슬래깅 인자를 특징으로 하며, 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 슬래깅 인자는 약 0.001 내지 약 1로부터 선택된다:

[0238] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0239] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0240] 일부 실시형태에서, 슬래깅 인자는 약 0.01 내지 약 0.5, 또는 약 0.01 내지 약 0.1로부터 선택된다. 특정 실시형태에서, 슬래깅 인자는 최대 0.6이다. 다양한 실시형태에서, 슬래깅 인자는 모든 중간 범위를 포함하여, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.9, 0.95, 또는 1이다,

[0241] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 STM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 파울링 인자를 추가로 특징으로 하며, 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되고, 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다:

[0242] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0243] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0244] 본 발명은 또한 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하며, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 파울링 인자를 특징으로 하며, 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되고, 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다:

[0245] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0246] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0247] 일부 실시형태에서, 파울링 인자는 최대 2이다. 특정 실시형태에서, 파울링 인자는 최대 1이다. 전형적으로, 낮은 파울링 인자가 바람직하다. 그러나, 특정 실시형태에서, 중간 정도 또는 심지어 높은 파울링 인자는 알칼리를 포함하는 복합재를 제조할 때와 같이 알칼리-결합된 침전물을 형성하는 데 유리하다. 다양한 실시형태에서, 파울링 인자는 모든 중간 범위를 포함하여, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.1, 0.2, 0.5, 0.6, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 1, 1.2, 1.5, 1.8, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 또는 10이다.

[0248] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 수용성 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 변형된 파울링 인자를 추가로 특징으로 하며, 여기서 수용성 Na_2O는 물의 존재 하에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물로부터 유래된 회분으로부터 침출되는 Na_2O의 중량 백분율이며, 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 변형된 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다:

[0249] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0250] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0251] 본 발명은 또한 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하며, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 수용성 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 변형된 파울링 인자를 특징으로 하며, 수용성 Na_2O는

물의 존재 하에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물로부터 유래된 회분으로부터 침출되는 Na_2O의 중량 백분율이며, 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 변형된 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다:

[0252] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0253] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0254] 일부 실시형태에서, 변형된 파울링 인자는 최대 2이다. 특정 실시형태에서, 변형된 파울링 인자는 최대 1이다. 다양한 실시형태에서, 변형된 파울링 인자는 모든 중간 범위를 포함하여, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.1, 0.2, 0.5, 0.6, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 1, 1.2, 1.5, 1.8, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 또는 10이다.

[0255] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 ASTM D1412에 따라 평형 수분 함량을 추가로 특징으로 한다. 평형 수분은 모든 중간 범위를 포함하여, 약 0.1 중량% 내지 약 10 중량%, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 1, 1.2, 1.5, 2, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 3, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 또는 10 중량%일 수 있다.

[0256] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 SiO_2의 중량 백분율로 정의되는 실리카 백분율을 추가로 특징으로 하며, 여기서 실리카 백분율은 약 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다. 실리카 백분율은 원래의 바이오카본 조성물이 아닌 회분 내 SiO_2 농도(ASTM D4326 하에 회분화(ashing) 테스트)임에 주목한다. 특정 실시형태에서, 실리카 백분율은 약 10 중량% 내지 약 30 중량%로부터 선택된다. 다양한 실시형태에서, 실리카 백분율은 모든 중간 범위를 포함하여, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 또는 50 중량%이다.

[0257] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 낮은 수은 함량을 추가로 특징으로 한다. 바이오카본 조성물은 최대 100 ppm 수은(ppm = 중량 기준 백만분율), 최대 10 ppm 수은을 포함할 수 있거나, 본질적으로 수은이 없을 수 있다. "본질적으로 수은이 없는"이란, 본원에 참고로 포함된 ASTM D6414-14에 따라 샘플을 분석할 때 Hg 또는 Hg를 포함하는 화합물이 절대적으로 0(존재하지 않음)이거나 수은 검출 한계 미만임을 의미한다. 다양한 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 최대 약 200, 150, 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 5, 4, 3, 2, 1, 0.5, 0.2, 또는 0.1 ppm 수은을 포함한다.

[0258] 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 고정 탄소를 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 75 중량%의 고정 탄소 또는 적어도 약 90 중량%의 고정 탄소를 포함한다.

[0259] 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 90% 재생 가능하다. 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 99% 재생 가능할 수 있다. 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 완전히 재생 가능할 수 있다. 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌으로부터 유래된 탄소뿐만 아니라, 금속 탄산염(예를 들어, 탄산칼슘)과 같은 존재하는 다른 성분에 함유된 탄소(존재한다면)도 포함한다는 것에 주목한다.

[0260] 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물 내의 고정 탄소는 고정 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 80% 재생 가능하다. 바이오카본 조성물 내의 고정 탄소는 고정 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 90% 재생 가능할 수 있다. 바이오카본 조성물 내의 고정 탄소는 고정 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 95% 재생 가능할 수 있다.

[0261] 특정 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 결합제를 포함하는 펠릿 형태이고, 결합제는 재생 불가능한 탄소를 포함하고, 펠릿의 나머지는 적어도 50%, 적어도 90%, 적어도 95%, 또는 100% 재생 가능한 탄소를 포함한다.

[0262] 바이오카본 조성물은 펠릿 형태일 수 있다. 도 1은 최적화된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 펠릿 형태의 예시

적인 바이오카본 조성물의 사진이다.

[0263] 특정 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 결합제를 포함하는 펠릿 형태이고, 결합제는 적어도 50%, 적어도 90%, 적어도 95%, 또는 100% 재생 가능한 탄소인 탄소를 포함한다. 펠릿의 나머지(즉, 결합제가 아님)는 적어도 50%, 적어도 90%, 적어도 95%, 또는 100% 재생 가능한 탄소를 포함한다. 일부 실시형태에서, 모든 탄소는 완전히 재생 가능하다.

[0264] 특정 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 첨가제를 포함하고, 첨가제는 재생 불가능한 탄소를 포함하지만 펠릿의 나머지는 적어도 50%, 적어도 90%, 적어도 95%, 또는 100% 재생 가능한 탄소를 포함한다.

[0265] 특정 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 첨가제를 포함하고, 첨가제는 적어도 50%, 적어도 90%, 적어도 95%, 또는 100% 재생 가능한 탄소인 탄소를 포함한다. 조성물의 나머지(즉, 첨가제가 아닌)는 적어도 50%, 적어도 90%, 적어도 95%, 또는 100% 재생 가능한 탄소를 포함한다. 일부 실시형태에서, 모든 탄소는 완전히 재생 가능하다.

[0266] 본 개시내용에서, 100% 또는 "완전히" 재생 가능한 탄소는 화석 연료로부터 유래될 수 있는 대기 중 CO_2 분자를 매우 미량 흡착할 수 있다.

[0267] 바이오카본 조성물은 펠릿 형태일 수 있다. 펠릿은 결합제를 포함할 수 있다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 섬글, 재활용 타이어, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다. 일부 실시형태에서, 바이오카본 펠릿은 외부로부터 첨가된 결합제를 포함하지 않는다.

[0268] 유기 또는 무기 결합제가 존재하는 경우, 염기-산 비 및 기타 조성 파라미터는 결합제를 포함하는 총 물질을 기준으로 한다. 예를 들어, 조성 파라미터가 ASTM D4326으로부터 유도되면, 전체 펠릿이 회분 처리된다.

[0269] 바이오카본 조성물은 분말 형태일 수 있으며, 이는 루스 분말, 압축 분말, 과립 분말, 또는 기타 형태일 수 있다. 도 2는 최적화된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 분말 형태의 예시적인 바이오카본 조성물의 사진이다.

[0270] 바이오카본 조성물에 유기 또는 무기 첨가제가 존재하는 경우, 염기-산 비율 및 기타 조성 파라미터는 첨가제를 포함한 총 물질을 기준으로 한다. 예를 들어, 조성 파라미터가 ASTM D4326으로부터 유도되면, 전체 샘플이 회분 처리된다.

[0271] 일부 실시형태에서, 상기 기재된 바이오카본 조성물은 하기 식으로 정의되는 확장된 염기-산 비율을 추가로 특징으로 하며, 확장된 염기-산 비율은 약 0.05 내지 약 8로부터 선택된다:

[0272]
$$\text{확장된 염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O + MnO + SrO + BaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2 + P_2O_5 + SO_3}$$

[0273] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, MnO, SrO, BaO, SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, P_2O_5, 및 SO_3 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 분율에 해당한다.

[0274] 본 발명의 일부 변형은 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 제공하며, 여기서 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 바이오카본 조성물은 하기 식으로 정의되는 확장된 염기-산 비율을 특징으로 하며, 확장된 염기-산 비율은 약 0.05 내지 약 8로부터 선택된다.

[0275]
$$\text{확장된 염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O + MnO + SrO + BaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2 + P_2O_5 + SO_3}$$

[0276] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, MnO, SrO, BaO, SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, P_2O_5, 및 SO_3 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 분율에 해당한다.

[0277] Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, MnO, SrO, BaO, SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, P_2O_5, 및 SO_3이 모두 바이오카본 조성물의 회분에 존재할 필요는 없다. 그러나, 0이 아닌 유한한 확장된 염기-산 비율을 갖기 위해서는 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, MnO, SrO, BaO 중 적어도 하나와 SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, P_2O_5, 및 SO_3 중 적어도 하나의 검출 가능한 양(ASTM D4326에 따라)이 있어야 한다.

[0278] 일부 실시형태에서, 확장된 염기-산 비율은 약 0.1 내지 약 0.4, 또는 약 0.5 내지 약 10, 또는 약 0.8 내지 약 10, 또는 약 1.5 내지 약 5, 또는 약 0.4 내지 약 0.7로부터 선택된다. 특정 실시형태에서, 확장된 염기-산 비율은 최대 0.4 또는 적어도 0.7이다.

[0279] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3을 CaO로 나눈 것으로 정의된 철-칼슘 비율을 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 여기서 철-칼슘 비율은 약 0.05 내지 약 5로부터 선택된다. 철-칼슘 비율은, 예를 들어, 약 0.1 내지 약 2, 또는 약 0.3 내지 약 1로부터 선택될 수 있다. 특정 실시형태에서, 철-칼슘 비율은 최대 0.3 또는 적어도 3이다.

[0280] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3 및 CaO의 합으로 정의되는 철 + 칼슘 파라미터를 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 여기서 철 + 칼슘 파라미터는 약 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다. 철 + 칼슘 파라미터는, 예를 들어, 약 10 중량% 내지 약 40 중량%, 또는 약 20 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택될 수 있다. 특정 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 최대 10 중량%이다. 다른 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 적어도 10 중량%이다.

[0281] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 건조 기준으로 바이오카본 조성물에 존재하는 황의 중량 백분율을 곱한 것으로 정의되는 슬래깅 인자를 특징으로 하며, 여기서 슬래깅 인자는 약 0.001 내지 약 1로부터 선택된다. 슬래깅 인자는, 예를 들어, 약 0.01 내지 약 0.5, 또는 약 0.01 내지 약 0.1로부터 선택될 수 있다. 특정 실시형태에서, 슬래깅 인자는 최대 0.6이다.

[0282] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 파울링 인자를 특징으로 하며, 여기서 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다. 파울링 인자는, 예를 들어, 최대 2 또는 최대 1일 수 있다.

[0283] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 수용성 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 변형된 파울링 인자를 특징으로 하며, 여기서 수용성 Na_2O는 물의 존재 하에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물로부터 유래된 회분으로부터 침출되는 Na_2O의 중량 백분율이며, 변형된 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다. 변형된 파울링 인자는, 예를 들어, 최대 2 또는 최대 1일 수 있다.

[0284] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 SiO_2의 중량 백분율로 정의되는 실리카 백분율을 특징으로 하며, 여기서 실리카 백분율은 약 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다. 실리카 백분율은, 예를 들어, 약 10 중량% 내지 약 30 중량%로부터 선택될 수 있다.

[0285] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 ASTM D1412에 따라 평형 수분 함량을 추가로 특징으로 한다. 평형 수분은 모든 중간 범위를 포함하여, 약 0.1 중량% 내지 약 10 중량%, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 1, 1.2, 1.5, 2, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 3, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 또는 10 중량%일 수 있다.

[0286] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 최대 약 100 ppm 수은, 최대 약 10 ppm 수은을 포함하거나, 본질적으로 수은이 없다.

[0287] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 고정 탄소를 포함한다. 특정 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 건조 기

준으로 적어도 약 75 중량%의 고정 탄소 또는 적어도 약 90 중량%의 고정 탄소를 포함한다.

[0288] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 90% 재생 가능하다. 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 99% 재생 가능할 수 있다. 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 완전히 재생 가능할 수 있다.

[0289] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 펠릿 형태이다. 펠릿은 선택적으로 결합제를 포함한다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 쉉글, 재활용 타이어, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0290] 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물의 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 분말 형태이다. 분말은 루스 분말, 압축 분말, 과립 분말, 또는 또 다른 형태의 분말일 수 있다.

[0291] 개시된 임의의 바이오카본 조성물은 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택되는 첨가제(이에 제한되지 않음)와 같은 첨가제를 추가로 포함할 수 있다.

[0292] 첨가제가 존재하는 경우, 첨가제는 본원에 개시된 임의의 조성 파라미터(예를 들어, 염기-산 비율, 슬래깅 인자 등)를 조절하도록 선택될 수 있다. 첨가제는 염기-산 비율을 직접 조정할 수 있으며, 여기서 첨가제 자체는 염기-산 비율에 대한 식에 사용되는 하나 이상의 금속을 함유한다. 예를 들어, 첨가제가 순수한 알루미나인 경우, 염기-산 비율은 바이오카본 조성물 내 첨가제의 농도에 의해 결정되는 정도로 감소할 것이다.

[0293] 본 발명의 일부 변형은 최적화된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0294] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0295] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 하기 식으로 정의되는 염기-산 비율을 특징으로 하고:

[0296] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0297] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 중량 백분율에 해당하는 것인, 단계;

[0298] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 염기-산 비율을 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 염기-산 비율을 조정하는 단계; 및

[0299] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 염기-산 비율은 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택되는, 단계

[0300] 를 포함한다.

[0301] 도 3은 일부 실시형태에서 바이오매스 공급원료를 최적화된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물로 전환시키는 공정의 단순화된 블록-흐름도이다. 점선은 선택적 스트림 및 장치를 나타낸다.

[0302] 일부 공정에서, 바이오매스는 침엽수 칩, 활엽수 칩, 목재 수확 잔류물, 나뭇가지, 나무 그루터기, 잎, 나무껍질, 톱밥, 옥수수, 옥수수 대, 밀, 밀짚, 벼, 볏짚, 사탕수수, 사탕수수 찌꺼기, 사탕수수 짚, 에너지 수수, 사탕무, 사탕무 펄프, 해바라기, 수수, 캐놀라, 조류, 억새풀, 알팔파, 스위치그래스, 과일, 과일 표피, 과일 줄기, 과일 껍질, 과일 피트, 야채, 야채 표피, 야채 줄기, 야채 껍질, 야채 피트, 포도 부스러기, 아몬드 표피, 피칸 표피, 코코넛 표피, 커피 찌꺼기, 음식물 쓰레기, 상업 폐기물, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 종이 펄프, 종이 패키징, 종이 트리밍, 식품 패키징, 건설 또는 철거 폐기물, 철도 침목, 리그닌, 동물 거름, 도시 고형 폐기물, 도시 하수, 또는 이들의 조합 또는 유도체이다.

[0303] 일부 실시형태에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시킨다.

[0304] 일부 실시형태에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0305] 일부 실시형태에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0306] 일부 실시형태에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0307] 일부 실시형태에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0308] 일부 공정에서, 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하는 단계가 수행된다. 일부 공정에서는 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제가 도입된다. 특정 공정에서, 이들 두 가지 옵션이 모두 사용되는 데 - 즉, 중간 바이오카본 스트림은 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2 또는 이들의 조합으로 세척되거나 처리되고, 첨가제(세척 또는 처리로부터 임의의 성분 제외)가 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 도입된다.

[0309] 단계 (c)에서, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0310] 중간 바이오카본 스트림을 H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 처리할 때, 염기-산 비율을 조정하기 위한 화학은 중간 바이오카본 스트림에 존재하는 하나 이상의 금속에 수소, 산소, 및/또는 탄소를 첨가할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 처리하면, 중간 바이오카본 스트림에 존재하는 하나 이상의 금속으로부터 수소, 산소, 및/또는 탄소를 제거할 수 있다. H_2, H_2O, CO 및/또는 CO_2로 처리하면 ASTM D4326의 회분화 프로토콜로 인해 금속의 실제 형태가 변경되더라도 염기-산 비율이 반드시 변경되지 않을 것이라는 것을 인식할 것이다. 그러나 H_2, H_2O, CO 및/또는 CO_2로 처리한 후 중간 바이오카본 스트림의 일부를 제거하면 염기-산 비율을 조정할 수 있다. 예를 들어, 액체 물 또는 압축 CO_2는 중간 바이오카본 스트림을 세척하고, 예를 들어, 액체의 pH에 따라 염기-산 비율을 변경하는 데 사용될 수 있다. 특정 실시형태에서, H_2, H_2O, CO, 및/또는 CO_2로 처리하면 ASTM D4326 테스트 하에서 회분을 형성하기에 다소 취약한 화합물이 생성되며, 이 경우 염기-산 비율이 조정된다.

[0311] 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는다.

[0312] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀

전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 섬글, 재활용 타이어, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0313] 일부 공정에서, 염기-산 비율은 약 0.1 내지 약 0.4, 또는 약 0.5 내지 약 10, 또는 약 0.8 내지 약 10, 또는 약 1.5 내지 약 5, 또는 약 0.4 내지 약 0.7이 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 염기-산 비율은 최대 0.4 또는 적어도 0.7이 되도록 최적화된다.

[0314] 본 발명의 일부 변형은 최적화된 확장된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0315] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0316] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 하기 식으로 정의되는 확장된 염기-산 비율을 특징으로 하고:

[0317] $$\text{확장된 염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O + MnO + SrO + BaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2 + P_2O_5 + SO_3}$$

[0318] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, MnO, SrO, BaO, SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, P_2O_5, 및 SO_3 각각은 ASTM D4326에 따라 중량 백분율에 해당하는 것인, 단계;

[0319] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 확장된 염기-산 비율을 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 확장된 염기-산 비율을 조정하는 단계; 및

[0320] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 확장된 염기-산 비율은 약 0.05 내지 약 8로부터 선택되는, 단계

[0321] 를 포함한다.

[0322] 도 4는 일부 실시형태에서 바이오매스 공급원료를 최적화된 향상된 염기-산 비율을 갖는 바이오카본 조성물로 전환시키는 공정의 단순화된 블록-흐름도이다. 점선은 선택적 스트림 및 장치를 나타낸다.

[0323] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 바이오매스는 침엽수 칩, 활엽수 칩, 목재 수확 잔류물, 나뭇가지, 나무 그루터기, 잎, 나무껍질, 톱밥, 옥수수, 옥수수 대, 밀, 밀짚, 벼, 볏짚, 사탕수수, 사탕수수 찌꺼기, 사탕수수 짚, 에너지 수수, 사탕무, 사탕무 펄프, 해바라기, 수수, 캐놀라, 조류, 억새풀, 알팔파, 스위치그래스, 과일, 과일 표피, 과일 줄기, 과일 껍질, 과일 피트, 야채, 야채 표피, 야채 줄기, 야채 껍질, 야채 피트, 포도 부스러기, 아몬드 표피, 피칸 표피, 코코넛 표피, 커피 찌꺼기, 음식물 쓰레기, 상업 폐기물, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 종이 펄프, 종이 패키징, 종이 트리밍, 식품 패키징, 건설 또는 철거 폐기물, 철도 침목, 리그닌, 동물 거름, 도시 고형 폐기물, 도시 하수, 또는 이들의 조합 또는 유도체이다.

[0324] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시킨다.

[0325] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0326] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0327] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되

는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0328] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0329] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)가 수행된다. 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (d)가 수행된다. 특정 공정에서, 단계 (c) 및 (d)가 둘 모두 수행된다.

[0330] 단계 (d)를 사용하는 경우, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0331] 확장된 염기-산 비율이 최적화된 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는다.

[0332] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 섬글, 재활용 타이어, 이들의 유도체, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0333] 일부 공정에서, 확장된 염기-산 비율은 약 0.1 내지 약 0.4, 또는 약 0.5 내지 약 10, 또는 약 0.8 내지 약 10, 또는 약 1.5 내지 약 5, 또는 약 0.4 내지 약 0.7이 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 확장된 염기-산 비율은 최대 0.4 또는 적어도 0.7이 되도록 최적화된다.

[0334] 상기 개시된 임의의 공정에서, 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3을 CaO로 나눈 것으로 정의된 철-칼슘 비율을 특징으로 할 수 있으며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 여기서 바이오카본 조성물의 철-칼슘 비율은 약 0.05 내지 약 5로부터 선택된다.

[0335] 일부 변형은 최적화된 철-칼슘 비율을 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0336] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0337] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 Fe_2O_3을 CaO로 나눈 것으로 정의된 철-칼슘 비율을 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율인, 단계;

[0338] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 철-칼슘 비율을 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 철-칼슘 비율을 조정하는 단계; 및

[0339] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 철-칼슘 비율은 약 0.05 내지 약 5로부터 선택되는, 단계

[0340] 를 포함한다.

[0341] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시킨다.

[0342] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성

하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0343] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0344] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0345] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0346] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (c)가 수행된다. 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 단계 (d)가 수행된다. 특정 공정에서, 단계 (c) 및 (d)가 둘 모두 수행된다.

[0347] 단계 (d)를 사용하는 경우, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0348] 철-칼슘 비율이 최적화된 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는다.

[0349] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 섬글, 재활용 타이어, 이들의 유도체, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0350] 일부 공정에서, 철 + 칼슘 파라미터는 약 10 중량% 내지 약 40 중량%, 또는 약 20 중량% 내지 약 50 중량%가 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 최대 10 중량%가 되도록 최적화된다. 다른 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 적어도 10 중량%가 되도록 최적화된다.

[0351] 상기 개시된 임의의 공정에서, 바이오카본 조성물은 Fe_2O_3 및 CaO의 합으로 정의되는 철 + 칼슘 파라미터를 특징으로 할 수 있으며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율이며, 여기서 바이오카본 조성물의 철 + 칼슘 파라미터는 약 5 중량% 내지 약 50 중량%로부터 선택된다.

[0352] 일부 변형은 최적화된 철 + 칼슘 파라미터를 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0353] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0354] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 Fe_2O_3 및 CaO의 합으로 정의되는 철 + 칼슘 파라미터를 특징으로 하며, 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율인, 단계;

[0355] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 철 + 칼슘 파라미터를 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 철 + 칼슘 파라미터를 조정하는 단계; 및

[0356] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 철 + 칼슘 파라미터는 5 중량% 내지 약 50 중량%부터 선택되는, 단계

[0357] 를 포함한다.

[0358] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시킨다.

[0359] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0360] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0361] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0362] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0363] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)가 수행된다. 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (d)가 수행된다. 특정 공정에서, 단계 (c) 및 (d)가 둘 모두 수행된다.

[0364] 단계 (d)를 사용하는 경우, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0365] 철 + 칼슘 파라미터가 최적화되는 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는다.

[0366] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 섬글, 재활용 타이어, 이들의 유도체, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0367] 일부 공정에서, 철 + 칼슘 파라미터는 약 10 중량% 내지 약 40 중량%, 또는 약 20 중량% 내지 약 50 중량%가 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 최대 10 중량%가 되도록 최적화된다. 다른 실시형태에서, 철 + 칼슘 파라미터는 적어도 10 중량%가 되도록 최적화된다.

[0368] 상기 개시된 임의의 공정에서, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 건조 기준으로 바이오카본 조성물에 존재하는 황의 중량 백분율을 곱한 것으로 정의되는 슬래깅 인자를 특징으로 할 수 있으며, 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 바이오카본 조성물의 슬래깅 인자는 약 0.001 내지 약 1로부터 선택된다:

[0369] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0370] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0371] 일부 변형은 최적화된 슬래깅 인자를 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0372] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0373] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 염기-산 비율에 건조 기준으로 바이오카본 조성물에 존재하는 황의 중량 백분율을 곱한 것으로 정의되는 슬래깅 인자를 특징으로 하며;

[0374] 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며:

[0375] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0376] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당하는 것인, 단계;

[0377] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 슬래깅 인자를 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 슬래깅 인자를 조정하는 단계; 및

[0378] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 슬래깅 인자는 약 0.001 내지 약 1로부터 선택되는, 단계

[0379] 를 포함한다.

[0380] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시킨다.

[0381] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0382] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0383] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0384] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0385] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)가 수행된다. 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (d)가 수행된다. 특정 공정에서, 단계 (c) 및 (d)가 둘 모두 수행된다.

[0386] 단계 (d)를 사용하는 경우, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0387] 슬래깅 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는다.

[0388] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 섬글, 재활용 타이어, 이

들의 유도체, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0389] 일부 공정에서, 슬래깅 인자는 약 0.01 내지 약 0.5, 또는 약 0.01 내지 약 0.1이 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 슬래깅 인자는 최대 0.6이 되도록 최적화된다.

[0390] 상기 개시된 임의의 공정에서, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 파울링 인자를 특징으로 할 수 있으며, 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 바이오카본 조성물의 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다:

[0391] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0392] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0393] 일부 변형은 최적화된 파울링 인자를 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0394] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0395] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 염기-산 비율에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율로서 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 파울링 인자를 특징으로 하며;

[0396] 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며:

[0397] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0398] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당하는 것인, 단계;

[0399] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하여 파울링 인자를 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 파울링 인자를 조정하는 단계; 및

[0400] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택되는, 단계

[0401] 를 포함한다.

[0402] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시킨다.

[0403] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0404] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0405] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0406] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0407] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)가 수행된다. 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (d)가 수행된다. 특정 공정에서, 단계 (c) 및 (d)가 둘 모두 수행된다.

[0408] 단계 (d)를 사용하는 경우, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0409] 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 또는 33 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는다.

[0410] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 섬글, 재활용 타이어, 이들의 유도체, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0411] 일부 공정에서, 파울링 인자는 최대 2로 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 파울링 인자는 최대 1이 되도록 최적화된다.

[0412] 상기 개시된 임의의 공정에서, 바이오카본 조성물은 염기-산 비율에 수용성 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 변형된 파울링 인자를 특징으로 할 수 있으며, 여기서 수용성 Na_2O는 물의 존재 하에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물로부터 유래된 회분으로부터 침출되는 Na_2O의 중량 백분율이며, 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며, 바이오카본 조성물의 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택된다.

[0413] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0414] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당한다.

[0415] 일부 변형은 최적화된 변형된 파울링 인자를 갖는 바이오카본 조성물을 제조하는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[0416] (a) 바이오매스를 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계로서, 상기 출발 공급원료는 선택적으로 건조되는 것인, 단계;

[0417] (b) 출발 공급원료를 열분해하여 중간 바이오카본 스트림 및 열분해 증기를 생성하는 단계로서, 상기 중간 바이오카본 스트림은 염기-산 비율에 수용성 Na_2O를 곱한 것으로 정의되는 변형된 파울링 인자를 특징으로 하며, 여기서 수용성 Na_2O는 물의 존재 하에 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물로부터 유래된 회분으로부터 침출되는 Na_2O의 중량 백분율이며;

[0418] 여기서 염기-산 비율은 하기 식으로 정의되며:

[0419] $$\text{염기-산 비율} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

[0420] 상기 식에서, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2 각각은 ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물 내 중량 백분율에 해당하는 것인, 단계;

[0421] (c) 중간 바이오카본 스트림을 산, 염기, 염, 금속, H_2, H_2O, CO, CO_2, 또는 이들의 조합으로 세척하거나 처리하

여 변형된 파울링 인자를 조정하고/하거나; 단계 (a) 또는 단계 (b) 동안 첨가제를 도입하여 변형된 파울링 인자를 조정하는 단계; 및

[0422] (d) 약 50 중량% 내지 약 99 중량%의 총 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물을 회수하는 단계로서, 상기 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하고, 여기서 바이오카본 조성물의 변형된 파울링 인자는 약 0.1 내지 약 10으로부터 선택되는, 단계

[0423] 를 포함한다.

[0424] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 염기성 성분을 선택적으로 제거하여 Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, 또는 Na_2O를 환원시킨다.

[0425] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 산성수를 사용한다. 예를 들어, 약 1 내지 약 7의 pH를 갖는 응축된 액체를 생성하기 위해 열분해 증기의 응축으로부터 산성수를 수득할 수 있다.

[0426] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 산성 성분을 선택적으로 제거하여 SiO_2, Al_2O_3, 또는 TiO_2를 환원시킨다.

[0427] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 단계 (a), 단계 (b), 또는 단계 (c) 이전에 수행되는 또 다른 공정 단계로부터 수득된 알칼리수를 사용한다.

[0428] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)는 중간 바이오카본 스트림의 증기 세정을 사용한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 단계 (d)는 바이오카본 조성물의 증기 세정을 사용할 수 있다.

[0429] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (c)가 수행된다. 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 단계 (d)가 수행된다. 특정 공정에서, 단계 (c) 및 (d)가 둘 모두 수행된다.

[0430] 단계 (d)를 사용하는 경우, 첨가제는 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘, 탄산마그네슘, 석회석, 석회, 백운석, 백운석 석회, 벤토나이트, 석고, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 철광석 정광, 형석, 플루오로스파, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 붕사, 실리카, 알루미나, 알루미노실리케이트, 티타늄, 이산화티타늄, 탄화티타늄, 수소화티타늄, 질화티타늄, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0431] 변형된 파울링 인자가 최적화되는 일부 공정에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 25 MJ/kg의 더 높은 발열량을 갖는다.

[0432] 바이오카본 조성물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성할 수 있다. 결합제는 펠릿화를 돕기 위해 사용될 수 있다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 쉉글, 재활용 타이어, 이들의 유도체, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0433] 일부 공정에서, 변형된 파울링 인자는 최대 2가 되도록 최적화된다. 특정 실시형태에서, 변형된 파울링 인자는 최대 1이 되도록 최적화된다.

[0434] 본원에 개시된 임의의 공정은 앞서 논의된 조성 파라미터에 대해 사전 선택된 값 또는 범위를 달성하도록 최적화될 수 있다. 바이오카본 조성물에 대한 특성에 대한 모든 논의는 공정에 대한 논의의 각 사례에 참조로 포함된다.

[0435] 단일 조성 파라미터(예를 들어, 염기-산 비율) 또는 하나 초과의 조성 파라미터 - 예를 들어, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 또는 그 이상의 조성 파라미터를 목표로 하도록 공정을 최적화할 수 있다. 특정 조성 파라미터 사이에는 약간의 공분산이 있으므로 하나를 최적화하면 또 다른 파라미터에 영향을 미칠 것이라는 것을 인식할 것이다. 예를 들어, 선택된 값을 달성하기 위해 염기-산 비율을 최적화하면 많은 요소(Fe_2O_3, SiO_2 등)가 동일하기

때문에 확장된 염기-산 비율에 영향을 미칠 것이다. 또 다른 예는 염기-산 비율의 선형 함수인 파울링 인자이며, 이는 Na_2O가 다른 방향으로 조정되지 않는 한 염기-산 비율로의 변화가 파울링 인자의 변화를 야기할 것임을 의미한다.

[0436] 당업자가 이해하는 바와 같이, 다양한 공정 최적화 방법론이 수행될 수 있다. 예에는 선형 최적화, 비선형 최적화, 특정 조성 파라미터가 더 중요한 것으로 지정된 가중 최적화, 실험의 설계 및 분석, 통계적 공정 제어, 인공 지능, 기계 학습 및 기타 기술이 포함되지만 이에 제한되지 않는다.

[0437] 일부 실시형태에서, 조성 파라미터는 바이오카본 조성물의 의도된 용도에 기초하여 사전 선택된다. 이어서, 바이오카본 조성물을 제조하는 공정은 공정 제어를 사용하여 사전 선택된 조성 파라미터를 규정된 허용 오차 내에서 실현하도록 최적화된다. 공정 최적화는 이전 실험 또는 생산 캠페인, 시뮬레이션, 계산 및 분석의 결과를 사용할 수 있다. 예를 들어, 사전 선택된 염기-산 비율이 2.2인 경우, 세척 처리 또는 첨가제(또는 둘 모두)를 사용하여 2.2 ± 0.2(약 10%의 허용 오차)의 연속 염기-산 비율 설정점을 목표로 공정을 설계할 수 있다. 제어된 염기-산 비율은 높은 숫자가 낮은 숫자보다 더 허용되도록 편향될 수 있으며; 예를 들어, 세척 처리 또는 첨가제(또는 둘 모두)를 사용하여 2.2 +0.4/-0.1의 연속 염기-산 비율 설정점을 목표로 공정을 설계할 수 있다. 본 개시내용에서, 공정 제어를 통해 실제로 설정점을 달성하기 위해 공정을 최적화하기 위해 그러한 파라미터가 선택되는 경우, 조성 파라미터는 "사전 선택된" 조성 파라미터일 수 있다. 공정 제어는 이에 따라 피드백 루프 및 비례-적분-미분 논리 프로그램과 같은 공정 제어 원리를 사용할 수 있다.

[0438] 바이오카본 조성물의 의도된 용도는, 예를 들어, 고체 연료, 고체 가스화기 공급원료, 야금-공정 투입물(에너지, 환원 화학, 또는 탄소 함량의 경우), 농업용 탄소, 활성탄, 전극, 배터리(예를 들어, 리튬-이온 배터리), 탄소 복합재, 및 기타 재료용 탄소 전구체와 같이 매우 다양할 수 있다. 바이오카본 조성물이 궁극적으로 에너지 생산을 위해 또는 금속 제조 공정의 일부로서 연소되거나 산화될 경우, 조성 파라미터는, 예를 들어, 상대적으로 낮은 염기-산 비율, 슬래깅 인자 및/또는 파울링 인자를 사용함으로써 반응기 내 슬래깅 및 파울링과 같은 복잡한 문제를 피하기 위해 최적화될 수 있다. 바이오카본 조성물이 산성 성분을 제거하기 위한 여과 매질로서 사용될 경우, 조성 파라미터는, 예를 들어, 상대적으로 높은 염기-산 비율을 사용함으로써 산의 중화를 향상시키도록 최적화될 수 있으며, 결과적으로, 염기-산 비율의 선형 함수인 임의의 파라미터(예를 들어, 파울링 인자)에 대해 상대적으로 높은 값을 사용할 수 있다. 바이오카본 조성물이 금속 제조 공정에서 환원제로서 사용될 경우, 조성 파라미터는, 예를 들어, 적당한 염기-산 비율을 사용함으로써 FeO로부터 Fe를 생성하는 것과 같은 환원 화학을 위한 바람직한 pH를 달성하기 위해 산과 염기 함량의 균형을 맞추도록 최적화될 수 있다. 바이오카본 조성이 농업용 탄소로 사용될 경우, 조성 파라미터는 염기-산 비율 및 기타 파라미터를 선택하기 위해 탄소가 배치될 토양을 고려하도록 최적화될 수 있다.

[0439] 일부 실시형태는 바이오카본 조성물의 연소에 관한 것이다. 바이오카본 조성물이 연소되어 C 및 O_2(보통 공기로부터)를 CO_2 및 H_2O로 변환할 때, 출발 바이오카본 조성물에 본질적으로 순수한 탄소가 함유되어 있지 않는 한, 금속 산화물 (및 순수 금속도 가능)이 남는다. 잔류 금속 산화물 및 임의의 기타 불연성 성분은 일반적으로 회분이라 지칭되는 성분을 형성한다. 초기 바이오매스 공급원료는 공기 또는 산소와 산화되는 동안 금속 산화물로 산화되는 금속을 함유할 수 있거나, 초기 바이오매스 공급원료는 탄소 산화 동안 더 이상 산화되지 않는 금속 산화물을 함유할 수 있다. 예를 들어, 규소의 경우, Si는 바이오매스 공급원료에 순수한 Si, 실리카(SiO_2) 및/또는 규산(산화물 및 하이드록실 기에 부착된 규소)과 같은 다양한 기타 화합물로서 존재할 수 있다.

[0440] 반응기에서 바이오카본 조성물의 연소 동안, 연도 가스와 함께 상승하는 미세 입자 회분은 비산 회분 또는 연도 회분(flue ash)으로 알려져 있으며, 상승하지 않는 더 무거운 회분은 바닥 회분(bottom ash)이라 불린다. 상승하지도 하강하지도 않고 오히려 반응기 벽 또는 다른 열-전달 표면에 축적되는 회분은 심각한 문제를 야기한다. 슬래깅은 용광로, 가스화기 또는 보일러의 벽에 부분적으로 융합된 침전물이 있을 수 있는 용융된 회분이 축적되는 것이다. 슬래깅은 증기 생성에 필요한 열 전달을 감소시키기 때문에 해롭다. 파울링은, 예를 들어, 반응기 벽 또는 보일러의 재열기(reheater)/과열기(superheater) 영역일 수 있는 열 전달 표면에 고체 회분이 축적되는 것이다. 깨끗한 보일러 튜브 표면은 증기 생산을 위한 최대 열 전달과 그에 따른 발전소의 전기 생산을 초래한다. 슬래깅과 파울링은 둘 모두 에너지/전기를 생산 시 연소 공정의 효율성을 감소시킨다.

[0441] 증기 또는 전기 생산을 위한 석탄-대체 제품으로 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 염기-산 비율은 임의의 중간 범위(예를 들어, 0.4-0.7)를 포함하여, 약 0.1 내지 약 1.5, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 또는 1.5가 되도록 조정

된다.

[0442] 증기 또는 전기 생산을 위한 석탄-대체 제품으로 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 확장된 염기-산 비율은 임의의 중간 범위를 포함하여, 약 0.05 내지 약 1.2, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 또는 1.2가 되도록 조정된다.

[0443] 증기 또는 전기 생산을 위한 석탄-대체 제품으로 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 파울링 인자 및/또는 변형된 파울링 인자는 모든 중간 범위를 포함하여, 약 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 또는 0.1이거나 그 미만이다. 증기 또는 전기 생산을 위한 석탄-대체 제품으로 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 슬래깅 인자는 모든 중간 범위를 포함하여, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.9, 0.95, 또는 1이다.

[0444] 일부 실시형태는 연소 생성물(CO_2 및 H_2O)만이 아닌 합성가스(CO 및 H_2)를 생산하기 위한 바이오카본 조성물의 가스화에 관한 것이다. 연소 동안 발생할 수 있는 슬래깅 및 파울링 문제는 가스화에서도 발생할 수 있다. 가스화기에서 바이오카본 조성물 내 탄소는 합성가스로 변환되는 반면, 바이오카본 조성물 내 미네랄 물질은 회분으로 변환된다. 대부분의 회분은 용융되어 가스화기의 벽(즉, 내화물 또는 멤브레인)에 침전되어 액체 슬래그를 형성하고, 이는 가스화기 바닥에서 흘러나온다. 예를 들어, IGCC(Integrated Gasification Combined Cycle) 플랜트용 분류층(entrained-flow) 가스화기에서, 대부분의 광물질은 가스화기 벽에서 액체 슬래그로 변환되어 바닥으로 흘러나와 일반적으로 수조에서 응고된다. 가스화기에서 슬래그가 축적되면 합성가스 생산이 감소할 것이다. 또한, 광물질의 작은 비율이 가스화기에서 나오는 원료 합성가스와 함께 비산 회분으로서 비말동반되어 다운스트림 처리로 이동한다. 이러한 용융된/끈적끈적한 비산 회분은 합성가스 냉각기의 오염을 야기할 수 있으며, 이는 결국 IGCC 플랜트에 대한 슬러리 공급의 막힘에 문제를 야기할 수 있다. 가스화 시 회분 슬래깅 및 파울링의 다른 우려 사항으로는 가스화기로부터 다량의 전환되지 않은 탄소와 가스화기 내 내화 라이닝의 재료 파손이 포함된다.

[0445] 가스화를 위한 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 염기-산 비율은 임의의 중간 범위(예를 들어, 0.5-1.5)를 포함하여, 약 0.1 내지 약 2.0, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 또는 2.0이 되도록 조정된다.

[0446] 가스화를 위한 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 확장된 염기-산 비율은 임의의 중간 범위를 포함하여, 약 0.05 내지 약 1.6, 예컨대 약, 적어도 약 또는 최대 약 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 또는 1.6이 되도록 조정된다.

[0447] 가스화를 위한 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 파울링 인자 및/또는 변형된 파울링 인자는 모든 중간 범위를 포함하여, 약 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 또는 0.1이거나 그 미만이다. 가스화를 위한 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 슬래깅 인자는 모든 중간 범위를 포함하여, 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.9, 0.95, 또는 1이다.

[0448] 일부 실시형태는 금속 또는 환원된 형태의 금속 산화물을 생성하기 위한 야금 탄소로서 바이오카본 조성물의 사용에 관한 것이다. 야금 탄소에 대한 최적의 염기-산 비율(및 확장된 염기-산 비율)은 생산되는 특정 금속 또는 금속 합금, 및 공급원료(금속 광석) 조성에 따라 달라질 수 있다.

[0449] 야금 탄소에 대한 최적의 염기-산 비율(및 확장된 염기-산 비율)은 또한 야금 가공 동안 생성되는 슬래그의 특성에 좌우될 수 있다. 이러한 맥락에서, 바이오카본 조성물로부터 유래된 슬래그뿐만 아니라 출발 금속 광석으로부터 유도된 슬래그가 있을 수 있다는 것에 주목한다. 야금 공정에서, 슬래그 성분은 전형적으로 잘 혼합되어 단일 슬래그를 형성한다. 슬래그의 공급원을 구별하기 위해, 금속 광석 슬래그와 바이오카본-조성 슬래그를 참조할 수 있다. 많은 금속 광석 슬래그는 제철 및 제강에서 전형적인 염기성 슬래그, 또는 비철 제련에서 전형적인 산성 슬래그로서 설명될 수 있다. 금속 광석 슬래그가 산성인 경향이 있는 경우, 야금 바이오카본에 대한 더 높은 염기-산 비율이 바람직하며 따라서 바이오카본 조성 슬래그가 산성 금속 광석 슬래그에 대응한다. 금속 광석 슬래그가 염기성인 경향이 있는 경우, 야금 바이오카본에 대한 더 낮은 염기-산 비율이 바람직하며 따라서 바이오카본 조성 슬래그가 염기성 금속 광석 슬래그에 대응한다. 예를 들어, 많은 철광석은 금속 광석 슬래그에 용융되는 FeO_x(산화철)와 함께 상당한 양의 SiO_2 및 Al_2O_3을 함유한다. 최적화된 염기-산 비율은 이러한 산성 성분에 대응할 수 있다.

[0450] 철 또는 철 합금 제조 시 야금 탄소로서 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 염기-산 비율은 임의의 중간 범위(예를 들어, 0.5-3)를 포함하여, 약 0.1 내지 약 10, 예컨대 약, 적어도, 또는 최대 약 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 또는 10이 되도록 조정한다.

[0451] 철 또는 철 합금 제조 시 야금 탄소로서 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 확장된 염기-산 비율은 임의의 중간 범위를 포함하여, 약 0.05 내지 약 8, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 또는 8이 되도록 조정된다.

[0452] 비철 합금 제조 시 야금 탄소로서 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 염기-산 비율은 임의의 중간 범위(예를 들어, 1.5-6)를 포함하여, 약 0.1 내지 약 10, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.2, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 또는 10이 되도록 조정된다.

[0453] 비철 합금 제조 시 야금 탄소로서 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 확장된 염기-산 비율은 임의의 중간 범위를 포함하여, 약 0.05 내지 약 8, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.1, 0.2, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 또는 8이 되도록 조정된다.

[0454] 철, 철 합금, 또는 비철 합금의 제조 시 야금 탄소로서 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 파울링 인자 및/또는 변형된 파울링 인자는 모든 중간 범위를 포함하여, 약 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 또는 0.1이거나 그 미만이다. 철, 철 합금, 또는 비철 합금의 제조 시 야금 탄소로서 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 슬래깅 인자는 모든 중간 범위를 포함하여 약, 적어도 약 또는 최대 약 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.9, 0.95, 또는 1이다.

[0455] 일부 실시형태는 농업용 탄소로서 바이오카본 조성물의 사용에 관한 것이다. 농업용 탄소는, 예를 들어, 토양, 무토양 배지 또는 수경 재배 배지와 같은 다양한 농업용 배지에서의 사용을 포함한다. 농업용 탄소로서 바이오카본 조성물의 다양한 용도에 대해서는 미국 특허 제10,640,429호를 참조하며 이는 본원에 참조로 포함된다.

[0456] 농업용 탄소의 적용 시, 바이오카본 조성물의 염기-산 비율을 조정하여 원하는 배지에서 pH를 조절하도록 조정될 수 있다. 예를 들어, 약 5.6 미만의 토양 pH는 대부분의 작물에 대해 낮은 것으로 간주된다. 일반적으로, 이상적인 토양 pH 범위는 6.0 내지 7.0이다. 대부분의 식물 영양소는 중성에 가까운 토양 pH에서 최대 가용성에 도달한다.

[0457] 농업용 탄소로서 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 염기-산 비율은 임의의 중간 범위(예를 들어, 0.8-1.2)를 포함하여, 약 0.5 내지 약 2.0, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 또는 2.0이 되도록 조정된다.

[0458] 농업용 탄소로서 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 확장된 염기-산 비율은 임의의 중간 범위를 포함하여, 약 0.25 내지 약 1.6, 예컨대 약, 적어도 약 또는 최대 약 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 또는 1.6이 되도록 조정된다.

[0459] 특정 실시형태에서, 염기-산 비율(또는 팽창된 염기-산 비율)은 바이오카본 조성물을 농업용 배지에 혼입시킬 때 농업용 배지에 첨가되도록 의도된 첨가제의 선택과 함께 선택된다. 이들 실시형태에서, 첨가제(예를 들어, 암모니아)는 반드시 바이오카본 조성물 자체에 존재할 필요는 없지만, 바이오카본 조성물과 함께 농업용 배지에 존재할 것이다.

[0460] 일부 실시형태는 배터리 전극에서 바이오카본 조성물의 사용에 관한 것이다. 리튬-이온 배터리와 같은 배터리 전극에서 탄소를 사용하는 것은 잘 알려져 있다. 본원에 참조로 포함된 문헌(Togonon et al., "Pure carbon-based electrodes for metal-ion batteries", *Carbon Trends* 3, 100035, 2021)을 참조한다. 바이오카본 조성물은 전극에서 전도성 첨가제로서, 또는 리튬-이온 배터리에서 Li^+ 이온을 삽입하기 위한 애노드 물질과 같은 주요 전극 물질로서 사용될 수 있다. 배터리 전극(애노드 또는 캐소드)으로서 또는 이에 사용하기 위한 바이오카본 조성물의 염기-산 비율은 배터리 내 활성 금속 이온뿐만 아니라 전극에 존재하는 다른 물질을 기반으로 선택될 수 있다.

[0461] 배터리 전극에서 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 염기-산 비율은 임의의 중간 범위(예를 들어, 0.4-1.5)를 포함하여, 약 0.2 내지 약 2.0, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 또는 2.0이 되도록 조정된다.

[0462] 배터리 전극에서 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 확장된 염기-산 비율은 임의의 중간 범위를 포함하여, 약 0.1 내지 약 1.6, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 또는 1.6이 되도록 조정된다.

[0463] 일부 실시형태는 활성탄으로서 또는 활성탄을 제조하기 위한 전구체로서 바이오카본 조성물의 사용에 관한 것이다. 활성탄으로서 사용하기 위한 바이오카본 조성물의 염기-산 비율은, 예를 들어, 해당 성분의 pH가 산성인지, 염기성인지, 또는 중성인지 여부와 같이, 활성탄 상으로의 흡착을 통해 제거될 성분에 기반하여 선택될 수 있다.

[0464] 활성탄으로서 또는 활성탄을 제조하기 위한 전구체로서 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 염기-산 비율은 임의의 중간 범위(예를 들어, 0.8-1.7)를 포함하여, 약 0.2 내지 약 2.0, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 또는 2.0이 되도록 조정된다.

[0465] 활성탄으로서 또는 활성탄을 제조하기 위한 전구체로서 바이오카본 조성물의 사용과 관련된 일부 실시형태에서, 확장된 염기-산 비율은 임의의 중간 범위를 포함하여, 약 0.1 내지 약 1.6, 예컨대 약, 적어도 약, 또는 최대 약 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 또는 1.6이 되도록 조정된다.

[0466] 일부 실시형태에서, 산성수 세척은 조성 파라미터를 최적화하는 데 사용된다. 바이오카본은 출발 바이오매스를 바이오 숯, 가스, 증기 또는 액체로 전환하는 비연소 열 공정(전형적으로 열분해)에 의해 생성된다. 공정은 출발 공급원료와 함께 유입되는 물과 열분해 반응 동안 생성된 물이 둘 모두 외부 물 공급원에 대한 필요성의 일부 또는 전부를 대체하는 방식으로 사용되도록 구성될 수 있다.

[0467] 일부 변형에서, 바이오카본 조성물을 제조하는 공정은,

[0468] (a) 바이오매스 및 약 0 중량% 내지 약 75 중량%의 물을 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계;

[0469] (b) 출발 공급원료를 건조시켜 0 중량% 내지 약 50 중량%의 물 및 제1 증기를 포함하는 건조된 공급원료를 생성하는 단계;

[0470] (c) 건조된 공급원료를 열분해하여 뜨거운 고체 및 제2 증기를 생성하는 단계;

[0471] (d) 제1 증기의 적어도 일부를 응축시켜 제1 pH가 약 1 내지 약 7인 제1 응축된 액체를 생성하는 단계;

[0472] (e) 제2 증기의 적어도 일부를 응축시켜 제2 pH가 약 1 내지 약 7인 제2 응축된 액체를 생성하는 단계;

[0473] (f) 제1 응축된 액체의 적어도 일부, 제2 응축된 액체의 적어도 일부, 또는 제1 응축된 액체의 적어도 일부와 제2 응축된 액체의 적어도 일부를 포함하는 혼합물을 포함하는 산성수를 형성하는 단계;

[0474] (g) 산성수의 적어도 일부를 사용하여 뜨거운 고체를 세척하고 냉각하여, 세척되고 냉각된 고체를 생성하는 단계로서, 여기서 적어도 하나의 조성 파라미터가 조절되는, 단계; 및

[0475] (h) 세척되고 냉각된 고체를 적어도 약 50 중량%의 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물로서 회수하는 단계

[0476] 를 포함한다.

[0477] 일부 실시형태에서, 건조된 공급원료는 0 중량% 내지 약 25 중량%의 물을 포함한다. 다양한 실시형태에서, 건조된 공급원료는 최대 약 10 중량%의 물을 포함한다.

[0478] 공정 단계 (b)는, 예를 들어, 증기-구동식 건조기 또는 공기-구동식 건조기를 사용할 수 있다.

[0479] 주로 물 및 약산(light acid)을 포함하는, 건조기로부터 생성된 증기는 단계 (d)에서 건조기 연도 가스 스트림으로부터 응축된다.

[0480] 제1 응축된 액체의 산성도는 공급원료의 유형뿐만 아니라 건조기의 작동 조건에 따라 달라질 수 있다. 더 가혹한 건조기 환경에서는 물이 아닌 성분이 공급물로부터 오프-가스화되어 응축 동안 수집을 허용하는 경향이 있을 것이다.

[0481] 일부 실시형태에서, 제1 pH는, 예를 들어, 약 2 내지 약 7, 또는 약 3 내지 약 6.5, 또는 약 4 내지 약 6.5이다. 일부 실시형태에서, 제2 pH는, 예를 들어, 약 2 내지 약 7, 또는 약 3 내지 약 6.5, 또는 약 4 내지 약 6.5이다. 일부 실시형태에서, 제1 pH는 최대 7이고, 제2 pH는 최대 7이다. 다른 실시형태에서, 제1 pH는 최

대 7이고, 제2 pH는 약 7이다. 다른 실시형태에서, 제2 pH는 최대 7이고, 제1 pH는 약 7이다.

[0482] 일부 실시형태에서, 단계 (f)에서, 산성수는 제1 응축된 액체만을 포함한다. 다른 실시형태에서, 단계 (f)에서, 산성수는 제2 응축된 액체만을 포함한다. 또 다른 실시형태에서, 단계 (f)에서, 산성수는 제1 응축된 액체와 제2 응축된 액체 둘 모두를 포함한다. 산성수는 제1 응축된 액체의 일부 또는 전부뿐만 아니라 제2 응축된 액체의 일부 또는 전부를 포함할 수 있다. 특정 실시형태에서, 산성수는 제1 응축된 액체뿐만 아니라 제2 응축된 액체 둘 모두를 포함한다. 산성수가 제1 응축된 액체와 제2 응축된 액체의 조합을 포함하는 경우, 합한 산성수의 pH는 각 응축된 액체의 pH의 대수 평균이 될 것이다.

[0483] 단계 (f)에서 산성수는 (공급물의 원래의 수분 함량에 따라) 출발 공급원료의 건조 미터톤당 약 1 내지 약 500 갤런, 예컨대 출발 공급원료의 건조 미터톤당 약 50 내지 약 100 갤런의 양으로 형성될 수 있다.

[0484] 일부 실시형태에서, 단계 (f)에서 생성된 산성수의 일부는 단계 (g)에서 사용되지 않고 오히려 또 다른 관련자에게 판매되거나 양도되는 물 부산물로서 회수된다.

[0485] 일부 실시형태에서, 단계 (g) 동안, 뜨거운 고체를 세척하거나 냉각시키기 위해 어떠한 다른 물 공급원(예를 들어, 우물물)도 사용되지 않는다.

[0486] 일부 실시형태에서, 단계 (g)에서, 뜨거운 고체는 초기에 약 300℃ 내지 약 800℃의 기판 온도에 있고, 산성수는 뜨거운 고체를 기판 온도보다 낮은 냉각된 기판 온도까지 냉각시킨다. 냉각된 기판 온도는, 예를 들어, 최대 300℃, 최대 200℃, 최대 100℃, 최대 50℃, 또는 약 20-30℃일 수 있다.

[0487] 일부 실시형태에서, 단계 (g)에서의 세척은 일반적으로 높은 수준의 회분(예컨대 최대 50 중량%의 회분)을 포함할 수 있는 뜨거운 고체로부터 회분을 제거한다. 세척되고 냉각된 고체는, 예를 들어, 최대 약 5 중량%의 총 회분, 최대 약 1 중량%의 총 회분, 또는 최대 약 0.2 중량%의 총 회분을 포함할 수 있다. 단계 (g)에서의 회분 감소 정도는, 예를 들어, 적어도 약 25%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95%, 99%, 또는 100%일 수 있다.

[0488] 일부 실시형태에서, 단계 (g)에서의 세척은 뜨거운 고체로부터 철, 알루미늄, 티타늄, 붕소, 규소, 칼슘, 칼륨, 아연, 납, 카드뮴, 망간, 크롬, 비소, 수은, 니켈, 코발트, 구리, 주석, 안티몬, 바나듐, 몰리브덴, 이들 원소들 중 어느 하나의 산화물, 또는 이들의 조합 또는 유도체를 포함하는 불순물을 제거한다. 공정에서 조정되는 조성 파라미터는 크롬 함량과 같은 개별 농도일 수 있거나, 예를 들어, ASTM D4326에 따라 바이오카본 조성물에 본래 존재하거나 회분에 존재하는 여러 구성요소의 함수일 수 있다.

[0489] 다른 원소 또는 화합물이 뜨거운 고체에 불순물로서 존재할 수 있다. 세척되고 냉각된 고체는 최대 약 1000 ppm, 최대 약 100 ppm, 또는 최대 약 50 ppm의 불순물의 총 농도를 포함할 수 있다. 단계 (g)에서의 불순물 감소 정도는, 예를 들어, 적어도 약 25%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95%, 99%, 또는 100%일 수 있다. 예를 들어, 뜨거운 고체는 최대 20,000 ppm의 불순물 수준을 포함할 수 있으며; 50 ppm까지 감소하면 불순물 감소 정도가 99.7%에 달한다.

[0490] 일부 실시형태에서, 단계 (g)에서의 세척은 건조 기준으로 적어도 약 22 MJ/kg의 더 높은 발열량(HHV), 예컨대 건조 기준으로 적어도 약 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 또는 33 MJ/kg의 HHV를 갖는 세척되고 냉각된 고체를 생성한다. 단계 (g)에서의 HHV 향상 정도는, 예를 들어, 적어도 약 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 또는 100%일 수 있다. 상기 논의된 회분의 제거는 세척되고 냉각된 고체와 그에 따른 바이오카본 조성물에 대해 더 높은 HHV를 초래한다는 것에 주목한다.

[0491] 세척되고 냉각된 고체는 단계 (g) 후에 펠릿화되어 바이오카본 펠릿을 생성하거나 가능하게는 단계 (g)와 통합될 수 있다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, "바이오카본 펠릿"은 바이오제닉 카본을 포함하는 펠릿을 의미한다. 펠릿의 기하학적 구조는 나중에 교시되 대로 매우 다양할 수 있다. 일부 실시형태에서, 펠릿화 동안에 세척되고 냉각된 고체에 외부 결합제가 도입되지 않는다. 결합제는 세척되고 냉각된 고체에 도입되어 바이오카본 펠릿 생성을 도울 수 있다. 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 잔탄 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 섬글, 재활용 타이어, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0492] 공정의 물 집약도(intensity)는 바이오카본 조성물의 미터톤당 최대 약 -10 kg H_2O일 수 있으며, 예컨대 물 집약도는 바이오카본 조성물의 미터톤당 최대 약 -100, -200, -500 또는 -1000 kg H_2O일 수 있다. 공정의 일부 실시형태에서, 외부 물이 사용되지 않는다.

[0493] 출발 공급원료가 바이오제닉 및 재생 가능한 탄소를 포함하는 바이오매스인 경우, 열분해로부터 생성된 탄소도 바이오제닉이다. 이는, 예를 들어, ASTM D6866을 사용하여 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율을 측정하여 알 수 있다. 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 90% 재생 가능할 수 있다. 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물 내의 총 탄소는 총 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 완전히 재생 가능하다.

[0494] 이산화탄소로 산화된 임의의 바이오제닉 탄소는 바이오제닉 CO_2를 생성한다. 이는 또한 생성된 CO_2 샘플에서 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율을 측정하여 알 수 있다. 바이오매스로부터 유도된 이러한 바이오제닉 CO_2는 광합성을 통해 바이오매스가 성장하여 다시 흡수될 수 있도록 환경으로 돌아간다. 이러한 방식으로, 순 CO_2 배출물이 유의하게 감소된다.

[0495] 상기 또는 다른 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 바이오카본 조성물의 미터톤당 최대 0 kg CO_2e의 탄소 집약도, 예컨대 바이오카본 조성물의 미터톤당 최대 약 -100, -200, -300, -400, 또는 -500 kg CO_2e의 탄소 집약도를 특징으로 한다. 공정은 음의 탄소 집약도와 음의 물 집약도로 동시에 특성화될 수 있다.

[0496] 제품(또는 공정)의 "탄소 집약도"는 제품 톤당 또는 때로는 제품을 제조하기 위해 가공된 공급원료의 톤당 생성된 이산화탄소의 중량 기준 순수량(net quantity)이다. "CO_2-환산(equivalent) 탄소 집약도"는 제품 톤당 생성되는 이산화탄소 환산량의 순수량으로 정의될 수도 있다. "이산화탄소 환산량" 또는 "CO_2e"는 지구 온난화에 동등한 영향을 미치는 CO_2의 양을 의미한다. 탄소 집약도의 전형적인 단위는 제품 미터톤(1000 kg)당 이산화탄소 환산 킬로그램이다.

[0497] 온실 가스(또는 "GHG")는 열을 흡수하고 재방출하여 지구의 대기를 그렇지 않은 경우보다 더 따뜻하게 유지하는 대기 중의 모든 가스이다. 지구 대기의 주요 GHG는 수증기, 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 및 오존이다. 관례상, CO_2의 지구 온난화 지수(global-warming potential)는 1이 되도록 정의된다. CH_4의 지구 온난화 지수는 약 30, 즉 메탄은 온실 가스로서 CO_2보다 30배 더 강력하다. 본원에 참조로 포함된 문헌["IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007", Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge (2007)]을 참조한다.

[0498] 일반적으로 제품 및 공정의 탄소 집약도를 계산하기 위해서는 출발 물질의 탄소 집약도를 추정해야 하며, 출발 물질의 중간체로의 전환과 관련된 탄소 집약도 및 중간체의 최종 생성물로의 전환과 관련된 탄소 집약도도 추정해야 한다. 화학 공학 분야의 당업자라는 이러한 계산을 할 수 있는데, 이는 전과정 분석(life-cycle analysis) 소프트웨어(예를 들어, GREET® 또는 SimaPro® 소프트웨어)와 같은 소프트웨어의 도움을 받을 수 있다.

[0499] 전과정 분석의 알려진 원리는 탄소 집약도와 물 집약도를 계산하는 데 사용할 수 있다. 전과정 평가(life-cycle assessment: LCA)는 원자재 가공, 제조, 유통, 사용, 재활용 및 최종 폐기를 포함하는 전과정을 통해 제품의 환경 영향을 평가하는 데 사용되는 알려진 방법이다. LCA를 수행할 때, 일반적으로 최종 생성물의 운명을 지정해야 한다. 예를 들어, 강철의 경우, 강철을 장기간 방치하도록 설치하는 경우가 많다. 일부 실시형태에서, 산업 재활용 옵션을 포함하여, 강철에 대한 수명 종료 옵션(end-of-life option)이 고려된다(강철은 지구상에서 가장 많이 재활용되는 재료이다).

[0500] LCA는 또한 특정 재료와 관련된 환경 투입물 및 산출물에 관한 현상 유지를 고려할 수 있다. 예를 들어, 수확되지 않은 산림 잔재물은 분해되어 다량의 메탄을 배출할 것이며 이는 심각한 GHG 페널티를 야기한다. 이러한 산림 잔재물이 대신에 바이오카본 및 이어서 금속 생산으로 향한다면, 회피된 메탄 배출은 전체 탄소 집약도에서 고려될 수 있다. 가능성이 매우 많고 현상 자체가 진화하고 있기 때문에 LCA 소프트웨어 내의 데이터베이스를 활용하여 적절한 산업 평균을 사용할 수 있다.

[0501] 일부 변형에서, 바이오카본 조성물을 제조하는 공정은,

[0502] (a) 바이오매스 및 약 0 중량% 내지 약 75 중량%의 물을 포함하는 출발 공급원료를 제공하는 단계;

[0503] (b) 선택적으로 출발 공급원료를 건조시켜 0 중량% 내지 약 50 중량%의 물 및 제1 증기를 포함하는 건조된 공급원료를 생성하는 단계;

[0504] (c) 건조된 공급원료(또는 단계 (b)가 수행되지 않는 경우, 출발 공급원료)를 열분해하여 뜨거운 고체 및 제2 증기를 생성하는 단계;

[0505] (d) 단계 (b)가 수행되면, 제1 증기의 적어도 일부를 응축시켜 제1 pH가 약 1 내지 약 7인 제1 응축된 액체를 생성하는 단계;

[0506] (e) 제2 증기의 적어도 일부를 응축시켜 제2 pH가 약 1 내지 약 7인 제2 응축된 액체를 생성하는 단계;

[0507] (f) 제2 응축된 액체의 적어도 일부, 또는 if 단계 (b)가 수행되는 경우, 제1 응축된 액체의 적어도 일부 또는 제1 응축된 액체의 적어도 일부와 제2 응축된 액체의 적어도 일부를 포함하는 혼합물을 포함하는 산성수를 형성하는 단계;

[0508] (g) 산성수의 적어도 일부를 사용하여 뜨거운 고체를 세척하고 냉각하여, 세척되고 냉각된 고체를 생성하는 단계로서, 여기서 적어도 하나의 조성 파라미터가 조절되는, 단계; 및

[0509] (h) 세척되고 냉각된 고체를 적어도 약 50 중량%의 탄소를 포함하는 바이오카본 조성물로서 회수하는 단계

[0510] 를 포함한다.

[0511] 공정의 물 집약도는 바이오카본 조성물의 미터톤당 최대 약 1000 kg H_2O일 수 있으며, 예컨대 바이오카본 조성물의 미터톤당 최대 약 900, 800, 700, 600, 500, 400, 300, 200, 100, 50, 25, 10, 0, -10, -25, -50, -100, -200, -500, 또는 -1000 kg H_2O의 물 집약도이다.

[0512] 낮은-물-집약도 공정의 물 집약도는 단계 (f) 및 (g)에서 산성수의 회수 및 재사용을 사용하지 않는 다른 동등한 공정에 비해 약 1%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95%, 100% 또는 그 이상 감소될 수 있다.

[0513] 본 개시내용에 따라 생성된 바이오카본 조성물은 야금 탄소일 수 있다. 본 개시내용에서, "야금 탄소"는 금속을 포함하는 공정에 사용되도록 의도된 탄소를 의미한다. 야금 탄소는, 예를 들어, 금속 광석을 금속으로 전환하는 공정, 금속을 정제하는 공정, 금속에 합금 원소로서 탄소를 첨가하는 공정, 탄소-금속 복합재를 제조하는 공정, 또는 이들의 조합에서 공급원료가 될 수 있다. 야금 탄소는 금속 제조 공정에 첨가할 필요가 없는 다른 용도가 있다는 것을 인식할 것이다. 따라서, 야금이라는 형용사는, 일부(그러나, 전부는 아님) 실시형태에서, 탄소를 야금 가공의 의도된 용도로 제한한다. 본원에 개시된 야금 탄소가 실제로 야금학에서 사용되지 않는 경우, 야금이라는 형용사는 그 물리적 구조, 화학적 조성 또는 재료 특성의 관점에서 탄소를 달리 제한하는 것으로 해석되어서는 안 된다. 야금 탄소를 제공하는 임의의 실시형태는 또한 비야금 응용 분야에 사용되는 비야금 탄소를 제공하는 실시형태에 대한 참조로서 이해되어야 한다. 따라서, 다양한 실시형태가 비야금 탄소 생성물을 제공한다.

[0514] 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 60 중량%의 탄소, 적어도 약 70 중량%의 탄소, 적어도 약 80 중량%의 탄소, 또는 적어도 약 90 중량%의 탄소를 포함한다. 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 건조 기준으로 적어도 약 50 중량%의 고정 탄소, 적어도 약 75 중량%의 고정 탄소, 또는 적어도 약 90 중량%의 고정 탄소를 포함한다. 산성수로 세척하는 동안 회분을 제거하면 세척되고 냉각된 고체에서 고정 탄소 함량이 높아져 바이오카본 조성물에서 함량이 높아진다는 것에 주목한다.

[0515] 바이오카본 조성물은 약 1 중량% 내지 약 30 중량%의 수분, 예컨대 약 5 중량% 내지 약 15 중량%의 수분, 약 2 중량% 내지 약 10 중량%의 수분, 또는 약 0.1 중량% 내지 약 1 중량%의 수분을 포함할 수 있다. 총 수분은, 예를 들어, ASTM D3302 또는 ASTM D3173으로 측정할 수 있다.

[0516] 바이오카본 조성물은 0 내지 약 30 중량%의 회분(또는 그 이상), 예컨대 약 2 중량% 내지 약 25 중량%의 회분, 약 5 중량% 내지 약 20 중량%의 회분, 또는 약 8 중량% 내지 약 15 중량%의 회분을 포함할 수 있다. "회분"은 열분해 동안 증발하지 않는 비탄소 성분을 지칭한다. 회분 함량은 ASTM D3175 또는 기타 기술로 측정할 수 있다. 회분 조성은 ASTM D4326 또는 기타 기술로 분석할 수 있다.

[0517] 일부 실시형태에서, 바이오카본 조성물은 첨가제를 추가로 포함한다. 첨가제의 농도는 바이오카본 조성물의 총

중량을 기준으로 약 0.2 중량% 내지 약 25 중량%, 약 2 중량% 내지 약 25 중량%, 약 5 중량% 내지 약 20 중량%, 또는 약 1 중량% 내지 약 5 중량%일 수 있다. 특정 실시형태에서, 첨가제의 농도는 최대 1 중량%, 예컨대 약, 또는 최대 약 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.15, 0.10, 0.05, 0.02, 0.01 중량%이다. 첨가제가 선택적이기 때문에, 일부 실시형태에서 첨가제 농도는 0이다.

[0518] 일부 실시형태에서, 첨가제는 부분적으로 산화되거나 연소될 수 있다. 특정 실시형태에서, 첨가제는 재생 가능한 물질이다. 특정 실시형태에서, 첨가제는 탄소-중립 또는 탄소-네거티브 첨가제이다. 탄소-중립 또는 탄소-네거티브 첨가제의 예로는 광합성을 통해 생성되는 전분이 있다. 특히, 태양광 에너지는 바이오매스에 의해 전분으로서 저장될 수 있다.

[0519] 일부 실시형태에서, 첨가제는 바이오카본 조성물에 대한 결합제이다. 결합제는 유기 결합제, 무기 결합제, 또는 이들의 조합일 수 있다. 일부 실시형태에서, 첨가제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 카복시메틸 셀룰로오스, 셀룰로오스 에스테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 섬글, 재활용 타이어, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택되는 결합제이다.

[0520] 특정 실시형태에서, 첨가제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택되는 결합제이다. 결합제는 가교될 수 있는 열가소성 전분일 수 있다. 열가소성 전분은 전분과 폴리올의 반응 생성물일 수 있으며, 여기서 폴리올은 에틸렌 글리콜, 프로필렌 글리콜, 글리세롤, 부탄디올, 부탄트리올, 에리트리올, 자일리톨, 소르비톨, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있고, 반응 생성물은 산 또는 염기에 의해 촉매되는 반응으로부터 형성될 수 있다. 반응이 산에 의해 촉매되는 경우, 산은 포름산, 아세트산, 락트산, 시트르산, 옥살산, 우론산, 글루쿠론산, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0521] 일부 실시형태에서, 첨가제는 첨가제가 없는 다른 동등한 바이오카본 조성물과 비교하여 바이오카본 조성물의 반응성을 감소시킨다.

[0522] 반응성은 열 반응성일 수 있다. 예를 들어, 바이오카본 조성물은 첨가제가 없는 다른 동등한 바이오카본 조성물에 비해 더 낮은 자체 발열을 가질 수 있다. 반응성은 산소, 물, 수소, 일산화탄소, 금속(예를 들어, 철 또는 산화철) 또는 이들 종 중 하나 초과와의 화학적 반응일 수 있다.

[0523] 일부 실시형태에서, 첨가제는 바이오카본 조성물 내에서 기공을 채운다. 이들 또는 다른 실시형태에서, 첨가제는 바이오카본 조성물의 표면 상에 배치된다.

[0524] 바이오카본 조성물은 분말 형태일 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 바이오카본 조성물은 응집된 형태일 수 있다.

[0525] 예를 들어, 바이오카본 조성물은 선택적으로는 결합제와 함께 바이오카본 펠릿으로서 응집된 형태일 수 있다. 바이오카본 펠릿은, 예를 들어, 적어도 30의 하드그로브 분쇄성 지수(Hardgrove Grindability Index)를 특징으로 할 수 있다. 바이오카본 펠릿은 적어도 80%의 펠릿 내구성 지수를 특징으로 할 수 있다.

[0526] 바이오카본 조성물은 금속 가공에 사용되어 철, 구리, 니켈, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 주석, 아연, 코발트, 크롬, 텅스텐, 몰리브덴, 규소, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택되는 비금속(base metal)을 생성할 수 있다. 금속 제품은 합금 원소, 예컨대 Al, Bi, B, C, Ce, Cr, Cu, Fe, H, Mg, Mn, Mo, N, Nb, Ni, P, Pb, Si, Sn, S, Ta, Ti, W, V, Zr, Zn으로부터 선택되는 원소, 전술한 원소 중 어느 하나의 산화물, 탄화물, 수소화물, 질화물 또는 황화물, 또는 이들의 조합 또는 유도체를 사용하여 생성될 수 있다. 다른 원소는 금속 제품에 포함될 수 있으며, 다른 원소는 합금 원소로 기능할 수 있거나 기능할 수 없다.

[0527] 일부 실시형태에서, 합금 원소는 탄소를 포함한다. 탄소가 금속 제품에 존재할 때, 탄소는 금속 내에서 평형 농도로 존재할 수 있다. 대안적으로, 탄소는 금속 내에서 비평형 농도로 존재할 수 있으며, 이는 탄소의 평형 농도보다 더 낮거나 평형 농도보다 더 높을 수 있다.

[0528] 일부 실시형태에서, 합금 원소는 본원에 개시된 바와 같은 바이오카본 조성물로부터 유도된 탄소를 포함한다. 수소, 질소, 산소, 황 또는 인을 포함하는(그러나, 이에 제한되지 않음) 다른 원소가 바이오카본 조성물로부터

유래되어 합금 원소로서 사용될 수 있다.

[0529] 낮은-물-집약도의 바이오카본 조성물이 금속 제조 공정에 사용될 때, 최종 금속 제품도 물 집약도가 감소한 것으로 인정받을 수 있다. 일부 실시형태는 탄소-네거티브, 감소된-물-집약도의 금속 제품을 제공한다("탄소-네거티브"는 음의 탄소 집약도와 동의어이다).

[0530] 특정 실시형태에서, 합금 원소는 수소를 포함한다. 수소가 바이오매스 공급원료로부터 유래되는 바이오카본 조성물로부터 유래되는 경우, 수소는 광합성을 통해 대기수로부터 성장하는 바이오매스에 추가되기 때문에 탄소-중립 또는 탄소-네거티브 수소가 될 수 있다. 탄소와 마찬가지로, LCA 관점에서는 수소와 관련된 감소된 물 집약도가 최종 금속 제품으로 전달된다.

[0531] 탄소(고체 탄소 또는 증기 형태의 탄소, 예컨대 CO, CO_2 또는 CH_4로)의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율을 측정하는 것은 입증된 기술이다. $^{2}H/^{1}H$ 동위원소 비율을 측정하는 수소에도 유사한 개념을 적용할 수 있다(^{2}H는 중수소, D로도 알려져 있음). 화석 자원은 바이오매스에 비해 중수소가 고갈되는 경향이 있다. 본원에 참조로 포함된 문헌(Schiegl et al., "Deuterium content of organic matter", *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 7, Issue 4, 1970, Pages 307-313; and Hayes, "Fractionation of the Isotopes of Carbon and Hydrogen in Biosynthetic Processes", Mineralogical Society of America, National Meeting of the Geological Society of America, Boston, MA, 2001)을 참조한다.

[0532] 재생 가능한 수소는 재생 가능한 에너지 표준, 재생 가능한 에너지 크레딧, 재생 가능한 식별 번호 등을 통해 다양한 방식으로 시장에서 인식될 수 있다. 한 가지 예로, 휘발유 생산에 재생 가능한 수소를 사용하는 정유소는 그러한 H_2 함량에 대해 재생 가능한 에너지 크레딧을 받을 수 있다. 강철과 같은 금속 제품에서, 재생 가능한 수소는 금속 생산 동안 사용될 수 있거나(예를 들어, H_2를 사용한 금속 광석 환원) 재생 가능한 수소는 최종 생성물에서 측정 가능한 합금 원소일 수 있다.

[0533] 특정 실시형태에서, 합금 원소는 질소를 포함한다. 고강도 오스테나이트계 스테인리스강은 질소의 이점을 누릴 수 있다. 질소는 탄소보다 고용도(solid solubility)가 더 크고, 강력한 오스테나이트 안정제이며, 우수한 격자간 고용체 강화제이며, 내공식성(pitting corrosion resistance)을 향상시킨다. 질소가 바이오매스 공급원료로부터 유래되는 바이오카본 조성물로부터 유래되는 경우, 질소 순환을 통해 대기 중 N_2로부터 성장하는 바이오매스에 질소가 추가되면 질소는 탄소-중립 또는 탄소-네거티브가 될 수 있다. 반면에, 합금 질소가 궁극적으로 NH_3 기반 비료로부터 유래되고 NH_3이 에너지 집약적인 하버 합성(Haber synthesis)으로부터 유래되는 경우, 그러한 질소는 일반적으로 탄소-중립 또는 탄소-네거티브 질소가 아닐 것이다. 금속 제품의 전체 탄소 집약도 및 물 집약도에 대한 기여도는 질소 함량이 존재할 때 일반적으로 최대 1 중량%이기 때문에 매우 낮을 수 있다. 예를 들어, H_2 생산을 위해 물을 분할하기 위해 재생 가능한 에너지를 사용하거나 재생 가능한 수소를 사용함으로써 심지어 하버 공정도 덜 에너지 집약적으로 만들 수 있다.

[0534] 특정 실시형태에서, 합금 원소는 산소를 포함한다. 산소는 금속 산화물을 피해야 하는 일반적으로 사용되는 합금 원소가 아니다. 그러나, 특정 합금, 특히 비철 합금은 격자간 고용체 강화를 통해 금속을 강화하는 격자간 합금 원소로서 산소(O 원자)를 사용할 수 있다. 산소가 바이오매스 공급원료로부터 유래되는 바이오카본 조성물로부터 유래되는 경우, 산소는 O_2를 출력으로 갖는 광합성을 통해 대기 중 CO_2로부터 유래된다는 것을 인식할 수 있다.

[0535] 특정 실시형태에서, 합금 원소는 황을 포함한다. 황이 바이오매스 공급원료로부터 유래되는 바이오카본 조성물로부터 유래되는 경우, 황의 탄소 집약도는 황의 공급원(예를 들어, 토양 또는 첨가된 비료)에 좌우될 것이다.

[0536] 특정 실시형태에서, 합금 원소는 인을 포함한다. 인이 바이오매스 공급원료로부터 유래되는 바이오카본 조성물로부터 유래되는 경우, 인의 탄소 집약도는 인의 공급원(예를 들어, 토양 대 첨가된 비료)에 좌우될 것이다.

[0537] 다양한 실시형태에서, 금속 제품은 분말, 펠릿, 시트, 막대, 바(bar), 와이어, 코일, 파이프, 플레이트, 벽, 탱크, 주조 구조물, 공학적 구조물, 전자석, 영구 자석, 또는 이들의 조합으로부터 선택된 형태이다. 금속 제품은 최종 구조물일 수 있거나, 기존의 절삭(subtractive) 제조, 적층(additive) 제조, 또는 기타 기술을 통해 금속을 포함하는 구조물을 제조하기 위한 공급원료일 수 있다.

[0538] 일부 실시형태에서, 탄소-네거티브, 감소된-물-집약도 강철 제품은 적어도 약 80 중량%의 철, 적어도 약 90 중

량%의 철, 또는 적어도 약 95 중량%의 철을 포함할 수 있다. 탄소-네거티브, 감소된-물-집약도 강철 제품은 합금 원소의 약 0.01 중량% 내지 약 10 중량%를 포함할 수 있다. 합금 원소는 Al, Bi, B, C, Ce, Cr, Cu, H, Mg, Mn, Mo, N, Nb, Ni, P, Pb, Si, Sn, S, Ta, Ti, W, V, Zr, Zn, 전술한 원소 중 어느 하나의 산화물, 탄화물, 수소화물, 질화물 또는 황화물, 또는 이들의 조합 또는 유도체일 수 있다.

[0539] 본 발명의 변형은 탄소 기질을 생성하기 위해 바이오매스의 최적화된 열분해, 탄소 기질의 기계적 크기 감소, 및 탄소 기질을 응집시켜 바이오카본 펠릿을 형성하기 위해 결합제의 사용을 이용하며, 선택적으로 조정 가능한 하드그로브 분쇄성 지수(HGI)를 사용한다. 바이오카본 펠릿의 수분 수준을 최적화하여 펠릿 내의 치밀화를 변화시킬 수 있다. 다운스트림 응용 분야(예를 들어, 용광로에서의 사용)에는 다양한 HGI 요구 사항이 있기 때문에 바이오카본 펠릿의 HGI를 조정하는 능력은 매우 유용하다. HGI는 적어도 조성에 어느 정도 의존적이며, 그 때문에 HGI는 조성 파라미터로서 간주될 수 있다.

[0540] 바이오매스(예를 들어, 우드칩)를 제품으로 전환하는 다양한 바이오 리파이너리(biorefinery) 공정의 맥락에서, 입자-크기 감소가 필요하다. 크기 감소 단계는 필수적이지만 존재하는 자연 발생 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 및 리그닌 중합체의 강한 결합으로 인해 고도로 에너지 집약적이다. 작은 입자가 필요할 때 문제가 특히 심각하다. 예를 들어, 바이오매스를 해머밀로 분쇄할 때 에너지 소비는 스크린 메쉬 크기 감소의 함수로서 기하급수적으로 증가한다.

[0541] 미가공 바이오매스는 열분해된 형태의 바이오매스보다 다양한 상업적 응용 분야에서 열등하며, 그 중 많은 부분이 이 특허 출원에 설명되어 있다. 바이오매스가 바이오제닉 시약으로 열분해될 때, 용광로 또는 미분탄 보일러와 같은 다운스트림 용도에 도움이 되지 않는 기계적 특성을 갖는 경우가 많다. 이러한 이유로, 바이오제닉 시약을 바이오카본 펠릿으로 펠릿화하는 것이 많은 경우에 선호된다. 그러나, 일단 펠릿화되면, 미가공 바이오매스에 대해 상기 언급된 분쇄 에너지 문제가 다시 발생하여 펠릿을 산업용 분말로 전환하는 것이 어렵고 종종 더 악화된다. 이는 본질적으로 약한 펠릿인 느슨한 응집체를 만들어 잠재적으로 극복할 수 있지만, 그러면, 운송 및 공장 취급 동안, 때로는 반응기 자체 내에서(예를 들어, 금속층을 지지하기 위해) 펠릿 내구성이 필요한 많은 경우 펠릿화의 목적을 무산된다. 한편으로는 펠릿 내구성이 요구되지만 다른 한편으로는 펠릿 분쇄성이 요구되기 때문에 이 문제는 해결하기가 어렵다. 그러나, 본 개시내용은 우수한 분쇄성과 적절한 내구성을 갖는 바이오카본 펠릿 및 이들의 제조 공정을 제공한다.

[0542] 더욱이, 바이오카본 펠릿의 다운스트림 용도가 매우 많고, 각각 고유한 요구 사항이 있기 때문에, 펠릿의 분쇄성을 조정할 수 있는 것이 매우 유리하다. 본 발명자들은 조정 가능하게 분쇄 가능한 바이오카본 펠릿에 매우 적합한 공정 및 조성물을 설계하였다.

[0543] 일부 변형에서, 본 기술은,

[0544] (a) 약 35 중량% 내지 약 99 중량%의 바이오제닉 시약으로서, 상기 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 적어도 약 60 중량%의 탄소를 포함함;

[0545] (b) 약 0 중량% 내지 약 35 중량%의 수분; 및

[0546] (c) 약 1 중량% 내지 약 30 중량%의 결합제

[0547] 를 포함하는 바이오카본 펠릿을 제공하며,

[0548] 여기서 상기 바이오카본 펠릿은 적어도 30의 하드그로브 분쇄성 지수를 특징으로 한다.

[0549] 일부 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 적어도 약 70 중량%의 탄소, 적어도 약 80 중량%의 탄소, 또는 적어도 약 90 중량%의 탄소를 포함한다. 다양한 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 약 또는 적어도 약 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 또는 95 중량%의 탄소를 포함한다. 이러한 백분율은 전체 바이오제닉 시약에 대한 총 탄소(고정 탄소 및 휘발성 탄소)의 농도를 지칭한다.

[0550] 일부 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 적어도 약 50 중량%의 고정 탄소, 적어도 약 75 중량%의 고정 탄소, 또는 적어도 약 90 중량%의 고정 탄소를 포함한다. 다양한 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 약 또는 적어도 약 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 또는 95 중량%의 고정 탄소를 포함한다. 이러한 백분율은 총 탄소에 대한 것이 아니라 전체 바이오제닉 시약(물 제외)에 대한 고정 탄소의 농도를 지칭한다. 고정 탄소는 총 탄소에서 휘발성 탄소를 뺀 것과 같다.

[0551] 일부 바이오카본 펠릿에서, 탄소는 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가

능하다. 예를 들어, 탄소는 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 60%, 적어도 70%, 적어도 80%, 적어도 90%, 적어도 95%, 적어도 99%, 또는 적어도 99.9% 재생 가능할 수 있다. 특정 실시형태에서, 탄소는 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 완전히 재생 가능하다. 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정은 ASTM D6866을 사용할 수 있다.

[0552] 특정 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 약 75 중량% 내지 약 94 중량%의 탄소, 약 3 중량% 내지 약 15 중량%의 산소, 및 약 1 중량% 내지 약 10 중량%의 수소를 포함할 수 있다.

[0553] 바이오카본 펠릿에 존재하는 수분은 탄소 또는 결합제에 화학적으로 결합된 물, 탄소 또는 결합제에 물리적으로 결합된(흡수된 또는 흡착된) 물, 탄소 또는 결합제에 화학적 또는 물리적으로 결합되지 않은 수성 상에 존재하는 자유수 또는 이들의 조합일 수 있다. 결합 공정 동안 수분이 요구되는 경우, 그러한 수분은 자유수가 아니라 탄소 또는 결합제에 화학적 또는 물리적으로 결합되는 것이 바람직하다.

[0554] 다양한 수분 수준이 펠릿 생성물에 존재할 수 있다. 예를 들어, 바이오카본 펠릿은 약 1 중량% 내지 약 30 중량%(예를 들어, 32 중량%) 수분, 예컨대 약 5 중량% 내지 약 15 중량%의 수분, 약 2 중량% 내지 약 10 중량%의 수분, 또는 약 0.1 중량% 내지 약 1 중량%의 수분을 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 바이오카본 펠릿은 약 4-8 중량%의 수분을 포함한다. 다양한 실시형태에서, 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 중량%의 수분을 포함한다.

[0555] 바이오카본 펠릿을 제조하는 공정 동안 물이 존재하지만, 이들 펠릿은 이어서 선택적으로 건조되며, 이는 최종 바이오카본 펠릿이 반드시 수분을 포함하지는 않는다는 것을 의미한다. 농업과 같은 일부 시장 응용 분야의 경우, 먼지 제어 또는 기타 이유로 더 높은 수분 수준이 바람직하다. 다른 시장 응용 분야의 경우, 더 낮은 수분 수준이 바람직할 수 있다(예를 들어, 1 중량% 수분 또는 그 이하). 일부 야금 응용 분야에서는 낮은 수분이 바람직하지만, 다른 야금 응용 분야에서는 전체 화학을 돕기 위해 일부 수분이 허용되거나 심지어 바람직하다.

[0556] 일부 바이오카본 펠릿에서, 바이오카본 펠릿은 약 2 중량% 내지 약 25 중량%의 결합제, 약 5 중량% 내지 약 20 중량%의 결합제, 또는 약 1 중량% 내지 약 5 중량%의 결합제를 포함한다. 다양한 실시형태에서, 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 중량%의 결합제를 포함한다. 일부 실시형태에서, 수분 함량과 결합제 농도 사이에는 반비례 관계가 있다.

[0557] 결합제는 바이오카본 펠릿의 바이오제닉 시약 내의 기공을 채울 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 결합제는 바이오카본 펠릿의 표면에 배치될 수 있다.

[0558] 결합제는 유기 결합제 또는 무기 결합제일 수 있다. 일부 실시형태에서, 결합제는 재생 가능한 물질이거나 이를 포함한다. 일부 실시형태에서, 결합제는 생분해성 물질이거나 이를 포함한다. 일부 실시형태에서, 결합제는 부분적으로 산화되거나 연소될 수 있다.

[0559] 다양한 실시형태에서, 결합제는 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 카복시메틸 셀룰로오스, 셀룰로오스 에스테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 쉉글, 재활용 타이어, 이들의 유도체, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택된다. 결합제는 분쇄 가능한 가소제일 수 있거나 이를 포함할 수 있다.

[0560] 일부 실시형태에서, 결합제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 기반 중합체(예를 들어, 아밀로오스 및 아밀로펙틴 기반 중합체), 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택된다. 전분은 비이온성 전분, 음이온성 전분, 양이온성 전분 또는 쯔비터이온성 전분일 수 있다.

[0561] 전분은 가장 풍부한 바이오폴리머 중 하나이다. 전분은 완전히 생분해되고 저렴하고 재생 가능하고 화학적으로 쉽게 변형된다. 강력한 수소 결합과 함께 전분 분자의 사이클릭 구조는 전분을 단단한 구조로 만들고 고도로 정렬된 결정 및 과립 영역을 형성한다. 이의 과립 상태의 전분은 일반적으로 열가소성 가공에 적합하지 않다. 열가소성 전분을 얻기 위해, 반결정성 전분 과립을 열적 및 기계적 힘에 의해 분해될 수 있다. 순수한 전분의 융

점은 그 분해 온도보다 상당히 높기 때문에, 물 또는 글리콜과 같은 가소제를 첨가할 수 있다. 이어서, 열가소성 전분을 생성하는 상승된 온도에서 격렬한 혼합(전단)에 의해 천연 결정도가 파괴될 수 있다. 전분은 물, 글리세롤 또는 소르비톨과 같은 전분 하이드록실 기와 수소 결합을 할 수 있는 상대적으로 낮은 수준의 분자에 의해 가소화될 수 있다.

[0562] 열가소성 전분은 화학적으로 변형되거나 다른 바이오폴리머와 블렌딩되어 더 강하고 보다 연성이며 탄력적인 바이오플라스틱을 생성할 수 있다. 예를 들어, 전분은 폴리락트산, 폴리카프로락톤 또는 폴리하이드록시부티레이트와 같은 천연 및 합성(생분해성) 폴리에스테르와 블렌딩할 수 있다. 전분/폴리에스테르 블렌드의 상용성을 개선하기 위해, 폴리(에틸렌-코-비닐 알코올) 또는 폴리비닐 알코올과 같은 적합한 상용화제를 첨가할 수 있다. 전분의 친수성 하이드록실 기(-OH)는 에스테르화 또는 에테르화와 같은 소수성(반응성) 기로 대체될 수 있다.

[0563] 일부 실시형태에서, 전분을 포함하는 결합제는 가교 전분이거나 이를 포함한다. 전분을 가교시키는 다양한 방법이 당업계에 알려져 있다. 예를 들어, 전분 물질은 수성 매질에 용해 또는 분산시킨 후 산성 또는 알칼리성 조건 하에서 가교될 수 있다. 알데히드(예를 들어, 글루타르알데히드 또는 포름알데히드)는 전분을 가교하는 데 사용될 수 있다.

[0564] 가교 전분의 일례는 전분과 글리세롤 또는 또 다른 폴리올, 예컨대 (그러나, 이에 제한되지 않는) 에틸렌 글리콜, 프로필렌 글리콜, 글리세롤, 부탄디올, 부탄트리올, 에리트리톨, 자일리톨, 소르비톨, 또는 이들의 조합의 반응 생성물이다. 반응 생성물은 산, 예컨대 (그러나, 이에 제한되지 않는) 포름산, 아세트산, 락트산, 시트르산, 옥살산, 우론산, 글루쿠론산, 또는 이들의 조합에 의해 촉매되는 가교 반응으로부터 형성될 수 있다. 무기산, 예컨대 황산도 가교 반응을 촉매하는 데 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 열가소화 또는 가교 반응 생성물은 염기, 예컨대 (그러나, 이에 제한되지 않는) 암모니아 또는 붕산나트륨에 의해 대신 촉매되는 가교 반응으로부터 형성될 수 있다.

[0565] 일부 실시형태에서, 결합제는 내수성 결합제가 되도록 설계된다. 예를 들어, 전분의 경우, 친수성 기는 물에 더 잘 저항하는 소수성 기로 대체될 수 있다.

[0566] 일부 실시형태에서, 결합제는 바이오카본 펠릿 내 수분 보유, 미생물을 위한 먹이 공급원 등과 같은 (그러나 이에 제한되지 않는) 다른 목적으로 사용된다.

[0567] 일부 실시형태에서, 결합제는 결합제가 없는 다른 동등한 바이오카본 펠릿과 비교하여 바이오카본 펠릿의 반응성을 감소시킨다. 반응성은 열 반응성 또는 화학 반응성 (또는 둘 모두)을 지칭할 수 있다.

[0568] 열 반응성의 경우, 바이오카본 펠릿은 결합제가 없는 다른 동등한 바이오카본 펠릿과 비교하여 더 낮은 자체 발열을 가질 수 있다. "자체 발열"은 바이오카본 펠릿이 어떠한 외부 발화 없이도 상대적으로 낮은 온도 및 산화 분위기에서 자발적인 발열 반응을 거쳐 바이오카본 펠릿의 내부 온도가 상승하는 것을 지칭한다. 일부 실시형태에서, 바이오카본 펠릿은 테스트 및 기준 매뉴얼(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 수행할 때 자체 발열이 아닌 것을 특징으로 한다.

[0569] 화학 반응성은 산소, 물, 수소, 일산화탄소, 금속(예를 들어, 철), 또는 이들의 조합과의 반응성일 수 있다. 화학 반응성은, 예를 들어, CO, CO_2, H_2O, 열분해 오일 및 열에 대한 반응과 연관될 수 있다.

[0570] 선택적으로, 탄소를 포함하는 펠릿은 무기 벤토나이트 점토, 석회석, 전분, 셀룰로오스, 리그닌 또는 아크릴아미드와 같은 (반드시 결합제일 필요는 없는) 첨가제를 포함한다. 리그닌이 결합제 또는 기타 첨가제로서 사용되는 경우, 열분해 공정에서 사용되는 것과 동일한 바이오매스 공급원료로부터 리그닌을 수득할 수 있다. 예를 들어, 출발 바이오매스 공급원료는 리그닌-추출 단계를 거쳐 결합제 또는 첨가제로서 사용하기 위한 일정량의 리그닌을 제거할 수 있다.

[0571] 다른 가능한 첨가제는 무기 염화물, 무기 불화물 또는 석회와 같은 플럭싱제(fluxing agent)를 포함한다. 일부 실시형태에서, 첨가제는 산, 염기, 또는 이들의 염으로부터 선택된다. 일부 실시형태에서, 적어도 하나의 첨가제는 금속, 금속 산화물, 금속 수산화물, 금속 할로겐화물, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택된다. 예를 들어, 첨가제는 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 할로겐화철, 염화철, 브롬화철, 백운석, 백운석 석회, 형석, 플루오로스파, 벤토나이트, 산화칼슘, 석회, 티타늄, 티타늄 화합물, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택될 수 있다.

[0572] 첨가제는 수확 전이나 후에 언제든지 공급원료 자체에 유입되는 것을 포함하여, 공정의 임의의 하나 이상의 단계 전, 도중 또는 후에 도입될 수 있다. 그러나, 공정 동안 첨가제가 도입되는 경우 중요하며 원하는 제품에 따라 중요할 수 있다. 예를 들어, 열분해 전에 첨가제가 첨가되는 경우, 최종 생성물은 첨가제가 열분해 조건 하에서 어떻게 거동하는지에 따라 첨가제 또는 첨가제 자체의 유도체를 포함할 것이다.

[0573] 바이오카본 펠릿의 하드그로브 분쇄성 지수는 적어도 30, 적어도 40, 적어도 50, 적어도 60, 적어도 70, 적어도 80, 적어도 90, 또는 적어도 100일 수 있다. 일부 실시형태에서, 하드그로브 분쇄성 지수는 약 30 내지 약 50 또는 약 50 내지 약 70이다. "하드그로브-머신 방법에 의한 석탄의 분쇄성에 대한 표준 테스트 방법"에 대한 ASTM-표준 D 409/D 409M은 그 전체가 본원에 참조로 포함된다. 달리 지시되지 않는 한, 본 개시내용에서 하드그로브 분쇄성 지수 또는 HGI에 대한 모든 언급은 ASTM-표준 D 409/D 409M을 참조한 것이다.

[0574] 다양한 실시형태에서, 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.

[0575] 바이오카본 펠릿(예를 들어, 탄소-네거티브 및 네거티브-물-집약도 바이오카본 펠릿)은 적어도 80%, 적어도 85%, 적어도 90%, 적어도 95%, 또는 적어도 99%의 펠릿 내구성 지수를 특징으로 할 수 있다. 바이오카본 펠릿은 최대 99%, 최대 95%, 최대 90%, 최대 85%, 또는 최대 80%의 펠릿 내구성 지수를 특징으로 할 수 있다. 달리 지시되지 않는 한, 펠릿 내구성 지수에 대한 본 개시내용의 모든 참조문헌은 그 전체가 본원에 참조로 포함된 문헌(ISO 17831-1:2015 "Solid biofuels — Determination of mechanical durability of pellets and briquettes — Part 1: Pellets")을 참조한 것이다.

[0576] 바이오카본 펠릿의 크기와 기하학적 구조는 다양할 수 있다. 본원에 사용된 "펠릿"이란, 루스 분말이 아닌 응집된 물체를 의미한다. 펠릿 기하학적 구조는 구형 또는 대략 구형으로 제한되지 않다. 또한, 본 개시내용에서 "펠릿"은 "브리켓", "과립" 및 "프릴"과 동의어이다. 펠릿 기하학적 구조는 구형(원형 또는 공 형상), 입방체(정사각형), 팔각형, 육각형, 벌집/벌집(honeycomb/beehive) 형상, 타원형, 달걀 형상, 기둥 형상, 막대 형상, 디스크 형상, 베개 형상, 무작위 형상 또는 이들의 조합일 수 있다. 개시내용의 편의상, "펠릿"이라는 용어는 일반적으로, 결합제와 선택적으로 응집된 분말을 포함하는 임의의 물체에 대해 사용될 것이다.

[0577] 바이오카본 펠릿은 구의 경우 실제 직경인 평균 펠릿 직경 또는 임의의 다른 3D 기하학적 구조의 경우 등가 직경을 특징으로 할 수 있다. 비구형 펠릿의 등가 직경은 실제 펠릿과 동일한 부피의 구의 직경이다. 일부 실시형태에서, 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 밀리미터이다. 일부 실시형태에서, 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 미크론이다.

[0578] 일부 실시형태에서, 평균 펠릿 직경의 최대 ±100%, 최대 ±50%, 최대 ±25%, 최대 ±10%, 또는 최대 ±5%의 표준 편차와 같이 크기가 상대적으로 균일한 복수의 바이오카본 펠릿이 존재한다. 다른 실시형태에서, 이것은 일부 적용에서 유리할 수 있기 때문에 광범위한 크기의 바이오카본 펠릿이 존재한다.

[0579] 본 기술의 일부 변형은,

[0580] (a) 약 35 중량% 내지 약 99 중량%의 바이오제닉 시약으로서, 상기 바이오제닉 시약은 건조 기준으로, 적어도 약 60 중량%의 탄소를 포함함;

[0581] (b) 약 0 중량% 내지 약 35 중량%의 수분; 및

[0582] (c) 약 1 중량% 내지 약 30 중량%의 반응성-조절제

[0583] 를 포함하는 바이오카본 펠릿을 제공하며,

[0584] 여기서 상기 반응성-조절제는 반응성 조절제가 없는 다른 동등한 바이오카본 펠릿과 비교하여 바이오카본 펠릿의 반응성을 감소시킨다.

[0585] 일부 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 적어도 약 70 중량%의 탄소를 포함한다. 바이오제닉 시약은 적어도 약 50 중량%의 고정 탄소를 포함할 수 있다.

[0586] 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 약 75 중량% 내지 약 94 중량%의 탄소, 약 3 중량% 내지 약 15 중량%의 산소, 및 약 1 중량% 내지 약 10 중량%의 수소를 포함할 수 있다.

[0587] 일부 실시형태에서, 바이오카본 펠릿은 약 1 중량% 내지 약 30 중량%의 수분을 포함한다.

[0588] 일부 실시형태에서, 탄소는 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50% 재생 가능하다. 특정 실시형태에서, 탄소는 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 완전히 재생 가능하다.

[0589] 일부 바이오카본 펠릿에서, 바이오카본 펠릿은 약 2 중량% 내지 약 25 중량%의 반응성-조절제를 포함한다. 바이오카본 펠릿은, 예를 들어, 약 5 중량% 내지 약 20 중량%, 또는 약 1 중량% 내지 약 5 중량%의 반응성-조절제를 포함할 수 있다.

[0590] 반응성-조절제는 유기 또는 무기일 수 있다. 반응성-조절제는 재생 가능한 물질일 수 있다. 일부 실시형태에서, 반응성-조절제는 부분적으로 산화되거나 연소될 수 있다. 반응성-조절제는 바람직하게는 조성 파라미터를 조정할 수 있다.

[0591] 반응성-조절제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 카복시메틸 셀룰로오스, 셀룰로오스 에스테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 섬글, 재활용 타이어, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택될 수 있다.

[0592] 일부 실시형태에서, 반응성-조절제는 전분, 열가소성 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택된다.

[0593] 특정 실시형태에서, 반응성-조절제는 선택적으로 가교된 열가소성 전분이다. 예를 들어, 열가소성 전분은 전분과 폴리올의 반응 생성물일 수 있다. 폴리올은 에틸렌 글리콜, 프로필렌 글리콜, 글리세롤, 부탄디올, 부탄트리올, 에리트리톨, 자일리톨, 소르비톨, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택될 수 있다. 반응 생성물은 산, 예컨대 (그러나, 이에 제한되지 않는) 포름산, 아세트산, 락트산, 시트르산, 옥살산, 우론산, 글루쿠론산, 또는 이들의 조합, 또는 염기에 의해 촉매되는 가교 반응으로부터 형성될 수 있다.

[0594] 반응성-조절제가 바이오카본 펠릿의 반응성을 감소시키는 일부 바이오카본 펠릿에서, 반응성은 열 반응성이다. 예를 들어, 바이오카본 펠릿은 반응성-조절제가 없는 다른 동등한 바이오카본 펠릿에 비해 더 낮은 자체 발열을 특징으로 할 수 있다.

[0595] 반응성 조절제가 바이오카본 펠릿의 반응성을 감소시키는 일부 바이오카본 펠릿에서, 반응성은 산소, 물, 수소, 일산화탄소, 금속(예컨대 철) 또는 이들의 조합과의 화학적 반응성이다.

[0596] 일부 바이오카본 펠릿에서, 반응성-조절제는 바이오카본 펠릿의 바이오제닉 시약 내의 기공을 채운다. 다른 바이오카본 펠릿에서, 반응성-조절제가 바이오카본 펠릿의 표면에 배치된다. 또 다른 바이오카본 펠릿에서, 반응성-조절제는 바이오제닉 시약 내의 기공을 채우고 바이오카본 펠릿의 표면에 배치된다.

[0597] 반응성-조절제는 바이오카본 펠릿의 하드그로브 분쇄성 지수를 조정 가능하게 제어하기 위한 결합제로서 기능할 수 있다. 일부 실시형태에서, 바이오카본 펠릿은 적어도 30, 예컨대 약 30 내지 약 50 또는 약 50 내지 약 70의 하드그로브 분쇄성 지수를 특징으로 한다. 다른 HGI 범위는 본 명세서의 다른 곳에서 개시되었으며 반응성-조절제가 결합제로서 사용되고 기능하는 실시형태에 동등하게 적용 가능하다.

[0598] 예를 들어, HGI를 제어 가능하게 조정하고 반응성-조절제 역할을 하는 기능을 하는 결합제를 선택할 수 있다. 이러한 경우, 결합제가 바이오카본 펠릿의 표면에 배치될 뿐만 아니라 (바이오카본 펠릿의 기공을 채우는) 바이오제닉 탄소 전체에 분산되도록 하는 것이 바람직할 수 있다. 결합제의 농도는 펠릿의 (내부로) 벌크와 비교하여 표면에서 상이할 수 있다. 일부 경우에, 더 높은 농도의 결합제가 표면에 비해 펠릿 벌크에 존재하는 반면, 다른 경우(예를 들어, 감소된 자체 발열 펠릿에 대한 특정 실시형태)에서는, 더 높은 결합제 농도가 표면에서 요구된다. 또한, 2개의 상이한 결합제(화학종)를 갖는 것도 가능한데 - 하나는 펠릿의 벌크 내에 존재하고 다른 하나는 표면에 존재한다. 그러한 경우, 벌크 결합제는 결합제로 지칭될 수 있고 펠릿 표면제는 펠릿 반응성-조절제로서 지칭될 수 있다. 그러한 실시형태에서도, 펠릿 제조 공정 동안 결합제가 첨가된다면, 일정량의 결합제

가 펠릿 표면에 존재할 것이라는 것이 이해될 것이다. 마찬가지로, 반응성-조절제가 펠릿이 형성된 후에 펠릿상에 코팅되면, 반응성-조절제가 펠릿 기공 내로 어느 정도 확산될 것으로 예상될 수 있다.

[0599] 본 기술의 다른 변형은 바이오카본 펠릿을 제조하는 공정을 제공하는 것으로, 상기 공정은,

[0600] (a) 바이오매스 공급원료를 제공하는 단계;

[0601] (b) 바이오매스 공급원료를 열분해하여 바이오제닉 시약을 생성하는 단계로서, 상기 바이오제닉 시약은 적어도 약 50 중량%의 탄소 및 적어도 약 5 중량%의 수분을 포함하는 것인, 단계;

[0602] (c) 바이오제닉 시약을 기계적으로 처리하여 복수의 탄소를 포함하는 입자를 생성하는 단계;

[0603] (d) 탄소를 포함하는 입자를 결합제와 조합하여 탄소-결합제 혼합물을 형성하는 단계;

[0604] (e) 단계 (d) 이후 또는 단계 (d)와 동시에 탄소-결합제 혼합물을 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성하는 단계; 및

[0605] (f) 선택적으로, 바이오카본 펠릿을 적어도 부분적으로 건조시키는 단계;

[0606] (g) 단계 (a)에서 수집된 제1 증기의 적어도 일부를 응축시켜 약 1 내지 약 7의 제1 pH를 갖는 제1 응축된 액체를 생성하는 단계;

[0607] (h) 단계 (b) 또는 단계 (f)에서 수집된 제2 증기의 적어도 일부를 응축시켜 약 1 내지 약 7의 제2 pH를 갖는 제2 응축된 액체를 생성하는 단계;

[0608] (i) 제1 응축된 액체의 적어도 일부, 제2 응축된 액체의 적어도 일부, 또는 제1 응축된 액체의 적어도 일부와 제2 응축된 액체의 적어도 일부를 포함하는 혼합물을 포함하는, 산성수를 형성하는 단계;

[0609] (j) 산성수의 적어도 일부를 사용하여 뜨거운 고체를 세척하고 냉각하여, 세척되고 냉각된 고체를 생성하는 단계로서, 여기서 적어도 하나의 조성 파라미터가 조절되는, 단계; 및

[0610] (k) 적어도 약 50 중량%의 탄소를 포함하는 바이오카본 펠릿을 회수하는 단계

[0611] 를 포함한다.

[0612] 일부 공정 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 적어도 약 70 중량%의 탄소, 적어도 약 80 중량%의 탄소, 또는 적어도 약 90 중량%의 탄소를 포함한다.

[0613] 일부 공정 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 적어도 약 50 중량%의 고정 탄소, 적어도 약 75 중량%의 고정 탄소, 또는 적어도 약 90 중량%의 고정 탄소를 포함한다.

[0614] 탄소는 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50%, 적어도 90%, 적어도 95%, 또는 완전히 재생 가능할 수 있다. 일부 실시형태에서, 탄소의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정은 ASTM D6866을 사용한다.

[0615] 특정 공정에서, 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 약 75 중량% 내지 약 94 중량%의 탄소, 약 3 중량% 내지 약 15 중량%의 산소, 및 약 1 중량% 내지 약 10 중량%의 수소를 포함한다.

[0616] 일부 공정에서, 바이오제닉 시약은 단계 (b)에서 적어도 약 10 중량%, 15 중량%, 20 중량%, 25 중량%, 30 중량%, 35 중량%, 또는 40 중량%의 수분을 포함한다. 수분 함량이 적어도 40 중량%이면, 바이오카본 펠릿은 여전히 제조될 수 있지만, 펠릿 밀도는 열등할 것으로 예상된다(많은 응용 분야에서 너무 낮음). 일부 실시형태에서, 단계 (c), 단계 (d), 또는 단계 (e)는 단계 (b)의 수분보다 낮은 수분에서 수행된다. 예를 들어, 단계 (f)가 수행될 때, 건조는 단계 (b)의 수분보다 낮은 수분을 초래할 수 있고, 선택적으로 단계 (c), 단계 (d) 또는 단계 (e)의 수분보다 낮은 수분을 초래할 수 있다.

[0617] 일부 실시형태에서, 단계 (f)는 단계 (e) 후에 수행된다. 이들 또는 다른 실시형태에서, 단계 (f)는 단계 (e)와 통합된다. 예를 들어, 펠릿화 유닛은 펠릿이 형성될 때 펠릿으로부터 수분이 방출되도록 허용할 수 있는데, 즉, 펠릿화 유닛은 건조기로서도 기능할 수 있다. 특정 실시형태에서, 일정량의 건조가 펠릿화 동안 발생하고, 추가 건조는 건조 유닛에서 또는 주변 조건 하에서와 같이 펠릿화 후에 발생한다.

[0618] 일부 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 단계 (c) 동안 건조되지 않는다. 이들 또는 다른 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 단계 (d) 동안 건조되지 않는다. 이들 또는 다른 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 단계 (e) 동안

건조되지 않는다.

[0619] 바이오카본 펠릿은 약 1 중량% 내지 약 30 중량%의 수분, 예컨대 약 5 중량% 내지 약 15 중량%의 수분, 약 2 중량% 내지 약 10 중량%의 수분, 또는 약 0.1 중량% 내지 약 1 중량%의 수분을 포함할 수 있다.

[0620] 일부 공정에서, 단계 (b)는 약 250℃ 내지 약 1250℃, 예컨대 약 300℃ 내지 약 700℃로부터 선택된 열분해 온도에서 수행된다. 일부 공정에서, 단계 (b)는 약 10초 내지 약 24시간으로부터 선택된 열분해 시간 동안 수행된다. 다른 가능한 열분해 조건은 본 명세서에서 나중에 설명된다.

[0621] 단계 (c)는 해머 밀, 압출기, 마찰 밀, 디스크 밀, 핀 밀, 볼 밀, 콘 크러셔(cone crusher), 조 크러셔(jaw crusher), 또는 이들의 조합으로부터 선택되는 기계적-처리 장치를 사용할 수 있다.

[0622] 일부 공정에서, 단계 (c) 및 단계 (d)는 통합된다. 예를 들어, 결합제는 해머 밀 또는 압출기, 또는 기타 기계적-처리 장치에 직접 공급될 수 있다.

[0623] 바이오카본 펠릿은 약 2 중량% 내지 약 25 중량%의 결합제, 예컨대 약 5 중량% 내지 약 20 중량%의 결합제, 또는 약 1 중량% 내지 약 5 중량%의 결합제를 포함할 수 있다. 결합제는 유기 또는 무기일 수 있다.

[0624] 결합제는 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 셀룰로오스, 셀룰로오스 에테르, 카복시메틸 셀룰로오스, 셀룰로오스 에스테르, 헤미셀룰로오스, 메틸셀룰로오스, 키토산, 리그닌, 락토스, 수크로스, 덱스트로스, 말토덱스트린, 바나나 가루, 밀가루, 밀 전분, 콩가루, 옥수수 가루, 목분, 콜타르, 석탄 미분, 메트 코크스, 아스팔트, 콜타르 피치, 석유 피치, 역청, 열분해 타르, 길소나이트, 벤토나이트 점토, 붕사, 석회석, 석회, 왁스, 식물성 왁스, 베이킹 소다, 베이킹 파우더, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 철광석 정광, 실리카 흄, 석고, 포틀랜드 시멘트, 구아 검, 폴리비돈, 폴리아크릴아미드, 폴리락타이드, 페놀-포름알데히드 수지, 식물성 수지, 재활용 섕글, 재활용 타이어, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택될 수 있다. 특정 공정에서, 결합제는 전분, 가교 전분, 전분 중합체, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택된다.

[0625] 단계 (e)는 압출기, 링 다이 펠릿 밀, 플랫 다이 펠릿 밀, 롤 압착기, 롤 브리켓터(roll briquetter), 습식 응집 밀, 건식 응집 밀, 또는 이들의 조합으로부터 선택되는 펠릿화 장치를 사용할 수 있다.

[0626] 일부 공정에서, 단계 (d) 및 단계 (e)는 통합된다. 예를 들어, 결합제는 펠릿화 유닛에 직접 도입할 수 있다. 단계 (d)와 단계 (e)가 개별적으로 수행되는 경우, 결합제는 탄소를 포함하는 입자와 조합하여 탄소-결합제 혼합물을 형성한 후 탄소-결합제 혼합물을 펠릿화하도록 구성된 유닛에 그러한 혼합물을 도입한다.

[0627] 본 발명의 일부 실시형태에서, 바이오카본 펠릿은 더 작은 물체를 만들기 위한 출발 물질로서 사용되며, 이는 "펠릿"이 기하학적 구조를 제한하지 않기 때문에 바이오카본 펠릿으로도 지칭될 수 있다. 예를 들어, 평균 펠릿 직경이 10 ㎜인 초기 바이오카본 펠릿을 제조할 수 있다. 이어서, 이러한 초기 바이오카본 펠릿은 (예를 들어, 해머 밀 사용하는) 다양한 기계적 수단을 사용하여 파쇄할 수 있다. 파쇄된 펠릿은 스크리닝과 같이 크기에 따라 분리될 수 있다. 이러한 방식으로, 평균 펠릿 직경이, 예를 들어, 약, 적어도 약, 또는 최대 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000 또는 5000 미크론인 더 작은 바이오카본 펠릿이 생성될 수 있다. 더 작은 바이오카본 펠릿의 평균 펠릿 직경은 결합제와 함께 펠릿을 만드는 데 사용된 초기 탄소를 포함하는 입자의 평균 입자 직경보다 클 수 있다.

[0628] 바이오카본 펠릿을 파쇄하여 더 작은 바이오카본 펠릿을 생성하는 경우, 파쇄 (및 선택적으로 스크리닝) 단계는 잠재적으로 산업용 현장을 포함하여 단계 (e)와 통합될 수 있거나, 단계(e)를 따를 수 있거나, 단계 (f)와 통합할 수 있거나, 단계 (f)를 따를 수 있다. 더 작은 바이오카본 펠릿을 생성하기 위한 선택적인 단계는 해머 밀, 마찰 밀, 디스크 밀, 핀 밀, 볼 밀, 콘 크러셔, 조 크러셔, 암석 크러셔, 또는 이들의 조합으로부터 선택되는 파쇄 장치를 사용할 수 있다.

[0629] 다양한 공정 실시형태에서, 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.

[0630] 다양한 공정에서, 공정 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 선택되

고 최적화된다.

[0631] 일부 공정에서, 바이오카본 펠릿은 적어도 80%, 적어도 90%, 또는 적어도 95%의 펠릿 내구성 지수를 특징으로 한다.

[0632] 일부 실시형태에서, 공정은 하드그로브 분쇄성 지수를 사전 선택하는 단계, 사전 선택된 하드그로브 분쇄성 지수에 기초하여 공정 조건을 조정하는 단계, 및 바이오카본 펠릿에 대해 사전 선택된 하드그로브 분쇄성 지수의 ± 20% 이내를 달성하는 단계를 포함하며, 여기서 공정 조건을 조정하는 단계는 열분해 온도, 열분해 시간, 기계적-처리 조건, 펠릿화 조건, 결합제 유형, 결합제 농도, 결합 조건 및 건조 중 하나 이상을 조정하는 것을 포함한다. 특정 실시형태의 공정은 바이오카본 펠릿에 대해 사전 선택된 하드그로브 분쇄성 지수의 ± 10% 이내 또는 ± 5% 이내에서 달성할 수 있다.

[0633] 본원에 개시된 바이오카본 펠릿은 다양한 다운스트림 용도를 갖는다. 바이오카본 펠릿은 저장, 판매, 배송 및 다른 제품으로 전환될 수 있다. 바이오카본 펠릿은 금속 제조 시 용광로와 같은 로에 공급하기 위해 분쇄, 파쇄 또는 밀링할 수 있다. 바이오카본 펠릿은 금속 제조 시 테크노레드로(Tecnored furnace)와 같은 로에 직접 공급될 수 있다. 바이오카본 펠릿은 보일러에서 사용하기 위해 분쇄하여 탄소를 연소시키고 전기 에너지 또는 열을 생성할 수 있다. 바이오카본 펠릿은 바이오카본 펠릿으로부터 합성가스를 제조하기 위한 목적으로 가스화기 내에 공급하기 위해 분쇄, 파쇄 또는 밀링될 수 있다.

[0634] 일부 실시형태에서, 바이오카본 펠릿은 직접적으로 또는 분쇄, 파쇄, 밀링, 또는 달리 입자 크기를 감소시키는 단계 이후에 로에 공급되는 네거티브-물-집약도 및 탄소-네거티브 야금 탄소 펠릿이다. 로는 용광로, 탑-가스 재활용 용광로, 샤프트로(shaft furnace), 반사로(공기로(air furnace)라고도 알려져 있음), 도가니로, 머플링로, 레토르트로, 플래쉬로, 테크노레드로, 오스멜트로(Ausmelt furnace), ISASMELT로, 퍼들링로, Bogie 화로(Bogie hearth furnace), 연속사슬로(continuous chain furnace), 푸셔로(pusher furnace), 로터리 화로, 워킹 빔로(walking beam furnace), 전기 아크로, 유도로(induction furnace), 기본 산소로, 퍼들링로(puddling furnace), 베세머로(Bessemer furnace), 직접 환원 금속로, 또는 이들의 조합 또는 파생물일 수 있다.

[0635] 바이오 탄소 펠릿의 하드그로브 분쇄성 지수와 상관없이, 반드시 나중에 분쇄 공정을 거치는 것은 아니다. 예를 들어, 바이오카본 펠릿은 농업 응용 분야에서 직접 사용할 수 있다. 또 다른 예로서, 바이오카본 펠릿은 조경 벽과 같은 공학적 구조물에 직접 통합될 수 있다. 바이오카본 펠릿을 포함하는 구조물의 수명이 종료하면, 펠릿은 분쇄, 연소, 가스화하거나 달리 재사용 또는 재활용될 수 있다.

[0636] 열분해 공정 및 시스템

[0637] 바이오매스 공급원료를 열분해하여 탄소를 포함하는 바이오제닉 시약을 생성하기에 적합한 공정 및 시스템이 이제 더 자세히 설명될 것이다.

[0638] "열분해" 및 "열분해하다"는 일반적으로 탄소질 물질의 열 분해를 지칭한다. 열분해에서, 완전 연소에 필요한 산소(O_2 몰 기준)의 최대 10%, 5%, 1%, 0.5%, 0.1% 또는 0.01%와 같이 물질의 완전 연소에 필요한 산소보다 적은 산소가 존재한다. 일부 실시형태에서, 열분해는 산소의 부재에서 수행된다.

[0639] 열분해 동안 발생할 수 있는 예시적인 변화는 다음 중 어느 하나를 포함한다: (i) 열원으로부터의 열 전달이 공급원료 내부 온도를 증가시키고; (ii) 이러한 더 높은 온도에서 1차 열분해 반응이 시작되면 휘발성 물질을 방출하고 숯을 형성하고; (iii) 더 차가운 고체를 향한 뜨거운 휘발성 물질의 유동이 뜨거운 휘발성 물질과 더 차가운 미열분해 공급원료 사이의 열 전달을 초래하고; (iv) 공급원료의 더 차가운 부분에서 휘발성 물질의 일부가 응축된 후 2차 반응이 타르를 생성할 수 있고; (v) 경쟁에서 1차 열분해 반응이 동시에 발생하는 동안 자가 촉매 2차 열분해 반응이 진행되고; (vi) 체류 시간, 온도 및 압력 프로파일의 함수인 추가 열 분해, 개질, 수성-가스 시프트 반응(water-gas shift reaction), 자유-라디칼 재조합 또는 탈수가 또한 발생할 수 있다.

[0640] 열분해는 출발 공급원료(예를 들어, 리그노셀룰로오스계 바이오매스)를 적어도 부분적으로 탈수할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 열분해는 출발 공급원료로부터 적어도 약 50%, 75%, 90%, 95%, 99% 또는 그 이상 물을 제거한다.

[0641] 다양한 실시형태에서, 출발 바이오매스 공급원료는 침엽수 칩, 활엽수 칩, 목재 수확 잔류물, 나뭇가지, 나무 그루터기, 잎, 나무껍질, 톱밥, 옥수수, 옥수수 대, 밀, 밀짚, 벼, 볏짚, 사탕수수, 사탕수수 찌꺼기, 사탕수수 짚, 에너지 수수, 사탕무, 사탕무 펄프, 해바라기, 수수, 캐놀라, 조류, 억새풀, 알팔파, 스위치그래스, 과일, 과일 표피, 과일 줄기, 과일 껍질, 과일 피트, 야채, 야채 표피, 야채 줄기, 야채 껍질, 야채 피트, 포도 부스

러기, 아몬드 표피, 피칸 표피, 코코넛 표피, 커피 찌꺼기, 음식물 쓰레기, 상업 폐기물, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 목재 펠릿, 판지, 종이, 종이 펄프, 종이 패키징, 종이 트리밍, 식품 패키징, 건설 또는 철거 폐기물, 리그닌, 동물 거름, 도시 고형 폐기물, 도시 하수, 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택된다. 바이오매스 공급원료는 적어도 탄소, 수소, 및 산소를 포함한다.

[0642] 바이오제닉 시약은 적어도 약 50 중량%, 적어도 약 75 중량%, 또는 적어도 약 90 중량% 탄소(총 탄소)를 포함할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 약, 적어도 약, 또는 최대 약 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 또는 99 중량%의 탄소를 포함한다. 총 탄소는 고정 탄소와 휘발성 물질에 존재하는 비고정 탄소이다. 일부 실시형태에서, 성분 중량 백분율은 절대적인 기준이며, 달리 명시되지 않는 한 가정된다. 다른 실시형태에서, 성분 중량 백분율은 무수분(moisture-free) 및 무회분(ash-free)을 기준으로 한다.

[0643] 바이오제닉 시약은 적어도 약 50 중량%, 적어도 약 75 중량%, 또는 적어도 약 90 중량%의 고정 탄소를 포함할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 약, 적어도 약, 또는 최대 약 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 또는 99 중량%의 고정 탄소를 포함한다.

[0644] (바이오제닉 시약 내에서) 탄소는, 예를 들어, 적어도 약 50 중량%, 적어도 약 75 중량%, 또는 적어도 약 90 중량%의 고정 탄소일 수 있으며, 이때 나머지 탄소는 휘발성 탄소이다. 다양한 실시형태에서, 탄소는 약, 적어도 약, 또는 최대 약 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 99, 또는 100 중량%의 고정 탄소를 포함한다.

[0645] 열분해 조건은 바이오제닉 시약 및 열분해 오프-가스에 대한 원하는 조성물, 출발 공급원료, 반응기 구성 및 기타 요인에 따라 광범위하게 변할 수 있다.

[0646] 일부 실시형태에서, 다중 반응기 구역은 열분해로부터의 탄소 수율 및 생성물 품질을 최적화하는 한편 공급원료 변화 및 생성물 요구사항에 대한 유연성 및 조정성을 유지하는 방식으로 설계되고 작동된다.

[0647] 일부 실시형태에서, 온도 및 체류 시간은 상대적으로 느린 열분해 화학 반응을 달성하도록 선택된다. 이점은 잠재적으로 바이오매스 구조에 포함된 세포벽의 실질적인 보존이며, 이는 최종 생성물이 출발 바이오매스의 형상과 강도의 일부, 대부분 또는 전부를 유지할 수 있음을 의미한다. 이러한 잠재적 이점을 최대화하기 위해, 세포벽을 기계적으로 파괴하지 않거나 그렇지 않으면 바이오매스 입자를 작은 미분으로 변환하지 않는 장치를 사용할 수 있다. 다양한 반응기 구성은 아래 공정 설명에 따라 논의된다.

[0648] 또한, 공급원료가 목재 칩 또는 펠릿과 같은 밀링 또는 사이징된(sized) 공급원료인 경우, 공급원료가 신중하게 밀링 또는 사이징되는 것이 바람직할 수 있다. 신중한 초기 처리는 천연 공급원료 공급원(예를 들어, 나무)에 존재하는 강도와 세포벽 무결성을 보존하는 경향이 있을 것이다. 이것은 또한 최종 생성물이 출발 바이오매스의 형상과 강도의 일부, 대부분 또는 전부를 유지해야 하는 경우에 중요할 수 있다.

[0649] 일부 실시형태에서, 열분해 반응기의 제1 구역은 바이오매스에 "충격"을 가하지 않는 방식으로 바이오매스(또는 또 다른 탄소를 포함하는 공급원료)를 공급하도록 구성되며, 이는 세포벽을 파열시키고 고체 상의 증기 및 가스로의 빠른 분해를 개시할 것이다. 이러한 제1 구역은 온화한 열분해로서 생각될 수 있다.

[0650] 일부 실시형태에서, 열분해 반응기의 제2 구역은 1차 반응 구역으로서 구성되며, 여기에서 예열된 바이오매스는 가스 및 응축 가능한 증기를 방출하기 위해 열분해 화학을 겪어 고탄소 반응 중간체인 상당량의 고체 물질을 남긴다. 바이오매스 성분(주로 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌)은 분해되어 증기를 생성하며, 이는 기공을 통해 침투하거나 새로운 나노기공을 생성함으로써 빠져나간다. 후자의 효과는 다공성 및 표면적의 생성에 기여한다.

[0651] 일부 실시형태에서, 열분해 반응기의 제3 구역은 고탄소 반응 중간체를 수용하고 고체를 어느 정도 냉각시키기 위해 구성된다. 전형적으로, 제3 구역은 제2 구역보다 온도가 낮을 것이다. 제3 구역에서, 화학 및 물질 수송은 놀라울 정도로 복잡할 수 있다. 임의의 특정 이론 또는 제안된 메커니즘에 의해 제한되지는 않지만, 2차 반응이 제3 구역에서 발생할 수 있는 것으로 여겨진다. 기본적으로, 가스 상에 있는 탄소를 포함하는 성분은 분해되어 추가적인 고정 탄소를 형성하거나 탄소에 흡착될 수 있다. 따라서, 일부 실시형태에서, 최종 탄소질 물질은 단순히 가공 단계의 고체 탈휘발 잔류물이 아니라, 예컨대 탄소를 형성할 수 있는 유기 증기(예를 들어, 타르)의 분해에 의해 가스 상으로부터 침착된 추가적인 탄소를 포함한다.

[0652] 특정 실시형태는 최종 생성물의 탄소 함량을 향상시키기 위해 냉각된 탄소가 탄소를 포함하는 종을 포함하는 환경에 노출되는 별도의 유닛을 포함함으로써 추가적인 탄소 형성의 개념을 확장한다. 이 유닛의 온도가 열분해 온도보다 낮을 때, 추가적인 탄소는 추가적인 고정 탄소이기보다는 흡착된 탄소질 종의 형태일 것으로

예상된다.

[0653] 임의의 특정 구역에 존재하는 하나 이상의 상의 중간 투입물 및 산출물(퍼지 또는 프로브) 스트림, 다양한 질량 및 에너지 재활용 방식, 공정의 어느 곳에서나 도입될 수 있는 다양한 첨가제, 생성물 분포를 맞춤화하기 위해 반응 및 분리 조건 둘 모두를 포함하는 공정 조건의 조절 가능성 등에 대한 많은 옵션이 있다. 구역별 투입물 및 산출물 스트림은, 예컨대 FTIR 샘플링 및 동적 공정 조정을 통해 우수한 공정 모니터링 및 제어를 가능하게 한다.

[0654] 일부 실시형태는 빠른 열분해를 사용하지 않으며, 일부 실시형태는 느린 열분해를 사용하지 않는다. 놀랍게도 고정 탄소 분율이 매우 높은 조성물을 포함하는 고품질 탄소 물질이 개시되는 공정 및 시스템으로부터 얻어질 수 있다.

[0655] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약을 제조하기 위한 열분해 공정은 하기 단계를 포함한다:

[0656] (a) 바이오매스를 포함하는, 탄소를 포함하는 공급원료를 제공하는 단계;

[0657] (b) 선택적으로 공급원료를 건조시켜 공급원료 내에 포함된 수분의 적어도 일부를 제거하는 단계;

[0658] (c) 선택적으로 공급원료를 탈기시켜 공급원료에 포함된 격자간(interstitial) 산소(존재하는 경우)의 적어도 일부를 제거하는 단계;

[0659] (d) 약 250℃ 내지 약 700℃로부터 선택된 적어도 하나의 온도에서 적어도 10분 동안 실질적으로 불활성 가스 상의 존재 하에서 공급원료를 열분해하여 뜨거운 열분해된 고체, 응축성 증기 및 비응축성 가스를 생성하는 단계;

[0660] (e) 뜨거운 열분해된 고체로부터 응축성 증기의 적어도 일부 및 비응축성 가스의 적어도 일부를 분리하는 단계;

[0661] (f) 뜨거운 열분해된 고체를 냉각시켜 냉각된 열분해된 고체를 생성하는 단계; 및

[0662] (g) 냉각된 열분해된 고체의 적어도 일부를 포함하는 고탄소 바이오제닉 시약을 회수하는 단계.

[0663] 본 개시내용의 목적상 "바이오매스"는 모든 바이오제닉 공급원료, 또는 바이오제닉 공급원료와 비-바이오제닉 공급원료의 혼합물로 해석될 것이다. 기본적으로, 바이오매스는 적어도 탄소, 수소 및 산소를 포함한다. 본 발명의 방법 및 장치는 다양한 유형, 크기 및 수분 함량을 갖는 광범위한 공급원료를 수용할 수 있다.

[0664] 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 고형 폐기물을 포함한다. 바이오매스를 사용하는 본 발명의 다양한 실시형태에서, 바이오매스 공급원료는 목재 수확 잔류물, 침엽수 칩, 활엽수 칩, 나뭇가지, 나무 그루터기, 옹이, 잎, 나무껍질, 톱밥, 규격 외 종이 펄프, 셀룰로오스, 옥수수, 옥수수 스토버, 밀짚, 볏짚, 사탕수수 찌꺼기, 스위치그래스, 억새풀, 동물 거름, 도시 쓰레기, 도시 하수, 상업 폐기물, 포도 부스러기, 아몬드 표피, 피칸 표피, 코코넛 표피, 커피 찌꺼기, 잔디 펠릿, 건초 펠릿, 나무 펠릿, 판지, 종이, 탄수화물, 플라스틱 또는 천으로부터 선택되는 물질을 포함할 수 있다. 당업자는 공급원료 옵션이 사실상 제한되지 않는다는 것을 쉽게 이해할 것이다.

[0665] 본 발명은 또한 바이오매스와 화석 연료(예컨대 바이오매스/석탄 블렌드)의 혼합물에 사용될 수 있는데, 이는 최종 생성물의 탄소 집약도가 순수한 바이오매스 공급원료의 경우와 같이 낮지 않지만 순수한 화석-연료 공급원료가 사용되는 경우보다 낮을 것이라는 것을 인식한다. 일부 실시형태에서, 공급원료는 석탄, 셰일유, 원유, 아스팔트, 또는 원유 가공으로부터의 고체(예컨대 페트코크스)를 포함한다. 공급원료는 폐 타이어, 재활용 플라스틱, 재활용 종이, 건설 폐기물, 해체 폐기물, 및 기타 폐기물 또는 재활용 물질을 포함할 수 있다.

[0666] 특정 공급원료 또는 공급원료들의 선택은 기술적으로 중요한 것으로 간주되지 않지만 경제적인 공정을 선호하는 경향이 있는 방식으로 수행된다. 전형적으로, 선택된 공급원료에 관계없이, (일부 실시형태에서) 바람직하지 않은 물질을 제거하기 위한 스크리닝이 있을 수 있다. 공급원료는 선택적으로 가공 전에 건조될 수 있다. 탄소를 포함하는 공급원료는 트럭, 기차, 선박, 바지선, 트랙터 트레일러 또는 임의의 기타 차량이나 운송 수단과 같은 알려진 모든 수단으로 운송될 수 있다.

[0667] 사용된 공급원료는 다양한 입자 크기 또는 형상으로 제공되거나 처리될 수 있다. 예를 들어, 공급 물질은 미세 분말, 또는 미세 입자와 조악한 입자의 혼합물일 수 있다. 공급 물질은 목재 칩 또는 다른 형태의 목재(예를 들어, 원형, 원통형, 정사각형 등)와 같은 물질의 큰 조각 형태일 수 있다. 일부 실시형태에서, 공급 물질은

펠릿, 또는 함께 압착되거나 결합제와 같이 다른 방식으로 결합된 다른 응집된 형태의 입자를 포함한다.

[0668] 크기 감소는 비용이 많이 들고 에너지 집약적인 공정일 수 있음에 주목한다. 열분해된 물질은 훨씬 적은 에너지 투입으로 사이징될 수 있다. 따라서, 공급원료가 아닌 생성물의 입자 크기를 감소시키는 것이 바람직할 수 있다. 이것은 공정이 미세한 출발 물질을 필요로 하지 않고 처리 동안에 반드시 어떠한 상당한 입자 크기 감소도 없기 때문에 본 발명에서 옵션이다. 매우 큰 조각의 공급원료를 처리하는 능력은 본 발명의 상당한 경제적 이점이다. 특히, 고탄소 생성물의 일부 시장 응용 분야는 실제로 큰 크기(예를 들어, 센티미터 정도)를 필요로 하므로, 일부 실시형태에서는 큰 조각이 공급되고, 제조되고, 판매된다.

[0669] 원통 형태와 같이 구조적 무결성을 갖는 최종 탄소질 바이오제닉 시약을 제조하는 것이 바람직한 경우, 본 발명의 맥락에서 적어도 두 가지 옵션이 있다. 먼저, 공정으로부터 생성된 물질을 수집한 다음, 원하는 형태로 기계적으로 추가 가공할 수 있다. 예를 들어, 생성물은 결합제로 압착되거나 펠릿화될 수 있다. 제2 옵션은 최종 생성물에 대해 원하는 크기 또는 형상을 일반적으로 갖는 공급 물질이 사용될 수 있고, 공급 물질의 기본 구조를 파괴하지 않는 가공 단계를 사용하는 것이다. 일부 실시형태에서, 공급물 및 생성물은 구형, 원통형 또는 입방체와 같은 유사한 기하학적 형상을 갖는다.

[0670] 공정 전반에 걸쳐 공급 물질의 대략적인 크기를 유지하는 능력은 제품 강도가 중요할 때 유익하다. 또한, 이것은 높은 고정-탄소 물질을 펠릿화하는 어려움과 비용을 피한다.

[0671] 알 수 있는 바와 같이, 일정 범위의 수분 수준을 갖는 출발 공급 물질이 제공될 수 있다. 일부 실시형태에서, 공급 물질은 이미 충분히 건조되어 열분해 전에 추가로 건조될 필요가 없을 수 있다. 전형적으로, 일반적으로 수분을 포함하고 열분해 반응기에 도입하기 전에 건조 단계를 통해 바이오매스를 공급할 상업적 바이오매스 공급원을 사용하는 것이 바람직할 것이다. 그러나, 일부 실시형태에서, 건조된 공급원료가 사용될 수 있다.

[0672] 열분해 반응기에서 상대적 저산소 환경, 예컨대 약 또는 최대 약 10 mol%, 5 mol%, 4 mol%, 3 mol%, 2 mol%, 1.5 mol%, 1 mol%, 0.5 mol%, 0.2 mol%, 0.1 mol%, 0.05 mol%, 0.02 mol%, 또는 0.01 mol%의 가스 상의 O_2를 제공하는 것이 바람직하다. 먼저, 안전상의 이유로 열분해 반응기에서 제어되지 않은 연소를 피해야 한다. 일정량의 총 탄소가 CO_2로 산화될 수 있으며, 발열 산화로부터 방출된 열은 흡열 열분해 화학을 도울 수 있다. 합성 가스로의 부분 산화를 포함하여 탄소가 다량 산화되면 고체로의 탄소 수율이 감소할 것이다.

[0673] 실질적으로 말하자면, 반응기에서 엄격하게 무산소 환경을 달성하는 것은 어려울 수 있다. 이러한 한계에 접근할 수 있으며, 일부 실시형태에서, 반응기에는 가스 상에서 분자 산소가 실질적으로 없다. 열분해 반응기에 산소가 거의 또는 전혀 존재하지 않는 것을 보장하기 위해, 공급 물질이 반응기에 도입되기 전에 공기를 공급 물질로부터 제거하는 것이 바람직할 수 있다. 공급원료에서 공기를 제거하거나 감소시키는 다양한 공정이 있다.

[0674] 일부 실시형태에서, 건조 전 또는 후에 공급원료가 흡착된 산소를 제거하고 공급원료 기공에 침투하여 기공으로부터 산소를 제거할 수 있는 또 다른 가스의 존재 하에 운반되는 탈기 유닛이 사용된다. 본질적으로 21 부피% 미만의 O_2를 갖는 모든 가스가 다양한 효과에서 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 질소가 사용된다. 일부 실시형태에서, CO 또는 CO_2가 사용된다. 질소와 소량의 산소의 혼합물과 같은 혼합물이 사용될 수 있다. 탈기 가스에 증기가 존재할 수 있지만, 공급물에 상당한 수분을 다시 첨가하는 것은 피해야 한다. 탈기 유닛으로부터의 유출물은 (대기 또는 배출 처리 유닛으로) 퍼지되거나 재활용될 수 있다.

[0675] 원칙적으로, 고체로부터 제거된 산소가 이제 고도로 희석될 것이기 때문에 탈기 유닛으로부터의 유출물(또는 그 일부)은 열분해 반응기 자체로 도입될 수 있었다. 이러한 실시형태에서, 역류 구성으로 작동될 때, 탈기 유출 가스를 반응기의 마지막 구역으로 도입하는 것이 유리할 수 있다.

[0676] 다양한 유형의 탈기 유닛이 사용될 수 있다. 건조가 수행되어야 하는 경우, 존재하는 수분으로부터 가용성 산소를 스크러빙하는 비효율성으로 인해 탈기 전에 건조를 수행할 수 있다. 특정 실시형태에서, 건조 및 탈기 단계는 단일 유닛으로 조합되거나, 건조 동안 어느 정도의 탈기가 달성된다.

[0677] 선택적으로 건조되고 선택적으로 탈기된 공급 물질은 직렬 또는 병렬로 열분해 반응기 또는 다중 반응기에 도입된다. 공급 물질은, 예를 들어, 스크류 공급기 또는 잠금 호퍼를 포함하는 임의의 공지된 수단을 사용하여 도입될 수 있다. 일부 실시형태에서, 물질 공급 시스템은 에어 나이프를 포함한다.

[0678] 단일 반응기가 사용되는 경우, 다중 구역이 존재할 수 있다. 2개, 3개, 4개 또는 그 이상의 구역과 같은 다중 구역은 전체 공정 성능을 조절하기 위해 온도, 고체 체류 시간, 가스 체류 시간, 가스 조성, 유동 패턴 또는 압

력의 개별적 제어를 가능하게 할 수 있다.

[0679] "구역"에 대한 언급은 단일 물리적 유닛, 물리적으로 별도의 유닛 또는 이들의 임의의 조합 내의 공간 영역을 포함하는 것으로 광범위하게 해석될 것이다. 연속 반응기의 경우, 구역의 구분은 반응기 내의 플라이트의 존재 또는 별개의 구역에 열을 제공하기 위한 별도의 가열 요소와 같은 구조와 관련될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 연속 반응기에서 구역의 구분은 뚜렷한 온도, 유체 유동 패턴, 고체 유동 패턴, 반응 정도 등과 같은 기능과 관련될 수 있다. 단일 배치 반응기에서, "구역"은 공간이 아닌 시간에서의 작동 체제이다. 다중 배치 반응기가 또한 사용될 수 있다.

[0680] 한 구역에서 또 다른 구역으로 갑작스러운 전이가 반드시 있는 것은 아니라는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 예열 구역과 열분해 구역 사이의 경계는 다소 임의적일 수 있으며; 일정량의 열분해는 예열 구역의 일부에서 일어날 수 있고, 일정량의 "예열"은 열분해 구역에서 계속 일어날 수 있다. 반응기에서의 온도 프로파일은 전형적으로 반응기 내의 구역 경계를 포함하여 연속적이다.

[0681] 일부 실시형태는 예열 또는 온화한 열분해 조건 하에서 작동되는 제1 구역을 사용한다. 제1 구역의 온도는 약 150℃ 내지 약 500℃, 예컨대 약 300℃ 내지 약 400℃에서 선택될 수 있다. 제1 구역의 온도는 세포벽을 파열시키고 고체 상의 증기 및 가스로의 빠른 분해를 개시하는 바이오매스 물질에 충격을 줄 정도로 높지 않다.

[0682] 본 명세서에서 구역 온도에 대한 모든 참조는 존재하는 벌크 고체, 가스 상 또는 반응기 벽(공정 측면에서)에 적용될 수 있는 온도를 포함하는 비제한적 방식으로 해석되어야 한다. 시간적으로(즉, 시동 후 또는 과도 현상으로 인해) 축 방향 및 방사 방향 모두에서 각 구역에 온도 구배가 있을 것임이 이해될 것이다. 따라서, 구역 온도에 대한 참조는 실제 동역학에 영향을 줄 수 있는 평균 온도 또는 기타 유효 온도에 대한 참조일 수 있다. 온도는 열전대 또는 기타 온도 탐침으로 직접 측정하거나 다른 수단으로 간접적으로 측정하거나 추정할 수 있다.

[0683] 제2 구역 또는 일반적으로 1차 열분해 구역은 열분해 또는 탄화 조건 하에서 작동된다. 제2 구역의 온도는 약 250℃ 내지 약 700℃, 예컨대 약, 또는 적어도 약, 또는 최대 약 300℃, 350℃, 400℃, 450℃, 500℃, 550℃, 600℃ 또는 650℃로부터 선택될 수 있다. 이 구역 내에서, 예열된 바이오매스는 열분해 화학을 겪어 가스 및 응축 가능한 증기를 방출하고, 고탄소 반응 중간체로서 고체 물질의 상당한 양을 남긴다. 바이오매스 성분(주로 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌)은 분해되어 증기를 생성하며, 이는 기공을 통해 침투하거나 새로운 기공을 생성함으로써 빠져나간다. 온도는 적어도 제2 구역의 체류 시간뿐만 아니라 공급원료의 특성 및 원하는 생성물 특성에 따라 달라질 것이다.

[0684] 제3 구역 또는 냉각 구역은 고탄소 반응 중간체를 다양한 정도로 냉각시키기 위해 작동된다. 최소한 제3 구역의 온도는 제2 구역의 온도보다 낮아야 한다. 제3 구역의 온도는 약 100℃ 내지 약 550℃, 예컨대 약 150℃ 내지 약 350℃로부터 선택될 수 있다.

[0685] 냉각 구역에서 화학 반응이 계속 발생할 수 있다. 임의의 특정 이론에 의해 제한되지는 않지만, 2차 열분해 반응이 제3 구역에서 개시될 수 있는 것으로 여겨진다. 가스 상에 있는 탄소를 포함하는 성분은 다(제3 구역의 온도 감소로 인해) 응축될 수 있. 그러나, 온도는 충분히 높게 유지되어 응축된 액체로부터 추가적인 고정 탄소를 형성하거나(2차 열분해) 적어도 흡착된 종과 고정 탄소 사이에 결합을 형성할 수 있는 반응을 촉진한다. 발생할 수 있는 한 가지 예시적인 반응은 일산화탄소를 이산화탄소와 고정 탄소로 전환시키는 부두아(Boudouard) 반응이다.

[0686] 반응기 구역의 체류 시간은 변할 수 있다. 시간과 온도의 상호작용이 있어, 원하는 양의 열분해에 대해, 더 높은 온도는 더 낮은 반응 시간을 허용할 수 있으며 그 반대의 경우도 마찬가지이다. 연속 반응기(구역)에서의 체류 시간은 부피를 부피 유량으로 나눈 것이다. 배치 반응기에서의 체류 시간은 반응 온도로 가열한 후의 배치 반응 시간이다.

[0687] 다중상(multiphase) 반응기에는 여러 체류 시간이 있음을 인식해야 한다. 현재 상황에서, 각 구역에는 고체 상과 증기 상 둘 모두의 체류 시간(및 체류 시간 분포)이 있을 것이다. 다중 구역을 사용하고 주어진 처리량을 가진 주어진 장치의 경우, 구역을 가로지르는 체류 시간은 일반적으로 고체 측에서 결합될 것이지만, 체류 시간은 개별 구역에서 다중 입구 및 출구 포트가 사용될 때 증기 측에서 결합되지 않을 수 있다. 고체 및 증기 체류 시간은 분리된다.

[0688] 예열 구역의 고체 체류 시간은 약 5분 내지 약 60분, 예컨대 약 10, 20, 30, 40 또는 50분으로부터 선택될 수 있다. 온도에 따라, 바이오매스가 원하는 예열 온도에 도달할 수 있도록 충분한 시간이 필요하다. 입자 유형 및

크기, 물리적 장치 및 가열 파라미터에 따라 달라지는 열 전달 속도는 고체가 원하는 예열 온도에 도달하도록 하는 데 필요한 최소 체류 시간을 좌우할 것이다. 추가 시간은 일반적으로 예열 구역에서 어느 정도의 온화한 열분해가 의도되지 않는 한, 더 높은 자본 비용에 기여하므로 바람직하지 않다.

[0689] 열분해 구역의 고체 체류 시간은 약 10분 내지 약 120분, 예컨대 약 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 또는 100분으로부터 선택될 수 있다. 이 구역에서의 열분해 온도에 따라, 필요한 열 전달 후 탄화 화학이 발생할 수 있도록 하는 충분한 시간이 있어야 한다. 약 10분 미만의 시간 동안, 많은 양의 비-탄소 원소를 제거하려면 온도가 700℃ 초과와 같이 상당히 높아야 한다. 이 온도는 빠른 열분해와 탄소 자체로부터 유도되는 증기 및 가스의 생성을 촉진할 것이며, 이는 의도한 생성물이 고체 탄소일 때 피해야 한다.

[0690] 정적 시스템에서는 특정 시간에 실질적으로 도달할 수 있는 평형 전환이 있을 것이다. 특정 실시형태에서와 같이, 연속적인 휘발성 물질 제거와 함께 증기가 고체 위로 연속적으로 흐를 때, 반응 속도가 0에 접근할 때까지 계속되는 열분해 및 탈휘발을 허용하기 위해 평형 제약이 제거될 수 있다. 더 긴 시간은 남아있는 저항성(recalcitrant) 고체를 실질적으로 변경하는 경향이 없을 것이다.

[0691] 냉각 구역의 고체 체류 시간은 약 5분 내지 약 60분, 예컨대 약 10, 20, 30, 40 또는 50분으로부터 선택될 수 있다. 이 구역에서의 냉각 온도에 따라, 탄소 고체가 원하는 온도로 냉각될 수 있도록 하는 충분한 시간이 있어야 한다. 냉각 속도와 온도는 탄소가 냉각되도록 하는 데 필요한 최소 체류 시간을 좌우할 것이다. 어느 정도의 2차 열분해가 바람직하지 않는 한, 추가 시간은 바람직하지 않다.

[0692] 상기 논의된 바와 같이, 증기 상의 체류 시간은 개별적으로 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 10분으로부터 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, 또는 15분으로부터 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 10분으로부터 선택될 수 있다. 짧은 증기 체류 시간은 시스템으로부터의 휘발성 물질의 빠른 스위핑(sweeping)을 촉진하는 한편, 더 긴 증기 체류 시간은 증기 상의 성분과 고체 상의 반응을 촉진한다.

[0693] 반응기 및 전체 시스템의 작동 모드는 연속식, 반-연속식, 배치식, 또는 이들의 임의의 조합 또는 변형일 수 있다. 일부 실시형태에서, 반응기는 고체 및 증기가 실질적으로 반대 방향으로 유동하는 연속적인 역류 반응기이다. 반응기는 또한 배치식으로 작동될 수 있지만 배치식 용기로부터 가스 상을 주기적으로 도입 및 제거하는 것과 같이 시뮬레이션된 증기의 역류 유동으로 작동될 수 있다.

[0694] 다양한 유동 패턴이 요구되거나 관찰될 수 있다. 다중 반응기 구역에서 다중상을 포함하는 화학 반응 및 동시 분리로, 유체 역학은 꽤 복잡할 수 있다. 전형적으로, 고체 유동은 플러그 유동(방사형 차원에서 잘 혼합됨)에 접근할 수 있는 반면, 증기 유동은 완전히 혼합된 유동(방사형 및 축 차원 둘 모두에서 빠른 수송)에 접근할 수 있다. 증기를 위한 여러 입구 및 출구 포트는 전체 혼합에 기여할 수 있다.

[0695] 각 구역에서의 압력은 개별적으로 선택되고 제어될 수 있다. 각 구역에서의 압력은 약 101.3 kPa(정상 대기압)와 같이 약 1 kPa 내지 약 3000 kPa로부터 독립적으로 선택될 수 있다. 대기압보다 낮은 구역 압력이 필요할 때 가스를 인출하기 위한 진공 포트를 포함하여 다중 가스 입구 및 출구가 사용될 때 독립적인 구역 압력 제어가 가능하다.

[0696] 공정은 일부 실시형태에서 대기압에서 편리하게 작동될 수 있다. 기계적 단순성에서 향상된 안전성에 이르기까지 대기압에서의 작동과 관련된 많은 이점이 있다. 특정 실시형태에서, 열분해 구역은 약 90 kPa, 95 kPa, 100 kPa, 101 kPa, 102 kPa, 105 kPa, 또는 110 kPa(절대 압력)의 압력에서 작동된다.

[0697] 진공 작동(예를 들어, 10-100 kPa)은 시스템으로부터의 휘발성 물질의 빠른 제거를 촉진한다. 더 높은 압력(예를 들어, 100-1000 kPa)은 오프-가스가 고압 작업에 공급될 때 유용할 수 있다. 상승된 압력은 또한 열 전달, 화학 또는 분리를 촉진하는 데 유용할 수 있다.

[0698] 뜨거운 열분해된 고체로부터 응축성 증기의 적어도 일부 및 비응축성 가스의 적어도 일부를 분리하는 단계는 반응기 자체에서 또는 별개의 분리 유닛을 사용하여 달성될 수 있다. 실질적으로 불활성인 스윕 가스가 하나 이상의 구역에 도입될 수 있다. 이어서, 응축성 증기 및 비응축성 가스는 스윕 가스의 구역(들)으로부터 반응기 밖으로 운반된다.

[0699] 스윕 가스는, 예를 들어, N_2, Ar, CO, CO_2, H_2, H_2O, CH_4, 기타 경질 탄화수소 또는 이들의 조합일 수 있다. 스

윕 가스는 도입 전에 먼저 예열되거나 가열된 공급원으로부터 얻은 경우, 가능하게는 냉각될 수 있다.

[0700] 스윕 가스는 휘발성 성분이 응축되거나 추가 반응되기 전에 시스템으로부터 제거함으로써 보다 철저하게 휘발성 성분을 제거한다. 스윕 가스는 주어진 공정 온도에서 단순히 휘발로부터 얻을 수 있는 것보다 더 빠른 속도로 휘발성 물질이 제거되게 할 수 있다. 또는, 스윕 가스의 사용은 특정 양의 휘발성 물질을 제거하는 데 더 온화한 온도가 사용될 수 있게 한다. 스윕 가스가 휘발성 물질 제거를 개선하는 이유는 분리 메커니즘이 단순히 상대적인 휘발성이 아니라 스윕 가스에 의해 보조되는 액체/증기 상 분리(disengagement)이기 때문이다. 스윕 가스는 휘발의 물질-전달 한계를 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 주어진 휘발성 종을 지속적으로 고갈시킴으로써 열역학적 한계를 감소시켜 더 많이 증발시켜 열역학적 평형을 달성하게 할 수 있다.

[0701] 일부 실시형태는 높은 고정 탄소를 갖는 생성물을 제조하기 위해 후속 가공 단계로부터 휘발성 유기 탄소가 적재된 가스를 제거한다. 제거하지 않으면, 휘발성 탄소는 열분해된 고체에 흡착되거나 흡수될 수 있으므로 원하는 탄소의 더 순수한 형태를 달성하기 위해 추가 에너지(비용)를 필요로 한다. 증기를 빠르게 제거함으로써 열분해 고체에서 다공성이 향상될 수 있다는 것이 또한 추측된다. 일부 생성물에는 더 높은 다공성이 바람직하다.

[0702] 특정 실시형태에서, 대기압과 같은 상대적으로 낮은 공정 압력과 함께 스윕 가스는 많은 양의 불활성 가스가 필요 없이 빠른 증기 제거를 제공한다.

[0703] 일부 실시형태에서, 스윕 가스는 공급원료의 유동 방향에 대해 역류로 유동한다. 다른 실시형태에서, 스윕 가스는 공급원료의 유동 방향과 병류로 유동한다. 일부 실시형태에서, 고체의 유동 패턴은 플러그 유동에 접근하는 한편, 스윕 가스의 유동 패턴 및 가스 상은 일반적으로 하나 이상의 구역에서 완전히 혼합된 유동에 접근한다.

[0704] 스윕은 반응기 구역들 중 임의의 하나 이상에서 수행될 수 있다. 일부 실시형태에서, 스윕 가스는 냉각 구역으로 도입되고 냉각 또는 열분해 구역으로부터 (생성된 휘발성 물질과 함께) 추출된다. 일부 실시형태에서, 스윕 가스는 열분해 구역으로 도입되고 열분해 또는 예열 구역으로부터 추출된다. 일부 실시형태에서, 스윕 가스는 예열 구역으로 도입되고 열분해 구역으로부터 추출된다. 이들 또는 다른 실시형태에서, 스윕 가스는 예열, 열분해 및 냉각 구역 각각으로 도입될 수 있고, 또한 각각의 구역들로부터 추출될 수 있다.

[0705] 일부 실시형태에서, 분리가 수행되는 구역 또는 구역들은 반응기로부터 물리적으로 별도의 유닛이다. 분리 유닛 또는 구역은 원하는 경우 반응기 구역들 사이에 배치될 수 있다. 예를 들어, 열분해 유닛과 냉각 유닛 사이에 분리 유닛이 위치될 수 있다.

[0706] 스윕 가스는 특히 고체 유동이 연속적일 때 연속적으로 도입될 수 있다. 열분해 반응이 배치식 공정으로서 작동될 때 일정 시간 후 또는 주기적으로 스윕 가스가 도입되어 휘발성 물질을 제거할 수 있다. 열분해 반응이 연속적으로 작동되는 경우에도, 스윕 가스는 원하는 경우 적합한 밸브 및 제어 장치를 사용하여 반연속적으로 또는 주기적으로 도입될 수 있다.

[0707] 휘발성 물질을 포함하는 스윕 가스는 하나 이상의 반응기 구역에서 빠져나갈 수 있으며, 다중 구역으로부터 얻어진 경우 조합될 수 있다. 이어서, 다양한 증기를 포함하는 생성된 가스 스트림은 공기 배출의 제어를 위해 열산화기로 공급될 수 있다. 임의의 알려진 열-산화 유닛이 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 열 산화기는 천연 가스 및 공기가 공급되어 그에 함유된 휘발성 물질을 실질적으로 파괴하기에 충분한 온도에 도달한다.

[0708] 열 산화기의 유출물은 물, 이산화탄소 및 질소를 포함하는 뜨거운 가스 스트림일 것이다. 이 유출물 스트림은 원하는 경우 공기 배출물로 직접 퍼지될 수 있다. 열 산화기 유출물의 에너지 함량은 예컨대 폐열 회수 유닛에서 회수될 수 있다. 에너지 함량은 또한 또 다른 스트림(예컨대 스윕 가스)과의 열 교환에 의해 회복될 수 있다. 에너지 함량은 건조기 또는 반응기와 같은 공정에서의 다른 곳의 유닛을 직접 또는 간접적으로 가열하거나 가열을 보조함으로써 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 본질적으로 모든 열 산화기 유출물은 건조기의 간접 가열(유틸리티 측면)을 위해 사용된다. 열 산화기는 천연 가스 이외의 다른 연료를 사용할 수 있다.

[0709] 탄소질 물질의 수율은 공급원료의 유형 및 공정 조건을 포함하여 상기 기재된 요인에 따라 달라질 수 있다. 일부 실시형태에서, 건조 기준으로 출발 공급원료의 백분율로서 고체의 순 수율은 적어도 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50% 이상이다. 나머지는 테르펜, 타르, 알코올, 산, 알데히드 또는 케톤과 같은 응축성 증기; 및 일산화탄소, 수소, 이산화탄소 및 메탄과 같은 비응축성 가스로 분할될 것이다. 비응축성 가스와 비교하여 응축성 증기의 상대적인 양은 또한 존재하는 물을 포함한 공정 조건에 따라 달라질 것이다.

[0710] 탄소 균형의 측면에서, 일부 실시형태에서 공급원료 중 출발 탄소의 백분율로서 탄소의 순 수율은 적어도 25%, 30%, 40%, 50%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80% 이상이다. 예를 들어, 일부 실시형태에서 탄소질 물질은 출발 공급원

료에 함유된 탄소의 약 40%와 약 70% 사이를 포함한다. 나머지 탄소는 다양한 정도로 메탄, 일산화탄소, 이산화탄소, 경질 탄화수소, 방향족 화합물, 타르, 테르펜, 알코올, 산, 알데히드 또는 케톤을 형성한다.

[0711] 대안적인 실시형태에서, 이들 화합물의 일부는 생성물의 탄소 및 에너지 함량을 풍부하게 하기 위해 탄소-풍부한 고체와 조합된다. 이러한 실시형태에서, 다양한 증기를 포함하는 반응기로부터 생성된 가스 스트림의 일부 또는 전부는 적어도 부분적으로 응축될 수 있고, 이어서 냉각 구역 또는 별도의 냉각 유닛으로부터 유도된 냉각된 열분해된 고체 위로 통과할 수 있다. 이들 실시형태는 아래에서 더 상세히 설명된다.

[0712] 냉각 구역(존재하는 경우) 내에서 반응 및 냉각 후, 탄소질 고체는 별개의 냉각 유닛으로 도입될 수 있다. 일부 실시형태에서, 고체는 수집되고 단순히 느린 속도로 냉각되도록 허용된다. 탄소질 고체가 공기 중에서 반응성이거나 불안정한 경우, 불활성 대기를 유지하거나 고체를, 예를 들어, 주위 온도와 같이 최대 40℃의 온도로 빠르게 냉각시키는 것이 바람직할 수 있다. 일부 실시형태에서, 급속 냉각을 위해 물 켄치가 사용된다. 일부 실시형태에서, 유동층 냉각기가 사용된다. "냉각 유닛"은 또한 컨테이너, 탱크, 파이프 또는 그 일부를 포함하는 것으로 광범위하게 해석되어야 한다.

[0713] 일부 실시형태에서, 공정은 냉각 유닛을 작동시켜 따뜻한 열분해된 고체를 증기로 냉각시켜 차가운 열분해된 고체 및 과열된 증기를 생성하는 단계를 추가로 포함하며; 여기서 건조는 적어도 부분적으로 냉각 유닛으로부터 유도된 과열 증기로 수행된다. 선택적으로, 냉각 유닛은 먼저 따뜻한 열분해된 고체를 증기로 냉각시켜 제1 냉각 유닛 온도에 도달한 다음, 공기로 냉각시켜 제2 냉각 유닛 온도에 도달하도록 작동될 수 있으며, 여기서 제2 냉각 유닛 온도는 제1 냉각 유닛 온도보다 낮고 공기의 존재 하에서 따뜻한 열분해된 고체에 대한 감소된 연소 위험과 관련된다.

[0714] 주변 조건으로 냉각한 후, 탄소질 고체는 회수 및 저장되거나 다른 현장 작업으로 운반되거나 다른 현장으로 운송되거나 달리 폐기, 거래 또는 판매될 수 있다. 고체는 입자 크기를 감소시키기 위해 유닛에 공급될 수 있다. 크러셔, 슈레더, 그라인더, 분쇄기, 제트 밀, 핀 밀 및 볼 밀을 포함한 다양한 크기 감소 유닛은 당업계에 알려져 있다.

[0715] 스크리닝 또는 입자 크기에 기초한 분리를 위한 일부 다른 수단이 포함될 수 있다. 그라인딩은 존재하는 경우 그라인딩의 업스트림 또는 다운스트림일 수 있다. 스크리닝된 물질(예를 들어, 큰 덩어리)의 일부는 그라인딩 유닛으로 반환될 수 있다. 작은 입자와 큰 입자는 별도의 다운스트림 사용을 위해 회수될 수 있다. 일부 실시형태에서, 냉각된 열분해된 고체는 분쇄된 탄소 또는 활성탄 생성물과 같은 미세 분말로 분쇄된다.

[0716] 본원에 개시된 임의의 단계 전, 도중 또는 후에 공정 전반에 걸쳐 다양한 첨가제가 도입될 수 있다. 첨가제는 원하는 탄소 순도를 달성하기 위해 탄소 수율 또는 열분해 시간/온도와 같은 공정 성능을 개선하기 위해 선택되는 공정 첨가제; 및 고탄소 바이오제닉 시약, 또는 시약을 포함하는 다운스트림 생성물의 특성을 개선하기 위해 선택된 생성물 첨가제로서 광범위하게 분류될 수 있다. 특정 첨가제는 향상된 공정 및 생성물(바이오제닉 시약 또는 바이오제닉 시약을 포함하는 생성물) 특성을 제공할 수 있다.

[0717] 첨가제는 수확 전이나 후에 언제든지 공급원료 자체에 첨가하는 것을 포함하여 공정의 임의의 하나 이상의 단계 전, 도중 또는 후에 첨가될 수 있다. 첨가제 처리는 공급원료 사이징, 건조 또는 기타 준비 전, 도중 또는 후에 혼입될 수 있다. 첨가제는 공급원료 공급 시설, 운송 트럭, 하역 장비, 보관함, 컨베이어(개방형 또는 폐쇄형 컨베이어 포함), 건조기, 공정 히터 또는 임의의 기타 유닛에 혼입될 수 있다. 첨가제 도입을 위한 적합한 수단을 사용하여 열분해 공정 자체에 어느 곳에서나 첨가제가 첨가될 수 있다. 첨가제는 탄화 후 또는 원하는 경우 심지어 분쇄 후에도 첨가될 수 있다.

[0718] 일부 실시형태에서, 첨가제는 금속, 금속 산화물, 금속 수산화물, 또는 이들의 조합으로부터 선택된다. 예를 들어, 첨가제는 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 산화마그네슘, 백운석, 백운석 석회, 형석, 플루오로스파, 벤토나이트, 산화칼슘, 석회 및 이들의 조합으로부터 선택될 수 있지만 이에 제한되지 않는다.

[0719] 일부 실시형태에서, 첨가제는 산, 염기, 또는 이들의 염으로부터 선택된다. 예를 들어, 첨가제는 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 또는 이들의 조합으로부터 선택될 수 있지만 이에 제한되지 않는다.

[0720] 일부 실시형태에서, 첨가제는 금속 할로겐화물로부터 선택된다. 금속 할로겐화물은 금속과 할로겐(불소, 염소, 브롬, 요오드 및 아스타틴) 사이의 화합물이다. 할로겐은 금속과 많은 화합물을 형성할 수 있다. 금속 할로겐화물은 일반적으로 염기성 금속염을 할로겐화수소산과 직접 결합하거나 더 일반적으로 중화함으로써 얻는다. 일부

실시형태에서, 첨가제는 염화철($FeCl_2$ 또는 $FeCl_3$), 브롬화철($FeBr_2$ 또는 $FeBr_3$), 또는 이들의 수화물, 및 이들의 임의의 조합으로부터 선택된다.

[0721] 첨가제는 에너지 함량(에너지 밀도)이 더 높은 최종 생성물을 생성할 수 있다. 에너지 함량의 증가는 총 탄소, 고정 탄소, 휘발성 탄소 또는 심지어 수소의 증가에서 기인할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 에너지 함량의 증가는 불연성 물질 또는 탄소보다 에너지 밀도가 낮은 물질의 제거로부터 초래될 수 있다. 일부 실시형태에서, 첨가제는 고체 및 가스 형성에 유리하게, 또는 고체 형성에 유리하게, 액체 형성의 정도를 감소시킨다.

[0722] 임의의 특정 가설에 제한되지는 않지만, 첨가제는 출발 바이오매스 또는 열분해 전에 처리된 바이오매스를 화학적으로 개질하여, 더 큰 강도/무결성을 위해 세포벽의 파열을 감소시킬 수 있다. 일부 실시형태에서, 첨가제는 열분해 전에 바이오매스 공급원료의 고정 탄소 함량을 증가시킬 수 있다.

[0723] 첨가제는 항복 강도, 압축 강도, 인장 강도, 피로 강도, 충격 강도, 탄성 모듈러스, 벌크 모듈러스 또는 전단 모듈러스와 같은 기계적 특성이 개선된 바이오제닉 시약을 생성할 수 있다. 첨가제는 단순히 존재함으로써(예를 들어, 첨가제 자체가 혼합물에 강도를 부여함) 또는 첨가제 상 내에서 또는 생성된 혼합물 내에서 발생하는 일부 변형으로 인해 기계적 특성을 향상시킬 수 있다. 예를 들어, 유리화와 같은 반응은 첨가제를 포함하는 바이오제닉 시약의 일부 내에서 일어날 수 있으며, 이로써 최종 강도가 향상된다.

[0724] 화학 첨가제는 습식 또는 건식 바이오매스 공급원료에 적용될 수 있다. 첨가제는 고체 분말, 스프레이, 미스트, 액체 또는 증기로서 적용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 첨가제는 액체 용액(예컨대 수용액 또는 용매)의 분무를 통해 또는 탱크, 통(bin), 백(bag) 또는 기타 컨테이너에 침지시킴으로써 도입될 수 있다.

[0725] 특정 실시형태에서, 첨가제가 고체 공급원료에 침투하기에 충분한 시간 동안 첨가제를 포함하는 욕조에 고체 공급 물질 배치식으로 또는 연속적으로 침지되는 침지 전처리가 사용된다.

[0726] 일부 실시형태에서, 공급원료에 적용되는 첨가제는 열분해를 위한 에너지 요구 사항을 감소시키거나 탄소질 생성물의 수율을 증가시킬 수 있다. 이들 또는 다른 실시형태에서, 공급원료에 적용되는 첨가제는 탄소질 생성물의 의도된 용도에 바람직한 기능성을 제공할 수 있다.

[0727] 처리량 또는 공정 용량은 작은 실험실 규모의 유닛에서 임의의 파일럿, 시연 또는 준상업적 규모를 포함한 전체 작업에 이르기까지 광범위하게 변할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 공정 용량(공급원료, 생성물 또는 둘 모두에 대한)은 적어도 약 1 kg/일, 10 kg/일, 100 kg/일, 1 톤/일(모든 톤은 미터톤임), 10 톤/일, 100 톤/일, 500 톤/일, 1000 톤/일, 2000 톤/일 이상이다.

[0728] 일부 실시형태에서, 생성된 고체의 일부는 공정의 프런트 엔드(front end), 즉 건조 또는 탈기 유닛으로 또는 반응기로 직접 재순환될 수 있다. 프런트 엔드로 돌아가서 다시 공정을 거치면 처리된 고체는 고정 탄소가 더 높아질 수 있다. 공정 내에서 생성되거나 존재하는 고체, 액체 및 가스 스트림은 독립적으로 재순환되거나, 후속 단계로 전달되거나, 임의의 지점에서 공정으로부터 제거/퍼지될 수 있다.

[0729] 일부 실시형태에서, 열분해된 물질은 회수된 다음, 더 높은 탄소 순도를 갖는 생성물을 생성하기 위해 추가적인 열분해를 위해 별도의 유닛으로 공급된다. 일부 실시형태에서, 2차 공정은 가열된 불활성 가스(예컨대 가열된 N_2)가 통과하는 강철 드럼과 같은 단순한 컨테이너에서 수행될 수 있다. 이 목적에 유용한 다른 컨테이너는 공정 탱크, 배럴, 통(bin), 토트(tote), 자루(sack) 및 롤-오프(roll-off)를 포함한다. 휘발성 물질을 갖는 이러한 2차 스윕 가스는, 예를 들어, 열 산화기로 보내지거나 다시 주 공정 반응기로 보내질 수 있다. 최종 생성물을 냉각하기 위해, 예를 들어, 초기에 주변 온도에 있는 다른 불활성 가스 스트림이 고체에 통과되어 고체를 냉각한 다음, 불활성 가스 예열 시스템으로 되돌아갈 수 있다.

[0730] 본 기술의 일부 변형은,

[0731] (a) 탄소를 포함하는 공급원료를 도입하도록 구성된 공급기;

[0732] (b) 탄소를 포함하는 공급원료 내에 포함된 수분을 제거하도록 구성되고 공급기와 작동 가능하게 연통되도록 배치된 선택적 건조기;

[0733] (c) 건조기와 작동 가능하게 연통되도록 배치된 다중-구역 반응기로서, 상기 다중-구역 반응기는 공간적으로 분리된 냉각 구역과 작동 가능하게 연통되도록 배치된 열분해 구역을 적어도 포함하고, 상기 다중-구역 반응기는 응축성 증기 및 비응축성 가스를 고체로부터 제거하기 위한 출구로 구성된, 다중-구역 반응기;

[0734] (d) 다중-구역 반응기와 작동 가능하게 연통되도록 배치된 고체 냉각기; 및

[0735] (e) 고체 냉각기와 작동 가능하게 연통되도록 배치된 고탄소 바이오제닉 시약 회수 유닛

[0736] 을 포함하는 고탄소 바이오제닉 시약 제조 시스템을 사용한다:

[0737] 일부 변형은,

[0738] (a) 탄소를 포함하는 공급원료를 도입하도록 구성된 공급기;

[0739] (b) 탄소를 포함하는 공급원료 내에 포함된 수분을 제거하도록 구성되고 공급기와 작동 가능하게 연통하도록 배치된 선택적 건조기;

[0740] (c) 공급원료를 가열하거나 온화하게 열분해하도록 구성되고 건조기와 작동 가능하게 연통하도록 배치된 선택적 예열기;

[0741] (d) 공급원료를 열분해하도록 구성되고 예열기와 작동 가능하게 연통되도록 배치된 열분해 반응기;

[0742] (e) 열분해된 고체를 냉각하도록 구성되고 열분해 반응기와 작동 가능하게 연통되도록 배치된 냉각기; 및

[0743] (f) 냉각기와 작동 가능하게 연통되도록 배치된 고탄소 바이오제닉 시약 회수 유닛

[0744] 을 포함하는 고탄소 바이오제닉 시약 제조 시스템을 사용하며,

[0745] 여기서 고체로부터 응축성 증기와 비응축성 가스를 제거하기 위해 적어도 하나의 가스 출구로 구성된다.

[0746] 공급기는 스크류 공급기 또는 오거(auger) 메커니즘의 사용을 통해 공급 고체를 제1 반응 구역에 도입하는 것과 같이 다중-구역 반응기와 물리적으로 통합될 수 있다.

[0747] 일부 실시형태에서, 시스템은 열분해 구역과 작동 가능하게 연통하도록 배치된 예열 구역을 추가로 포함한다. 열분해 구역, 냉각 구역 및 예열 구역(존재하는 경우) 각각은 단일 유닛 내에 위치되거나 별도의 유닛으로 위치될 수 있다.

[0748] 선택적으로, 건조기는 다중-구역 반응기 내의 건조 구역으로서 구성될 수 있다. 선택적으로, 고체 냉각기는 다중-구역 반응기 내에 배치될 수 있다(즉, 추가 냉각 구역으로서 구성되거나 주 냉각 구역과 통합됨).

[0749] 시스템은 시스템으로부터 산소를 제거하기 위한 퍼징 수단을 포함할 수 있다. 예를 들어, 퍼징 수단은 실질적으로 불활성 가스를 도입하기 위한 하나 이상의 입구, 및 실질적으로 불활성 가스 및 치환된 산소를 시스템으로부터 제거하기 위한 하나 이상의 출구를 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 퍼징 수단은 건조기와 다중-구역 반응기 사이에서 작동 가능하게 연통되도록 배치된 탈기기이다.

[0750] 다중-구역 반응기는 바람직하게는 적어도 제1 가스 입구 및 제1 가스 출구로 구성된다. 제1 가스 입구와 제1 가스 출구는 상이한 구역 또는 동일한 구역과 연통하도록 배치될 수 있다.

[0751] 일부 실시형태에서, 다중-구역 반응기는 제2 가스 입구 또는 제2 가스 출구로 구성된다. 일부 실시형태에서, 다중-구역 반응기는 제3 가스 입구 또는 제3 가스 출구로 구성된다. 일부 실시형태에서, 다중-구역 반응기는 제4 가스 입구 또는 제4 가스 출구로 구성된다. 일부 실시형태에서, 다중-구역 반응기에 존재하는 각각의 구역은 가스 입구 및 가스 출구로 구성된다.

[0752] 가스 입구 및 출구는 증기의 도입 및 인출을 허용할 뿐만 아니라 특히 가스 출구(프로브)는 공정의 모든 단계까지 잠재적으로 포함하는 공정의 다양한 단계에 걸쳐 정밀한 공정 모니터링 및 제어를 허용한다. 정밀한 공정 모니터링은 공정 조건을 조정하기 위해 작동 이력이 이용될 수 있는 기간 동안 뿐만 아니라 동적으로 수율 및 효율성 향상을 가져올 것으로 예상된다.

[0753] 일부 실시형태에서, 반응 가스 프로브는 열분해 구역과 작동 가능하게 연통되도록 배치된다. 그러한 반응 가스 프로브는 반응 정도, 열분해 선택도 또는 기타 공정 모니터링을 결정하기 위해 가스를 추출하고 분석하는 데 유용할 수 있다. 이어서, 측정에 기초하여, 공급 속도, 불활성 가스 스윕 속도, (하나 이상의 구역의) 온도, (하나 이상의 구역의) 압력, 첨가제 등을 조정하는 것과 같은 다양한 공정으로 공정을 제어하거나 조정할 수 있다.

[0754] 본원에서 의도된 바와 같이, 반응 가스 프로브를 통한 "모니터링 및 제어"는 반응 가스 프로브를 통한 임의의 하나 이상의 샘플 추출을 포함하고, 필요하거나 바람직하다고 판단되는 경우, 잘 알려진 공정 제어 원리(피드백, 피드포워드, 비례-적분-미분 논리 등)를 사용하여 측정값을 기반으로 공정 또는 장비를 선택적으

로 조정하는 것으로 해석되어야 한다.

[0755] 여러 가지 공정으로 가스 샘플을 인출하도록 반응 가스 프로브가 구성될 수 있다. 예를 들어, 샘플링 라인은 열분해 반응기 압력보다 낮은 압력을 가질 수 있으므로 샘플링 라인이 열릴 때 일정량의 가스가 열분해 구역에서 쉽게 인출될 수 있다. 샘플링 라인은 열분해 구역이 대기압 근처에 있을 때와 같이 진공 하에 있을 수 있다. 전형적으로, 반응 가스 프로브는 하나의 가스 산출물 또는 그 일부(예를 들어, 가스 산출물 라인으로부터 분할된 라인)와 관련될 것이다.

[0756] 일부 실시형태에서, 가스 투입물 및 가스 산출물 둘 모두 불활성 가스를 구역으로 주기적으로 도입하고 공정 샘플과 함께 불활성 가스를 가스 산출물에서 빼냄("샘플 스윕")에 의해 반응 가스 프로브로서 사용된다. 그러한 배열은 처리를 위한 실질적으로 불활성 가스를 위한 가스 입구/출구를 달리 가지지 않는 구역에서 사용될 수 있거나, 반응 가스 프로브는 공정 입구 및 출구에 더하여 별도의 가스 입구/출구와 관련될 수 있다. 샘플링을 위해 주기적으로 도입 및 인출되는 샘플링 불활성 가스(샘플 스윕을 이용하는 실시형태에서)는, 원하는 경우, 분석의 정확성을 이유로 또는 분석 추적자를 도입하기 위해 공정 불활성 가스와 상이할 수도 있었다.

[0757] 예를 들어, 열분해 구역의 가스 상에서의 아세트산 농도는 가스 프로브를 사용하여 측정하여 샘플을 추출한 다음, 적합한 기술(예컨대, 가스 크로마토그래피, GC, 질량 분광법, MS, GC-MS, 또는 푸리에 변환 적외선 분광법, FTIR)을 사용하여 분석될 수 있다. 가스 상에서의 CO 또는 CO_2 농도를 측정하여, 예를 들어, 가스/증기에 대한 열분해 선택도의 지표로서 사용할 수 있다. 가스 상에서의 테르펜 농도를 측정하여, 예를 들어, 액체에 대한 열분해 선택도의 지표로서 사용할 수 있었다.

[0758] 일부 실시형태에서, 시스템은 냉각 구역, 또는 건조 구역(존재하는 경우) 또는 예열 구역(존재하는 경우)과 작동 가능하게 연통되도록 배치된 적어도 하나의 추가 가스 프로브를 추가로 포함한다.

[0759] 냉각 구역에 대한 가스 프로브는, 예를 들어, 냉각 구역에서 발생하는 임의의 추가 화학 작용의 범위를 결정하는 데 유용할 수 있었다. 냉각 구역에서의 가스 프로브는 또한 독립적인 온도 측정으로서 유용할 수 있다(예를 들어, 냉각 구역에 배치된 열전쌍에 추가적으로). 이러한 독립적인 측정은 특정 종의 측정된 양과 냉각 온도의 상관관계일 수 있다. 상관관계는 별도로 개발될 수 있거나, 일정 기간의 공정 작동 후에 확립될 수 있었다.

[0760] 건조 구역용 가스 프로브는, 예를 들어, 수분 함량을 측정하여 건조 정도를 결정하는 데 유용할 수 있다. 예열 구역에서의 가스 프로브는, 예를 들어, 발생하는 임의의 온화한 열분해의 정도를 결정하는 데 유용할 수 있었다.

[0761] 특정 실시형태에서, 냉각 구역은 가스 입구로 구성되고, 열분해 구역은 가스 출구로 구성되어 고체 상에 대한 가스 상의 실질적으로 역류 유동을 생성한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 예열 구역(존재하는 경우)은 가스 출구로 구성되어 고체 상에 대한 가스 상의 실질적으로 역류 유동을 생성할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 건조 구역은 가스 출구로 구성되어 실질적으로 역류 유동을 생성할 수 있다.

[0762] 열분해 반응기 또는 반응기들은 열분해 공정을 수행할 수 있는 임의의 적합한 반응기 구성으로부터 선택될 수 있다. 예시적인 반응기 구성은 고정층 반응기, 유동층 반응기, 분류층 반응기, 오거, 융제 반응기(ablative reactor), 회전 콘, 회전식 드럼 가마, 하소기, 로스터, 이동층 반응기, 수송층 반응기, 융제 반응기, 회전 콘 또는 마이크로파-보조 열분해 반응기를 포함하지만 이에 제한되지 않는다.

[0763] 오거가 사용되는 일부 실시형태에서, 모래 또는 다른 열 캐리어가 선택적으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 공급원료와 모래는 스크류의 한쪽 말단에서 공급될 수 있다. 스크류는 모래와 공급원료를 혼합하여 반응기를 통해 운반한다. 스크류는 공급원료 체류 시간을 잘 제어할 수 있으며 열분해된 생성물을 캐리어 또는 유동화 가스로 희석하지 않는다. 모래는 별도의 용기에서 재가열될 수 있다.

[0764] 융제 공정이 사용되는 일부 실시형태에서, 공급원료는 뜨거운 금속 표면에 대해 고속으로 이동된다. 표면에서 형성되는 임의의 숯의 융제는 높은 열 전달 속도를 유지할 수 있다. 그러한 장치는 생성물의 희석을 방지할 수 있다. 대안으로서, 공급원료 입자는 캐리어 가스에 현탁되어 그 벽이 가열되는 사이클론을 통해 고속으로 도입될 수 있다.

[0765] 유동층 반응기가 사용되는 일부 실시형태에서, 공급원료는 전형적으로 재순환된 생성물 가스인 가스에 의해 유동화된 뜨거운 모래 층 내로 도입될 수 있다. 본원에서 "모래"에 대한 참조는 또한 유리 입자, 회수된 회분 입자 등과 같은 유사하고 실질적으로 불활성인 물질을 포함할 것이다. 유동화된 모래로부터의 높은 열 전달 속도는 공급원료의 빠른 가열을 초래할 수 있다. 모래 입자에 의한 마찰에 의해 약간의 융제가 있을 수 있다. 열은

일반적으로 뜨거운 연소 가스가 유동하는 열 교환기 튜브에 의해 제공된다.

[0766] 가스, 모래 및 공급원료가 함께 이동하는 순환 유동층 반응기가 사용될 수 있다. 예시적인 수송 가스는 재순환된 생성물 가스 및 연소 가스를 포함한다. 모래로부터의 높은 열 전달 속도는 공급 원료의 빠른 가열을 보장하며, 융제는 일반 유동층보다 더 강할 것으로 예상된다. 분리기를 사용하여 모래 및 숯 입자로부터 생성물 가스를 분리할 수 있다. 모래 입자는 유동화된 버너 용기에서 재가열되어 반응기로 재순환될 수 있다.

[0767] 일부 실시형태에서, 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 반응기이며, 여기서 반응 구역 중 하나는 실질적으로 불활성 가스를 반응기에 도입하기 위한 제1 가스 입구로 구성되고, 반응 구역 중 하나는 제1 가스 출구로 구성된다.

[0768] 다양한 실시형태에서, 반응기는 적어도 2개, 3개, 4개 또는 그 이상의 반응 구역을 포함한다. 각각의 반응 구역은 전기 열 전달, 증기 열 전달, 뜨거운 오일 열 전달, 상 변화 열 전달, 폐열 전달 또는 이들의 조합으로부터 독립적으로 선택되는 개별적으로 조정 가능한 가열 수단과 연통되도록 배치된다. 일부 실시형태에서, 적어도 하나의 반응기 구역은, 존재하는 경우, 열 산화기로부터의 유출물 스트림으로 가열된다.

[0769] 반응기는 반응기에 존재하는 모든 반응 구역까지 포함하여 적어도 2개의 반응 구역의 가스 상 조성 및 가스 상 체류 시간을 개별적으로 조정하도록 구성될 수 있다.

[0770] 반응기는 제2 가스 입구 또는 제2 가스 출구를 구비할 수 있다. 일부 실시형태에서, 반응기는 각각의 반응 구역에서 가스 입구로 구성된다. 이들 또는 다른 실시형태에서, 반응기는 각각의 반응 구역에서 가스 출구로 구성된다. 반응기는 병류 또는 역류 반응기일 수 있다.

[0771] 일부 실시형태에서, 공급원료 입구는 스크류 또는 오거 공급 메커니즘을 포함한다. 일부 실시형태에서, 탄소질 고체 출구는 스크류 또는 오거 산출 메커니즘을 포함한다.

[0772] 특정 실시형태는 스크류 공급기가 있는 회전 하소기를 사용한다. 이들 실시형태에서, 반응기는 축방향으로 회전 가능한데, 즉, 중심선 축을 중심으로 회전한다. 회전 속도는 고체 유동 패턴, 열 및 물질 전달에 영향을 미칠 것이다. 각각의 반응 구역은 고체의 교반을 제공하기 위해 내부 벽에 배치된 플라이트로 구성될 수 있다. 플라이트는 각 반응 구역에서 별도로 조정 가능할 수 있다.

[0773] 오거, 스크류 또는 패들 컨베이어와 같은 다른 고체 교반 수단이 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 반응기는 각각의 반응 구역 전체에 배치된 단일 연속 오거를 포함한다. 다른 실시형태에서, 반응기는 각각의 반응 구역 전체에 배치된 트윈 스크류를 포함한다.

[0774] 일부 시스템은 공정 전반에 걸쳐 공급 물질의 대략적인 크기를 유지하는 기능, 즉 구조를 파괴하거나 크게 손상시키지 않고 바이오매스 공급 원료를 처리할 수 있도록 특별히 설계된다. 일부 실시형태에서, 열분해 구역은 열분해되는 공급 물질의 크기를 크게 감소시키는 경향이 있는 오거, 스크류 또는 갈퀴(rake)를 포함하지 않는다.

[0775] 본 발명의 일부 실시형태에서, 시스템은 응축성 증기 및 비응축성 가스가 제거되는 출구와 작동 가능하게 연통되도록 배치된 열 산화기를 추가로 포함한다. 열 산화기는 별도의 연료(예컨대 천연 가스) 및 산화제(예컨대 공기)를 연료 및 응축 가능한 증기의 적어도 일부의 연소에 적합한 연소 챔버로 수용하도록 구성될 수 있다. CO 또는 CH_4와 같은 특정 비응축성 가스가 또한 CO_2로 산화될 수 있다.

[0776] 열 산화기가 사용되는 경우, 시스템은 건조기를 위한 연소 열의 적어도 일부를 이용하도록 구성되고 열 산화기와 건조기 사이에 배치된 열 교환기를 포함할 수 있다. 이러한 실시형태는 공정의 전체 에너지 효율에 상당히 기여할 수 있다.

[0777] 일부 실시형태에서, 시스템은 고체 냉각기와 작동 가능하게 연통하도록 배치되고 적어도 부분적으로 응축된 형태의 응축성 증기를 고체와 결합하도록 구성된 탄소-강화 유닛을 추가로 포함한다. 탄소-강화 유닛은 회수 유닛으로부터 얻은 고탄소 바이오제닉 시약의 탄소 함량을 증가시킬 수 있다.

[0778] 시스템은 탄소 함량을 더 증가시키기 위해 고탄소 바이오제닉 시약을 추가로 열분해하도록 된 별도의 열분해 유닛을 추가로 포함할 수 있다. 별도의 열분해 유닛은 탱크, 배럴, 통, 드럼, 토트, 자루 또는 롤-오프와 같은 비교적 단순한 컨테이너, 유닛 또는 장치일 수 있다.

[0779] 전체 시스템은 고정된 위치에 있을 수도 있거나, 여러 위치에 분산될 수 있다. 실제 확장을 위해 간단히 복제될 수 있는 모듈을 사용하여 시스템이 구성될 수 있다. 시스템은 또한 공정 산업에서 잘 알려진 바와 같이 규모의

경제 원칙을 사용하여 구성될 수 있다.

[0780] 고체의 탄소 강화와 관련된 일부 변형이 이제 추가로 설명될 것이다. 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약을 제조하는 공정은,

[0781] (a) 바이오매스를 포함하는, 탄소를 포함하는 공급원료를 제공하는 단계;

[0782] (b) 선택적으로 공급원료를 건조시켜 공급원료 내에 포함된 수분의 적어도 일부를 제거하는 단계;

[0783] (c) 선택적으로 공급원료를 탈기시켜 공급원료에 포함된 격자간 산소(존재하는 경우)의 적어도 일부를 제거하는 단계;

[0784] (d) 열분해 구역에서, 약 250℃ 내지 약 700℃로부터 선택된 열분해 온도에서 적어도 10분 동안 실질적으로 불활성 가스의 존재 하에서 공급원료를 열분해하여 뜨거운 열분해된 고체, 응축성 증기 및 비응축성 가스를 생성하는 단계;

[0785] (e) 뜨거운 열분해된 고체로부터 응축성 증기의 적어도 일부 및 비응축성 가스의 적어도 일부를 분리하는 단계;

[0786] (f) 냉각 구역에서, 실질적 불활성 가스의 존재 하에 적어도 5분 동안 열분해 온도 미만의 냉각 온도로 뜨거운 열분해된 고체를 냉각시켜 따뜻한 열분해된 고체를 생성하는 단계;

[0787] (g) 선택적으로 따뜻한 열분해된 고체를 냉각시켜 차가운 열분해된 고체를 생성하는 단계;

[0788] (h) 이어서 단계 (e)로부터의 응축성 증기의 적어도 일부 또는 비응축성 가스의 적어도 일부를 따뜻한 열분해된 고체 또는 차가운 열분해된 고체를 가로질러 통과시켜 증가된 탄소 함량을 갖는 강화된 열분해된 고체를 형성하는 단계; 및

[0789] (i) 강화된 열분해된 고체의 적어도 일부를 포함하는 고탄소 바이오제닉 시약을 회수하는 단계

[0790] 를 포함한다.

[0791] 일부 실시형태에서, 단계 (h)는 단계 (e)로부터의 응축성 증기의 적어도 일부를 증기 또는 응축된 형태로 따뜻한 열분해된 고체를 가로질러 통과시켜 증가된 탄소 함량을 갖는 강화된 열분해된 고체를 생성하는 것을 포함한다. 일부 실시형태에서, 단계 (h)는 단계 (e)로부터의 비응축성 가스의 적어도 일부를 따뜻한 열분해된 고체를 가로질러 통과시켜 증가된 탄소 함량을 갖는 강화된 열분해된 고체를 생성하는 것을 포함한다.

[0792] 대안적으로 또는 추가적으로, 증기 또는 가스가 차가운 열분해된 고체와 접촉될 수 있다. 일부 실시형태에서, 단계 (h)는 단계 (e)로부터의 응축성 증기의 적어도 일부를 증기 또는 응축된 형태로 차가운 열분해된 고체를 가로질러 통과시켜 증가된 탄소 함량을 갖는 강화된 열분해된 고체를 생성하는 것을 포함한다. 일부 실시형태에서, 단계 (h)는 단계 (e)로부터의 비응축성 가스의 적어도 일부를 차가운 열분해된 고체를 가로질러 통과시켜 증가된 탄소 함량을 갖는 강화된 열분해된 고체를 생성하는 것을 포함한다.

[0793] 특정 실시형태에서, 단계 (h)는 단계 (e)로부터의 응축성 증기의 실질적으로 모두를 증기 또는 응축된 형태로 차가운 열분해된 고체를 가로질러 통과시켜 증가된 탄소 함량을 갖는 강화된 열분해된 고체를 생성하는 것을 포함한다. 특정 실시형태에서, 단계 (h)는 단계 (e)로부터의 비응축성 가스의 실질적으로 모두를 차가운 열분해된 고체를 가로질러 통과시켜 증가된 탄소 함량을 갖는 강화된 열분해된 고체를 생성하는 것을 포함한다.

[0794] 공정은 탄소 강화를 위해 이들을 사용하기 전에 증기 또는 가스를 처리하거나 분리하는 다양한 방법을 포함할 수 있다. 예를 들어, 단계 (e)로부터 얻은, 응축성 증기의 적어도 일부 및 비응축성 가스의 적어도 일부로 본질적으로 이루어진 중간 공급 스트림은 적어도 제1 및 제2 산출물 스트림을 생성하도록 구성된 분리 유닛에 공급될 수 있다. 특정 실시형태에서, 중간 공급물 스트림은 모든 응축성 증기, 모든 비응축성 가스, 또는 둘 모두를 포함한다.

[0795] 분리 기술은 증류 컬럼, 플래시 용기, 원심분리기, 사이클론, 멤브레인, 필터, 압축층, 모세관 컬럼 등을 포함하거나 사용할 수 있다. 분리는 주로, 예를 들어, 증류, 흡수, 흡착 또는 확산을 기반으로 할 수 있으며, 증기압, 활성, 분자량, 밀도, 점도, 극성, 화학적 기능성, 고정 상에 대한 친화성 및 이들의 임의의 조합에서의 차이를 사용할 수 있다.

[0796] 일부 실시형태에서, 제1 및 제2 산출물 스트림은 상대 휘발성에 기초하여 중간 공급물 스트림으로부터 분리된다. 예를 들어, 분리 유닛은 증류 컬럼, 플래시 탱크 또는 응축기일 수 있다.

[0797] 따라서, 일부 실시형태에서, 제1 산출물 스트림은 응축성 증기를 포함하고, 제2 산출물 스트림은 비응축성 가스를 포함한다. 응축성 증기는 테르펜, 알코올, 산, 알데히드 또는 케톤으로부터 선택되는 적어도 하나의 탄소를 포함하는 화합물을 포함할 수 있다. 열분해로부터의 증기에는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠 및 크실렌과 같은 방향족 화합물이 포함될 수 있다. 내화성 타르와 같은 더 무거운 방향족 화합물이 증기에 존재할 수 있다. 비응축성 가스는 일산화탄소, 이산화탄소 또는 메탄으로부터 선택된 적어도 하나의 탄소를 포함하는 분자를 포함할 수 있다.

[0798] 일부 실시형태에서, 제1 및 제2 산출물 스트림은 상대 극성에 기초하여 분리된 중간 공급물 스트림이다. 예를 들어, 분리 유닛은 스트리핑 컬럼, 압축층, 크로마토그래피 컬럼 또는 멤브레인일 수 있다.

[0799] 따라서, 일부 실시형태에서, 제1 산출물 스트림은 극성 화합물을 포함하고, 제2 산출물 스트림은 비극성 화합물을 포함한다. 극성 화합물은 메탄올, 푸르푸랄 및 아세트산으로부터 선택되는 적어도 하나의 탄소를 포함하는 분자를 포함할 수 있다. 비극성 화합물은 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄, 테르펜 및 테르펜 유도체로부터 선택되는 적어도 하나의 탄소를 포함하는 분자를 포함할 수 있다.

[0800] 단계 (h)는 단계 (h)가 없는 그 외에는 동일한 공정에 비해 고탄소 바이오제닉 시약의 총 탄소 함량을 증가시킬 수 있다. 탄소 함량의 증가 정도는 다양한 실시형태에서, 예를 들어, 약 1%, 2%, 5%, 10%, 15%, 25%, 또는 심지어 그 이상일 수 있다.

[0801] 일부 실시형태에서, 단계 (h)는 고탄소 바이오제닉 시약의 고정 탄소 함량을 증가시킨다. 이들 또는 다른 실시형태에서, 단계 (h)는 고탄소 바이오제닉 시약의 휘발성 탄소 함량을 증가시킨다. 휘발성 탄소 함량은 시약에서의 휘발성 물질에 기인한 탄소이다. 휘발성 물질은 지방족 또는 방향족 화합물(예를 들어, 테르펜)을 포함하는 탄화수소; 알코올, 알데히드 또는 케톤을 포함하는 옥시게네이트; 및 다양한 타르일 수 있지만 이에 제한되지 않는다. 휘발성 탄소는 전형적으로 주변 조건에서 고체에 결합되거나 흡착된 상태를 유지하지만, 가열 시 고정 탄소가 산화, 가스화 또는 달리 증기로서 방출되기 전에 방출될 것이다.

[0802] 단계 (h)와 관련된 조건에 따라, 일정량의 휘발성 탄소가 고정 탄소가 되는 것이 가능하다(예를 들어, CO로부터 부두아 탄소 형성을 통해). 전형적으로, 휘발성 물질은 고정 탄소의 미세 기공으로 들어가 응축/흡착된 종으로 존재하지만 상대적으로 휘발성을 유지한다. 이러한 잔류 휘발성은 높은 표면적과 다공성을 필요로 하는 생성물 적용에 비해 연료 적용에 더 유리할 수 있다.

[0803] 단계 (h)는 고탄소 바이오제닉 시약의 에너지 함량(즉, 에너지 밀도)을 증가시킬 수 있다. 에너지 함량의 증가는 총 탄소, 고정 탄소, 휘발성 탄소 또는 심지어 수소의 증가에서 기인할 수 있다. 에너지 함량의 증가 정도는 다양한 실시형태에서, 예를 들어, 약 1%, 2%, 5%, 10%, 15%, 25%, 또는 심지어 그 이상일 수 있다

[0804] 공정 또는 추가 처리 내에서 사용하기 위해 비응축성 가스 또는 응축성 증기를 회수하기 위해 추가 분리가 사용될 수 있다. 예를 들어, 정제된 일산화탄소 또는 수소를 생성하기 위해 추가 처리가 포함될 수 있다.

[0805] 또 다른 예로서, 아세트산의 분리가 수행된 후, 아세트산이 에탄올로 환원될 수 있다. 아세트산의 환원은 생성된 비응축성 가스로부터 유도된 수소를 사용하여 적어도 부분적으로 달성될 수 있다.

[0806] 응축성 증기는 공정(예컨대 열 산화)에서 에너지를 위해 또는 탄소 풍부화에서 사용되어 고탄소 바이오제닉 시약의 탄소 함량을 증가시킬 수 있다. CO 또는 CH_4와 같은 특정 비응축성 가스는 공정에서 에너지를 위해, 또는 열분해 단계에서 실질적으로 불활성 가스의 일부로 사용될 수 있다. 전술한 것들의 임의의 조합이 또한 가능하다.

[0807] 단계 (h)를 포함하는 것의 잠재적인 이점은 가스 스트림이 스크러빙되고 결과적인 가스 스트림이 CO 및 CO_2가 풍부해진다는 것이다. 생성된 가스 스트림은 에너지 회수에 사용되거나, 고체의 탄소 풍부화를 위해 재순환되거나, 반응기에서 불활성 가스로서 사용될 수 있다. 유사하게, 비응축성 가스를 응축성 증기로부터 분리함으로써 CO/CO_2 스트림은, 예를 들어, 반응기 시스템 또는 냉각 시스템에서 불활성 가스로 사용하기 위해 준비된다.

[0808] 다른 변형은 탄소-강화 단계의 원리가 탄소를 첨가하는 것이 바람직한 임의의 공급원료에 적용될 수 있다는 인식을 전제로 한다.

[0809] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약을 제조하기 위한 배치식 또는 연속 공정은,

[0810] (a) 탄소를 포함하는 물질을 포함하는 고체 스트림을 제공하는 단계;

[0811] (b) 응축성의 탄소를 포함하는 증기, 비응축성의 탄소를 포함하는 가스, 또는 응축성의 탄소를 포함하는 증기와 비응축성의 탄소를 포함하는 가스의 혼합물을 포함하는 가스 스트림을 제공하는 단계; 및

[0812] (c) 적절한 조건 하에서 고체 스트림을 가로질러 가스 스트림을 통과시켜 탄소를 포함하는 물질에 비해 증가된 탄소 함량을 갖는, 탄소를 포함하는 생성물을 형성하는 단계

[0813] 를 포함한다.

[0814] 일부 실시형태에서, 출발 탄소를 포함하는 물질은 열분해된 바이오매스 또는 배소된(torrefied) 바이오매스이다. 가스 스트림은 탄소를 포함하는 물질을 제공하는 통합 공정 동안 얻을 수 있다. 또는, 탄소를 포함하는 물질의 별도 처리로부터 가스 스트림을 얻을 수 있다. 가스 스트림 또는 그 일부는 외부 공급원(예를 들어, 제재소의 오븐)에서 얻을 수 있다. 다양한 공급물로부터의 가스 스트림의 혼합물뿐만 아니라 탄소를 포함하는 물질의 혼합물이 가능하다.

[0815] 일부 실시형태에서, 공정은 탄소를 포함하는 생성물의 탄소 또는 에너지 함량을 추가로 증가시키기 위해 공정을 반복하기 위해 가스 스트림을 재순환 또는 재사용하는 것을 추가로 포함한다. 일부 실시형태에서, 공정은 탄소를 포함하는 물질과 상이한 다른 공급원료의 탄소 또는 에너지 함량을 증가시키는 공정을 수행하기 위해 가스 스트림을 재순환 또는 재사용하는 것을 추가로 포함한다.

[0816] 일부 실시형태에서, 공정은 적어도 제1 및 제2 산출물 스트림을 생성하도록 구성된 분리 유닛에 가스 스트림을 도입하는 단계를 추가로 포함하며, 여기서 가스 스트림은 응축성의 탄소를 포함하는 증기와 비응축성의 탄소를 포함하는 가스의 혼합물을 포함한다. 제1 산출물 스트림과 제2 산출물 스트림은 상대 휘발성, 상대 극성 또는 임의의 다른 특성에 기초하여 분리될 수 있다. 탄소를 포함하는 물질의 별도 처리로부터 가스 스트림을 얻을 수 있다.

[0817] 일부 실시형태에서, 공정은 탄소를 포함하는 생성물의 탄소 함량을 추가로 증가시키기 위해 공정을 반복하기 위해 가스 스트림을 재순환 또는 재사용하는 것을 추가로 포함한다. 일부 실시형태에서, 공정은 또 다른 공급원료의 탄소 함량을 증가시키는 공정을 수행하기 위해 가스 스트림을 재순환 또는 재사용하는 것을 추가로 포함한다.

[0818] 탄소를 포함하는 생성물은 출발 탄소를 포함하는 물질에 비해 증가된 총 탄소 함량, 더 높은 고정 탄소 함량, 더 높은 휘발성 탄소 함량, 더 높은 에너지 함량 또는 이들의 임의의 조합을 가질 수 있다.

[0819] 관련 변형에서, 고탄소 바이오제닉 시약 제조 시스템은,

[0820] (a) 탄소를 포함하는 공급원료를 도입하도록 구성된 공급기;

[0821] (b) 탄소를 포함하는 공급원료 내에 포함된 수분을 제거하도록 구성되고 공급기와 작동 가능하게 연통하도록 배치된 선택적 건조기;

[0822] (c) 건조기와 작동 가능하게 연통되도록 배치된 다중-구역 반응기로서, 상기 다중-구역 반응기는 공간적으로 분리된 냉각 구역과 작동 가능하게 연통되도록 배치된 열분해 구역을 적어도 포함하고, 상기 다중-구역 반응기는 응축성 증기 및 비응축성 가스를 고체로부터 제거하기 위한 출구로 구성된, 다중-구역 반응기;

[0823] (d) 다중-구역 반응기와 작동 가능하게 연통되도록 배치된 고체 냉각기;

[0824] (e) 고체 냉각기와 작동 가능하게 연통하도록 배치되고 고체를 가로질러 응축성 증기 또는 비응축성 가스를 통과시켜 증가된 탄소 함량을 갖는 강화된 고체를 형성하도록 구성된 물질 풍부화 유닛; 및

[0825] (f) 물질 풍부화 유닛과 작동 가능하게 연통되도록 배치된 고탄소 바이오제닉 시약 회수 유닛

[0826] 을 포함한다.

[0827] 시스템은 열분해 구역과 작동 가능하게 연통하도록 배치된 예열 구역을 추가로 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 건조기는 다중-구역 반응기 내의 건조 구역으로서 구성된다. 각각의 구역들은 단일 유닛 내에 또는 별도의 유닛으로 위치될 수 있다. 또한, 고체 냉각기는 다중-구역 반응기 내에 배치될 수 있다.

[0828] 일부 실시형태에서, 냉각 구역은 가스 입구로 구성되고 열분해 구역은 가스 출구로 구성되어 고체 상에 대한 가스 상의 실질적으로 역류 유동을 생성한다. 이들 또는 다른 실시형태에서, 예열 구역 또는 건조 구역(또는 건조기)은 가스 출구로 구성되어 고체 상에 대한 가스 상의 실질적으로 역류 유동을 생성한다.

[0829] 특정 실시형태에서, 시스템은,

[0830] (i) 상부 및 하부를 갖는 하우징;

[0831] (ii) 응축성 증기 및 비응축성 가스를 운반하도록 구성된 하우징의 하부 바닥에 있는 입구;

[0832] (iii) 응축성 증기 및 비응축성 가스로부터 유도된 농축된 가스 스트림을 운반하도록 구성된 하우징의 상부의 상단에 있는 출구;

[0833] (iv) 하우징의 상부와 하부 사이에 정의된 경로; 및

[0834] (v) 경로를 따르는 수송 시스템으로서, 상기 수송 시스템은 고체를 수송하도록 구성된 수송 시스템

[0835] 을 포함하는 물질-풍부화된 유닛을 포함하며, 여기서 상기 하우징은 고체가 적어도 일부의 응축성 증기 또는 적어도 일부의 비응축성 가스를 흡착하도록 형상화된다.

[0836] 본 발명은 고탄소 바이오제닉 시약으로서 유용한 다양한 조성물 및 이러한 시약을 포함하는 생성물을 제조할 수 있다. 일부 변형에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 본원에 개시된 임의의 공정, 예컨대 하기 단계들을 포함하는 공정에 의해 제조된다:

[0837] (a) 바이오매스를 포함하는, 탄소를 포함하는 공급원료를 제공하는 단계;

[0838] (b) 선택적으로 공급원료를 건조시켜 공급원료 내에 포함된 수분의 적어도 일부를 제거하는 단계;

[0839] (c) 선택적으로 공급원료를 탈기시켜 공급원료 내에 포함된 격자간 산소(존재하는 경우)의 적어도 일부를 제거하는 단계;

[0840] (d) 열분해 구역에서, 약 250℃ 내지 약 700℃로부터 선택된 열분해 온도에서 적어도 10분 동안 실질적으로 불활성 가스의 존재 하에서 공급원료를 열분해하여 뜨거운 열분해된 고체, 응축성 증기 및 비응축성 가스를 생성하는 단계;

[0841] (e) 뜨거운 열분해된 고체로부터 응축성 증기의 적어도 일부 및 비응축성 가스의 적어도 일부를 분리하는 단계;

[0842] (f) 냉각 구역에서, 실질적 불활성 가스의 존재 하에 적어도 5분 동안 열분해 온도 미만의 냉각 온도로 뜨거운 열분해된 고체를 냉각시켜 따뜻한 열분해된 고체를 생성하는 단계;

[0843] (g) 따뜻한 열분해된 고체를 냉각시켜 차가운 열분해된 고체를 생성하는 단계; 및

[0844] (h) 차가운 열분해된 고체의 적어도 일부를 포함하는 고탄소 바이오제닉 시약을 회수하는 단계.

[0845] 일부 실시형태에서, 시약은 건조 기준으로 약 적어도 70 중량%, 적어도 80 중량%, 적어도 90 중량% 또는 적어도 95 중량%의 총 탄소를 포함한다. 총 탄소는 적어도 고정 탄소를 포함하며, 휘발성 물질로부터의 탄소를 추가로 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 휘발성 물질로부터의 탄소는 고탄소 바이오제닉 시약에 존재하는 총 탄소의 약 적어도 5%, 적어도 10%, 적어도 25% 또는 적어도 50%이다. 고정 탄소는 ASTM D3172를 사용하여 측정할 수 있는 한편, 휘발성 탄소는, 예를 들어, ASTM D3175를 사용하여 측정할 수 있다.

[0846] 고탄소 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 약 10 중량% 이하, 예컨대 약 5 중량% 이하의 수소를 포함할 수 있다. 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 약 1 중량% 이하, 예컨대 약 0.5 중량% 이하의 질소를 포함할 수 있다. 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 약 0.5 중량% 이하, 예컨대 약 0.2 중량% 이하의 인을 포함할 수 있다. 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 약 0.2 중량% 이하, 예컨대 약 0.1 중량% 이하의 황을 포함할 수 있다.

[0847] 탄소, 수소 및 질소는, 예를 들어, 최종 분석을 위해 ASTM D5373을 사용하여 측정할 수 있다. 산소는, 예를 들어, ASTM D3176을 사용하여 측정할 수 있다. 황은, 예를 들어, ASTM D3177을 사용하여 측정할 수 있다.

[0848] 특정 실시형태는 수소(존재할 수 있는 임의의 수분 제외), 질소, 인 또는 황이 거의 또는 본질적으로 없는 시약을 제공하며, 실질적으로 탄소와 임의의 회분 및 수분이 존재한다. 따라서, 일부 실시형태는 건조/무회분(DAF: dry/ash-free) 기준으로 100% 이하의 탄소를 갖는 바이오제닉 시약을 제공한다.

[0849] 일반적으로 말하면, 바이오매스와 같은 공급원료는 열분해 동안 쉽게 방출되지 않는 실리카 및 다양한 금속을 포함한 비휘발성 종을 포함한다. 물론 무회분 공급원료를 사용하는 것이 가능하며, 이 경우 열분해된 고체에 상당량의 회분이 있어서는 안 된다. 회분은, 예를 들어, ASTM D3174를 사용하여 측정할 수 있다.

[0850] 회분과 같은 다양한 양의 불연성 물질이 존재할 수 있다. 고탄소 바이오제닉 시약은 건조 기준으로 약 10 중량%

이하, 예컨대 약 5 중량%, 약 2 중량%, 약 1 중량% 이하의 불연성 물질을 포함할 수 있다. 특정 실시형태에서, 시약은 회분을 거의 포함하지 않거나, 심지어 본질적으로 회분 또는 기타 불연성 물질을 포함하지 않는다. 따라서, 일부 실시형태는 건조 기준으로 100% 탄소를 포함하는 본질적으로 순수한 탄소를 제공한다.

[0851] 다양한 양의 수분이 존재할 수 있다. 총 질량 기준으로, 고탄소 바이오제닉 시약은 적어도 1 중량%, 2 중량%, 5 중량%, 10 중량%, 15 중량%, 25 중량%, 35 중량%, 50 중량%, 또는 그 이상의 수분을 포함할 수 있다. 본원에서 의도된 바와 같이, "수분"은 흡수된 수분, 흡착된 물 분자, 화학적 수화물 및 물리적 수화물을 포함하여 바이오제닉 시약에 존재하는 임의의 형태의 물을 포함하는 것으로 해석되어야 한다. 평형 수분 함량은 적어도 상대 습도와 같은 국소 환경에 따라 달라질 수 있다. 또한, 수분은 운송, 사용 준비 및 기타 물류 동안에 달라질 수 있다. 수분은, 예를 들어, ASTM D3173을 사용하여 측정할 수 있다.

[0852] 고탄소 바이오제닉 시약은 현재 목적상 골-건조(bone-dry) 시약의 전체 연소와 관련된 더 높은 발열량에 기초한 에너지 밀도를 의미하는 다양한 에너지 함량을 가질 수 있다. 예를 들어, 고탄소 바이오제닉 시약은 약 적어도 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 가질 수 있다. 특정 실시형태에서, 에너지 함량은 약 14,000 내지 15,000 Btu/lb이다. 에너지 함량은, 예를 들어, ASTM D5865를 사용하여 측정할 수 있다.

[0853] 고탄소 바이오제닉 시약은 조악한 분말 또는 미세 분말과 같은 분말로 형성될 수 있다. 예를 들어, 시약은 실시형태에서 평균 메쉬 크기가 약 200 메쉬, 약 100 메쉬, 약 50 메쉬, 약 10 메쉬, 약 6 메쉬, 약 4 메쉬 또는 약 2 메쉬인 분말로 형성될 수 있다.

[0854] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 압착된, 결합된 또는 응집된 입자를 포함하는 구조적 물체로 형성된다. 이러한 물체를 형성하기 위한 출발 물질은 입자-크기 감소에 의해 얻어진 중간체와 같은 분말 형태의 시약일 수 있다. 물체는 선택적으로 결합제 또는 입자를 함께 응집시키는 다른 수단을 사용하여 기계적 압착 또는 기타 힘에 의해 형성될 수 있다.

[0855] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 그 구조가 공급원료로부터 실질적으로 유도되는 구조적 물체의 형태로 제조된다. 예를 들어, 공급원료 칩은 고탄소 바이오제닉 시약의 생성물 칩을 제조할 수 있다. 또는, 공급원료 실린더는 다소 더 작을 수 있지만 출발 물질의 기본 구조와 기하학적 구조를 유지할 수 있는 고탄소 바이오제닉 시약 실린더를 제조할 수 있다.

[0856] 본 발명에 따른 고탄소 바이오제닉 시약은 최소 치수가 적어도 약 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, 7 cm, 8 cm, 9 cm, 10 cm 이상인 물체로서 제조되거나 또는 물체로 형성될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 최소 치수 또는 최대 치수는 길이, 폭 또는 직경일 수 있다.

[0857] 본 발명의 다른 변형은 공정, 생성물 또는 둘 모두에 첨가제를 혼입하는 것과 관련된다. 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 공정 동안 포함된 적어도 하나의 공정 첨가제를 포함한다. 이들 또는 다른 실시형태에서, 시약은 공정 후에 시약에 도입되는 적어도 하나의 생성물 첨가제를 포함한다.

[0858] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 건조 기준으로

[0859] 70 중량% 이상의 총 탄소;

[0860] 5 중량% 이하의 수소;

[0861] 1 중량% 이하의 질소;

[0862] 0.5 중량% 이하의 인;

[0863] 0.2 중량% 이하의 황; 및

[0864] 금속, 금속 산화물, 금속 수산화물, 금속 할로겐화물, 또는 이들의 조합으로부터 선택된 첨가제

[0865] 를 포함한다.

[0866] 첨가제는 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 산화마그네슘, 백운석, 백운석 석회, 형석, 플루오로스파, 벤토나이트, 산화칼슘, 석회 또는 이들의 조합으로부터 선택될 수 있지만 이에 제한되지 않는다.

[0867] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 건조 기준으로

[0868] 70 중량% 이상의 총 탄소;

[0869] 5 중량% 이하의 수소;

[0870] 1 중량% 이하의 질소;

[0871] 0.5 중량% 이하의 인;

[0872] 0.2 중량% 이하의 황; 및

[0873] 산, 염기 또는 이들의 염으로부터 선택된 첨가제

[0874] 를 포함한다.

[0875] 첨가제는 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 또는 이들의 조합으로부터 선택될 수 있지만 이에 제한되지는 않는다.

[0876] 특정 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 건조 기준으로:

[0877] 70 중량% 이상의 총 탄소;

[0878] 5 중량% 이하의 수소;

[0879] 1 중량% 이하의 질소;

[0880] 0.5 중량% 이하의 인;

[0881] 0.2 중량% 이하의 황;

[0882] 금속, 금속 산화물, 금속 수산화물, 금속 할로겐화물, 또는 이들의 조합으로부터 선택되는 제1 첨가제; 및

[0883] 산, 염기 또는 이들의 염으로부터 선택되는 제2 첨가제

[0884] 를 포함하며,

[0885] 여기서 제1 첨가제는 제2 첨가제와 상이하다.

[0886] 제1 첨가제는 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 산화마그네슘, 백운석, 백운석 석회, 형석, 플루오로스파, 벤토나이트, 산화칼슘, 석회, 또는 이들의 조합으로부터 선택될 수 있는 한편, 제2 첨가제는 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 또는 이들의 조합으로부터 독립적으로 선택될 수 있다.

[0887] 특정 고탄소 바이오제닉 시약은 본질적으로 건조 기준으로 탄소, 수소, 질소, 인, 황, 불연성 물질, 및 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 산화마그네슘, 백운석, 백운석 석회, 형석, 플루오로스파, 벤토나이트, 산화칼슘, 석회, 또는 이들의 조합으로부터 선택되는 첨가제로 이루어진다.

[0888] 특정 고탄소 바이오제닉 시약은 본질적으로 건조 기준으로 탄소, 수소, 질소, 인, 황, 불연성 물질, 및 수산화나트륨, 수산화칼륨, 산화마그네슘, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 또는 이들의 조합으로부터 선택되는 첨가제로 이루어진다.

[0889] 첨가제(또는 총 첨가제)의 양은 약 0.1 중량%, 약 1 중량%, 약 5 중량%, 약 10 중량% 또는 약 20 중량%를 포함하는 약 0.01 중량% 내지 약 25 중량%와 같이 광범위하게 변할 수 있다. 이어서, 약 1 중량% 초과와 같은 상대적으로 많은 양의 첨가제가 혼입되는 경우, 총 시약 중량(첨가제 포함)을 기준으로 계산된 에너지 함량의 감소가 있음이 이해될 것이다. 여전히, 다양한 실시형태에서, 첨가제(들)를 갖는 고탄소 바이오제닉 시약은 약 적어도 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 가질 수 있다.

[0890] 생성물 형태에 관한 상기 논의는 첨가제를 포함하는 실시형태에도 적용된다. 실제로, 특정 실시형태는 결합제, 플럭싱제, 또는 특정 적용을 위한 최종 특성을 향상시키기 위한 다른 개질제로서 첨가제를 포함한다.

[0891] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약에 함유된 대부분의 탄소는 재생 가능한 탄소로서 분류된다. 일부 실시형태에서, 실질적으로 모든 탄소는 재생 가능한 탄소로서 분류된다. 가치가 고탄소 바이오제닉 시약 내 재생 가능한 탄소 함량에서 기인하는 특정 시장 메커니즘(예를 들어, 재생 가능한 식별 번호, 세금 공제 등)이 있

을 수 있다.

[0892] 특정 실시형태에서, 고정 탄소는 (예를 들어, 석탄으로부터의) 재생 불가능한 탄소로서 분류될 수 있는 반면, 별도로 첨가될 수 있는 휘발성 탄소는 에너지 함량뿐만 아니라 재생 가능한 탄소 가치를 증가시키기 위해 재생 가능한 탄소일 수 있다.

[0893] 본원에 기재된 바와 같이 제조된 고탄소 바이오제닉 시약은 다양한 탄소질 생성물에 유용하다. 고탄소 바이오제닉 시약은 그 자체로 바람직한 시장 제품이 될 수 있다. 본원에서 제공되는 고탄소 바이오제닉 시약은 최신 기술에 비해 낮은 수준의 불순물, 감소된 공정 배출물 및 개선된 지속 가능성(높은 재생 가능한 탄소 함량 포함)과 관련이 있다.

[0894] 변형에서, 생성물은 개시된 공정에 의해 얻어질 수 있거나 본원에 기재된 조성물에서 기재된 임의의 고탄소 바이오제닉 시약, 또는 이들의 임의의 부분, 조합 또는 유도체를 포함한다.

[0895] 일반적으로 말하면, 고탄소 바이오제닉 시약은 연소되어 (전기 및 열 포함하는) 에너지를 생성할 수 있거나; 부분적으로 산화, 가스화 또는 증기 개질되어 합성가스를 생성할 수 있거나; 그들의 흡착 또는 흡수 특성을 위해 이용될 수 있거나; (금속 산화물의 환원과 같은) 금속 정제 또는 다른 산업적 처리 동안 그들의 반응성 특성을 위해 이용될 수 있거나; 탄소강 및 기타 다양한 금속 합금의 물질 특성을 위해 사용될 수 있다. 본질적으로, 고탄소 바이오제닉 시약은 개발할 특수 용도를 포함하여 탄소 기반 상품 또는 고급 물질의 임의의 시장 응용 분야에 사용될 수 있다.

[0896] 임의의 생성물 응용 분야에서 적합성 또는 실제 사용 전에, 개시된 고탄소 바이오제닉 시약은 다양한 방식으로 분석, 측정 및 선택적으로 개질(예컨대 첨가제를 통해)될 수 있다. 화학 조성 및 에너지 함량 이외의 잠재적 관심 있는 일부 특성은 몇 가지 특성을 명명하기 위해 밀도, 입자 크기, 표면적, 미세다공성, 흡수성, 흡착성, 결합 능력, 반응성, 탈황 활성 및 염기도를 포함한다.

[0897] 이러한 고탄소 바이오제닉 시약을 포함할 수 있는 제품 또는 물질은 탄소 기반 용광로 첨가 제품, 탄소 기반 타코나이트 펠릿 첨가 제품, 레이들 첨가 탄소 기반 제품, 메트 코크스 탄소 기반 제품, 석탄 대체 제품, 탄소 기반 코킹 제품, 탄소 브리즈 제품, 유동층 탄소 기반 공급 원료, 탄소 기반 로 첨가 제품, 주입 가능한 탄소 기반 제품, 분쇄 탄소 기반 제품, 스토커 탄소 기반 제품, 탄소 전극 또는 활성탄 제품을 포함하지만 이에 제한되지 않는다.

[0898] 금속 제조에서 개시된 고탄소 바이오제닉 시약의 사용은 슬래그를 감소시키고, 전체 효율을 증가시키며, 라이프 사이클 환경 영향을 감소시킬 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시형태는 특히 금속 가공 및 제조에 매우 적합하다.

[0899] 본 발명의 일부 변형은 탄소 기반 용광로 첨가 제품으로서 고탄소 바이오제닉 시약을 사용한다. 용광로는 철과 같은 (그러나 이에 제한되지 않는) 산업용 금속을 제조하기 위해 제련하는 데 사용되는 일종의 야금로이다. 제련은 추출 야금의 한 형태이며; 그 주요 용도는 광석에서 금속을 제조하는 것이다. 제련은 광석을 분해하기 위해 열과 화학적 환원제를 사용한다. 탄소 또는 탄소로부터 유도된 일산화탄소는 광석에서 산소를 제거하여 원소 금속을 남긴다.

[0900] 환원제는 고탄소 바이오제닉 시약으로 본질적으로 이루어지거나 이를 포함할 수 있다. 용광로에서, 고탄소 바이오제닉 시약, 광석 및 전형적으로 석회석은 로 상단을 통해 연속적으로 공급될 수 있는 한편, 공기(선택적으로 산소 풍부화를 가짐)는 챔버 하단으로 불어넣어져, 물질이 아래로 이동함에 따라 로 전체에서 화학 반응이 발생한다. 최종 생성물은 일반적으로 바닥에서 탭핑된 용융 금속 및 슬래그 상, 및 로 상단에서 배출되는 연도 가스이다. 뜨거운 일산화탄소-풍부 가스의 상향 유동과 접촉하는 광석의 하향 유동은 역류 공정이다.

[0901] 용광로에서의 탄소 품질은 열화에 대한 내성에 의해 측정된다. 투과성 매질로서 탄소의 역할은 경제적인 용광로 작동에서 결정적이다. 탄소의 열화는 용광로에서의 위치에 따라 다르며 CO_2, H_2O 또는 O_2와의 반응과 탄소 입자의 서로에 대한 마모 및 부하의 다른 성분의 조합을 포함한다. 열화된 탄소 입자는 플러깅 및 불량한 성능을 야기할 수 있다.

[0902] 코크스 반응성 테스트는 용광로에서 탄소의 성능의 높이 평가되는 척도이다. 이러한 테스트는 코크스 반응성 지수(CRI)와 반응 후 코크스 강도(CSR)의 두 가지 구성요소를 갖는다. CRI 값이 낮고(반응성이 높음) CSR 값이 높은 탄소 기반 물질은 용광로 성능 향상에 바람직하다. CRI는 당업계에 공지된 임의의 적합한 방법, 예를 들어, ASTM 방법 DS341에 의해 수신된 그대로 결정될 수 있다.

[0903] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 용광로에 직접 도입하기에 적합한 특성을 갖는 탄소 생성물을 제공한다.

[0904] 고탄소 바이오제닉 시약의 강도는 당업계에 공지된 임의의 적합한 방법, 예를 들어, 낙하산 테스트 또는 CSR 테스트에 의해 결정될 수 있다. 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 선택적으로 다른 탄소원과 혼합될 때 적어도 약 50%, 60% 또는 70%의 CSR을 갖는 최종 탄소 생성물을 제공한다. 조합 생성물은 또한 용광로에서 연소하기에 적합한 반응성을 갖는 최종 코크스 생성물을 제공할 수 있다. 일부 실시형태에서, 생성물은 고탄소 바이오제닉 시약이 메트 석탄, 메트 코크스, 코크스 브리즈, 주물 코크스 또는 주입 가능한 석탄에 대한 첨가제 또는 대체물로서 사용하기에 적합하도록 CRI를 갖는다.

[0905] 일부 실시형태는 용광로 생성물로서 사용하기에 불충분한 CRI 또는 CSR을 갖는 다른 탄소원(예를 들어, 코크스)에 첨가될 때 용광로에서 사용하기에 충분한 CRI 또는 CSR을 갖는 복합 생성물을 제공하는 고탄소 바이오제닉 시약을 제공하기에 충분한 양으로 첨가제를 사용한다. 일부 실시형태에서, 첨가제는 약 40%, 30% 또는 20% 이하의 CRI를 갖는 고탄소 바이오제닉 시약을 제공하기에 충분한 양으로 존재한다.

[0906] 일부 실시형태에서, 알칼리 토금속, 또는 이의 산화물 또는 탄산염 중에서 선택되는 첨가제는 고탄소 바이오제닉 시약을 생성하는 과정 동안 또는 이후에 도입된다. 예를 들어, 칼슘, 산화칼슘, 탄산칼슘, 산화마그네슘 또는 탄산마그네슘이 첨가제로서 도입될 수 있다. 열분해 전, 도중 또는 후에 이들 화합물의 첨가는 용광로에서 고탄소 바이오제닉 시약의 반응성을 증가시킬 수 있다. 이러한 화합물은 더 강한 물질, 즉 더 높은 CSR로 이어져 용광로 효율성을 향상시킬 수 있다. 또한, 알칼리 토금속 또는 이의 산화물 또는 탄산염으로부터 선택되는 것과 같은 첨가제는 배출물(예를 들어, SO_2)을 낮출 수 있다.

[0907] 일부 실시형태에서, 용광로 대체 제품은 적어도 약 55 중량%의 탄소, 약 0.5 중량% 이하의 황, 약 8 중량% 이하의 불연성 물질, 및 파운드당 적어도 약 11,000 Btu의 발열량을 포함하는 본 발명에 따른 고탄소 바이오제닉 시약이다. 일부 실시형태에서, 용광로 대체 제품은 약 0.035 중량% 이하의 인, 약 0.5 중량% 내지 약 50 중량%의 휘발성 물질, 및 선택적으로 첨가제를 추가로 포함한다. 일부 실시형태에서, 용광로 대체 제품은 약 2 중량% 내지 약 15 중량%의 백운석, 약 2 중량% 내지 약 15 중량%의 백운석 석회, 약 2 중량% 내지 약 15 중량% 벤토나이트, 또는 약 2 중량% 내지 약 15 중량%의 산화칼슘을 포함한다. 일부 실시형태에서, 용광로 대체 제품은 실질적으로 약 1 cm 내지 약 10 cm 범위의 치수를 갖는다.

[0908] 일부 실시형태에서, 본 발명에 따른 고탄소 바이오제닉 시약은 주물 코크스 대체 제품으로서 유용하다. 주물 코크스는 일반적으로 적어도 약 85 중량%의 탄소 함량, 약 0.6 중량%의 황 함량, 약 1.5 중량% 이하의 휘발성 물질, 약 13 중량% 이하의 회분, 약 8 중량% 이하의 수분, 약 0.035 중량%의 인, 약 30의 CRI 값 및 약 5 cm 내지 약 25 cm 범위의 치수를 갖는 것을 특징으로 한다.

[0909] 본 발명의 일부 변형은 탄소 기반 타코나이트 펠릿 첨가 제품으로서 고탄소 바이오제닉 시약을 사용한다. 철 및 강철을 만드는 데 사용되는 광석은 산화철이다. 주요 산화철 광석에는 적철광, 갈철광(갈색 광석으로도 불림), 타코나이트 및 자철광, 흑색 광석이 포함된다. 타코나이트는 자철광과 적철광을 둘 모두 포함하는 저급이지만 중요한 광석이다. 타코나이트의 철 함량은 일반적으로 25 중량% 내지 30 중량%이다. 용광로는 전형적으로 효율적인 작동을 위해 적어도 50 중량%의 철 함유 광석을 필요로 한다. 철광석은 파쇄, 스크리닝, 텀블링, 부유 및 자력 분리를 포함한 선광(beneficiation)을 거칠 수 있다. 정제된 광석은 60% 초과의 철로 풍부화되며 종종 운송 전에 펠릿으로 형성된다.

[0910] 예를 들어, 타코나이트는 미세 분말로 분쇄되고 벤토나이트 점토 및 석회석과 같은 결합제와 조합될 수 있다. 예를 들어, 대략 65 중량%의 철을 포함하는 직경 약 1 cm의 펠릿이 형성될 수 있다. 펠릿은 연소되어 자철광을 적철광으로 산화시킨다. 펠릿은 가열된 가스가 통과하여 펠릿화된 광석과 반응할 수 있도록 용광로 충전물이 충분히 다공성을 유지하도록 보장하는 내구성이 있다.

[0911] 타코나이트 펠릿은 용광로 첨가 제품과 관련하여 상기 기재된 바와 같이 철을 제조하기 위해 용광로에 공급될 수 있다. 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약이 용광로에 도입된다. 이들 또는 다른 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 타코나이트 펠릿 자체에 혼입된다. 예를 들어, 타코나이트 광석 분말은 선광 후 고탄소 바이오제닉 시약 및 결합제와 혼합되고 작은 물체로 롤링된 다음, 단단하도록 베이킹될 수 있다. 그러한 실시형태에서, 적절한 조성을 갖는 타코나이트-탄소 펠릿은 별도의 탄소 공급원에 대한 필요 없이 용광로에 편리하게 도입될 수 있다.

[0912] 본 발명의 일부 변형은 레이들 첨가 탄소 기반 생성물로서 고탄소 바이오제닉 시약을 이용한다. 레이들은 용융

금속을 수송하고 쏟는 데 사용되는 용기이다. 주조 레이들은 용융 금속을 주형에 부어 주물을 제조하는 데 사용된다. 이송 레이들은 한 공정에서 다른 공정으로 다량의 용융 금속을 이송하는 데 사용된다. 처리 레이들은 레이들 내에 다양한 요소를 첨가하여 주철(cast iron)을 연성 철로 변환하는 것과 같이 용융 금속의 일부 양태를 변경하기 위해 레이들 내에서 일어나는 공정에 사용된다.

[0913] 고탄소 바이오제닉 시약은 임의의 유형의 레이들에 도입될 수 있지만, 전형적으로 탄소는 목표 탄소 함량에 기초하여 적절한 양으로 처리 레이들에 첨가될 것이다. 레이들에 주입된 탄소는 탄소를 최종 조성물로 대량 수송하기 위해 미세 분말의 형태일 수 있다. 일부 실시형태에서, 본 발명에 따른 고탄소 바이오제닉 시약은 레이들 첨가 제품으로서 사용되는 경우 최소 치수가 약 0.5 cm, 예컨대 약 0.75 cm, 약 1 cm, 약 1.5 cm 이상이다.

[0914] 일부 실시형태에서, 본 발명에 따른 고탄소 바이오제닉 시약은 탄소의 레이들 첨가가 사용될 어디에서나(예를 들어, 강철 제조 동안 레이들 탄소에 첨가됨) 예를 들어, 기본 산소로 또는 전기 아크로 시설에서 레이들 첨가 탄소 첨가제로서 유용하다.

[0915] 일부 실시형태에서, 레이들 첨가 탄소 첨가제는 최대 약 5 중량%의 망간, 최대 약 5 중량%의 산화칼슘, 또는 최대 약 5 중량%의 백운석 석회를 추가로 포함한다.

[0916] 스폰지 철(sponge iron)로도 불리는 직접-환원 철(direct-reduced iron: DRI)은 천연가스나 석탄으로부터 통상적으로 제조되는 환원 가스에 의해 철광석(덩어리, 펠릿 또는 미분의 형태)을 직접 환원시켜 제조된다. 환원 가스는 전형적으로 환원제 역할을 하는 수소와 일산화탄소의 혼합물인 합성가스이다. 본원에 제공된 바와 같은 고탄소 바이오제닉 시약은 CO를 포함하는 가스 스트림으로 전환되어 직접 환원된 철을 제조하는 환원제로서 작용할 수 있다.

[0917] 철 너겟은 고품질 제강 및 주철 공급 물질이다. 철 너겟은 본질적으로 모두 철과 탄소이며, 맥석(슬래그)이 거의 없고 금속 잔류물이 낮은 수준이다. 그들은 운송 및 취급 특성이 우수한 프리미엄 등급 선철(pig iron) 생성물이다. 철 너겟에 함유된 탄소 또는 이의 임의의 부분은 본원에서 제공되는 고탄소 바이오제닉 시약일 수 있다. 철 너겟은 고탄소 바이오제닉 시약을 환원제 및 에너지원으로서 사용하여 로터리 화로에서 철광석을 환원시켜 제조될 수 있다.

[0918] 본 발명의 일부 변형은 야금 코크스 탄소 기반 생성물로서 고탄소 바이오제닉 시약을 사용한다. "메트" 코크스라고도 알려져 있는 야금 코크스는 일반적으로 다양한 역청탄 블렌드의 분해 증류에 의해 제조되는 탄소 물질이다. 최종 고체는 야금 코크스라고 하는 비-용융 탄소이다. 휘발성 가스의 손실과 부분 용융의 결과로 메트 코크스는 개방된 다공성 형태를 갖는다. 메트 코크스는 휘발성 함량이 매우 낮다. 그러나, 원래 역청탄 공급원료의 일부였던 회분 성분은 생성된 코크스에 캡슐화된 상태로 남아 있다. 메트 코크스 공급원료는 미세한 분말에서 농구공 크기의 덩어리까지 다양한 크기로 이용 가능하다. 전형적인 순도는 86 내지 92 중량%의 고정 탄소 범위이다.

[0919] 야금 코크스는 고품질의 질기고 탄력 있는 내마모성 탄소가 필요한 곳에 사용된다. 응용 분야는 전도성 바닥재, 마찰재(예를 들어, 카본 라이닝), 주조 코팅, 주조 카본 라이저, 부식 물질, 드릴링 응용 분야, 환원제, 열처리제, 세라믹 패킹 매체, 전해 공정 및 산소 배제를 포함하지만 이에 제한되지 않는다.

[0920] 메트 코크스는 파운드당 약 10,000 내지 14,000 Btu의 발열량 및 약 10 중량% 이상의 회분 함량을 갖는 것을 특징으로 할 수 있다. 따라서, 일부 실시형태에서, 메트 코크스 대체 제품은 적어도 약 80 중량%, 85 중량%, 또는 90 중량% 탄소, 약 0.8 중량% 이하의 황, 약 3 중량% 이하의 휘발성 물질, 약 15 중량% 이하의 회분, 약 13 중량% 이하의 수분 및 약 0.035 중량% 이하의 인을 포함하는 본 발명에 따른 고탄소 바이오제닉 시약(예를 들어, 탄소-네거티브 펠릿)을 포함한다. 본 발명에 따른 고탄소 바이오제닉 시약은 메트 코크스 대체 제품으로서 사용될 때, 예를 들어, 약 2 cm 내지 약 15 cm의 크기 범위를 가질 수 있다.

[0921] 일부 실시형태에서, 메트 코크스 대체 제품은 크롬, 니켈, 망간, 산화마그네슘, 규소, 알루미늄, 백운석, 플루오로스파, 산화칼슘, 석회, 백운석 석회, 벤토나이트 또는 이들의 조합과 같은 첨가제를 추가로 포함한다.

[0922] 본 발명의 일부 변형은 석탄 대체 제품으로서 고탄소 바이오제닉 시약을 사용한다. 석탄을 사용하는 임의의 공정 또는 시스템은 원칙적으로 고탄소 바이오제닉 시약을 사용하도록 개조될 수 있다.

[0923] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 석탄 기반 제품과 조합되어 석탄 기반 제품보다 더 높은 등급을 갖거나 연소될 때 석탄 기반 제품보다 배출물이 더 적은 복합 생성물을 형성한다.

[0924] 예를 들어, 아역청탄과 같은 저급 석탄은 본 발명에 따른 선택된 양의 고탄소 바이오제닉 시약을 저급 석탄 생

성물 조합함으로써 역청탄과 같은 더 높은 등급 석탄 생성물을 일반적으로 요구하는 적용에 사용될 수 있다. 다른 실시형태에서, 혼합된 석탄 생성물(예를 들어, 상이한 등급의 복수의 석탄의 조합)의 등급은 혼합 석탄을 일정량의 고탄소 바이오제닉 시약과 조합함으로써 개선될 수 있다. 석탄 생성물(들)과 혼합되는 고탄소 바이오제닉 시약의 양은 석탄 생성물(들)의 등급, 고탄소 바이오제닉 시약의 특성(예를 들어, 탄소 함량, 발열량 등) 및 최종 조합된 생성물의 원하는 등급에 따라 달라질 수 있다.

[0925] 예를 들어, 무연탄은 일반적으로 적어도 약 80 중량%의 탄소, 약 0.6 중량%의 황, 약 5 중량%의 휘발성 물질, 최대 약 15 중량%의 회분, 최대 약 10 중량%의 수분 및 약 12,494 Btu/lb의 발열량을 갖는 것으로 특징지어진다. 일부 실시형태에서, 무연탄 대체 제품은 적어도 약 80 중량%의 탄소, 약 0.6 중량% 이하의 황, 약 15 중량% 이하의 회분 및 적어도 약 12,000 Btu/lb의 발열량을 포함하는 고탄소 바이오제닉 시약이다.

[0926] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 열적 석탄 대체 제품으로서 유용하다. 열적 석탄 제품은 일반적으로 높은 황 수준, 높은 인 수준, 높은 회분 함량 및 최대 약 15,000 Btu/lb의 발열량을 갖는 것으로 특징지어진다. 일부 실시형태에서, 열적 석탄 대체 제품은 약 0.5 중량% 이하의 황, 약 4 중량% 이하의 회분 및 적어도 약 12,000 Btu/lb의 발열량을 포함하는 고탄소 바이오제닉 시약이다.

[0927] 본 발명의 일부 변형은 탄소 기반 코킹 제품으로서 고탄소 바이오제닉 시약을 이용한다. 임의의 코킹 공정 또는 시스템은 코크스를 제조하거나 코크스 공급원료로서 사용하기 위해 고탄소 바이오제닉 시약을 사용하도록 개조될 수 있다.

[0928] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 열적 석탄 또는 코크스 대체 제품으로서 유용하다. 예를 들어, 열적 석탄 또는 코크스 대체 제품은 적어도 약 50 중량%의 탄소, 약 8 중량% 이하의 회분, 약 0.5 중량% 이하의 황 및 적어도 약 11,000 Btu/lb의 발열량을 포함하는 고탄소 바이오제닉 시약으로 이루어질 수 있거나 이로 본질적으로 이루어질 수 있다. 다른 실시형태에서, 열적 코크스 대체 제품은 약 0.5 중량% 내지 약 50 중량%의 휘발성 물질을 추가로 포함한다. 열적 석탄 또는 코크스 대체 제품은 약 0.4 중량% 내지 약 15 중량%의 수분을 포함할 수 있다.

[0929] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 석유(pet) 코크스 또는 하소 pet 코크스 대체 제품으로서 유용하다. 하소 pet 코크스는 일반적으로 적어도 약 66 중량%의 탄소, 최대 4.6 중량%의 황, 최대 약 5.5 중량%의 휘발성 물질, 최대 약 19.5 중량%의 회분 및 최대 약 2 중량%의 수분을 갖는 것을 특징으로 하며, 전형적으로 약 3 메쉬 이하의 크기이다. 일부 실시형태에서, 하소 pet 코크스 대체 제품은 적어도 약 66 중량%의 탄소, 약 4.6 중량% 이하의 황, 약 19.5 중량% 이하의 회분, 약 2 중량% 이하의 수분을 고탄소 바이오제닉 시약이며, 약 3 메쉬 이하의 크기이다.

[0930] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 코킹 탄소 대체 탄소로서 유용하다(예를 들어, 코킹로에서 야금 석탄과 함께 공동 연소됨). 일 실시형태에서, 코킹 탄소 대체 제품은 적어도 약 55 중량%의 탄소, 약 0.5 중량% 이하의 황, 약 8 중량% 이하의 불연성 물질, 및 파운드당 적어도 약 11,000 Btu의 발열량을 포함하는 고탄소 바이오제닉 시약이다. 일부 실시형태에서, 코킹 탄소 대체 제품은 약 0.5 중량% 내지 약 50 중량%의 휘발성 물질, 또는 첨가제를 포함한다.

[0931] 본 발명의 일부 변형은 전형적으로 6 ㎜, 3 ㎜, 2 ㎜, 1 ㎜ 이하와 같은 매우 미세한 입자 크기를 갖는 카본 브리즈 생성물로서 고탄소 바이오제닉 시약을 이용한다. 일부 실시형태에서, 본 발명에 따른 고탄소 바이오제닉 시약은 코크스 브리즈 대체 제품으로서 유용하다. 코크스 브리즈는 일반적으로 약 6 ㎜ 이하의 최대 치수, 적어도 약 80 중량%의 탄소 함량, 0.6 내지 0.8 중량%의 황, 1% 내지 20 중량%의 휘발성 물질, 최대 약 13 중량%의 회분, 및 최대 약 13 중량%의 수분을 갖는 것을 특징으로 한다. 일부 실시형태에서, 코크스 브리즈 대체 제품은 적어도 약 80 중량%의 탄소, 약 0.8 중량% 이하의 황, 약 20 중량% 이하의 휘발성 물질, 약 13 중량% 이하의 회분, 약 13 중량% 이하의 수분 및 약 6 ㎜의 최대 치수를 포함하는 본 발명에 따른 고탄소 바이오제닉 시약이다.

[0932] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은, 예를 들어, 타코나이트 펠릿 제조 동안 또는 제철 공정에서 카본 브리즈 대체 제품으로서 유용하다.

[0933] 일부 변형은 다양한 유동층의 공급원료 또는 유동층 탄소 기반 공급원료 대체 제품으로서 고탄소 바이오제닉 시약을 이용한다. 탄소는 전체 연소, 부분 산화, 가스화, 증기 개질 등을 위해 유동층에 사용될 수 있다. 탄소는 주로 에너지 생산(예를 들어, 열과 전력의 결합) 또는 액체 연료(예를 들어, 메탄올 또는 피셔-트롭쉬(Fischer-Tropsch) 디젤 연료)를 포함한 다양한 다운스트림 사용을 위해 합성가스로 전환될 수 있다.

[0934] 일부 실시형태에서, 본 발명에 따른 고탄소 바이오제닉 시약은, 예를 들어, 석탄이 사용되는 어디에서나(예를

들어 공정 열 또는 에너지 생산을 위해) 유동층 로에서 유동층 석탄 대체 제품으로서 유용하다.

[0935] 일부 변형은 탄소 기반 로 첨가 제품으로서 고탄소 바이오제닉 시약을 사용한다. 석탄 기반 탄소 로 첨가 제품은 일반적으로 금속 생성물의 열화에 기여하고 대기 오염을 생성하는 높은 황 수준, 높은 인 수준 및 높은 회분 함량을 특징으로 한다. 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약을 포함하는 탄소 로 첨가 대체 제품은 약 0.5 중량% 이하의 황, 약 4 중량% 이하의 회분, 약 0.03 중량% 이하의 인, 및 약 7.5 cm의 최대 치수를 포함한다. 일부 실시형태에서, 탄소 로 첨가 대체 제품은 약 0.5 중량% 내지 약 50 중량%의 휘발성 물질 및 약 0.4 중량% 내지 약 15 중량%의 수분을 포함한다.

[0936] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 로 첨가 탄소가 사용될 어디에서나, 예를 들어, 기본 산소로 또는 전기 아크로 시설에서 로 첨가 탄소 첨가제로서 유용하다. 예를 들어, 전기 아크로 시설에서 강철 제조 동안 스크랩 강철에 로 첨가 탄소가 첨가될 수 있다. 전기 아크로 적용의 경우, 불순물을 조기에 제거한 후 공정에 불순물이 다시 유입되지 않도록 고순도 탄소가 요구된다.

[0937] 일부 실시형태에서, 로 첨가 탄소 첨가제는 적어도 약 80 중량%의 탄소, 약 0.5 중량% 이하의 황, 약 8 중량% 이하의 불연성 물질, 및 파운드당 적어도 약 11,000 Btu의 발열량을 포함하는 고탄소 바이오제닉 시약이다. 일부 실시형태에서, 로 첨가 탄소 첨가제는 최대 약 5 중량%의 망간, 최대 약 5 중량%의 플루오로스파, 약 5 중량% 내지 약 10 중량%의 백운석, 약 5 중량% 내지 약 10 중량%의 백운석 석회, 또는 약 5 중량% 내지 약 10 중량%의 산화칼슘을 추가로 포함한다.

[0938] 일부 변형은 고탄소 바이오제닉 시약을 스토커(stoker) 로 탄소 기반 제품으로서 사용한다. 일부 실시형태에서, 본 발명에 따른 고탄소 바이오제닉 시약은, 예를 들어, 석탄이 사용되는 어디에서나(예를 들어, 공정 열 또는 에너지 생산을 위해) 스토커 로 시설에서 스토커 석탄 대체 제품으로서 유용하다.

[0939] 일부 변형은 주입 가능한(예를 들어, 분쇄된) 탄소 기반 물질로서 고탄소 바이오제닉 시약을 이용한다. 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 주입 등급 하소 pet 코크스 대체 제품으로서 유용하다. 주입-등급 하소 pet 코크스는 일반적으로 적어도 약 66 중량%의 탄소, 약 0.55 내지 약 3 중량%의 황, 최대 약 5.5 중량%의 휘발성 물질, 최대 약 10 중량%의 회분 및 최대 약 2 중량%의 수분을 갖는 것을 특징으로 하며, 약 6 메쉬 이하의 크기이다. 일부 실시형태에서, 하소 pet 코크스 대체 제품은 적어도 약 66 중량%의 탄소, 약 3 중량% 이하의 황, 약 10 중량% 이하의 회분, 약 2 중량% 이하의 수분을 고탄소 바이오제닉 시약이며, 약 6 메쉬 이하의 크기이다.

[0940] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은 주입 가능한 탄소가 사용되는 임의의 적용(예를 들어, 강철 제조 동안에 슬래그 또는 레이들에 주입됨)에서, 예를 들어, 기본 산소로 또는 전기 아크로 시설에서 주입 가능한 탄소 대체 제품으로서 유용하다.

[0941] 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은, 예를 들어, 미분탄이 사용되는 어디에서나(예를 들어, 공정 열 또는 에너지 생산을 위해) 분쇄된 탄소 대체 제품으로서 유용하다. 일부 실시형태에서, 미분탄 대체 제품은 최대 약 10%의 산화칼슘을 포함한다.

[0942] 일부 변형은 금속 제조를 위한 탄소 첨가 제품으로서 고탄소 바이오제닉 시약을 사용한다. 일부 실시형태에서, 본 발명에 따른 고탄소 바이오제닉 시약은 탄소강 또는 탄소를 포함하는 또 다른 금속 합금의 제조를 위한 탄소 첨가 제품으로서 유용하다. 석탄 기반 후기-단계 탄소 첨가 제품은 일반적으로 금속 품질을 열화시키고 대기 오염에 기여하는 높은 황 수준, 높은 인 수준, 높은 회분 함량 및 높은 수은 수준을 갖는 것으로 특징지어 진다. 본 발명의 일부 실시형태에서, 탄소 첨가 제품은 약 0.5 중량% 이하의 황, 약 4 중량% 이하의 회분, 약 0.03 중량% 이하의 인, 약 1 내지 5 ㎜의 최소 치수, 및 약 8 내지 12 ㎜의 최대 치수를 포함한다.

[0943] 일부 변형은 탄소 전극 내에서 고탄소 바이오제닉 시약을 사용한다. 일부 실시형태에서, 고탄소 바이오제닉 시약은, 예를 들어, 알루미늄 제조에 사용하기에 적합한 전극(예를 들어, 애노드) 물질로서 유용하다.

[0944] 탄소 전극에서 고탄소 바이오제닉 시약의 다른 응용 분야는 배터리, 연료 전지, 커패시터 및 기타 에너지 저장 또는 에너지 전달 장치에 적용하는 것을 포함한다. 예를 들어, 리튬 이온 배터리에서 고탄소 바이오제닉 시약은 리튬을 삽입하기 위해 애노드 측에 사용될 수 있다. 이러한 응용 분야에서, 탄소 순도와 낮은 회분은 매우 중요할 수 있다.

[0945] 본 발명의 일부 변형은 촉매 지지체로서 고탄소 바이오제닉 시약을 이용한다. 탄소는, 탄소 상(phase)에 지지된 황화 코발트-몰리브덴 금속 촉매를 사용하는 합성가스로부터의 혼합된 알코올 합성과 같은 광범위한 촉매 화학

반응에서, 또는 합성가스로부터 더 높은 탄화수소의 피셔-트롭쉬 합성을 위한 탄소 상에 지지된 철 기반 촉매에서 알려진 촉매 지지체이다.

[0946] 일부 변형은 고탄소 바이오제닉 시약을 활성탄 생성물로서 사용한다. 활성탄은 수 처리, 공기 정화, 용매 증기 회수, 식품 및 음료 가공 및 의약품을 포함하는 다양한 액체 및 가스상 응용 분야에 사용된다. 활성탄의 경우, 물질의 다공성 및 표면적이 일반적으로 중요하다. 본원에 제공된 고탄소 바이오제닉 시약은, 다양한 실시형태에서, (i) 화석 연료 기반 활성탄보다 더 큰 표면적; (ii) 탄소 재생 가능성; (iii) 첨가제와 함께 바이오매스 공급원료의 혈관 특성이 오염물 제어를 향상시키는 첨가제의 침투/분포를 더 잘 허용함; 및 (iv) 더 적은 불활성 물질(회분)이 더 큰 반응성으로 이어짐으로 인해 우수한 활성탄 생성물을 제공할 수 있다.

[0947] 고탄소 바이오제닉 시약의 시장 응용 분야에 대한 상기 설명에서, 설명된 용도는 배타적이지 않으며 완전하지도 않음을 인식해야 한다. 따라서, 한 가지 유형의 탄소 생성물에 적합한 것으로서 설명된 고탄소 바이오제닉 시약은 다양한 실시형태에서 설명된 임의의 다른 적용에 적합할 수 있다. 이러한 적용은 예시일 뿐이며 고탄소 바이오제닉 시약의 다른 적용이 존재한다.

[0948] 또한, 일부 실시형태에서, 동일한 물리적 물질이 통합된 방식으로 또는 순차적으로 다수의 시장 공정에서 사용될 수 있다. 따라서, 예를 들어, 탄소 전극 또는 활성탄으로서 사용되는 고탄소 바이오제닉 시약은 성능 물질로서의 유용한 수명이 끝나면 에너지 가치를 위한 연소 공정에 또는 금속-제조(예를 들어, 금속 광석 환원) 공정 등에 도입될 수 있다.

[0949] 일부 실시형태는 반응성 또는 흡착 특성을 위해 그리고 또한 연료로서 바이오제닉 시약을 사용할 수 있다. 예를 들어, 방출물 스트림에 주입된 바이오제닉 시약은 오염물질을 제거한 후 바이오제닉 시약 입자 및 아마도 오염물질을 연소하여 에너지를 생성하고 오염물질을 열적으로 파괴하거나 화학적으로 산화시키는 데 적합할 수 있다.

[0950] 중요한 환경적 및 생성물 사용 이점은 통상적인 화석-연료 기반 생성물과 비교하여 고탄소 바이오제닉 시약과 관련될 수 있다. 고탄소 바이오제닉 시약은 환경적으로 우수할 뿐만 아니라, 예를 들어, 순도가 더 높기 때문에 가공 관점에서 기능적으로도 우수하다.

[0951] 금속 제조의 일부 실시형태와 관련하여, 개시된 공정을 이용한 바이오제닉 시약의 제조는, 금속 제조에 사용하기 위해 이들을 제조하는 데 필요한 석탄 기반 생성물의 코킹에 비해 CO, CO_2, NO_x, SO_2 및 유해한 공기 오염물질의 배출을 상당히 낮출 수 있다.

[0952] 석탄 또는 코크스 대신 고탄소 바이오제닉 시약의 사용은 또한 SO_2, 유해한 공기 오염물질 및 수은의 환경 배출을 상당히 감소시킨다.

[0953] 또한, 이러한 고탄소 바이오제닉 시약(낮은 회분 함량 포함)의 순도 때문에, 개시된 바이오제닉 시약은 배치식 금속 제조 공정에서 슬래그를 줄이고 생산 능력을 증가시킬 가능성이 있다.

[0954] 일부 실시형태에서, 바이오제닉 시약은 활성탄으로 기능한다. 특정 실시형태에서, 바이오제닉 시약의 일부는 활성탄 생성물로서 회수되는 반면, 바이오제닉 시약의 또 다른 부분(예를 들어, 나머지)은 결합제로 펠릿화되어 바이오카본 펠릿을 생성한다. 다른 실시형태에서, 바이오제닉 시약을 결합제와 함께 펠릿화하여 바이오카본 펠릿을 생성하고, 이 펠릿은 나중에 활성탄 생성물로서 전환하기 위해 배송된다. 나중에 전환하는 것은 분말로 다시 분쇄하는 것을 포함할 수 있으며, 예를 들어, 증기, 산 또는 염기를 사용한 화학적 처리를 포함할 수도 있다. 이러한 실시형태에서, 바이오카본 펠릿은 활성탄 전구체 펠릿으로 간주될 수 있다.

[0955] 특정 실시형태에서, 바이오제닉 시약 내의 고정 탄소는 주로 활성탄을 제조하는 데 사용될 수 있는 반면, 바이오제닉 시약 내의 휘발성 탄소는 주로 환원 가스를 제조하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 단계 (b)에서 생성된 바이오제닉 시약 내의 고정 탄소의 적어도 50 중량%, 적어도 90 중량% 또는 본질적으로 전부가 단계 (f)에서 활성탄으로 회수될 수 있는 반면, 예를 들어, 단계 (b)에서 생성된 바이오제닉 시약 내의 휘발성 탄소의 적어도 50 중량%, 적어도 90 중량% 또는 본질적으로 전부가 환원 가스로 향할 수 있다(예를 들어, 휘발성 탄소의 CO로의 증기-개질 반응을 통해).

[0956] 활성탄은 생성될 때, 예를 들어, 적어도 약 500, 750, 800, 1000, 1500 또는 2000의 요오드가를 특징으로 할 수 있다. 활성탄은 활성탄의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 95%의 재생 가능한 탄소 함량을 특징으로 할 수 있다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 활성탄의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원

소 비율의 측정으로부터 결정할 때 (완전히) 재생 가능한 활성탄을 특징으로 한다.

[0957] 일부 실시형태에서, 열분해 반응기는 상이한 유형의 활성탄의 생산을 최적화하도록 구성된다. 예를 들어, 반응 조건(예를 들어, 시간, 온도 및 증기 농도)은 요오드가와 같은 특정 속성을 갖는 활성탄 생성물을 위해 선택될 수 있다. 더 높은 요오드가를 갖는 것과 같은 상이한 활성탄 생성물을 위해 다른 반응 조건이 선택될 수 있다. 열분해 반응기는 캠페인 모드에서 작동되어 하나의 생성물을 생성한 다음 또 다른 생성물을 위해 또 다른 모드로 전환될 수 있다. 제1 생성물은 제1 캠페인 동안 연속적으로 또는 주기적으로 제거되었거나, 열분해 반응기의 반응 조건을 전환하기 전에 제거될 수 있다.

[0958] 활성탄은, 예를 들어, 적어도 약 500, 750, 1000, 1500, 또는 2000의 요오드가를 특징으로 할 수 있다. 활성탄은 활성탄의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 적어도 90%의 재생 가능한 탄소 함량을 특징으로 할 수 있다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 활성탄의 $^{14}C/^{12}C$ 동위원소 비율의 측정으로부터 결정할 때 (완전히) 재생 가능한 활성탄을 특징으로 한다.

[0959] 본원에 개시된 공정에 의해 생성된 활성탄은 다수의 방식으로 사용될 수 있다.

[0960] 일부 실시형태에서, 활성탄은 주요 생성물을 정제하기 위해 공정 현장에서 내부적으로 이용된다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 물을 정제하기 위해 현장에서 사용된다. 이들 또는 다른 실시형태에서, 활성탄은 현장에서 사용되어 액상 배출물을 감소시키기 위해 액체 폐기물 스트림을 처리하거나 공기 배출물을 감소시키기 위해 증기 폐기물 스트림을 처리한다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 현장에서 지역 공급원료로서 사용되는 것과 동일한 유형의 바이오매스일 수 있는 새로운 바이오매스의 생성을 돕기 위해 토양 개량제로서 사용된다.

[0961] 본원에 개시된 공정에 따라 제조된 활성탄은 전통적인 화석 연료 기반 활성탄과 동일하거나 더 나은 특성을 가질 수 있다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 화석 연료 기반 활성탄과 관련된 표면적과 비슷하거나 동일하거나 적어도 이와 관련된 표면적을 갖는다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 오염물질을 제어할 수 있을 뿐만 아니라 전통적인 활성탄 생성물보다 더 잘 제어할 수 있다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 관련된 불활성 물질(예를 들어, 회분) 수준과 비슷하거나 동일하거나 그보다 낮은 불활성 물질(예를 들어, 회분) 수준을 갖는다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 관련된 입자 크기 또는 입자 크기 분포와 비슷하거나 동일하거나 적어도, 또는 최대인 입자 크기 또는 입자 크기 분포를 갖는다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 관련된 입자 형상과 비슷하거나 실질적으로 유사하거나 동일한 입자 형상을 갖는다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 관련된 입자 형상과 실질적으로 상이한 입자 형상을 갖는다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 관련된 기공 부피와 비슷하거나 동일하거나 더 큰 기공 부피를 갖는다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 관련된 기공 치수와 필적하거나 실질적으로 유사하거나 동일한 기공 치수를 갖는다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 관련된 입자의 내마모성 값과 비슷하거나 실질적으로 유사하거나 동일한 입자의 내마모성 값을 갖는다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 관련된 경도 값과 비슷하거나 실질적으로 유사하거나 동일한 경도 값을 갖는다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 전통적인 활성탄 생성물과 관련된 벌크 밀도 값과 비슷하거나 실질적으로 유사하거나 동일한 벌크 밀도 값을 갖는다. 일부 실시형태에서, 활성탄 생성물은 전통적인 활성탄 생성물과 관련된 흡착 용량과 비슷하거나 실질적으로 유사하거나 동일한 흡착 용량을 갖는다.

[0962] 임의의 생성물 적용에서 적합성 또는 실제 사용 전에, 개시된 활성탄은 다양한 방식으로 분석, 측정 및 선택적으로 개질(예컨대 첨가제를 통해)될 수 있다. 잠재적 관심 있는 일부 특성에는 밀도, 입자 크기, 표면적, 미세다공성, 흡수성, 흡착성, 결합 능력, 반응성, 탈황 활성, 염기도, 경도, 및 요오드가가 포함된다.

[0963] 활성탄은 수 처리, 공기 정화, 용매 증기 회수, 식품 및 음료 가공, 설탕 및 감미료 정제, 자동차 사용 및 의약품을 포함하는 다양한 액체 및 가스상 응용 분야에서 상업적으로 사용된다. 활성탄의 경우, 핵심 생성물 속성에는 입자 크기, 형상, 조성, 표면적, 기공 부피, 기공 치수, 입자 크기 분포, 탄소 표면 및 내부의 화학적 성질, 입자의 내마모성, 경도, 벌크 밀도 및 흡착 용량이 포함될 수 있다.

[0964] 바이오제닉 활성탄에 대한 벌크 밀도는, 예를 들어, 약 50 g/리터 내지 약 650 g/리터일 수 있다.

[0965] 바이오제닉 활성탄의 표면적은 광범위하게 변할 수 있다. 예시적인 표면적(예를 들어, BET 표면적)은 약 400 m^2/g 내지 약 2000 m^2/g 이상, 예컨대 약 500 m^2/g, 600 m^2/g, 800 m^2/g, 1000 m^2/g, 1200 m^2/g, 1400 m^2/g, 1600 m^2/g, 또는 1800 m^2/g 범위이다. 표면적은 일반적으로 흡착 용량과 관련이 있다.

[0966] 기공 크기 분포는 활성탄의 궁극적인 성능을 결정하는 데 중요할 수 있다. 기공 크기 측정에는 미세기공 함량, 중간기공 함량 및 거대기공 함량이 포함될 수 있다.

[0967] 요오드가는 활성탄 성능을 특성화하는 데 사용되는 파라미터이다. 요오드가는 탄소의 활성화 정도를 측정하고 미세기공(예를 들어, 0-20 Å) 함량의 척도이다. 그것은 액상 응용 분야에서 중요한 측정이다. 본 개시내용의 실시형태에 의해 생성된 활성탄 생성물에 대한 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 요오드의 밀리그램이다.

[0968] 또 다른 기공 관련 측정은 중간기공 함량(예를 들어, 20-500Å)을 측정하는 메틸렌 블루가(Methylene BlueNumber)이다. 본 개시내용의 실시형태에 의해 생성된 활성탄 생성물에 대한 예시적인 메틸렌 블루가는 모든 중간 범위를 포함하여, 약 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 및 500을 포함한다. 메틸렌 블루가의 단위는 탄소 그램당 메틸렌 블루(메틸티오니늄 클로라이드)의 밀리그램이다.

[0969] 또 다른 기공 관련 측정은 거대기공 함량(예를 들어, > 500 Å)을 측정하는 당밀가(Molasses Number)이다. 본 개시내용의 실시형태에 의해 생성된 활성탄 생성물에 대한 예시적인 당밀가는 모든 중간 범위를 포함하여, 약 100, 150, 200, 250, 300, 350, 및 400을 포함한다. 당밀가의 단위는 탄소 그램당 당밀의 밀리그램이다.

[0970] 일부 실시형태에서, 활성탄은, 예를 들어, 적어도 약 1 cm^3/g와 같은 적어도 약 0.5 cm^3/g의 중간기공 부피를 특징으로 한다.

[0971] 활성탄은 물 보유 용량을 특징으로 할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 본 개시내용의 실시형태에 의해 생성된 활성탄 생성물은 25℃에서 약 10% 내지 약 300%(물 중량을 건조 활성탄의 중량으로 나눈 것), 예컨대 약 50% 내지 약 100%, 예를 들어, 약 60-80%의 물 보유 용량을 갖는다.

[0972] 경도 또는 마모가(Abrasion Number)는 마모에 대한 활성탄의 저항성을 측정한 것이다. 취급 또는 사용 동안 마찰력과 기계적 응력을 견디는 활성탄의 물리적 무결성을 나타내는 지표이다. 어느 정도의 경도가 바람직하지만, 경도가 너무 높으면 과도한 장비 마모가 초래될 수 있다. ASTM D3802에 따라 측정되는 예시적인 마모가는 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 적어도 약 99%의 범위이다.

[0973] 일부 실시형태에서, 활성탄이 마모에 합리적으로 내성을 갖지만 활성탄을 가공하는 자본 시설에서 마모 및 마멸을 야기하지 않는 최적의 경도 범위가 달성될 수 있다. 이러한 최적은 공급원료의 선택 및 가공 조건으로 인해 본 개시내용의 일부 실시형태에서 가능해진다. 다운스트림 사용이 높은 경도를 처리할 수 있는 일부 실시형태에서, 본 개시내용의 공정은 약 75%, 약 80%, 약 85%, 약 90%, 약 95%, 약 96%, 약 97%, 약 98%, 약 99%, 또는 적어도 약 99%의 마모가를 갖는 바이오제닉 활성탄 생성물을 생성하기 위해 경도를 증가시키거나 최대화하도록 작동될 수 있다.

[0974] 본 개시내용에 의해 제공되는 바이오제닉 활성탄은 광범위한 상업적 용도를 갖는다. 예를 들어, 제한 없이, 바이오제닉 활성탄은 배출 제어, 수질 정화, 지하수 처리, 폐수 처리, 에어 스트리퍼 응용 분야, PCB 제거 응용 분야, 악취 제거 응응 분야, 토양 증기 추출, 제조된 가스 플랜트, 공업용수 여과, 산업용 훈증, 탱크 및 공정 벤트, 펌프, 송풍기, 필터, 사전-필터, 미스트 필터, 배관(ductwork), 배관 모듈(piping module), 흡착기, 흡수기 및 컬럼에 사용될 수 있다.

[0975] 일 실시형태에서, 활성탄을 사용하여 배출물을 감소시키는 방법은,

[0976] (a) 본원에 개시된 제2 반응기로부터 회수된 바이오제닉 활성탄 조성물을 포함하는 활성탄 입자를 제공하는 단계;

[0977] (b) 적어도 하나의 선택된 오염물질을 포함하는 가스상 배출물 스트림을 제공하는 단계;

[0978] (c) 가스상 배출물 스트림으로부터 선택된 오염물질의 제거를 돕기 위해 선택된 첨가제를 제공하는 단계;

[0979] (d) 활성탄 입자 및 첨가제를 가스상 배출물 스트림에 도입하여 선택된 오염물질의 적어도 일부를 활성탄 입자상에 흡착하여 가스상 배출물 스트림 내에 오염물질-흡착된 탄소 입자를 생성하는 단계; 및

[0980] (e) 오염물질-흡착된 탄소 입자의 적어도 일부를 가스상 배출물 스트림으로부터 분리하여 오염물질-감소된 가스

상 배출물 스트림을 생성하는 단계

[0981] 를 포함한다.

[0982] 바이오제닉 활성탄 조성물용 첨가제는 활성탄 입자의 일부로서 제공될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 첨가제는 가스상 배출물 스트림, 연료 층 또는 연소 구역 내로 직접 도입될 수 있다. 선택된 오염물질을 제거하기 위해 가스상 배출물 스트림에 첨가제를 직접적으로 또는 간접적으로 도입하는 다른 공정이 가능하며, 이는 당업자에 의해 이해될 것이다.

[0983] 선택된 오염물질(가스상 배출물 스트림에서)은 금속, 예컨대 수은, 붕소, 셀레늄, 비소. 또는 이들의 임의의 화합물, 염 또는 조합으로부터 선택되는 금속일 수 있다. 선택된 오염물질은, 예를 들어, 유해 대기 오염물질, 유기 화합물(예컨대 VOC) 또는 비응축성 가스일 수 있다. 일부 실시형태에서, 바이오제닉 활성탄 생성물은 비교할 만한 양의 비-바이오제닉 활성탄 생성물보다 더 많은 양으로 선택된 오염물질을 흡착, 흡수 또는 화학흡착한다. 이러한 일부 실시형태에서, 선택된 오염물질은 금속, 유해 대기 오염물질, 유기 화합물(예컨대, VOC), 비응축성 가스 또는 이들의 임의의 조합이다. 일부 실시형태에서, 선택된 오염물질은 수은을 포함한다. 일부 실시형태에서, 선택된 오염물질은 VOC를 포함한다. 일부 실시형태에서, 바이오제닉 활성탄은 적어도 약 1 중량%의 수소 또는 적어도 약 10 중량%의 산소를 포함한다.

[0984] 유해 대기 오염물질은 암 또는 기타 심각한 건강 영향, 예컨대 생식 효과 또는 선천적 결함, 또는 환경 및 생태학적 악영향을 야기하거나 야기할 수 있는 오염물질이다. 개정된 대기오염방지법(Clean Air Act) 섹션 112는 그 전체가 본원에 참조로 포함된다. 대기오염방지법 섹션 112에 따라, 미국 환경보호청(EPA: Environmental Protection Agency)은 189가지 유해 대기 오염물질을 통제할 의무가 있다. EPA에 의해 유해 대기 오염물질로 분류된 임의의 현재 또는 장래 화합물은 현재 상황에서 가능한 선택된 오염물질에 포함된다.

[0985] 휘발성 유기 화합물은 일반적인 실온 조건에서 높은 증기압을 갖는 유기 화학 물질이며, 그 중 일부는 또한 유해 대기 오염물질이다. 예로는 단쇄 알칸, 올레핀, 알코올, 케톤 및 알데히드를 포함한다. 많은 휘발성 유기 화합물은 인간의 건강에 위험하거나 환경에 해를 끼친다. EPA는 공기, 물 및 육지의 휘발성 유기 화합물을 규제한다. 휘발성 유기 화합물에 대한 EPA의 정의는 40 CFR §51.100에 기술되어 있으며, 이는 그 전체가 본원에 참조로 포함된다.

[0986] 비응축성 가스는 일반적인 실온 조건에서 응축되지 않는 가스이다. 비응축성 가스는 질소 산화물, 일산화탄소, 이산화탄소, 황화수소, 이산화황, 삼산화황, 메탄, 에탄, 에틸렌, 오존, 암모니아, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있지만 이에 제한되지 않는다.

[0987] 개시된 활성탄 입자에 의해 다수의 오염물질이 제거될 수 있다. 일부 실시형태에서, 오염물질-흡착된 탄소 입자는 적어도 2개의 오염물질, 적어도 3개의 오염물질, 또는 그 이상을 포함한다. 본원에 개시된 바와 같은 활성탄은 특정 표적 오염물질(예를 들어, 셀레늄)의 제어뿐만 아니라 다중-오염물질 제어를 가능하게 할 수 있다.

[0988] 일부 실시형태에서, 오염물질-흡착된 탄소 입자는 활성탄 입자를 재생하기 위해 처리된다. 일부 실시형태에서, 방법은 오염물질-흡착된 탄소 입자를 열적으로 산화시키는 단계를 포함한다. 오염물질-흡착된 탄소 입자 또는 이의 재생된 형태는 연소되어 에너지를 제공할 수 있다.

[0989] 일부 실시형태에서, 활성탄용 첨가제는 산, 염기, 염, 금속, 금속 산화물, 금속 수산화물, 금속 할로겐화물, 또는 이들의 조합으로부터 선택된다. 일부 실시형태에서, 첨가제는 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 철, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 산화마그네슘, 백운석, 백운석 석회, 형석, 플루오로스파, 벤토나이트, 산화칼슘, 석회, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 유기산(예를 들어, 시트르산), 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택된다.

[0990] 일부 실시형태에서, 가스상 배출물 스트림은 높은 황 함량의 금속 광석의 가공과 같은 금속 가공으로부터 유도된다.

[0991] 수은 제어와 관련된 예시적인 실시형태로서, 전기 집진기 또는 패브릭 필터와 같은 입자상 물질 제어 장치의 업스트림에서 (예컨대 배관 내로) 활성탄이 주입될 수 있다. 일부 경우에, 연도 가스 탈황(건식 또는 습식) 시스템이 활성탄 주입 지점의 다운스트림에 있을 수 있다. 활성탄은 분말로서 공압식으로 주입될 수 있다. 주입 위치는 기존 플랜트 구성(신규 부지가 아닌 경우)에 의해 그리고 추가적인 다운스트림 입자상 물질 제어 장비 개조 여부에 따라 결정될 수 있다.

[0992] 현재 입자상 물질 제어 장치가 장착된 보일러의 경우, 수은 제어를 위한 바이오제닉 활성탄 주입을 구현하는 것

은 다음을 수반할 수 있었다: (i) 기존 입자상 물질 제어 장치(전기 집진기 또는 패브릭 필터)의 업스트림에 분말화된 활성탄의 주입; (ii) 기존 전기 집진기의 하부스트림 및 개장(retrofit) 패브릭 필터의 상부스트림에 분말화된 활성탄의 주입; 또는 (iii) 전기 집진기 전기장 사이에 분말화된 활성탄의 주입. 철 또는 철을 포함하는 화합물의 포함은 수은 제어를 위한 전기 집진기의 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 더욱이, 철 또는 철을 포함하는 화합물의 포함은 소모된 활성탄 고체가 다른 회분으로부터 분리될 수 있기 때문에 수명 종료 옵션을 크게 변화시킬 수 있다.

[0993] 일부 실시형태에서, 분말화된 활성탄 주입 접근법은 기존의 SO_2 제어 장치와 함께 사용될 수 있다. 활성탄은 SO_2 제어 장치 이전 또는 SO_2 제어 장치 이후에 주입될 수 있으며, 주입 지점의 다운스트림에서 활성탄 흡착제를 수집하는 수단의 가용성에 따라 달라진다.

[0994] 일부 실시형태에서, 동일한 물리적 물질이 통합된 방식으로 또는 순차적으로 다수의 공정에서 사용될 수 있다. 따라서, 예를 들어, 활성탄은 성능 물질로서의 유효 수명이 끝나면 에너지 가치를 위한 연소 공정에 또는 탄소를 필요로 하지만 활성탄의 특성 등을 필요로 하지 않는 금속 제조 공정에 도입될 수 있다.

[0995] 바이오제닉 활성탄 및 본 개시내용의 원리는, 예를 들어, 물, 다양한 순도의 수성 스트림, 용매, 액체 연료, 중합체, 용융 염 및 용융 금속의 가공을 포함하는 액상 응용 분야에 적용될 수 있다. 본원에 의도된 바와 같이, "액상"은 슬러리, 현탁액, 에멀젼, 다상 시스템, 또는 적어도 일정량의 액상이 존재하는(또는 갖도록 조정될 수 있는) 임의의 다른 물질을 포함한다.

[0996] 일 실시형태에서, 본 개시내용은 활성탄을 사용하여 액체를 정제하는 방법을 제공하는 것으로, 일부 변형에서 하기 단계를 포함한다:

[0997] (a) 제2 반응기로부터 회수된 활성탄 입자를 제공하는 단계;

[0998] (b) 적어도 하나의 선택된 오염물질을 포함하는 액체를 제공하는 단계;

[0999] (c) 액체로부터 선택된 오염물질의 제거를 돕기 위해 선택된 첨가제를 제공하는 단계; 및

[1000] (d) 액체를 활성탄 입자 및 첨가제와 접촉시켜 적어도 하나의 선택된 오염물질의 적어도 일부를 활성탄 입자에 흡착시켜 오염물질-흡착된 탄소 입자 및 오염물질-감소된 액체를 생성하는 단계.

[1001] 첨가제는 활성탄 입자의 일부로서 제공된다. 또는, 첨가제는 액체 내로 직접 도입될 수 있다. 일부 실시형태에서, 동일하거나 상이할 수 있는 첨가제는 활성탄 입자의 일부로서 뿐만 아니라 액체에 직접 도입된다.

[1002] 액상 응용 분야와 관련된 일부 실시형태에서, 첨가제는 산, 염기, 염, 금속, 금속 산화물, 금속 수산화물, 금속 할로겐화물, 또는 이들의 조합으로부터 선택된다. 예를 들어, 첨가제는 마그네슘, 망간, 알루미늄, 니켈, 철, 크롬, 규소, 붕소, 세륨, 몰리브덴, 인, 텅스텐, 바나듐, 염화철, 브롬화철, 산화마그네슘, 백운석, 백운석 석회, 형석, 플루오로스파, 벤토나이트, 산화칼슘, 석회, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 브롬화수소, 염화수소, 규산나트륨, 과망간산칼륨, 유기산(예를 들어, 시트르산), 또는 이들의 조합 또는 유도체로부터 선택될 수 있다.

[1003] 일부 실시형태에서, (처리될 액체에서) 선택된 오염물질은 금속, 예컨대 비소, 붕소, 셀레늄, 수은, 또는 이들의 임의의 화합물, 염 또는 조합으로부터 선택된 금속이다. 일부 실시형태에서, 선택된 오염물질은 유기 화합물(예컨대 VOC), 할로겐, 생물학적 화합물, 살충제 또는 제초제이다. 오염물질-흡착된 탄소 입자는 2개, 3개 또는 그 이상의 오염물질을 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 활성탄 생성물은 비교할만한 양의 비-바이오제닉 활성탄 생성물보다 더 많은 양으로 선택된 오염물을 흡착, 흡수 또는 화학흡착한다. 그러한 일부 실시형태에서, 선택된 오염물질은 금속, 유해 대기 오염물질, 유기 화합물(예컨대, VOC), 비응축성 가스 또는 이들의 임의의 조합이다. 일부 실시형태에서, 선택된 오염물질은 수은을 포함한다. 일부 실시형태에서, 선택된 오염물질은 VOC를 포함한다. 일부 실시형태에서, 바이오제닉 활성탄은 적어도 약 1 중량%의 수소 또는 적어도 약 10 중량%의 산소를 포함한다.

[1004] 처리될 액체는 전형적으로 수성일 것이지만, 본 개시내용의 원리에 필요한 것은 아니다. 일부 실시형태에서, 액체는 고정층에서 활성탄 입자로 처리된다. 다른 실시형태에서, 액체는 용액 또는 이동층에서 활성탄 입자로 처리된다.

[1005] 일 실시형태에서, 본 개시내용은 바이오제닉 활성탄 조성물을 사용하여 액체로부터 황을 포함하는 오염물질의 일부를 제거하는 방법을 제공하며, 상기 방법은,

[1006] (a) 본원에 개시된 제2 반응기로부터 회수된 활성탄 입자를 제공하는 단계;

[1007] (b) 황을 포함하는 오염물질을 포함하는 액체를 제공하는 단계;

[1008] (c) 액체로부터 황을 포함하는 오염물질의 제거를 돕기 위해 선택된 첨가제를 제공하는 단계; 및

[1009] (d) 액체를 활성탄 입자 및 첨가제와 접촉시켜 황을 포함하는 오염물질의 적어도 일부를 활성탄 입자 상에 또는 그 내로 흡착 또는 흡수시키는 단계

[1010] 를 포함한다.

[1011] 일부 실시형태에서, 황을 포함하는 오염물질은 원소 황, 황산, 아황산, 이산화황, 삼산화황, 설페이트 음이온, 바이설페이트 음이온, 설파이트 음이온, 바이설파이트 음이온, 티올, 설파이드, 디설파이드, 폴리설파이드, 티오에테르, 티오에스테르, 티오아세탈, 설폭시드, 설폰, 티오설피네이트, 설피미드, 설폭시미드, 설폰디이민, 할로겐화황, 티오케톤, 티오알데히드, 황 산화물, 티오카복실산, 티오아미드, 설폰산, 설핀산, 설펜산, 설포늄, 옥소설포늄, 설푸란, 퍼설푸란, 또는 이들의 조합, 염 또는 유도체로부터 선택된다. 예를 들어, 황을 포함하는 오염물질은 음이온 또는 염 형태의 설페이트일 수 있다.

[1012] 액체는 물과 같은 수성 액체일 수 있다. 일부 실시형태에서, 물은 금속 채굴, 산 광산 배수, 광물 가공, 도시 하수 처리, 펄프 및 제지, 에탄올, 또는 폐수에서 황을 포함하는 오염물질을 배출할 수 있는 임의의 다른 산업 공정으로부터 선택되는 공정과 관련된 폐수이다. 물은 또한 호수, 강 또는 하천과 같은 자연 수역 (또는 그의 일부)일 수 있다.

[1013] 일 실시형태에서, 본 개시내용은 수중 설페이트의 농도를 감소시키는 공정을 제공하며, 상기 공정은,

[1014] (a) 본원에 개시된 제2 반응기로부터 회수된 활성탄 입자를 제공하는 단계;

[1015] (b) 설페이트를 포함하는 물의 부피 또는 스트림을 제공하는 단계;

[1016] (c) 물로부터 설페이트의 제거를 돕기 위해 선택된 첨가제를 제공하는 단계; 및

[1017] (d) 물을 활성탄 입자 및 첨가제와 접촉시켜 설페이트의 적어도 일부를 활성탄 입자 상에 또는 그 내로 흡착 또는 흡수시키는 단계

[1018] 를 포함한다.

[1019] 일부 실시형태에서, 설페이트는 물에서 약 50 mg/L 이하의 농도, 예컨대 물에서 약 10 mg/L 이하의 농도로 감소된다. 일부 실시형태에서, 설페이트는 주로 설페이트 음이온 또는 바이설페이트 음이온의 형태로 존재한다. pH에 따라, 설페이트는 또한 황산염 형태로 존재할 수도 있다.

[1020] 물은 폐수 스트림의 일부 또는 전체로부터 유래될 수 있다. 예시적인 폐수 스트림은 금속 채굴, 산 광산 배수, 광물 가공, 도시 하수 처리, 펄프 및 제지, 에탄올, 또는 황을 포함하는 오염물질을 폐수로 배출할 수 있는 임의의 기타 산업 공정과 관련될 수 있는 것들이다. 물은 호수, 강 또는 하천과 같은 자연 수역일 수 있다. 일부 실시형태에서, 공정은 연속적으로 수행된다. 다른 실시형태에서, 공정은 배치식으로 수행된다.

[1021] 물이 활성탄으로 처리될 때, 물의 여과, 물의 삼투, 또는 물에 활성탄 입자의 직접 첨가(침전, 정화 등 포함)가 있을 수 있다. 삼투가 사용될 때, 활성탄은 삼투 장치 내에서 또는 삼투 장치를 돕기 위해 여러 가지 방식으로 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 활성탄 입자 및 첨가제는 삼투 전에 물에 직접 도입된다. 활성탄 입자 및 첨가제는 삼투 전에 사전 여과에 선택적으로 사용된다. 특정 실시형태에서, 활성탄 입자 및 첨가제는 삼투를 위해 멤브레인에 혼입된다.

[1022] 본 개시내용은 또한 바이오제닉 활성탄 조성물을 사용하여 가스상으로부터 황을 포함하는 오염물질을 제거하는 방법을 제공하며, 상기 방법은,

[1023] (a) 본원에 개시된 제2 반응기로부터 회수된 활성탄 입자를 제공하는 단계;

[1024] (b) 적어도 하나의 황을 포함하는 오염물질을 포함하는 가스상 배출물 스트림을 제공하는 단계;

[1025] (c) 가스상 배출물 스트림으로부터 황을 포함하는 오염물질의 제거를 돕기 위해 선택된 첨가제를 제공하는 단계;

[1026] (d) 활성탄 입자 및 첨가제를 가스상 배출물 스트림에 도입하여 황을 포함하는 오염물질을 활성탄 입자 상에 흡

착 또는 흡수하는 단계; 및

[1027] (e) 가스상 배출물 스트림으로부터 활성탄 입자의 적어도 일부를 분리하는 단계

[1028] 를 포함한다.

[1029] 일부 실시형태에서, 황을 포함하는 오염물질은 원소 황, 황산, 아황산, 이산화황, 삼산화황, 설페이트 음이온, 바이설페이트 음이온, 설파이트 음이온, 바이설파이트 음이온, 티올, 설파이드, 디설파이드, 폴리설파이드, 티오에테르, 티오에스테르, 티오아세탈, 설폭시드, 설폰, 티오설피네이트, 설피미드, 설폭시미드, 설폰디이민, 할로겐화황, 티오케톤, 티오알데히드, 황 산화물, 티오카복실산, 티오아미드, 설폰산, 설핀산, 설펜산, 설포늄, 옥소설포늄, 설푸란, 퍼설푸란, 또는 이들의 조합, 염 또는 유도체로부터 선택된다

[1030] 개시된 활성탄은 전통적인 활성탄이 사용될 수 있는 응용 분야에 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 전통적인 활성탄에 대한 전체(즉, 100%) 대체물로서 사용된다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 특정 응용 분야에 사용되는 활성탄의 본질적으로 전부 또는 실질적으로 전부를 포함한다. 일부 실시형태에서, 활성탄은 약 1% 내지 약 100%의 바이오제닉 활성탄을 포함한다.

[1031] 예를 들어, 제한 없이 활성탄은 단독으로 또는 전통적인 활성탄 생성물과 함께 필터에 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 충전층 또는 충전 컬럼은 개시되는 활성탄을 포함한다. 이러한 실시형태에서, 바이오제닉 활성탄은 특정 충전층 또는 충전 컬럼에 적합한 크기 특성을 갖는다. 바이오제닉 활성탄을 가스 스트림에 주입하는 것은 석탄 화력 발전소, 바이오매스 화력 발전소, 금속 가공 공장, 원유 정제소, 화학 공장, 중합체 공장, 펄프 및 제지 공장, 시멘트 공장, 폐기물 소각로, 식품 가공 공장, 가스화 공장 및 합성가스 공장으로부터 유래된 가스 스트림 또는 액체 스트림에서 오염물질 배출을 제어하는 데 유용할 수 있다.

[1032] 금속 산화물 환원에 바이오카본 사용

[1033] 펠릿 형태 또는 이의 분쇄된 형태와 같은 바이오카본이 금속 광석로 또는 화학적 환원로에 공급되는 다양한 실시형태가 있다.

[1034] 금속 광석로 또는 화학 환원로는 용광로, 탑-가스 재활용 용광로, 샤파트로, 반사로(공기로라고도 알려져 있음), 도가니로, 머플링로, 레토르트로, 플래쉬로, 테크노레드로, 오스멜트로), ISASMELT로, 퍼들링로, Bogie 화로, 연속사슬로, 푸셔로, 로터리 화로, 워킹 빔로, 전기 아크로, 유도로, 기본 산소로, 퍼들링로, 베세머로, 직접 환원 금속로, 또는 이들의 조합 또는 파생물일 수 있다.

[1035] 금속 광석로 또는 화학 환원로는 수평, 수직 또는 기울어지게 배열될 수 있다. 고체 및 유체(액체 또는 가스)의 유동은 병류 또는 역류일 수 있다. 로 내의 고체는 고정층 또는 유동층에 있을 수 있다. 금속 광석로 또는 화학적 환원로는 온도, 압력 및 체류 시간의 다양한 공정 조건에서 작동될 수 있다.

[1036] 본 기술의 일부 변형은 특히 용광로에 관한 것이다. 용광로는 철 또는 구리와 같은 산업용 금속을 제조하기 위해 제련하는 데 사용되는 일종의 야금로이다. 용광로는 철광석을 제련하여 상업용 철 및 강철의 제조에 사용되는 중간 물질인 선철을 제조하는 데 사용된다. 용광로는 또한, 예를 들어, 비금속 제련에서 소결 공장와 함께 사용되기도 한다.

[1037] "송풍(blast)"은 대기압 초과로 강제되거나 공급되는 연소 공기를 지칭한다. 용광로에서, 금속 광석, 탄소(본 개시내용에서, 바이오제닉 시약 또는 이의 유도체) 및 일반적으로 플럭스(예를 들어, 석회석)는 로 상단을 통해 연속적으로 공급되는 반면, 열풍 공기(선택적으로 산소가 풍부화됨)는 송풍구라고 불리는 일련의 파이프를 통해 로의 하부 섹션으로 불어넣어 진다. 물질이 아래로 떨어짐에 따라 로 전체에서 화학적 환원 반응이 일어난다. 최종 생성물은 일반적으로 바닥에서 탭핑된 용융 금속 및 슬래그 상, 및 로 상단으로부터 배출되는 폐가스(환원 오프-가스)이다. 금속 광석의 다운스트림 유동은 뜨거운 CO-풍부한 가스의 상향 유동과 역류 접촉하는 플럭스와 함께 효율적인 화학 반응을 허용하여 금속 광석을 금속으로 환원시킨다.

[1038] 공기로(예컨대 반사로)는 일반적으로 굴뚝 연도에서 뜨거운 가스의 대류에 의해 자연 흡기된다. 이 넓은 정의에 따르면, 철을 위한 연철로(bloomery), 주석을 위한 블로잉 하우스(blowing house), 및 납을 위한 제련소는 용광로로서 분류될 것이다.

[1039] 용광로는 현대 철 제조의 중요한 부분으로 남아 있다. 연도 가스로부터 폐열로 들어오는 송풍 공기를 예열하는 Cowper 스토브, 및 로에서 나오는 뜨거운 가스로부터 열을 추출하는 회수 시스템을 포함하여 현대 용광로는 매우 효율적이다. 용광로는 전형적으로 높은 구조의 형태로 지어질 수 있고, 내화 벽돌로 라이닝되며, 하강하는

동안 가열에 따라 공급 물질의 팽창, 및 용융이 시작됨에 따라 크기의 후속적인 감소를 허용하도록 프로파일링된다.

[1040] 철 제조와 관련된 일부 실시형태에서, 바이오카본 펠릿, 철광석(산화철) 및 석회석 플럭스가 용광로의 상부에 충전된다. 철광석 또는 석회석 플럭스는 바이오카본 펠릿 내에 통합될 수 있다. 선택적으로, 바이오카본 펠릿은 용광로에 공급되기 전에 크기가 감소된다. 예를 들어, 바이오카본 펠릿은 용광로에 공급되는 분말로 분쇄될 수 있다.

[1041] 용광로는 일산화탄소 함량이 높은 뜨겁고 더러운 가스가 로 쓰로트(throat)를 빠져나가게 하도록 구성될 수 있는 한편, 블리더(bleeder) 밸브는 갑작스러운 가스 압력 서지(surge)로부터 로 상부를 보호할 수 있다. 배기 가스에서의 조악한 입자는 침전되어 폐기될 수 있는 한편, 가스는 정화된 가스의 온도를 낮추기 위해 벤츄리 스크러버(venturi scrubber) 또는 전기 집진기 또는 가스 냉각기를 통해 유동할 수 있다. 로 바닥에 있는 주조소(casthouse)는 액체 철과 슬래그를 주조하기 위한 장비를 포함한다. 내화성 플러그를 통해 탭홀(taphole)이 드릴링되어, 액체 철과 슬래그가 개구를 통해 홈통 아래로 흘러 철과 슬래그를 분리할 수 있다. 선철과 슬래그가 탭핑되면 내화성 점토로 탭홀을 막을 수 있다. 송풍구라고 불리는 노즐은 용광로의 효율을 증가시키기 위해 열풍을 구현하는 데 사용된다. 열풍은 베이스 근처의 냉각된 송풍구를 통해 로 내로 보내진다. 열풍 온도는, 예를 들어, 900℃ 내지 1300℃(공기 온도)일 수 있다. 용광로 내의 온도는 2000℃ 이상일 수 있다. 다른 탄소질 물질 또는 산소가 또한 송풍구 수준에서 로에 주입되어 탄소(바이오카본 펠릿에서 유래)와 조합하여 추가 에너지를 방출하고 존재하는 환원 가스의 비율을 증가시켜, 생산성을 높일 수 있다.

[1042] 용광로는 상응하는 금속보다 금속 광석(예를 들어, 철광석)에서의 산소에 대한 친화도가 더 강한 일산화탄소가 금속을 원소 형태로 환원시키는 화학적 환원 원리로 작동한다. 용광로는, 용광로에서 연도 가스가 광석 및 금속과 직접 접촉하여 일산화탄소가 광석으로 확산되어 금속 산화물을 탄소와 혼합된 원소 금속으로 환원시킨다는 점에서 연철로 및 반사로와는 다르다. 용광로는 일반적으로 연속적인 역류 교환 공정으로서 작동한다.

[1043] 실리카는 일반적으로 선철로부터 제거된다. 실리카는 산화칼슘과 반응하여 슬래그로서 용융된 선철 표면에 떠오르는 규산염을 형성한다. 아래로 이동하는 금속 광석, 플럭스, 탄소 및 반응 생성물 컬럼은 연도 가스가 통과할 수 있도록 충분히 다공성이어야 한다. 이를 위해서는 바이오제닉 시약 탄소가 투과할 수 있을 만큼 충분히 큰 입자(예를 들어, 바이오카본 펠릿 또는 펠릿으로부터 유도된 더 작은 물체)여야 한다. 따라서, 펠릿 또는 파쇄된 펠릿은 그 위에 있는 물질의 중량에 의해 파쇄되지 않을 만큼 충분히 강해야 한다. 탄소의 물리적 강도 외에도, 황, 인 및 회분이 낮은 것이 또한 바람직하다.

[1044] 용광로에서는 많은 화학 반응이 일어난다. 화학은 출발 금속 산화물로서 적철광(Fe_2O_3)을 참조하여 이해될 수 있다. 이러한 형태의 산화철은 초기 공급원료에서 또는 용광로 내에서 생성되는 것으로서 철광석 가공에서 일반적이다. 다른 형태의 철광석(예를 들어, 타코나이트)은 다양한 농도의 상이한 철 산화물(Fe_3O_4, Fe_2O_3, FeO 등)을 가질 것이다.

[1045] 용광로에서 용융된 철을 생성하는 주요 전체 화학 반응은 다음과 같으며:

[1046] $Fe_2O_3 + 3\ CO \rightarrow 2\ Fe + 3\ CO_2$

[1047] 이는 흡열 반응이다. 이러한 전체 반응은 많은 단계에 걸쳐 발생하며, 첫 번째는 로에 불어넣은 예열된 송풍 공기가 탄소(예를 들어, 바이오카본 펠릿 유래)와 반응하여 일산화탄소와 열을 생성하는 것이다:

[1048] $2\ C + O_2 \rightarrow 2\ CO$

[1049] 뜨거운 일산화탄소는 철광석의 환원제이며 산화철과 반응하여 용융된 철과 이산화탄소를 생성한다. 로의 상이한 부분(전형적으로 바닥에서 가장 높음)의 온도에 따라, 철은 여러 단계에서 환원된다. 일반적으로 온도가 200-700℃ 범위인 상단에서, 산화철은 산화철(II,III) Fe_3O_4로 부분적으로 환원된다:

[1050] $3\ Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2\ Fe_3O_4 + CO_2$

[1051] 약 850℃의 온도에서, 로에서 더 아래로 내려가면 철(II,III)이 산화철(II) FeO로 추가로 환원된다:

[1052] $Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3\ FeO + CO_2$

[1053] 뜨거운 이산화탄소, 미반응 일산화탄소 및 공기로부터의 질소는 새로운 공급 물질이 반응 구역으로 내려갈 때

로를 통과한다. 물질이 아래로 이동함에 따라, 역류 가스는 공급 충전물을 예열하고 석회석(사용된 경우)을 산화칼슘과 이산화탄소로 분해한다:

[1054] $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

[1055] 분해에 의해 형성된 산화칼슘은 철(특히 실리카)의 다양한 산성 불순물과 반응하여 주로 규산칼슘, $CaSiO_3$인 슬래그를 형성한다:

[1056] $SiO_2 + CaO \rightarrow CaSiO_3$

[1057] FeO가 최대 1200℃ 범위의 더 높은 온도 영역으로 이동함에 따라, FeO는 다시 반응물로서 일산화탄소와 함께 철 금속으로 추가로 환원된다:

[1058] $FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$

[1059] 이 공정으로부터 형성된 이산화탄소는 역 부두아 반응을 통해 탄소와 반응함으로써 일산화탄소로 다시 전환될 수 있다:

[1060] $C + CO_2 \rightarrow 2\ CO$

[1061] 상기 나타낸 화학 반응에서, 환원 가스는 용광로 내 인시츄(in-situ) 생성물이기보다는 용광로 내로 대안적으로 또는 추가적으로 직접 도입될 수 있다는 점에 주목하는 것이 중요하다. 전형적으로, 이러한 실시형태에서, 환원 가스는 수소 및 일산화탄소를 모두 포함할 수 있으며, 이들 둘 모두는 금속 산화물을 화학적으로 환원시키는 기능을 한다. 선택적으로, 환원 가스는 개질, 가스화 또는 부분 산화에 의해 바이오카본 펠릿으로부터 별도로 생성될 수 있다.

[1062] 통상적인 용광로에서는 금속 산화물 환원을 야기하는 데 이용할 수 있는 수소가 없다. 수소가 용광로에 주입될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 바이오카본 펠릿이 수소와 관련된 휘발성 탄소(예를 들어, 중질 타르 성분)를 포함할 때, 용광로에 공급되는 바이오카본 펠릿 내에서 수소가 이용 가능할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 수소는 H_2O와 CO가 반응하여 H_2와 CO_2를 생성하는 수성 가스 시프트의 결과로 또는 탄소의 증기-개질 반응으로 인해 이용 가능할 수 있다. 이러한 반응(수성 가스 시프트 또는 증기 개질) 중 하나는 바이오카본(예를 들어, 탄소-네거티브 바이오카본 펠릿)과 함께 수분이 유입되어 도움을 받을 수 있다. 공급원에 관계없이, 수소는 상기와 유사한 추가 환원 반응을 야기할 수 있지만, CO를 H_2로 대체하며:

[1063] $3\ Fe_2O_3 + H_2 \rightarrow 2\ Fe_3O_4 + H_2O$

[1064] $Fe_3O_4 + 4\ H_2 \rightarrow 3\ Fe + 4\ H_2O$

[1065] 이는 CO와의 환원 반응과 병행하여 발생한다. 역 수성-가스 시프트 반응에서 수소는 또한 이산화탄소와 반응하여 더 많은 CO를 생성할 수도 있다. 특정 실시형태에서, 본질적으로 수소로 이루어진 환원 가스가 용광로에 공급된다.

[1066] 용광로에서 생성되는 "선철"은 전형적으로 약 3-6 중량%의 상대적으로 높은 탄소 함량을 갖는다. 선철은 주철을 만드는 데 사용될 수 있다. 용광로에서 생성된 선철은 일반적으로 탄소 및 황 함량을 감소시키기 위해 추가 가공을 거쳐 상업적으로 사용되는 다양한 등급의 강철을 생성한다. 기본 산소 제강(basic oxygen steelmaking)으로서 지칭되는 추가 공정 단계에서, 탄소는 조강(crude steel)을 형성하기 위해 액체 선철에 산소를 불어넣음으로써 산화된다.

[1067] 통상적으로 탈황은 액체 철을 제철소(steelwork)로 수송하는 동안 선철에 함유된 황화철과 반응하여 황화칼슘을 형성하는 산화칼슘을 첨가함으로써 수행된다. 일부 실시형태에서, 탈황은 또한 금속 황화물을 CO(환원 가스에서)와 반응시켜 금속 및 황화 카보닐, CSO를 형성함으로써 로 내에서 또는 로의 다운스트림에서 일어날 수 있다. 이들 또는 다른 실시형태에서, 탈황은 또한 금속 황화물을 H_2(환원 가스에서)와 반응시켜 금속 및 황화수소, H_2S를 형성함으로써 로 내에서 또는 로의 다운스트림에서 일어날 수 있다.

[1068] 다른 유형의 로는 다른 화학 반응을 사용할 수 있다. 금속 산화물의 금속으로의 화학적 전환 - 이는 전환에서 탄소 또는 환원 가스를 사용함 - 에서, 그 탄소는 본질적으로 재생 가능한 탄소임을 이해할 것이다. 본 개시내

용은 바이오매스의 열분해를 통해 생성된 바이오제닉 시약에 재생 가능한 탄소를 제공한다. 그러나, 특정 실시형태에서, 로에서 이용되는 일부 탄소는 재생 가능한 탄소가 아니다. 다양한 실시형태에서, 금속 광석로에서 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.

[1069] 본 발명의 일부 변형예에서, 테크노레드로 또는 그 변형이 이용된다. 테크노레드 공정은 원래 브라질의 Tecnored Desenvolvimento Tecnológico S.A.에서 개발되었으며, 냉간 접착, 탄소 함유, 자가 플럭싱 및 자가-환원 펠릿을 감소시키는 저압 이동층 환원로를 기반으로 한다. 환원은 환원 온도에서 짧은 높이의 샤프트에서 수행된다. 이 공정은 고효율로 뜨거운 금속(전형적으로 액체 철)을 생성한다.

[1070] 테크로레드 기술은 코크스 없는 제철 공정으로 개발되어 뜨거운 금속 제조에서 온실 가스 배출을 크게 감소시키는 것 외에도 환경에 유해한 코크스 오븐의 투자 및 작동을 피한다. 테크노레드 공정은 열풍과 냉풍의 조합을 사용하며 추가 산소를 필요로 하지 않는다. 그것은 코크스 공장, 소결 공장 및 톤수(tonnage) 산소 공장에 대한 필요성을 제거한다. 따라서. 공정은 전통적인 제철 경로보다 작동 및 투자 비용이 훨씬 낮다.

[1071] 본 개시내용에서, 테크노레드 공정은 다양한 방식으로 사용하기 위해 개조될 수 있다. 일부 실시형태는 철광석 미분 또는 철-함유 잔류물과 바이오제닉 시약으로부터 생성된 자가-환원 응집체(예컨대 바이오카본 펠릿)를 제공한다. 플럭싱 및 결합제와 혼합된 이러한 물질은 응집되고 열 경화되어 테크노레드 공정의 물리적 및 야금학적 요구에 충분한 강도를 갖는 바이오카본 펠릿을 생성한다. 이어서, 생성된 응집체는 테크노레드로에서 제련된다. 테크노레드로를 위한 연료 자체는 또한 바이오카본 펠릿일 수 있다.

[1072] 브리켓 내에서 산화철의 미세한 입자와 환원제를 조합함으로써 환원제와 접촉하는 산화물의 표면적과 결과적으로 반응 역학이 크게 증가한다. 자가-환원 브리켓은, 선택적으로 원하는 슬래그 화학을 제공하기 위한 플럭스와 함께, 함유된 철-함유 공급물의 완전한 환원을 허용하기에 충분한 환원제를 포함하도록 설계될 수 있다. 자가-환원 브리켓은 로에 공급하기 전에 저온에서 경화된다. 자가-환원 브리켓 내에서 반응을 추진하는 데 필요한 열은 자가-환원 브리켓이 로 내에서 공급되는 브리켓의 형태일 수도 있는 고체 연료층에 의해 제공된다.

[1073] 테크노레드로는 3개의 구역을 갖는다: (i) 상부 샤프트 구역; (ii) 용융 구역; 및 (iii) 하부 샤프트 구역. 상부 샤프트 구역에서는 고체 연료(예를 들어, 바이오제닉 시약)가 충전된다. 이 구역에서는 부두아 반응($C + CO_2 \rightarrow 2\ CO$)이 방지되어 에너지를 절약한다. 로의 이 구역에서의 후-연소는 CO를 연소시켜 예열 및 충전물 환원을 위한 에너지를 제공한다. 펠릿 내부에서 다음과 같은 반응이 매우 빠른 속도로 발생하며:

[1074] $Fe_xO_y + y\ CO \rightarrow x\ Fe + y\ CO_2$

[1075] $y\ CO_2 + y\ C = 2y\ CO$

[1076] 여기서 x는 1 내지 전형적으로 5이고, y는 1 내지 전형적으로 7이다.

[1077] 용융 구역에서는 충전물의 환원 대기 때문에 재산화가 방지된다. 충전물의 용융은 환원 대기에서 발생한다. 하부 샤프트 구역에서는 고체 연료가 충전된다. 고체 연료는 바이오카본 펠릿을 포함하거나 이로 본질적으로 이루어질 수 있다. 이러한 구역에서, 잔류 산화철의 추가적인 환원 및 맥석 물질 및 연료 회분의 슬래깅 반응이 액체 상태에서 발생한다. 또한. 금속 및 슬래그 방울의 과열이 발생한다. 이러한 과열된 금속 및 슬래그 방울은 중력으로 인해 로의 노상(hearth)으로 가라앉아 거기에 축적된다.

[1078] 이러한 수정된 테크노레드 공정은 환원제와 고체 연료라는 두 가지 상이한 탄소 단위 입력을 사용한다. 환원제는 통상적으로 석탄 미분이지만, 본 개시내용에서 환원제는 분쇄된 바이오카본 펠릿을 포함할 수 있다. 자가-환원 응집체는 본원에 개시된 바이오카본 펠릿일 수 있다. 필요한 탄소 미분의 양은 금속 산화물의 완전한 환원을 달성하기 위해 선택될 수 있는 C/F(탄소 대 광석 미분) 비율에 의해 설정된다.

[1079] 고체 연료는 미분 형태일 필요가 없다. 예를 들어, 고체 연료는 테크노레드 공정에서 고체 연료에 필요한 물리적 및 열적 요구를 처리하기 위해 크기가 40-80 mm와 같은 덩어리 형태일 수 있다. 이러한 덩어리는 바이오카본 펠릿을 부수어(예를 들어, 파쇄) 만들 수 있지만 완전히 분말로 만들 수는 없다. 고체 연료는 (상부 샤프트에서 흡열 부두아 반응을 피하기 위해) 사이드 공급기(side feeder)를 통해 충전되며 공정에 필요한 에너지의 대부분을 제공한다. 이러한 에너지는 1차 송풍($C + O_2 \rightarrow CO_2$), 및 노상에서 고체 연료의 가스화에 의해 생성된 업스트림 CO가 연소되는 2차 송풍($2\ CO + O_2 \rightarrow 2\ CO_2$)에 의해 형성된다.

[1080] 특정의 예시적인 실시형태에서, 수정된 테크로네드 공정은 최대 140 메쉬의 크기를 갖는 철광석 미분, 최대 200 메쉬의 크기를 갖는 바이오제닉 시약 미분, 및 결합제로서 시멘트를 사용하는 최대 140 메쉬의 크기의 수화 석회와 같은 플럭스를 펠릿화하는 단계를 포함한다. 펠릿은 테크노레드로의 상부에 공급되기 전에 200℃에서 경화 및 건조된다. 로에서 충전물의 총 체류 시간은 약 30-40분이다. 40 ㎜ 내지 80 ㎜ 범위 크기의 고체 연료 형태의 바이오제닉 시약은 사이드 공급기를 사용하여 뜨거운 펠릿 영역 아래의 로에 공급된다. 약 1150℃의 열풍 공기는 로의 측면에 위치한 송풍구를 통해 유입되어 바이오제닉 탄소에 연소 공기를 제공한다. 고체 연료 건조 및 예열에 사용하기 위해 소량의 로 가스가 사이드 공급기를 통해 유동하도록 한다. 상부 샤프트에서 CO의 후-연소를 촉진하기 위해 더 높은 지점에서 냉풍 공기가 유입된다. 생성된 뜨거운 금속은 슬래그 제거를 위해 레이들을 기울일 수 있는 레이들 카의 레이들에 탭핑된다. 액체 철은 선택적으로 레이들에서 탈황되고 슬래그는 슬래그 포트로 긁어모아 진다. 뜨거운 금속은 전형적으로 약 3-5 중량%의 탄소를 포함한다.

[1081] 통상적으로, 외부 CO 또는 H_2는 테크노레드로를 사용하는 자가 환원 공정에서 중요한 역할을 하지 않는다. 그러나, 본 개시내용의 맥락에서, 외부 H_2 또는 CO(환원 가스 유래)는 상기 반응($Fe_xO_y + y\ CO \rightarrow x\ Fe + y\ CO_2$) 또는 반응물로서 수소와의 반응($FexOy + y\ H_2 \rightarrow x\ Fe + y\ H_2O$)에서 산화철의 속도 또는 전환을 증가시킴으로써 전체 화학을 지원할 수 있다. 환원 화학은 적어도 펠릿 또는 브리켓의 표면에서, 그리고 아마도 뜨거운 환원 가스의 대량 전달이 빠르기 때문에 펠릿 또는 브리켓의 벌크 상 내에서 도움을 받을 수 있다. 일부 실시형태는 용광로의 양태를 테크노레드로의 양태와 조합하여, 로 내에서 환원 가스를 사용하는 것 외에도 자가-환원 펠릿 또는 브리켓이 사용된다.

[1082] 앞서 언급된 바와 같이, 금속 광석 가공을 위한 많은 수의 노 구성이 가능하다. 본 명세서는 가능한 모든 로에서 일어날 수 있는 다양한 조건 및 화학을 상세히 기술하지 않을 것이지만, 본 발명의 원리가 본질적으로 금속 광석으로부터 금속을 제조하는 공정의 어딘가에서 탄소를 사용하는 임의의 로 또는 공정에 적용될 수 있다는 것을 당업자는 이해할 것이다.

[1083] 또한 일부 공정은 바이오카본 펠릿을 이용하고 일부 공정은 환원 가스를 이용하며 일부 공정은 바이오카본 펠릿과 환원 가스를 모두 이용한다는 것이 관찰될 것이다. 본원에서 제공된 공정은 고체 탄소 바이오카본 펠릿과 환원 가스를 모두 생성할 수 있다. 일부 실시형태에서, 금속 광석 변환 공정에서는 고체 바이오카본 펠릿만이 사용된다. 다른 실시형태에서, 환원 가스만이 금속 광석 전환 공정에 사용된다. 또 다른 실시형태에서, 바이오카본 펠릿과 환원 가스 둘 모두가 금속 광석 전환 공정에 사용된다. 재생 가능한 탄소의 두 공급원을 모두 사용하는 이러한 실시형태에서, 환원 가스로부터의 금속 광석 전환에서 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 펠릿으로부터 유래될 수 있다. 대안적으로, 다른 탄소 사용량의 일부 또는 전부는 석탄 미분과 같은 통상적인 탄소 투입물로부터 유래될 수 있다.

[1084] 바이오카본의 환원 가스로의 전환

[1085] 일부 변형은 바이오카본을 사용하여 탄소-네거티브 환원 가스(예를 들어, 탄소-네거티브 합성가스 또는 탄소-네거티브 수소)를 생성한다. 환원 가스는 공정(예를 들어, 금속 제조 공정)에서 인시츄에서 사용되거나 회수 및 판매될 수 있다.

[1086] 환원 가스(본원에서 "바이오-환원 가스"로도 지칭됨)의 선택적 생성이 이제 바이오카본 펠릿의 형태인 탄소-네거티브 바이오카본과 관련하여 추가로 설명될 것이다. 이들은 비-제한적인 실시형태이며, 탄소-네거티브 바이오카본은 분말 형태, 슬러리 형태, 또는 또 다른 형태일 수 있는 것으로 이해된다.

[1087] 바이오카본 펠릿의 환원 가스로의 전환은 바이오-환원 형성 유닛으로 지칭될 수 있는 반응기에서 일어난다. 바이오카본과 반응하고 환원 가스를 생성하기 위해 반응물이 사용된다. 반응물은 산소, 증기 또는 이들의 조합으로부터 선택될 수 있다. 일부 실시형태에서, 산소는 증기와 혼합되고, 생성된 혼합물은 제2 반응기에 첨가된다. 산소에 의한 탄소의 부분적 또는 전체 산화와 같은 발열 반응을 야기하기 위해; 환원 가스에서 보다 유리한 H_2/CO 비율을 달성하기 위해; (iii) 환원 가스의 수율을 증가시키기 위해; 또는 (iv) 예를 들어 CO_2, 열분해 생성물, 타르, 방향족 화합물 또는 기타 바람직하지 않은 생성물의 양을 감소시킴으로써 환원 가스의 순도를 증가시키기 위해, 산소 또는 산소-풍부화된 공기를 첨가할 수 있다.

[1088] 일부 실시형태에서, 증기는 바람직한 반응물이다. 증기(즉, 증기상의 H_2O)는 투입물 스트림에서 반응기로 도입될 수 있다. 증기는 바이오카본 펠릿에 함유된 수분에 의해 생성된 증기뿐만 아니라 물을 생성하는 임의의 화학 반

응에 의해 생성된 증기를 포함할 수 있다.

[1089] 본원에서 화학 종의 "비율"에 대한 모든 언급은 달리 나타내지 않는 한 몰비에 대한 언급이다. 예를 들어, H_2/CO 비율이 1이라는 것은 이산화탄소 1몰당 수소 1몰을 의미한다.

[1090] 산소 또는 증기가 첨가될 때 증기 개질, 부분 산화, 수성-가스 시프트(WGS) 또는 연소 반응이 일어날 수 있다. 예시적인 반응을, 예를 들어, 셀룰로오스 공급원료에서 발견되는 셀룰로오스 반복 단위($C_6H_{10}O_5$)에 대해 아래에 나타낸다. 바이오카본 펠릿을 포함한 모든 탄소를 포함하는 공급원료에서 유사한 반응이 일어날 수 있다.

[1091] 증기 개질 $C_6H_{10}O_5 + H_2O \rightarrow 6\ CO + 6\ H_2$

[1092] 부분 산화 $C_6H_{10}O_5 + ½\ O_2 \rightarrow 6\ CO + 5\ H_2$

[1093] 수성-가스 시프트 $CO + H2O \leftrightarrow H_2 + CO_2$

[1094] 완전 연소 $C_6H_{10}O_5 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 5\ H_2O$

[1095] 바이오-환원 형성 유닛은 환원 가스를 생성하는 적어도 하나의 화학 반응을 야기할 수 있는 임의의 반응기이다. 당업계에 잘 알려진 통상적인 증기 개질기는 촉매와 함께 또는 없이 사용될 수 있다. 다른 가능성으로는 자열 개질기, 부분 산화 반응기 및 여러 반응 메커니즘(예를 들어, 부분 산화 후 수성-가스 시프트)을 조합하는 다단계 반응기가 포함된다. 반응기 구성은 고정층, 유동층, 복수의 마이크로채널 또는 일부 다른 구성일 수 있다.

[1096] 일부 실시형태에서, 반응물로서의 증기의 총량은 공급 물질 내의 탄소 몰당 적어도 약 0.1 몰의 증기이다. 다양한 실시형태에서, 탄소 몰당 적어도 약 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 또는 그 이상 몰 중 임의의 증기가 첨가되거나 존재한다. 일부 실시형태에서, 탄소 몰당 약 1.5-3.0 몰의 증기가 첨가되거나 존재한다.

[1097] 제2 반응기에 첨가되는 증기의 양은 열분해 반응기의 조건과 같은 요인에 따라 달라질 수 있다. 열분해가 탄소-풍부 고체 물질을 생성할 때, 일반적으로 더 많은 증기(또는 더 많은 산소)가 이용 가능한 C에 필요한 H 및 O 원자를 첨가하여 CO 및 H_2를 생성하기 위해 사용된다. 전체 시스템의 관점에서, 바이오카본 펠릿에 함유된 수분은 얼마나 많은 추가적 물(증기)이 공정에 첨가되는지를 결정하는 데 고려될 수 있다.

[1098] 산소 대 증기(O_2/H_2O)의 예시적인 비율은 제2 반응기에서 약 2, 1.5, 1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.05, 0.02, 0.01 이하 중 어느 하나 또는 그 최대이다. O_2/H_2O의 비율이 적어도 1일 때, 연소 반응이 부분 산화보다 우세해지기 시작하여 바람직하지 않게 낮은 CO/CO_2 비율을 생성할 수 있다.

[1099] 일부 실시형태에서, 증기가 없는 산소가 반응물로서 사용된다. 산소는 실질적으로 순수한 형태로 첨가될 수 있거나, 산소가 풍부화된 공기의 첨가를 통해 공정에 공급될 수 있다. 일부 실시형태에서, 산소가 풍부화되지 않은 공기가 첨가된다. 다른 실시형태에서, 예를 들어, 근처의 공기 분리 공장으로부터의 스트림일 수 있는 규격외(off-spec) 또는 재순환 스트림으로부터의 풍부화된 공기가 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 감소된 양의 N_2(즉, 최대 79 부피%)를 갖는 풍부화된 공기의 사용은 생성된 환원 가스에서 더 적은 N_2를 초래한다. N_2의 제거는 고비용일 수 있어, N_2가 적거나 없는 환원 가스를 생성하는 방법이 전형적으로 바람직하다.

[1100] 일부 실시형태에서, 산소의 존재는 산소가 없는 동일한 방법에 의해 생성된 비와 비교하여 환원 가스에서 H_2/CO의 비율을 변경한다. 환원 가스의 H_2/CO 비율은 약 0.5 내지 약 2.0, 예컨대 약 0.75 내지 1.25, 약 1 내지 1.5 또는 약 1.5 내지 2.0일 수 있다. 알 수 있는 바와 같이, 증가된 수성-가스 시프트(더 높은 증기 첨가율에 의해)는 적어도 2.0, 3.0, 4.0. 5.0, 또는 심지어 그 이상과 같은 더 높은 H_2/CO 비율을 생성하며, 이는 수소 생성을 포함한 특정 응용 분야에 바람직할 수 있다.

[1101] 촉매는 환원 가스를 생성하기 위한 반응기에서 사용될 수 있다. 촉매는 알칼리 금속 염, 알칼리 토금속 산화물 및 염, 석탄 중의 광물 물질 또는 회분, 전이 금속 및 이들의 산화물 및 염, 및 공융(eutectic) 염 혼합물을 포함할 수 있지만 이에 제한되지 않는다. 촉매의 특정 예는 수산화칼륨, 탄산칼륨, 수산화리튬, 탄산리튬, 수산화세슘, 산화니켈, 니켈-치환된 합성 운모 몬모릴로나이트(NiSMM), NiSMM-지지된 몰리브덴, 수산화철, 질산철, 철-칼슘 함침 염, 니켈 우라닐 산화물, 불화나트륨 및 빙정석을 포함하지만 이에 제한되지 않는다.

[1102] 다른 예시적인 촉매는 니켈, 산화니켈, 로듐, 루테늄, 이리듐, 팔라듐 및 백금을 포함하지만 이에 제한되지 않

는다. 그러한 촉매는, 예를 들어, 감마-알루미나와 같은 지지체 물질 상에 코팅되거나 침착될 수 있으며, 여기서 지지 물질은 마그네슘, 란타늄 또는 바륨과 같은 안정화 원소로 도핑될 수 있다.

[1103] 시스템에 첨가되기 전에, 임의의 촉매는 총 표면적, 활성 표면적, 사이트 밀도(site density), 촉매 안정성, 촉매 수명, 촉매 조성, 표면 거칠기, 표면 분산, 다공성, 밀도 또는 열 확산도에 영향을 미치는 알려진 기술을 사용하여 전처리되거나 활성화될 수 있다. 촉매의 전처리는 하소, 워시코트 첨가, 입자 크기 감소, 및 열적 또는 화학적 수단에 의한 표면 활성화를 포함하지만 이에 제한되지 않는다.

[1104] 촉매 첨가는 가스화 또는 개질될 수 있는 물 또는 임의의 탄화수소와 같은 용매에 촉매(들)를 먼저 용해시키거나 슬러리화함으로써 수행될 수 있다. 일부 실시형태에서, 촉매는 그러한 슬러리를 용기에 직접 주입함으로써 첨가된다. 일부 실시형태에서, 촉매는 증기에 첨가되고 증기/촉매 혼합물은 시스템에 첨가된다. 이들 실시형태에서, 첨가된 촉매는 증기에서 그의 평형 용해도에 있거나 그 근처에 있을 수 있거나, 증기에 동반된 입자로서 도입되어 시스템에 도입될 수 있다.

[1105] 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 고체 및 가스상을 이동시키는 일부 다른 알려진 수단에 의해 기계적으로 운반될 수 있다. 특히 기계적으로 견고해야 하는 바이오카본 펠릿 층 위에 배치된 금속 산화물 층을 이용하는 실시형태에서, 반응기에서 바이오카본 펠릿의 고정층을 사용할 수 있다.

[1106] 일부 실시형태에서, 반응기는 바이오카본 펠릿 또는 그로부터 형성된 분말의 가스화를 이용하여 환원 가스를 생성한다. 가스화는 상승된 온도, 전형적으로 약 600℃ 내지 약 1100℃에서 수행된다. 덜 반응적인 바이오제닉 시약은 더 높은 작동 온도를 사용한다. 도입된 반응물(예를 들어, 공기, 산소, 풍부화된 공기 또는 산소-증기팀 혼합물)의 양은 전형적으로 가스화 온도를 제어하는 주요 요인일 것이다. 대기압 내지 약 50 bar의 작동 압력이 바이오매스 가스화에 사용되었다. 가스화에는 또한 반응물, 일반적으로 공기, 고순도 산소, 증기 또는 이러한 가스의 일부 혼합물이 필요하다.

[1107] 가스화기는 용기 내 고체를 지지하는 수단, 고체와 가스 둘 모두의 유동 방향, 및 반응기에 열을 공급하는 방법에 따라 구분될 수 있다. 가스화기가 거의 대기압에서 또는 상승된 압력에서 작동하는지, 그리고 가스화기가 공기-송풍식(air-blown)인지 산소-송풍식인지가 또한 구별하는 특징이다. 일반적인 분류는 고정층 상승 기류, 고정층 하강 기류, 버블링 유동층 및 순환 유동층이다.

[1108] 고정층 가스화기는 일반적으로 밀짚, 옥수수대 또는 마당 쓰레기와 같은 섬유질 초본 공급원료를 처리할 수 없다. 그러나, 개시되는 공정에서, 바이오매스는 먼저 펠릿화되는 바이오제닉 시약으로 열분해되고, 바이오카본 펠릿은 가스화될 수 있다. 바이오카본 펠릿은 반드시 펠릿의 크기를 감소시키지 않고 고정층 가스화기를 사용하여 직접 가스화될 수 있다.

[1109] 순환 유동층 가스화 기술은 Lurgi 및 Foster Wheeler로부터 이용 가능하며, 바이오매스 및 기타 폐기물에 사용되는 기존 가스화 기술의 대부분을 나타낸다. 버블링 유동층 가스화(예를 들어, U-GAS® 기술)가 상업적으로 사용되었다.

[1110] 직접 가열식 가스화기는 단일 반응 용기에서 흡열 및 발열 가스화 반응을 수행하며; 추가 가열은 필요하지 않다. 대조적으로, 간접 가열식 가스화기는 외부 열원을 필요로 한다. 간접 가열식 가스화기는 일반적으로 2개의 용기를 사용한다. 제1 용기는 공급물을 증기로 가스화한다(흡열 과정). 열은 일반적으로 모래와 같은 열 전달 매질을 순환시킴으로써 공급된다. 모래와 함께 제1 용기에서 생성된 환원 가스 및 고체 숯이 분리된다. 혼합된 숯과 모래는 제2 용기로 공급되며, 여기서 숯은 공기와 함께 연소되어 모래를 가열한다. 뜨거운 모래는 제1 용기로 다시 순환된다.

[1111] 바이오카본 펠릿은 수분이 존재할 수 있지만 유리 액상이 없는 "건식 공급물"로서 또는 슬러리 또는 수중 현탁액으로서 가스화기에 도입될 수 있다. 건식-공급 가스화기는 전형적으로 환원 가스로의 높은 통과당 탄소 전환 및 양호한 에너지 효율을 가능하게 한다. 건식-공급 가스화기에서, 가스화 반응에 의해 방출되는 에너지는 가스화기가 극히 높은 온도에 도달하도록 할 수 있다. 이러한 문제는 습식-벽 설계를 사용하여 해결될 수 있다.

[1112] 일부 실시형태에서, 가스화기로의 공급물은 수소 함량이 높은 바이오카본 펠릿이다. 생성된 환원 가스는 비교적 수소가 풍부하며, 1.5 이상의 H_2/CO와 같은 높은 H_2/CO 비율을 갖는다.

[1113] 일부 실시형태에서, 가스화기로의 공급물은 수소 함량이 낮은 바이오카본 펠릿이다. 생성된 환원 가스는 상대적

으로 낮은 H_2/CO 비율을 가질 것으로 예상된다. $H_2/CO > 1$을 필요로 하는 다운스트림 공정의 경우, 가스화기에 물 또는 증기를 주입하여 가스화기 온도를 조절하고(현열(sensible-heat) 효과 또는 흡열 화학을 통해) H_2/CO 비율을 더 높고 더 바람직한 비율로 이동시키는 것이 바람직할 수 있다. 물 첨가는 또한 증기-개질 화학을 통해 흡열 소비에 의한 온도 조절에 기여할 수 있다. 증기 개질에서, H_2O는 탄소 또는 탄화수소, 예컨대 타르 또는 벤젠/톨루엔/자일렌과 반응하여 환원 가스를 생성하고 단열 가스화 온도를 낮춘다.

[1114] 특정 변형에서, 가스화기는 버블링 유동화 가스화 반응기와 같은 유동층 가스화기이다. 유동화는 가스화기층 내에서 실질적으로 균일한 온도를 초래한다. 알루미나 모래 또는 실리카 모래와 같은 유동화 층 물질은 잠재적인 마모 문제를 감소시킬 수 있다. 가스화기 온도는 회분 입자가 고체로부터 용융 형태 - 이는 가스화기 내에서 응집 및 유동화 손실을 야기할 수 있음 -로 변형되기 시작하지 않도록 충분히 낮은 온도로 조절될 수 있다.

[1115] 유동층 가스화기를 사용하는 경우, 모든 성분의 총 유량은 가스화기 층이 유동화되도록 해야 한다. 총 가스 유량 및 층 직경은 가스화기를 통과하는 가스 속도를 설정한다. 적절한 유동화를 보장하려면 올바른 속도가 유지되어야 한다.

[1116] 변형예에서, 가스화기 유형은 분류층 슬래깅, 동반된 유동 비-슬래깅, 수송, 버블링 유동층, 순환 유동층 또는 고정층일 수 있다. 일부 실시형태는 가스화 촉매를 사용한다.

[1117] 가스, 모래 및 공급원료(예를 들어, 파쇄된 또는 분쇄된 바이오카본 펠릿)가 함께 이동하는 순환 유동층 가스화기가 사용될 수 있다. 예시적인 수송 가스는 재순환된 생성물 가스, 연소 가스 또는 재순환 가스를 포함한다. 모래로부터의 높은 열 전달 속도는 공급원료의 빠른 가열을 보장하며, 융제는 일반 유동층보다 더 강할 것으로 예상된다. 분리기를 사용하여 모래 및 숯 입자로부터 환원 가스를 분리할 수 있다. 모래 입자는 유동화된 버너 용기에서 재가열되어 반응기로 재순환될 수 있다.

[1118] 역류 고정층 가스화기가 사용되는 일부 실시형태에서, 반응기는 본질적으로 가스화제(예컨대, 증기, 산소 또는 재순환 가스)가 역류 구성으로 유동하는 공급원료의 고정층으로 이루어진다. 회분은 건조 상태로 또는 슬래그로서 제거된다.

[1119] 병류(cocurrent) 고정층 가스화기가 사용되는 일부 실시형태에서, 반응기는 역류 유형과 유사하지만, 가스화제 가스는 공급원료와 병류 구성으로 유동한다. 소량의 공급원료를 연소시킴으로써 또는 외부 열원으로부터 열이 층의 상부에 추가된다. 생성된 가스는 고온에서 반응기를 떠나고, 이 열의 대부분은 층의 상단에 첨가된 가스화제로 전달되어 양호한 에너지 효율을 초래한다.

[1120] 유동층 반응기가 사용되는 일부 실시형태에서, 공급원료는 재순환 가스, 산소, 공기 또는 증기에서 유동화된다. 회분은 건조 상태로 제거되거나 탈유동화하는 무거운 응집체로서 제거될 수 있다. 고체의 재순환 또는 후속적인 연소를 사용하여 전환율을 증가시킬 수 있다. 유동층 반응기는 슬래깅 반응기의 벽을 손상시키는 부식성이 높은 회분을 형성하는 공급원료에 유용하다.

[1121] 분류층 가스화기가 사용되는 일부 실시형태에서, 바이오카본 펠릿은 병류 유동에서 산소, 공기 또는 재순환 가스로 가스화된다. 가스화 반응은 매우 미세한 입자의 조밀한 클라우드에서 발생한다. 고온이 사용될 수 있어, 환원 가스에 소량의 타르 및 메탄이 제공된다.

[1122] 분류층 반응기는 작동 온도가 전형적으로 회분 융해 온도보다 충분히 높을 수 있으므로 대부분의 회분을 슬래그로서 제거한다. 회분의 더 작은 분획은 매우 미세한 건식 비산 회분 또는 비산 회분 슬러리로서 생성된다. 특정 분류층(entrained-bed) 반응기는 부분적으로 응고된 슬래그로 덮인 내부 수냉식 또는 증기 냉각식 벽을 갖는다.

[1123] 가스화기 챔버는 프리보드(freeboard)의 적절한 구성 또는 내부 사이클론의 사용에 의해 고체 다운스트림 작동의 캐리오버(carryover)를 열 회수에 적합한 수준으로 유지하도록 설계될 수 있다. 미반응 탄소는 가스화기 챔버 바닥으로부터 끌어내어져 냉각되고 회수될 수 있다.

[1124] 가스화기는 부분 산화, 역 수성-가스 시프트 또는 탄소를 포함하는 종의 건식(CO_2) 개질에 효과적인 촉매와 같은 촉매를 포함할 수 있다.

[1125] 일부 실시형태에서, 버블링 유동층 탈휘발 반응기가 사용된다. 반응기는 뜨거운 재순환 가스 스트림에 의해 적어도 부분적으로 예상 슬래깅 온도보다 낮은 대략 600℃까지 가열된다. 증기, 산소 또는 공기가 또한 제2 반응기에 도입될 수 있다. 제2 반응기는 프리보드의 적절한 구성 또는 내부 사이클론의 사용을 통해 고체의 캐리오버를 다운스트림의 열 회수에 적합한 수준으로 유지하도록 설계될 수 있다. 미반응 숯은 탈휘발 챔버의 바닥으

로부터 끌어내어 냉각된 다음, 유틸리티 보일러로 공급되어 이 스트림의 나머지 발열량을 회수할 수 있다.

[1126] 유동층 가스화기가 사용되는 경우, 공급원료는 재순환 가스와 같은 가스에 의해 유동화된 뜨거운 모래 층으로 도입될 수 있다. 본원에서 "모래"에 대한 언급은 또한 유리 입자, 회수된 회분 입자 등과 같은 유사하고 실질적으로 불활성인 물질을 포함할 것이다. 유동화된 모래로부터의 높은 열 전달 속도는 공급원료의 빠른 가열을 초래할 수 있다. 모래 입자에 의한 마모에 의해 약간의 융제가 있을 수 있다. 열은 뜨거운 연소 가스가 유동하는 열 교환기 튜브에 의해 제공될 수 있다.

[1127] 순환 유동층 반응기가 사용될 수 있으며, 여기서 가스, 모래 및 공급원료는 함께 이동한다. 예시적인 수송 가스는 재순환된 생성물 가스, 연소 가스 또는 재순환 가스를 포함한다. 모래로부터의 높은 열 전달 속도는 공급원료의 빠른 가열을 보장하며, 융제는 일반 유동층보다 더 강할 것으로 예상된다. 분리기를 사용하여 모래 및 숯 입자로부터 환원 가스를 분리할 수 있다. 모래 입자는 유동화된 버너 용기에서 재가열되어 반응기로 재순환될 수 있다.

[1128] 역류 고정층 반응기가 사용되는 일부 실시형태에서, 반응기는 본질적으로 가스화제(예컨대, 증기, 산소 또는 재순환 가스)가 역류 구성으로 유동하는 공급원료의 고정층으로 이루어진다. 회분은 건조 상태로 또는 슬래그로서 제거된다.

[1129] 병류 고정층 반응기가 사용되는 일부 실시형태에서, 반응기는 역류 유형과 유사하지만, 가스화제 가스는 공급원료와 병류 구성으로 유동한다. 소량의 공급원료를 연소시킴으로써 또는 외부 열원으로부터 열이 층의 상부에 추가된다. 환원 가스는 고온에서 반응기를 떠나고, 이 열의 대부분은 층의 상단에 첨가된 반응물로 전달되어 양호한 에너지 효율을 초래한다. 타르는 이 구성에서 탄소의 뜨거운 층을 통과하기 때문에, 타르 수준은 역류 유형을 사용할 때보다 더 낮을 것으로 예상된다.

[1130] 유동층 반응기가 사용되는 일부 실시형태에서, 공급원료는 재순환 가스, 산소, 공기 또는 증기에서 유동화된다. 회분은 건조 상태로 제거되거나 탈유동화하는 무거운 응집체로서 제거된다. 고체의 재순환 또는 후속적인 연소를 사용하여 전환율을 증가시킬 수 있다.

[1131] 열 및 질량 전달을 향상시키기 위해, 일반적으로 오리피스를 통해 밀폐된 챔버 또는 파이프로 들어갈 때 유체 유동의 방향 또는 특성을 제어하도록 설계된 기계 장치인 노즐을 사용하여 제2 반응기로 물이 도입될 수 있다. 노즐은 물방울의 크기를 감소시켜 미세한 물 분사를 생성할 수 있다. 노즐은 분무기 노즐(연료 인젝터와 유사), 액체를 접선 방향으로 주입하는 스월(swirl) 노즐 등으로부터 선택될 수 있다.

[1132] 물 공급원에는, 예를 들어, 공정 응축수, 기타 재활용수, 폐수, 보충수, 보일러 급수, 수돗물 등으로부터의 직접 배관이 포함될 수 있다. 물은 선택적으로 먼저 세정, 정제, 처리, 이온화, 증류 등이 될 수 있다. 여러 물 공급원이 사용되는 경우, 물 공급원의 다양한 부피 비가 가능하다. 일부 실시형태에서, 제2 반응기용 물의 일부 또는 전부는 폐수이다.

[1133] 일부 변형에서, 환원 가스는 또 다른 생성물로 전환되기 전에 여과, 정제 또는 달리 조절된다. 예를 들어, 냉각된 환원 가스는 조절 유닛으로 도입될 수 있으며, 여기서 벤젠, 톨루엔, 에틸 벤젠, 자일렌, 황 화합물, 질소, 금속 또는 기타 불순물이 환원 가스로부터 제거된다.

[1134] 일부 실시형태는 환원-가스 정화 유닛을 포함한다. 환원-가스 정화 유닛은 그 설계에 특별히 제한되지 않는다. 예시적인 환원-가스 정화 유닛은 사이클론, 원심분리기, 필터, 멤브레인, 용매 기반 시스템 및 미립자 또는 기타 특정 오염물질을 제거하는 기타 수단을 포함한다. 일부 실시형태에서, 산-가스 제거 유닛이 포함되며, 환원 가스로부터 H_2S, CO_2 또는 기타 산 가스를 제거하기 위한 당업계에 공지된 임의의 수단일 수 있다.

[1135] 산-가스 제거 단계의 예에는 CO_2용 용매에 의한 CO_2 제거, 또는 압력-스윙 흡착 유닛에 의한 CO_2 제거가 포함된다. 반응성 용매 기반 산 가스 제거에 적합한 용매에는 모노에탄올아민, 디에탄올아민, 메틸디에탄올아민, 디이소프로필아민 및 아미노에톡시에탄올이 포함된다. 물리적 용매 기반 산 가스 제거에 적합한 용매에는 폴리에틸렌 글리콜의 디메틸 에테르(예컨대 Selexol® 공정에서) 및 냉장 메탄올(예컨대 Rectisol® 공정에서)이 포함된다.

[1136] 본 개시내용에 따라 기재된 바와 같이 생성된 환원 가스는 다양한 방식으로 이용될 수 있다. 환원 가스는 일반적으로 수소, 일산화탄소, 메탄, 올레핀(예컨대 에틸렌), 산소화물(예컨대, 디메틸 에테르), 알코올(예컨대 메탄올 및 에탄올), 파라핀 및 기타 탄화수소로 화학적으로 전환되거나 정제될 수 있다. 환원 가스는 피셔-트롭쉬

화학에 의해 선형 또는 분지형 C_5-C_{15} 탄화수소, 경유 연료, 가솔린, 왁스 또는 올레핀; 다양한 촉매에 의해 혼합 알코올; 이소합성에 의해 이소부탄; 수소 생성 후 하버 공정에 의해 암모니아; 산소합성에 의해 알데히드 및 알코올; 및 다양한 공정에 의해 디메틸 에테르, 아세트산, 에틸렌, 프로필렌 및 포름알데히드를 포함하는 많은 메탄올 유도체로 전환될 수 있다. 환원 가스는 또한 고체 산화물 연료 전지, 스털링(Stirling) 엔진, 마이크로터빈, 내연 기관, 열-전기 발전기, 스크롤 팽창기, 가스 버너 또는 열-광발전 장치와 같은 에너지 전환 장치를 사용하여 에너지로 전환될 수 있다.

[1137] 본 상세한 설명에서, 본 발명의 다수의 실시형태 및 본 발명이 어떻게 이해되고 실행될 수 있는지에 관한 비제한적 예에 대한 참조가 이루어졌다. 본원에 명시된 모든 특징 및 이점을 제공하지 않는 다른 실시형태가 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 사용될 수 있다. 본 발명은 본원에 기재된 방법 및 시스템의 일상적인 실험 및 최적화를 포함한다. 그러한 수정 및 변형은 청구범위에 의해 정의된 본 발명의 범위 내에 있는 것으로 간주된다.

[1138] 본 명세서에 인용된 모든 간행물, 특허 및 특허 출원은 마치 각각의 간행물, 특허 또는 특허 출원이 본원에 구체적이고 개별적으로 제시된 것처럼 전체가 본원에 참조로 포함된다.

[1139] 상기 기재된 방법 및 단계가 특정 순서로 발생하는 특정 이벤트를 나타내는 경우, 당업자는 특정 단계의 순서가 수정될 수 있고 그러한 수정이 본 개시내용의 변형에 따른다는 것을 인식할 것이다. 또한, 특정 단계는 가능한 경우 병렬 공정으로 동시에 수행되거나 순차적으로 수행될 수 있다.

[1140] 따라서, 첨부된 청구범위에서 발견된 본 발명과 동등하거나 개시내용의 사상 내에 있는 본 발명의 변형이 있는 한, 그것은 본 특허가 이러한 변형도 포괄할 것이라는 의도이다. 본 발명은 청구된 것에 의해서만 제한될 것이다.

[1141] 실시예

[1142] 실시예 1 내지 6은 바이오카본 조성물이 본원에 명시된 개시내용에 따라 조정 가능한 염기-산 비율로 제조될 수 있음을 나타낸다.

[1143] 실시예 1: 염기-산 비율이 0.74인 바이오카본 조성물.

[1144] 더글라스 전나무를 650℃의 열분해 온도와 15-30분의 열분해 시간에서 열분해하여 바이오카본 시약을 생성한다. 바이오제닉 시약을 전분 및 벤토나이트 점토의 결합제와 합하여 혼합물을 형성한다. 압출기를 사용하여 혼합물을 기계적으로 처리하여 분말을 형성한다. 본질적으로 수직 링 다이 펠릿화 장치로 이루어진 펠릿화 장치를 사용하여 분말을 펠릿화하여 직경 약 8 ㎜의 펠릿을 생성한다. 펠릿을 650℃에서 15-30분 동안 추가로 탄화한 다음, 약 4 중량%의 수분까지 건조시킨다. 조성 및 기타 특성을 도 5의 데이터 시트에 나타낸다. ASTM-표준 D4326에 따라 결정된 염기-산 비율은 0.74로 측정된다. 도 5의 X 라벨은 특정 측정이 이루어지지 않았음을 나타낸다는 것에 주목한다.

[1145] 실시예 2: 염기-산 비율이 0.85인 바이오카본 조성물.

[1146] 더글라스 전나무를 650℃의 열분해 온도와 15-30분의 열분해 시간에서 열분해하여 바이오카본 시약을 생성한다. 건조 기준으로 320 lb의 바이오제닉 시약을 50 lb의 전분 결합제와 합하여 혼합물을 형성한다. 압출기를 사용하여 혼합물을 기계적으로 처리하여 분말을 형성한다. 수직 링 다이 펠릿화 장치를 포함하는 펠릿화 장치를 사용하여 분말을 펠릿화하여 직경 약 8 ㎜의 펠릿을 생성한다. 펠릿을 약 11 중량%의 수분까지 건조시킨다. 조성 및 기타 특성을 도 6의 데이터 시트에 나타낸다. ASTM-표준 D4326에 따라 결정된 염기-산 비율은 0.85로 측정된다. 도 6의 X 라벨은 특정 측정이 이루어지지 않았음을 나타낸다는 것에 주목한다.

[1147] 실시예 3: 염기-산 비율이 1.39인 바이오카본 조성물.

[1148] 더글라스 전나무를 650℃의 열분해 온도와 15-30분의 열분해 시간에서 열분해하여 바이오카본 시약을 생성한다. (건조 기준으로) 320 lb의 바이오제닉 시약을 40 lb의 전분 결합제와 합하여 혼합물을 형성한다. 압출기를 사용하여 혼합물을 기계적으로 처리하여 분말을 형성한다. 수직 링 다이 펠릿화 장치로 본질적으로 이루어진 펠릿화 장치를 사용하여 분말을 펠릿화하여 직경 약 8 ㎜의 펠릿을 생성한다. 펠릿을 약 10 중량%의 수분까지 건조시킨다. 조성 및 기타 특성을 도 7의 데이터 시트에 나타낸다. ASTM-표준 D4326에 따라 결정된 염기-산 비율은 1.39로 측정된다. 도 7의 X 라벨은 특정 측정이 이루어지지 않았음을 나타낸다는 것에 주목한다.

[1149] 실시예 4: 염기-산 비율이 1.57인 바이오카본 조성물.

[1150] 더글라스 전나무를 650℃의 열분해 온도와 15-30분의 열분해 시간에서 열분해하여 바이오카본 시약을 생성한다. (건조 기준으로) 320 lb의 바이오제닉 시약을 30 lb의 전분 결합제와 합하여 혼합물을 형성한다. 압출기를 사용하여 혼합물을 기계적으로 처리하여 분말을 형성한다. 수직 링 다이 펠릿화 장치로 본질적으로 이루어진 펠릿화 장치를 사용하여 분말을 펠릿화하여 직경 약 8 mm의 펠릿을 생성한다. 펠릿을 약 9 중량%의 수분까지 건조시킨다. 조성 및 기타 특성을 도 8의 데이터 시트에 나타낸다. ASTM-표준 D4326에 따라 결정된 염기-산 비율은 1.57로 측정된다. 도 8의 X 라벨은 특정 측정이 이루어지지 않았음을 나타낸다는 것에 주목한다.

[1151] 실시예 5: 염기-산 비율이 5.13인 바이오카본 조성물.

[1152] 더글라스 전나무를 650℃의 열분해 온도와 15-30분의 열분해 시간에서 열분해하여 바이오카본 시약을 생성한다. (건조 기준으로) 320 lb의 바이오제닉 시약을 30 lb의 전분 결합제와 합하여 혼합물을 형성한다. 압출기를 사용하여 혼합물을 기계적으로 처리하여 분말을 형성한다. 수직 링 다이 펠릿화 장치로 본질적으로 이루어진 펠릿화 장치를 사용하여 분말을 펠릿화하여 직경 약 8 mm의 펠릿을 생성한다. 펠릿을 산성수로 세척한 다음, 수분이 약 4 중량%가 될 때까지 건조시킨다. 조성 및 기타 특성을 도 9의 데이터 시트에 나타낸다. ASTM-표준 D4326에 따라 결정된 염기-산 비율은 5.13으로 측정된다. 도 9의 X 라벨은 특정 측정이 이루어지지 않았음을 나타낸다는 것에 주목한다.

[1153] 실시예 6: 염기-산 비율이 7.62인 바이오카본 조성물.

[1154] 적송을 650℃의 열분해 온도와 15-30분의 열분해 시간에서 열분해하여 바이오카본 시약을 생성한다. (건조 기준으로) 320 lb의 바이오제닉 시약을 24 lb의 전분 결합제와 합하여 혼합물을 형성한다. 압출기를 사용하여 혼합물을 기계적으로 처리하여 분말을 형성한다. 수직 링 다이 펠릿화 장치로 본질적으로 이루어진 펠릿화 장치를 사용하여 분말을 펠릿화하여 직경 약 8 mm의 펠릿을 생성한다. 이어서, 펠릿을 약 7 중량%의 수분까지 건조시킨다. 조성 및 기타 특성을 도 10의 데이터 시트에 나타낸다. ASTM-표준 D4326에 따라 결정된 염기-산 비율은 7.62로 측정된다. 도 10의 X 라벨은 특정 측정이 이루어지지 않았음을 나타낸다는 것에 주목한다.

도면

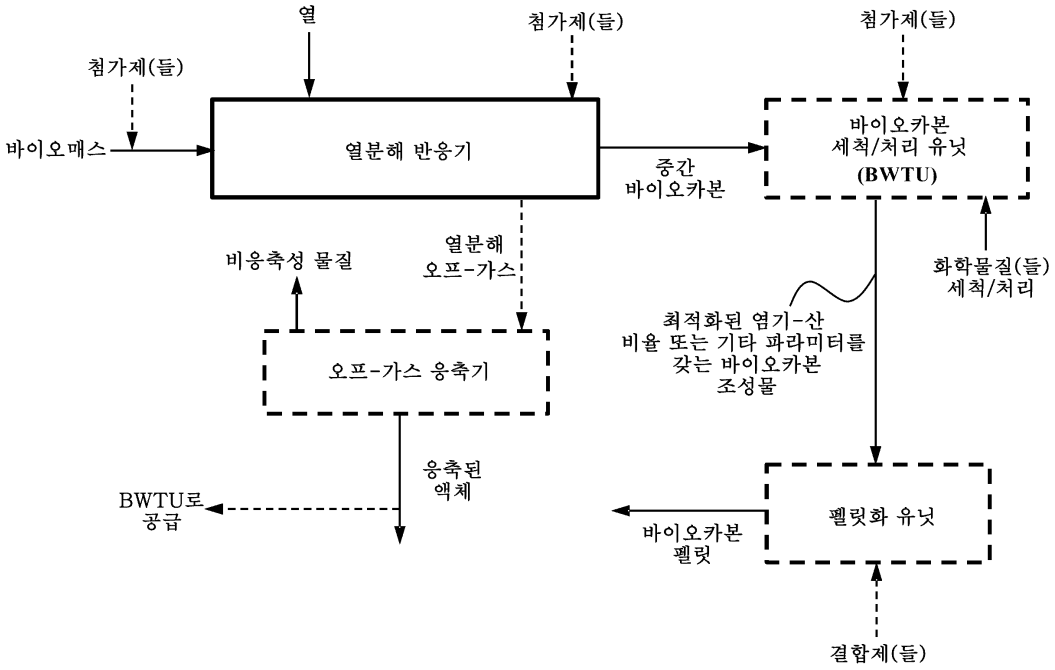
도면1



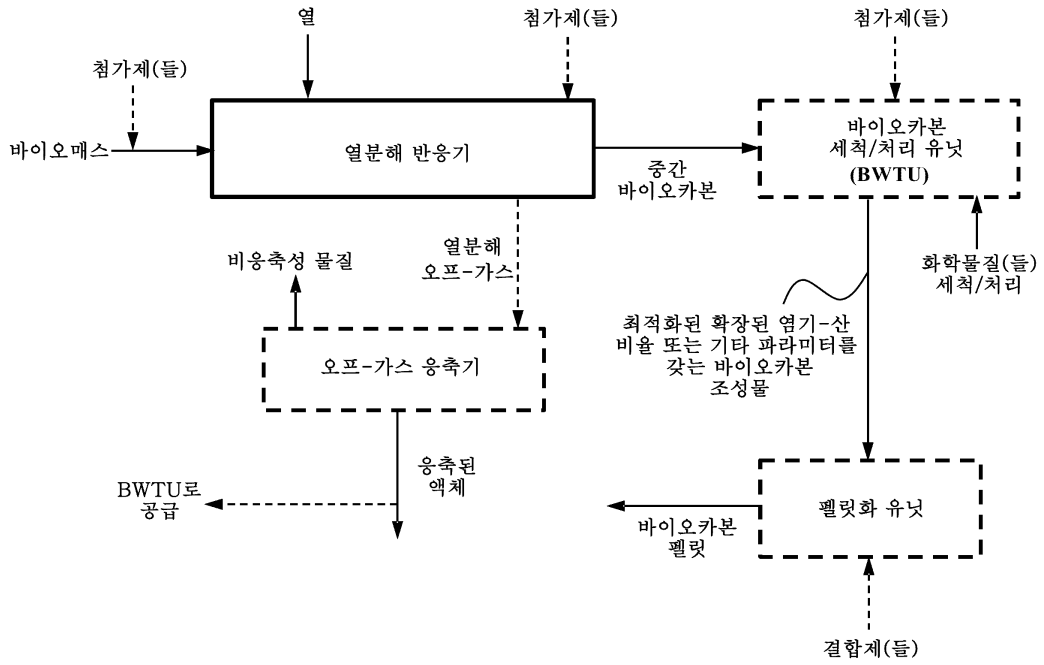
도면2



도면3


열
첨가제(들)
첨가제(들)
첨가제(들)
바이오매스
열분해 반응기
중간
바이오카본
바이오카본
세척/처리 유닛
(BWTU)
화학물질(들)
세척/처리
비응축성 물질
열분해
오프-가스
최적화된 염기-산
비율 또는 기타 파라미터를
갖는 바이오카본
조성물
오프-가스 응축기
응축된
액체
BWTU로
공급
펠릿화 유닛
바이오카본
펠릿
결합제(들)

도면4


열
첨가제(들)
첨가제(들)
첨가제(들)
바이오매스
열분해 반응기
중간
바이오카본
바이오카본
세척/처리 유닛
(BWTU)
화학물질(들)
세척/처리
비응축성 물질
열분해
오프-가스
최적화된 확장된 염기-산
비율 또는 기타 파라미터를
갖는 바이오카본
조성물
오프-가스 응축기
응축된
액체
BWTU로
공급
펠릿화 유닛
바이오카본
펠릿
결합제(들)

도면5

MINERAL LABS INC.
Box 549
Salyersville, Kentucky 41465
Phone (606) 349-6145

분석 증명서

PJLA Testing
ISO/IEC 17025:2005 Accredited

회사 요청 분석:	분석일:	10/22/2021
NATIONAL CARBON TECHNOLOGIES 513 4TH STREET GWINN, MI 49841	랩 번호 11370	11025638
	샘플링/유형:	고객

샘플 ID: 메일
3sc100821-01 RC CARBON
10/22/21 382.0G

근접 분석	수령한대로	건조 기준
수분 % (D3302/D3173)	6.97	
회분 % (D3174)	8.44	9.07
휘발성 물질 % (D3175)	3.38	3.63
고정 탄소 % (계산치)	81.22	87.30
B.T.U. (D5865/D5864)	12,935	13,904
M.A.F.B.T.U. (계산치)	15,291	
황 % (D4239)	0.02	0.03
SO_2 lbs./mm Btu	0.04	
회분 lbs./mm Btu	6.52	

궁극적인 분석 (ASTM D5373)	수령한 대로	건조 기준
수분	6.97	
탄소	81.92	88.06
수소	<0.47	<0.50
질소	0.55	0.59
황	0.02	0.03
회분	8.44	9.07
산소 (차이)	1.63	1.75

황 형태 (ASTM D2492)	수령한대로	건조 기준
황철석 황 %	xxxxx	xxxxx
황산 황 %	xxxxx	xxxxx
유기 황 %	xxxxx	xxxxx
총 황 %	xxxxx	xxxxx

무기물 분석 (ASTM D4326)		점화 기준 중량 %
이산화규소	SiO_2	39.27
산화알루미늄	Al_2O_3	10.40
이산화티타늄	TiO_2	0.12
산화철	Fe_2O_3	2.92
산화칼슘	CaO	22.32
산화마그네슘	MgO	3.18
산화칼륨	K_2O	7.51
산화나트륨	Na_2O	0.79
삼산화황	SO_3	6.24
오산화인	P_2O_5	1.39
산화스트론튬	SrO	0.12
산화바륨	BaO	0.28
산화마그네슘	MnO	0.77
측정되지 않음		4.69

회분의 용융 온도 (D1857)		
	환원 (°F)	산화 (°F)
초기 온도	xxxxx	xxxxx
연화 온도 H=W	xxxxx	xxxxx
반구 온도 H=1/2 W	xxxxx	xxxxx
유체 온도	xxxxx	xxxxx

회분의 T-250 온도	2190

염기/산 비율	0.7375
파울링 인자	0.5830
슬래깅 인자	0.0220

수용성 알칼리 (%로 보고됨)	
K_2O	xxxxx
Na_2O	xxxxx

벌크 밀도 (g/cm3)	1.088
평형 수분 % (ASTM D1412)	2.8

제출자:

ASTM D2013 및 ASTM D5198에 의한 샘플 제조

도면6

MINERAL LABS INC.
Box 549
Salyersville, Kentucky 41465
Phone (606) 349-6145

분석 증명서

PJLA Testing
ISO/IEC 17025:2005 Accredited

회사 요청 분석:	분석일:	10/21/2020
National Carbon Technologies 513 4TH Street Gwinn, MI 49841 906-281-4679	랩 번호	10023850
	샘플링/유형:	고객

샘플 ID: 메일: Carbon Pellets: 10-16-20: Douglas 50

근접 분석	수령한대로	건조 기준
수분 % (D3302/D3173)	10.67	
회분 % (D3174)	2.89	3.24
휘발성 물질 % (D3175)	25.22	28.23
고정 탄소 % (계산치)	61.22	68.53
B.T.U. (D5865/D5864)	10940	12247
M.A.F.B.T.U. (계산치)	12657	
황 % (D4239)	0.02	0.02
SO_2 lbs./mm Btu	0.03	
회분 lbs./mm Btu	2.65	

궁극적인 분석 (ASTM D5373)	수령한대로	건조 기준
수분	10.67	
탄소	71.95	80.54
수소	5.00	5.60
질소	1.56	1.75
황	0.02	0.02
회분	2.89	3.24
산소 (차이)	7.91	8.85

황 형태 (ASTM D2492)	수령한대로	건조 기준
황철석 황 %	xxxxx	xxxxx
황산 황 %	xxxxx	xxxxx
유기 황 %	xxxxx	xxxxx
총 황 %	xxxxx	xxxxx

무기물 분석 (ASTM D4326)		점화 기준 중량 %
이산화규소	SiO_2	39.73
산화알루미늄	Al_2O_3	8.64
이산화티타늄	TiO_2	0.68
산화철	Fe_2O_3	7.82
산화칼슘	CaO	20.47
산화마그네슘	MgO	5.36
산화칼륨	K_2O	7.46
산화나트륨	Na_2O	0.74
삼산화황	SO_3	0.94
오산화인	P_2O_5	2.54
산화스트론튬	SrO	0.15
산화바륨	BaO	0.21
산화마그네슘	MnO	0.81
측정되지 않음		4.46

회분의 융합 온도 (D1857)	환원 (°F)	산화 (°F)
초기 온도	xxxxx	xxxxx
연화 온도 H=W	xxxxx	xxxxx
반구 온도 H=1/2 W	xxxxx	xxxxx
유체 온도	xxxxx	xxxxx

회분의 T-250 온도	xxxxx

염기/산 비율	0.8533
파울링 인자	0.6341
슬래깅 인자	xxxxx

수용성 알칼리 (%로 보고됨)	
K_2O	xxxxx
Na_2O	xxxxx

붕소 ppm (ASTM D6357)	xxxxx
염소 ppm (ASTM 6721)	xxxxx
크로뮴 ppm (ASTM D6357)	xxxxx
산화 (ASTM D5263)	xxxxx
셀레늄 ppm (ASTM D6357;MOD)	xxxxx
자유 팽창 지수 (D720)	xxxxx
평형 수분 (ASTM D1412)	xxxxx
분쇄성 지수 (D409)	40

제출자:

ASTM D2013 및 ASTM D5198에 의한 샘플 제조

도면7

MINERAL LABS INC.
Box 549
Salyersville, Kentucky 41465
Phone (606) 349-6145

분석 증명서

PJLA Testing
ISO/IEC 17025:2005 Accredited

회사 요청 분석:	분석일:	10/21/2020
National Carbon Technologies 513 4TH Street Gwinn, MI 49841 906-281-4679	랩 번호	10023849
	샘플링/유형:	고객

샘플 ID: 메일: Carbon Pellets: 10-16-20: Douglas 40

근접 분석	수령한대로	건조 기준
수분 % (D3302/D3173)	9.71	
회분 % (D3174)	1.66	1.84
휘발성 물질 % (D3175)	20.16	22.33
고정 탄소 % (계산치)	68.47	75.83
B.T.U. (D5865/D5864)	11827	13099
M.A.F.B.T.U. (계산치)	13345	
황 % (D4239)	0.02	0.02
SO_2 lbs./mm Btu	0.03	
회분 lbs./mm Btu	1.40	

궁극적인 분석 (ASTM D5373)	수령한 대로	건조 기준
수분	9.71	
탄소	76.05	84.23
수소	2.59	2.87
질소	0.37	0.41
황	0.02	0.02
회분	1.66	1.84
산소 (차이)	9.60	10.63

황 형태 (ASTM D2492)	수령한대로	건조 기준
황철석 황 %	xxxxx	xxxxx
황산 황 %	xxxxx	xxxxx
유기 황 %	xxxxx	xxxxx
총 황 %	xxxxx	xxxxx

무기물 분석 (ASTM D4326)		점화 기준 중량 %
이산화규소	SiO_2	29.79
산화알루미늄	Al_2O_3	7.06
이산화티타늄	TiO_2	0.96
산화철	Fe_2O_3	10.44
산화칼슘	CaO	26.31
산화마그네슘	MgO	4.52
산화칼륨	K_2O	10.69
산화나트륨	Na_2O	0.60
삼산화황	SO_3	2.33
오산화인	P_2O_5	3.90
산화스트론튬	SrO	0.15
산화바륨	BaO	0.37
산화마그네슘	MnO	1.18
측정되지 않음		1.72

회분의 용합 온도 (D1857)		
	환원 (°F)	산화 (°F)
초기 온도	xxxxx	xxxxx
연화 온도 H=W	xxxxx	xxxxx
반구 온도 H=1/2 W	xxxxx	xxxxx
유체 온도	xxxxx	xxxxx

회분의 T-250 온도	xxxxx

염기/산 비율	1.3901
파울링 인자	0.8368
슬래깅 인자	xxxxx

수용성 알칼리 (%로 보고됨)	
K_2O	xxxxx
Na_2O	xxxxx

붕소 ppm(ASTM D6357)	xxxxx
염소 ppm (ASTM 6721)	xxxxx
크로뮴 ppm (ASTM D6357)	xxxxx
산화 (ASTM D5263)	xxxxx
셀레늄 ppm (ASTM D6357;MOD)	xxxxx
자유 팽창 지수 (D720)	xxxxx
평형 수분 (ASTM D1412)	xxxxx
분쇄성 지수 (D409)	45

제출자:

ASTM D2013 및 ASTM D5198에 의한 샘플 제조

도면8

MINERAL LABS INC.
Box 549
Salyersville, Kentucky 41465
Phone (606) 349-6145

분석 증명서

PJLA Testing
ISO/IEC 17025:2005 Accredited

회사 요청 분석:	분석일:	10/21/2020
National Carbon Technologies 513 4TH Street Gwinn, MI 49841 906-281-4679	랩 번호	10023847
	샘플링/유형:	고객

샘플 ID: 메일: Carbon Pellets: 10-16-20: Douglas 30

근접 분석	수령한대로	건조 기준
수분 % (D3302/D3173)	9.08	
회분 % (D3174)	1.12	1.23
휘발성 물질 % (D3175)	16.92	18.61
고정 탄소 % (계산치)	72.88	80.16
B.T.U. (D5865/D5864)	12232	13454
M.A.F.B.T.U. (계산치)	13622	
황 % (D4239)	0.02	0.02
SO_2 lbs./mm Btu	0.03	
회분 lbs./mm Btu	0.91	

궁극적인 분석 (ASTM D5373)	수령한대로	건조 기준
수분	9.08	
탄소	78.56	86.41
수소	2.37	2.61
질소	0.38	0.42
황	0.02	0.02
회분	1.12	1.23
산소 (차이)	8.46	9.31

황 형태 (ASTM D2492)	수령한대로	건조 기준
황철석 황 %	xxxxx	xxxxx
황산 황 %	xxxxx	xxxxx
유기 황 %	xxxxx	xxxxx
총 황 %	xxxxx	xxxxx

무기물 분석 (ASTM D4326)		점화 기준 중량 %
이산화규소	SiO_2	25.84
산화알루미늄	Al_2O_3	6.75
이산화티타늄	TiO_2	1.04
산화철	Fe_2O_3	10.11
산화칼슘	CaO	27.03
산화마그네슘	MgO	4.30
산화칼륨	K_2O	10.83
산화나트륨	Na_2O	0.53
삼산화황	SO_3	3.15
오산화인	P_2O_5	4.13
산화스트론튬	SrO	0.15
산화바륨	BaO	0.40
산화마그네슘	MnO	1.19
측정되지 않음		4.56

회분의 융합 온도 (D1857)	환원 (°F)	산화 (°F)
초기 온도	xxxxx	xxxxx
연화 온도 H=W	xxxxx	xxxxx
반구 온도 H=1/2 W	xxxxx	xxxxx
유체 온도	xxxxx	xxxxx

회분의 T-250 온도	xxxxx

염기/산 비율	1.5702
파울링 인자	0.8275
슬래깅 인자	xxxxx

수용성 알칼리 (%로 보고됨)	
K_2O	xxxxx
Na_2O	xxxxx

붕소 (ASTM D6357)	xxxxx
염소 (ASTM 6721)	xxxxx
크로뮴 (ASTM D6357)	xxxxx
산화 (ASTM D5263)	xxxxx
셀레늄 (ASTM D6357;MOD)	xxxxx
자유 팽창 지수 (D720)	xxxxx
평형 수분 (ASTM D1412)	xxxxx
분쇄성 지수 (D409)	49

제출자:

ASTM D2013 및 ASTM D5198에 의한 샘플 제조

도면9

MINERAL LABS INC.
Box 549
Salyersville, Kentucky 41465
Phone (606) 349-6145

분석 증명서

PJLA Testing
ISO/IEC 17025:2005 Accredited

회사 요청 분석:	분석일:	6/17/2021
National Carbon Technologies	랩 번호	11014001
	샘플링/유형:	고객

샘플 ID: 메일: Carbon: 74.2g: Sample 61421-01

근접 분석	수령한대로	건조 기준
수분 % (D3302/D3173)	4.16	
회분 % (D3174)	1.32	1.38
휘발성 물질 % (D3175)	5.29	5.52
고정 탄소 % (계산치)	89.23	93.10
B.T.U. (D5865/D5864)	13605	14196
M.A.F.B.T.U. (계산치)	14395	
황 % (D4239)	0.01	0.01
SO_2 lbs./mm Btu	0.01	
회분 lbs./mm Btu	0.97	

궁극적인 분석 (ASTM D5373)	수령한 대로	건조 기준
수분	4.16	
탄소	90.42	94.34
수소	0.64	0.67
질소	0.71	0.74
황	0.01	0.01
회분	1.32	1.38
산소 (차이)	2.74	2.86

황 형태 (ASTM D2492)	수령한대로	건조 기준
황철석 황 %	xxxxx	xxxxx
황산 황 %	xxxxx	xxxxx
유기 황 %	xxxxx	xxxxx
총 황 %	xxxxx	xxxxx

무기물 분석 (ASTM D4326)		점화 기준 중량 %
이산화규소	SiO_2	12.05
산화알루미늄	Al_2O_3	1.11
이산화티타늄	TiO_2	0.14
산화철	Fe_2O_3	9.95
산화칼슘	CaO	14.50
산화마그네슘	MgO	22.59
산화칼륨	K_2O	19.64
산화나트륨	Na_2O	1.58
삼산화황	SO_3	5.24
오산화인	P_2O_5	4.96
산화스트론튬	SrO	0.23
산화바륨	BaO	0.13
산화마그네슘	MnO	5.85
측정되지 않음		2.03

회분의 융합 온도 (D1857)		
	환원 (°F)	산화 (°F)
초기 온도	xxxxx	xxxxx
연화 온도 H=W	xxxxx	xxxxx
반구 온도 H=1/2 W	xxxxx	xxxxx
유체 온도	xxxxx	xxxxx

회분의 T-250 온도	xxxxx

염기/산 비율	xxxxx
파울링 인자	xxxxx
슬래깅 인자	xxxxx

수용성 알칼리 (%로 보고됨)	
K_2O	xxxxx
Na_2O	xxxxx

비소 ppm (ASTM D6357)	xxxxx
탄산 칼슘 Equivalency	xxxxx
수은 ppm (ASTM D6722)	xxxxx
염소 (ASTM D6721)	xxxxx
탈륨 ppm (ASTM D6357)	xxxxx
자유 팽창 지수 (D720)	xxxxx
평형 수분 (ASTM D1412)	xxxxx
분쇄성 지수 (D409)	xxxxx

제출자:

도면10

MINERAL LABS INC.
Box 549
Salyersville, Kentucky 41465
Phone (606) 349-6145

분석 증명서

PJLA Testing
ISO/IEC 17025:2005 Accredited

회사 요청 분석:	분석일:	9/24/2020
National Carbon Technologies 513 4TH Street Gwinn, MI 49841	랩 번호	10021581
	샘플링/유형:	고객

샘플 ID: 메일: Carbon Pellets: 91820-02: 780.4g

근접 분석	수령한대로	건조 기준
수분 % (D2961)	7.31	
회분 % (D3174)	1.18	1.27
휘발성 물질% (D3175)	9.60	10.36
고정 탄소 %(계산치)	81.91	88.37
총 발열량 Kcal/kg (D	7151	7715
순 발열량 Kcal/kg	7016	7569
M.A.F.B.T.U. (계산치)	14064	
황 % (D4239)	0.07	0.08
lbs. SO_2/mmBtu	0.21	

BTU-(ASTM D5865)

궁극적인 분석 (ASTM D5373)	수령한 대로	건조 기준
수분	7.31	
탄소	84.80	91.49
수소	2.01	2.17
질소	0.44	0.47
황	0.07	0.08
회분	1.18	1.27
산소 (차이)	4.19	4.52

입자 크기 분포	
3.15 mm (EN15149-2)	99.40
3.15 mm x 0mm (EN16126)	0.60

무기물 분석 (ASTM 6349)		점화 기준 중량 %
이산화규소	SiO_2	7.57
산화알루미늄	Al_2O_3	2.15
이산화티타늄	TiO_2	0.11
산화철	Fe_2O_3	7.65
산화칼슘	CaO	45.59
산화마그네슘	MgO	11.09
산화칼륨	K_2O	9.41
산화나트륨	Na_2O	1.15
삼산화황	SO_3	2.05
오산화인	P_2O_5	4.30
산화스트론튬	SrO	0.10
산화바륨	BaO	0.17
산화마그네슘	MnO	4.74
측정되지 않음		3.92

회분의 융합 온도 (D1857)

	환원 (°F)	산화 (°F)
초기 온도	xxxxx	xxxxx
연화 온도 H=W	xxxxx	xxxxx
반구 온도 H=1/2 W	xxxxx	xxxxx
유체 온도	xxxxx	xxxxx

회분의 T-250 온도	N/A

염기/산 비율	7.6166
파울링 인자	8.7584
슬래깅 인자	0.6093

염소 ppm (ASTM 6721)	xxxxx
셀레늄 ppm (ASTM D6357M)	xxxxx
FSI (D720)	xxxxx
수은 ppm (ASTM D6722)	xxxxx
불소 (ASTM D6721M)	xxxxx
분쇄성 지수 (D409)	71

코멘트: *벌크 밀도 (EN15103): 0.849 g/cc *PDI- 95.21: * 평균 펠릿 길이 (EN16127): 16.28 mm * 평균 펠릿 직경 (DN16127): 8.24 mm

제출자: