



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0121806
(43) 공개일자 2022년09월01일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 53/04 (2006.01) B01D 53/06 (2006.01)
B01D 53/62 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
B01D 53/0462 (2013.01)
B01D 53/06 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2022-7020918
- (22) 출원일자(국제) 2020년11월21일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2022년06월20일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2020/061690
- (87) 국제공개번호 WO 2021/102385
국제공개일자 2021년05월27일
- (30) 우선권주장
62/938,773 2019년11월21일 미국(US)
62/969,202 2020년02월03일 미국(US)

- (71) 출원인
글로벌 써모스탯 오퍼레이션스, 엘엘씨
미국, 뉴욕 10025, 뉴욕, 335 리버사이드 드라이브
- 아이젠버거 피터
미국 뉴저지 08540 프린스턴 브룩스 벤드 170
- (72) 발명자
아이젠버거 피터
미국 뉴저지 08540 프린스턴 브룩스 벤드 170
- 뎡 에릭
미국, 콜로라도 80602, 스펀, 2676 이스트 138 애비뉴
- 사과-노박 마일스
미국, 콜로라도 80004, 아르바다, 6603 오크 스트리트
- (74) 대리인
특허법인한얼

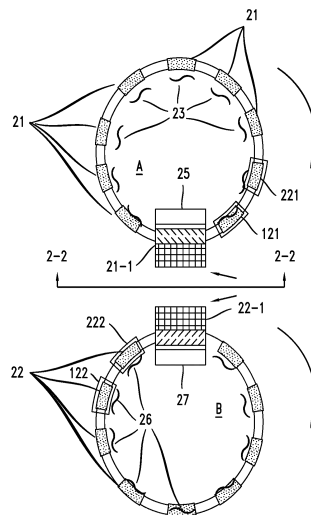
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 개선된 이산화탄소 직접 공기 포집(DAC+)용 회전 연속 다중 포집 시스템 및 장치

(57) 요약

이산화탄소를 가득 실은(laden) 가스 혼합물로부터 이산화탄소를 제거하기 위한 시스템 및 방법에 있어서, 상기 시스템은 폐곡선 트랙을 따라 이동하는 이산화탄소 제거 구조체들의 그룹을 포함한다. 트랙을 따른 하나의 위치에는 재생을 위해 각각의 포집 구조체가 통과하는 탈착 또는 재생 상자가 위치한다. 대부분의 CO₂ 제거 구조체들에는 주변 공기 또는 적은 부분의 연도 가스 및 주변 공기의 혼합물이 공급되고 CO₂가 희박한(CO₂-lean) 공기를 배출한다. 포집 구조체로 진입하기 직전 위치에서 각각의 그룹 내에서 선택된 적어도 하나의 이러한 제거 구조체에는 부피 기준으로 적어도 4% CO₂를 포함하는 연도 가스가 공급된다. 이전의 시스템과 동일한 방식으로 작동하는 시스템을 활용하여 대기로부터 이산화탄소를 제거하는 방법이 제공된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B01D 53/62 (2013.01)

B01D 2253/20 (2013.01)

B01D 2253/25 (2013.01)

B01D 2257/504 (2013.01)

B01D 2258/06 (2013.01)

B01D 2259/4009 (2013.01)

Y02A 50/20 (2020.08)

Y02C 20/40 (2020.08)

명세서

청구범위

청구항 1

이산화탄소를 가득 실은(laden) 가스 혼합물로부터 이산화탄소를 제거하기 위한 시스템에 있어서, 상기 시스템은, 이산화탄소 제거 구조체들의 그룹 - 각각의 그룹 내의 각각의 제거 구조체는 상기 구조체 상에 지지되는 다공성 고체(solid) 기판을 포함하고, 각각의 다공성 기판은 그 공극 내에 지지되는 흡착제를 가지며, 상기 흡착제는 이산화탄소에 흡착 또는 결합하여 가스 혼합물로부터 이산화탄소를 제거할 수 있음 -; 상기 제거 구조체들의 그룹을 위한 무한 루프 지지체 - 상기 무한 루프 지지체는 이산화탄소를 가득 실은(laden) 가스 혼합물의 스트림에 노출되는 동안 폐곡선을 따라 각각의 그룹의 제거 구조체들의 이동을 허용하도록 배열됨 -; 및 상기 무한 루프 지지체를 따른 하나의 위치에서 밀봉 가능한 재생 상자 - 제거 구조체가 그 내부에서 제 위치에 밀봉되면, 상기 흡착제에 의해 흡수된 이산화탄소가 상기 흡착제로부터 박리되어 포집되고 흡착제가 재생되도록, 제거 구조체가 그 안에 밀봉 가능하게 배치될 수 있음 -; 상기 가스 혼합물로부터 CO₂의 제거를 허용하기 위해, 상기 흡착제가 이산화탄소를 가득 실은(laden) 가스 혼합물의 흐름에 노출되도록 하는 위치에서 상기 다공성 기판들을 지지하는 각각의 상기 제거 구조체들; 재생 상자들의 개수에 대한 제거 구조체들의 개수는 재생 시간(상기 다공성 기판 상에서 상기 흡착제로부터 CO₂를 박리하기 위한)에 대한 흡착 시간(상기 가스 혼합물로부터 CO₂를 제거하기 위한)의 비율에 의해 직접 결정되고, 상기 흡착 시간은 상기 흡착제 상의 기준 높이(base level)로부터 원하는 높이로 상기 가스 혼합물로부터의 CO₂를 상기 흡착제 상에 흡착하는 시간이고, 상기 재생 시간은 상기 흡착제 상의 상기 원하는 높이로부터 상기 기준 높이로 상기 CO₂를 다시 박리하는 시간이고; 상기 시스템은 제1 챔버 - 트랙을 따른 위치에서, 상기 제1 챔버는 트랙을 따라 이동할 때 각각의 포집 구조체를 밀봉식으로 수용하도록 설계됨 -를 더 포함하고;

상기 제1 챔버는, 이산화탄소를 가득 실은(laden) 연도 가스의 공급원에 연결되도록 설계된 입구, 및 CO₂의 적어도 일부가 상기 흡착제에 의해 흡착된 후의 CO₂가 희박한(CO₂-lean) 연도 가스를 위한 출구를 포함하는, 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 제1 챔버는 상기 재생 상자에 바로 인접하게 위치하는, 시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 제1 챔버는 상기 연도 가스가 상기 제1 챔버 내로 통과될 때 상기 제1 챔버 내에서 상기 포집 구조체를 밀봉하도록 설계되는, 시스템.

청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 제1 챔버의 내부 및 각각의 상기 포집 구조체들 외부에 위치한 밀봉들의 조합을 더 포함하고, 상기 밀봉들의 조합은 상기 제1 챔버 내로부터 연도 가스의 누출을 방지하기 위해 상기 제1 챔버 내에서 상기 포집 구조체들을 밀봉하도록 설계된, 시스템.

청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 제1 챔버로부터 상류로 상기 트랙을 따른 위치에 제2 챔버를 더 포함하고;

상기 제2 챔버는 상기 제1 챔버에 들어가기 전에 상기 트랙을 따라 이동할 때 각각의 포집 구조체를 밀봉식으로 수용하도록 설계되는, 시스템.

청구항 6

청구항 5에 있어서, 상기 제1 챔버로부터 배출되는 임의의 CO₂가 희박한(CO₂-lean) 연도 가스에 상기 제2 챔버 내의 포집 구조체가 노출되도록 설계되어, 상기 제1 챔버로부터의 상기 출구와 상기 입구를 상기 제2 챔버로 연

결하도록 설계된 밸브형 도관을 더 포함하는, 시스템.

청구항 7

청구항 1에 있어서, 제2 그룹의 개별 이산화탄소 제거 구조체 - 각각의 그룹 내의 각각의 개별 제거 구조체는 제거 구조체 상에 지지되는 다공성 고체 기관을 포함하고, 각각의 다공성 기관은 그의 공극 내에 지지되는 흡착제를 갖고, 흡착제는 이산화탄소에 흡착 또는 결합하여 가스 혼합물로부터 이산화탄소를 제거함 -; 상기 제거 구조체들의 상기 제2 그룹 각각을 위한 제2 페루프 지지체 - 상기 페루프 지지체는, 상기 페루프를 따라 상기 제2 그룹의 상기 개별 제거 구조체들의 이동을 허용하도록 배열됨 -, 및 상기 페루프 지지체들 각각을 따른 하나의 위치에서 제2 밀봉 가능한 재생 상자 - 제거 구조체가 그 내부에서 제 위치에 밀봉되면, 상기 흡착제 상에 흡수된 이산화탄소가 상기 흡착제로부터 박리되고 포집되어 흡착제가 재생되도록, 제거 구조체가 그 안에 밀봉 가능하게 배치될 수 있음 -;을 포함하고, 상기 밀봉 가능한 재생 상자는, 상기 재생 상자를 공정 증기의 공급원에 연결하는 밀봉 가능한 도관, 및 상기 재생 상자로부터 가스들을 제거하기 위해 배기 펌프에 연결되는 도관을 더 포함하고; 상기 기관의 적어도 하나의 주 표면이 이산화탄소를 가득 실은(laden) 가스 혼합물의 스트림에 노출되고, 상기 기관의 대향하는 주 표면이 대기에 직접 노출되도록, 상기 재생 상자 외부의 상기 페루프 지지체를 따른 위치에서, 상기 다공성 기관들을 지지하는 제거 구조체들의 상기 제2 그룹 각각은; 상기 흡착제가 이산화탄소를 가득 실은(laden) 가스 혼합물의 흐름에 노출될 때, 가스 혼합물로부터 CO₂의 제거를 가능하게 하도록; 재생 상자들의 개수에 대한 제거 구조체들의 개수는 재생 시간(상기 다공성 기관 상에서 상기 흡착제로부터 CO₂를 박리하기 위한)에 대한 흡착 시간(상기 가스 혼합물로부터 CO₂를 제거하기 위한)의 비율에 의해 직접 결정되고, 상기 흡착 시간은 상기 흡착제 상의 기준 높이(base level)로부터 원하는 높이로 상기 가스 혼합물로부터의 CO₂를 상기 흡착제 상에 흡착하는 시간이고, 상기 재생 시간은 상기 흡착제 상의 상기 원하는 높이로부터 상기 기준 높이로 상기 CO₂를 다시 박리하는 시간인, 시스템.

청구항 8

청구항 7에 있어서, 이산화탄소 제거 구조체들의 두 그룹은 실질적으로 서로 동일한, 시스템.

청구항 9

청구항 8에 있어서, 제거 구조체가 재생 상자 내에 밀봉된 후에 상기 밀봉된 재생 상자 내의 상기 대기압을 감소시키기 위한, 각각의 상기 재생 상자과 배기 펌프 사이의 밀봉 가능한 유체 연결부; 및 각각의 상기 재생 상자들 사이의 밀봉 가능한 유체 연결부, 및 각각의 재생 상자에 대한 공정 열 증기의 공급원; 및 각각의 재생 상자과 CO₂ 수집 챔버 사이의 밀봉 가능한 유체 연결부를 더 포함하고,

상기 두 그룹의 이산화탄소 제거 구조체들의 각각의 회전 운동은 다른 재생 상자에서의 이산화탄소 제거 구조체의 재생이 시작된 후에 이산화탄소 제거 구조체가 재생 상자들 중 하나로 들어가도록 오프-셋(off-set)되는, 시스템.

청구항 10

청구항 9에 있어서, 상기 흡착제는 중합체 아민(polymeric amine)인, 시스템.

청구항 11

이산화탄소를 가득 실은(laden) 가스 혼합물로부터 이산화탄소를 제거하기 위한 방법에 있어서, 상기 방법은, 이산화탄소를 가득 실은(laden) 가스 혼합물의 스트림에 노출되는 동안 무한 페루프 주위에서 개별 이산화탄소 제거 구조체들의 그룹을 이동시키는 단계; 상기 구조체 상에 지지되는 다공성 고체(solid) 기관을 포함하는 그룹 내의 각각의 제거 구조체 - 각각의 다공성 기관은 그 공극 내에 지지되는 흡착제를 가지며, 상기 흡착제는 이산화탄소에 흡착 또는 결합하여 흡착 시간 동안 가스 혼합물로부터 이산화탄소를 제거할 수 있음 -; 제거 구조체가 그 내부에서 제 위치에 밀봉되면, 상기 흡착제 상에 흡수된 이산화탄소가 상기 흡착제로부터 박리되고 포집되어 상기 흡착제가 재생 시간 동안 재생되도록, 상기 무한 루프 지지체를 따른 하나의 위치에서 재생 상자 내로 이산화탄소 제거 구조체를 밀봉 가능하게 배치하는 단계; 무한 페루프 상에 다공성 기관을 지지하는 각각의 제거 구조체는, 제거 구조체가 재생 상자 내에 위치할 때를 제외하고 가스 혼합물로부터 CO₂의 제거를 허용하기 위해, 흡착제가 이산화탄소 함유 가스 혼합물의 흐름에 연속적으로 노출되도록 하는 위치에 있고, 제거 구조

체가 재생 상자 내에 위치할 때, 상기 흡착제는 상기 흡착제로부터 CO₂를 박리시키기 위해 130° C 미만의 온도에서 공정 열에 노출되고; 재생 상자들의 개수에 대한 제거 구조체들의 개수는 흡착 시간의 비율에 의해 직접 결정되고, 상기 흡착 시간은, 상기 흡착제 상의 기준 높이(base level)로부터 원하는 높이로, 각각의 구조체가 이산화탄소 함유 가스 혼합물의 스트림에 노출되는 시간 동안, 상기 가스 혼합물로부터의 CO₂를 상기 흡착제 상에 흡착하는 시간이고, 상기 재생 시간은, 재생 상자 내에서, 각각의 구조체가 재생 상자 내에 있는 시간 동안, 상기 흡착제 상의 상기 원하는 높이로부터 상기 기준 높이로 상기 CO₂를 다시 박리하는 시간이고;

상기 방법은, CO₂를 가득 실은(CO₂-laden) 연도 가스를 트랙을 따라 위치한 제1 챔버 내로 유동시키는 단계 - 상기 제1 챔버는 트랙을 따라 이동함에 따라 각각의 포집 구조체를 밀봉식으로 수용함 -를 더 포함하고; 상기 포집 구조체 상의 상기 다공성 기관 내의 상기 흡착제는 흡착 시간 동안 연도 가스로부터 이산화탄소를 흡착 및 제거하고, 상기 포집 구조체가 트랙을 따라 제1 챔버 밖으로 이동하기 전에 상기 제1 챔버로부터 CO₂가 희박한(CO₂-lean) 연도 가스를 통과시키는, 방법.

청구항 12

청구항 11에 있어서, 상기 제1 챔버는 상기 재생 상자에 바로 인접한 위치에 제공되는, 방법.

청구항 13

청구항 12에 있어서, 상기 제1 챔버로부터 상류로 상기 트랙을 따라 위치한 제2 챔버를 추가로 제공하고, 상기 제2 챔버는 상기 제1 챔버에 들어가기 전에 상기 트랙을 따라 이동할 때 각각의 포집 구조체를 밀봉식으로 수용하는, 방법.

청구항 14

청구항 13에 있어서, 상기 제1 챔버로부터의 상기 출구와 상기 입구를 상기 제2 챔버로 연결하도록 설계된 도관이 제공되고, 상기 제1 챔버로부터 배출되는 임의의 CO₂가 희박한(CO₂-lean) 연도 가스에 상기 제2 챔버 내의 상기 포집 구조체를 노출시키는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 15

청구항 12에 있어서, 제2 그룹의 제거 구조체 및 제2 그룹을 지지하기 위한 제2 이동 무한 루프를 제공하는 단계 - 각각의 그룹 내의 각각의 제거 구조체는 상기 구조체 상에 지지되는 다공성 고체(solid) 기관을 포함하고, 각각의 다공성 기관은 그 공극 내에 지지되는 흡착제를 가지며, 상기 흡착제는 이산화탄소에 흡착 또는 결합할 수 있음 -;

각각의 개별 이산화탄소 제거 구조체를 가스 혼합물로부터 이산화탄소를 제거하기 위해 흡착 시간 동안 이산화탄소를 가득 실은(laden) 가스 혼합물의 스트림에 노출하는 단계 - 각각의 무한 페루프 상에서 다공성 기관을 지지하는 제거 구조체 각각은 상기 가스 혼합물로부터 CO₂의 제거를 허용하기 위해 이산화탄소를 가득 실은(laden) 가스 혼합물의 흐름에 노출되는 위치에 있음 -;

하나의 위치에서 각각의 루프에 인접한 재생 상자를 제공하는 단계;

상기 무한 루프 지지체를 각각을 따른 하나의 위치에서 상기 이산화탄소 제거 구조체들 중 하나를 재생 상자 내에 연속적으로 밀봉 가능하게 배치하는 단계;

제거 구조체가 그 내부에서 제 위치에 밀봉되면, 상기 흡착제 상에 흡수된 이산화탄소가 상기 흡착제로부터 박리되어 포집되고 흡착제가 재생되도록, 각각의 재생 상자 내에 밀봉 가능하게 배치된 각각의 제거 구조체 상의 상기 흡착제를, 상기 흡착제로부터 CO₂를 박리시키기 위해 재생 시간 동안, 130° C 미만의 온도에서 공정 열에 노출하는 단계를 포함하고,

인접한 각각의 루프에 제공된 재생 상자들의 개수에 대한 각각의 루프 상에 제공된 제거 구조체들의 개수는, 재생 시간에 대한 흡착 시간의 비율에 직접적으로 비례하며 이에 의해 직접적으로 결정되고, 상기 흡착 시간은 상기 흡착제 상의 기준 높이(base level)로부터 원하는 높이로 상기 가스 혼합물로부터의 CO₂를 상기 흡착제 상에

흡착하는 시간이고, 상기 재생 시간은 상기 흡착제 상의 상기 원하는 높이로부터 상기 기준 높이로 상기 CO₂를 다시 박리하는 시간인, 방법.

청구항 16

청구항 15에 있어서, 제거 구조체가 재생 상자 내에 밀봉된 후에 각각의 밀봉된 재생 상자 내의 상기 대기압을 감소시키는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 17

청구항 16에 있어서, 상기 재생 상자 내의 대기압이 감소된 후, 상기 CO₂를 박리하기 위해 상기 재생 상자 내로 공정 열 증기를 통과시키는 단계; 및 박리된 CO₂를 상기 재생 상자로부터 CO₂ 수집 챔버로 통과시키는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 18

청구항 19에 있어서, 상기 두 그룹의 이산화탄소 제거 구조체들 중 하나는 인접한 제1 재생 상자를 갖고, 상기 두 그룹의 이산화탄소 제거 구조체들 중 다른 하나는 인접한 제2 재생 상자를 가지며, 상기 방법은, 상기 제1 재생 상자에서의 이산화탄소 제거 구조체의 재생이 시작된 후 이산화탄소 제거 구조체가 상기 재생 상자들의 제 2 로 들어가도록 상기 두 그룹의 이산화탄소 제거 구조체들 각각의 회전 이동을 오프-셋하는 단계;

상기 다른 재생 상자 내의 상기 대기압을 미리 설정된 압력으로 감소시키는 단계;

상기 제2 재생 상자를 예열하고 상기 제1 재생 상자 내의 제거 구조체를 냉각시키기 위해 상기 제1 재생 상자 내의 잔류 증기를 빼내도록, 상기 제1 재생 상자 내의 상기 제거 구조체의 지정된 재생이 완료된 후, 두 재생 상자들 사이의 밀봉된 연결을 개방하는 단계; 및 상기 냉각된 제거 구조체를 상기 제1 재생 상자로부터 상기 무한 루프 상으로 다시 제거하는 단계, 및 제거 구조체가 상기 무한 루프 주위로 이동하고 재생 상자로 순환적으로 재진입할 동안 이 사이클을 계속하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 19

청구항 17에 있어서, 상기 공정 열은 공정 열 증기의 형태로 상기 재생 상자들에 첨가되고, 상기 재생 상자들 각각에서 재생이 종료되면, 상기 상자 내에 증기가 남아 있고, 상기 다른 r 상자 내의 상기 대기압을 미리 설정된 압력으로 감소시키는 단계;

상기 제2 재생 상자를 예열하고 상기 제1 재생 상자 내의 제거 구조체를 냉각시키기 위해 상기 제1 재생 상자 내의 잔류 증기를 빼내도록, 상기 제1 재생 상자 내의 상기 제거 구조체의 지정된 재생이 완료된 후, 두 재생 상자들 사이의 밀봉된 연결을 개방하는 단계; 및 상기 제1 재생 상자에서 냉각된 상기 제거 구조체를 다시 상기 무한 루프 상으로 제거하는 단계, 및 제거 구조체가 상기 무한 루프 주위로 이동하고 재생 상자로 순환적으로 재진입할 동안 이 사이클을 계속하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 20

청구항 19에 있어서, 공정 열 증기가 약 120° C 이하의 온도에서 각각의 재생 상자로 들어가고, 상기 제2 재생 상자는 약 60° C 이하의 온도로 예열되며, 상기 제1 재생 상자는 상기 흡착제가 비활성화되는 온도 미만으로 냉각되는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 일반적으로 대기로부터 온실 가스를 제거하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것으로, 특히, 먼저 주변 공기를 포함하는 가스 스트림으로부터, 그 후에 연도 가스(flue gas)를 함유하는 가스의 적어도 하나의 스트림으로부터 순차적으로 이산화탄소를 포집하기 위한 신규하고 개선된 시스템 및 방법에 관한 것이다. 본 발명은 상기 시퀀스가 상이한 이산화탄소 제거 순서를 포함할 수 있는 시스템을 고려한다. 본 발명은 또한 연도 가스들을 포함하는 하나 이상의 가스 스트림을 포함하는 상기 제2 순차적 단계를 고려한다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 본 발명은 2011. 4. 29. 출원된 미국 특허출원 일련번호 13/098,370(현재 미국 8,500,855), 및 미국 9,925,488 에 기재된 시스템에 대한 개선을 제공한다. 특히 추가로 수정되는 경우, 이전 출원들에 개시된 것보다 더 넓은 범위의 사용을 위해 활용될 수 있는 것으로 인식될 수 있는 시스템 및 공정이 제시된다. 상기 동시 계류 중인 출원의 개시는 본원에서 제시된 새로운 개시에 의해 수정된 바와 같이 전부 반복되는 것처럼 본원에 참조로 포함된다.
- [0003] 현재 일부 사람들에게는 다소 상충되는 세 가지 에너지 관련 목표를 달성하기 위해 노력하는 데 많은 관심이 집중되고 있다: 1) 경제 발전을 위한 저렴한 에너지 제공; 2) 에너지 보안 달성; 및 3) 지구 온난화로 인한 독특한 기후 변화 방지. 여기에서, 우리가 경제적 번영에 필요한 에너지를 확보하고 갈등으로 이어질 수 있는 에너지 부족을 피하려면, 금세기의 나머지 기간 동안 화석 연료의 사용을 완전히 피할 실현 가능한 방법이 없다고 가정해 보자.
- [0004] 이산화탄소(메탄과 수증기는 다른 주요 온실가스임)와 같은 소위 온실가스의 양의 증가가 지구의 평균 온도를 증가시킬 것이라는 것은 존경받는 과학자들에 의해 대부분 논란의 여지가 없다.
- [0005] 또한 기후 변화의 위험은 이산화탄소 배출에 대한 인간의 지속적인 원인 제공의 감소를 통해서만 제거될 것이라는 것도 분명하다. 직접 공기 포집(Direct Air Capture) 또는 직접 공기 추출(Direct Air Extraction)(DAC)로 알려진, 대기로부터의 추가적인 CO₂ 제거 또한 필요하다. 공기 추출 및 대기 중 이산화탄소의 양을 줄이는 능력을 통해, 기후 변화를 일으킬 수 있는 메탄(자연적으로 및 인간의 활동으로 모두 대기로 유입)과 같은 다른 온실 가스 배출을 원칙적으로 보상할 수 있다.
- [0006] 특히 지난 10년 동안 대기 중의 소위 '온실' 가스의 증가를 적어도 늦추기 위해 그 화합물의 낮은 농도에도 불구하고 대기로부터 직접 이산화탄소를 포집하는 것이 경제적으로 실현될 수 있다는 것이 해당 분야의 전문가들 사이에서 일반적으로 받아들여지고 있는 믿음이 되었다. 이제 주변 조건 하에서 CO₂는 적절한 재생 가능한 흡착제 시스템 및 약간 더 높지만 비교적 낮은 온도의 박리 또는 재생 공정을 사용하여 공기로부터 효율적으로 추출될 수 있고, 이러한 공정은 연도 가스로부터 CO₂를 제거할 뿐만 아니라 대기로부터 추가적인 CO₂를 제거하기 위하여 많은 양의 주변 공기와 혼합된 유출 가스의 혼합물로부터의 CO₂ 제거와 결합되고 확장될 수 있다는 것이 이해된다. 이는 더 낮은 비용과 더 높은 효율로 대기 중 CO₂의 순 감소를 달성할 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명은 더 낮은 자본적 지출("CAPEX") 및 더 낮은 운영 비용("OPEX")을 포함하는 더 낮은 전체 비용 및 더 높은 효율로 이산화탄소를 가득 실은(laden) 대량의 공기로부터 이산화탄소를 제거하기 위한 DAC 시스템 및 방법에 대한 더욱 새롭고 유용한 개선을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명에 따르면, 신규한 공정 및 시스템이 복수의 별도의 CO₂ 포집 구조체의 어셈블리들을 활용하여 개발되었으며, 각각의 지지 기판 포집 구조체는, 포집된 CO₂를 가득 실은(CO₂-laden) 흡착제의 재생 속도와 비교한 CO₂를 제거하기 위해 처리되고 있는 가스 혼합물 또는 주변 공기로부터의 흡착 속도의 비율에 따른 비율로, 단일 재생상자와 결합되는 기판 입자의 베드를 포함할 수 있다. 바람직한 실시예에서, CO₂ 포집 구조체는 실질적으로 연속적인 페루프 트랙 상에 지지되며, 바람직하게는 폐곡선을 형성하고; 그 위에서 CO₂ 포집 구조체는 트랙을 따라 종방향으로 계속하여 이동하는 한편, 주변 공기의 많은 비율을 차지하는 가스의 혼합물 또는 주변 공기의 이동 스트림에 노출된다. 대안적으로, 포집 구조체는 끝이-개방된(open-ended) 트랙을 따라 종방향으로 앞뒤로 이동할 수 있다.
- [0009] 트랙을 따른 하나의 위치에서, 종방향 이동은 중단되고, CO₂ 포집 구조체 중 하나가 처리를 위해 밀봉된 상자 내로 이동되어, 흡착제에서 CO₂를 박리하고 흡착제를 재생시킨다. 흡착제가 재생되면, 모든 CO₂ 포집 구조체의 회

전이 다음에 중단될 때 다음 CO₂ 포집 구조체가 재생 상자에 들어가기 위한 위치에 있을 때까지 포집 구조체가 트랙 주위에서 회전한다. 본 발명의 개선은 주변 공기 대신에 연도 가스를 수용하기 위한 적어도 하나의 포집 구조체를 제공하며, 바람직하게는 적어도 다른 포집 구조체들의 대부분은 주변 공기를 공급받을 것이다. 가장 바람직하게는, 탄소 결합 연도 가스(carbureted flue gas)로 지칭되는, 주변 공기와 연도 가스의 혼합물, 또는 순수하지만 전처리된 연도 가스인, 연도 가스 입력을 수용하는 재생 상자 이전의 마지막 스테이션 또는 스테이지가 될 것이다.

[0010] 입력 연도 가스의 속도 및 농도는, 출력이 별도의 매니폴드를 사용할 가능성이 있는 팬에 의해 제거될지라도, 입력 측에서 독립적으로 제어될 것이다. 이상적으로 일부 상황들에서 이것은 순수한 DAC 유닛에 대한 개조(retrofit)일 수 있다. 그것은 재생 상자에 들어가기 전에, 여분의 CO₂를 추가하고 포집 구조체 기관의 흡착제를 예열할 것이다. 재생이 시작되기 전에 어레이가 이미 예열되었기 때문에 제거된 열의 사용은 상이할지라도, 재생 상자에서의 탈착 후 흡착제 및 포집 구조체 기관의 냉각은 변경되지 않고 유지될 수 있다. 별도의 DAC 및 카뷰레터 유닛에 대한 이러한 통합된 접근 방식의 이점은 다음과 같다:

[0011] 1. DAC 설비당 CO₂의 전체 생산량을 예상치인 30%에서 50%까지 증가시켜 톤당 자본적 지출(capex)을 줄인다.

[0012] 2. DAC와 동일한 자본 설비를 사용하여 연도 가스 포집 구성요소의 자본 비용을 감소시킨다.

[0013] 3. 생산된 CO₂의 톤당 사용되는 에너지가 감소한다:

[0014] A. 고농도 CO₂에 결합하는 아민 부위는 더 낮은 반응열을 갖기 때문에(단지 1차 아민을 갖는 흡착제보다는, 2차 아민을 포함하는 흡착제와 같은 흡착제의 혼합물, 또는 상이한 흡착제가 본 실시예에 가장 적합할 수 있음을 유의),

[0015] B. 동일한 현열에 대해 더 많은 CO₂가 생성되기 때문에, 및

[0016] C. 연도(flue)에서 나오는 열이 어레이를 예열하는 데 사용되기 때문에.

[0017] 고려해야 할 세 가지 경우가 있다:

[0018] 1. 열병합(Cogen) 유닛이 시스템 시설에 열과 전력을 제공하는 크기인 독립형(standalone)의 경우;

[0019] 2. 이용 가능한 열 및 연도 가스 CO₂가 DAC 유닛에 사용될 것보다 더 크고 초과 전기 및 열이 생성될, 더 큰 열병합(Cogen) 설비에의 연결;

[0020] 3. 연도 가스 CO₂ 또한 제거할 필요에 기초하여, 제공된 DAC를 크기를 조정하고 전원으로부터 CO₂를 포집할, 네거티브 탄소 발전소의 경우. (이 경우, 시설 전체가 탄소 네거티브이기 때문에(예를 들어, 발전소에 의해 배출되는 것보다 더 많은 CO₂ 제거), 비용에 기초하여 포집된 연도 가스 CO₂의 양을 선택할 수 있을 것이다.)

[0021] 진술한 세 가지 경우 모두에 대해 동일한 설계가 유지이 관찰될 것이다; 변화하는 것은 열병합(Cogen) 설비의 크기뿐이다 - 상기 1에서 DAC 에너지 요구에 의해; 상기 2에서 특정 응용(압축 등)의 에너지 요구에 의해; 상기 3에서 탄소 네거티브 발전소의 크기에 의해; 결정된.

[0022] 배출을 감소시키기로 결정된 세계는 굴뚝으로부터 나오는 10%에 대한 순수한 연도 시설에 페널티를 주고 생성된 네거티브 탄소에 대한 크레딧을 줄 것이며, 이 경우 본 실시예는 기후 변화 및 경제적으로 모두 바람직한 실시예가 될 수 있다고 주장할 수도 있다. 공정의 본 실시예에서, 순수한 연도 가스는 재생 직전에 적어도 CO₂ 포집의 마지막 스테이션에서 사용될 것이다.

[0023] 또 다른 바람직한 실시예는, 사전에 전처리된 또는 부분적으로 포집된 연도 가스, 예를 들어 최종 또는 마지막 포집 구조체로부터의 배기가스, 또는 예를 들어 연료 연소 발전소, 시멘트 제조 설비, 제강 설비 등과 같이 배기가스를 함유하는 CO₂가 많은 산업에서 오래 사용되는 유형의 종래의 CO₂ 제거 시스템으로부터의 배기가스를 포함하는, 공급물을 제공한다. 연도 가스의 전처리를 수반하는 이러한 시스템은, 미립자가 존재할 개연성이 있거나 흡착제에 독성이 있는 비-미립자 화합물인, 고체, 예를 들어 석탄, 또는 액체, 예를 들어 석유, 연소 공정으로부터의 배기가스를 처리할 때 특히 중요하다.

[0024] 하나의 이러한 시스템에서, 재생 챔버를 가열하기 위한 증기를 생성하는 설비는 이 개선된 발명에 따라 처리되

어야 하는 유출물을 제공한다. 이러한 시스템은 예를 들어, 흡착제를 재생하기 위한 증기를 주로 제공하도록 의도된 독립형 설비를 포함한다. 두 번째 대안은 전기 발전소, 시멘트 설비 또는 제강 설비, 뿐만 아니라 예를 들어 석유 정유소와 같은 다른 생성물을 주로 공동 생산하는 설비를 사용하는 것이다. 바람직한 예는, 열병합 발전 설비(cogenerating plant)가 본 발명의 설비로부터 생산된 CO₂로부터 연료를 생산하기 위한 것인 경우이다. 또 다른 바람직한 예는 열병합 발전 설비가 다른 위치에서 판매하거나 사용하도록 의도된 CO₂로부터 연료를 생산하는 경우이다.

[0025] 인접 설비가 발전소인 경우, 이러한 설비의 생성물은, 적어도 부분적으로 DAC 설비를 작동시키는데 필요한 증기 또는 전기를 포함하는, 열병합 발전된(cogenerated) 또는 잉여의 증기 및 전기를 포함한다. 이러한 발전소로부터의 연소 유출물 또는 연도 가스는, 유출물이 재생 챔버로 들어가기 직전, CO₂ 포집의 최종 스테이지로 공급되기 전에, 적어도 부분적으로 깨끗해진다. 또한, 상기 언급된 바와 같이 부분적으로 CO₂가 감소된 유출물은 포집 구조체의 직전 또는 제 8 위치에서 주변 공기와 혼합되어 또는 단독으로 사용될 수 있고; 물론, 단일 재생 챔버와 함께 10개의 포집 구조체가 있는 경우, 재생 챔버는 10번째 스테이지이고, 포집 구조체가 재생 챔버에 들어가기 전인, 직전의 포집 구조체 스테이지는 9번째 스테이지이며, 그 전의 스테이지는 8번째 스테이지인 것으로 이해된다. 시스템에 적합한 구조체의 예는 아래의 도면 및 서술된 본문에서 보여진다.

[0026] 다른 바람직한 실시예는, CO₂를 가득 실은(CO₂-laden) 공급물이 CO₂를 포집하기 위해 사전에 부분적으로 처리된 연도 가스, 예를 들어 최종 또는 마지막 포집 구조체로부터의 배기가스, 또는 연료 연소 발전소, 시멘트 제조 설비, 제강 설비 등과 같이 배기가스를 함유하는 CO₂가 많은 산업에서 통상적으로 사용되는 종래의 CO₂ 제거 시스템으로부터의 배기가스를 포함하도록 제공한다. 유출물의 전처리를 수반하는 이러한 시스템은, 미세 미립자 물질, 고체 또는 액체 입자, 및 흡착체에 독성이 있는 가스를 종종 포함하는 연소 공정, 액체, 예를 들어 석유, 고체, 예를 들어 석탄으로부터의 배기가스를 처리할 때 특히 중요하다.

[0027] 또 다른 바람직한 실시예는, 설비가 본 발명의 DAC+ 설비로부터 생산된 CO₂로부터 다른 위치에서 판매하거나 사용하도록 의도된 연료를 생산하는 상황이다.

[0028] 각각의 포집 구조체는 그 표면 상에 이산화탄소 흡착 부위, 바람직하게는 아민기, 및 가장 바람직하게는 1차 아민의 비율이 높은 아민기를 갖는 다공성 기관으로 형성된다. 포집 구조체가 트랙을 따라 이동할 때, 이들은 각 포집 구조체가 밀봉된 재생 상자에 도달할 때까지 이동 가스 스트림으로부터 CO₂를 흡착한다. 본 개선에 따르면, CO₂ 포집 구조체가 재생 상자에 도달하기 몇 분 전에 루프 주위 이동의 일부 동안, 주변 공기 대신에 연도 가스를 각각의 CO₂ 포집 구조체 내로 통과시킴으로써 공정이 더욱 개선된다.

[0029] 그러나, 전술한 바와 같이, 본 공정 발명은 저온(바람직하게는 주변 100° C까지)이고 공정의 각 단계에서의 일 방향 대량 수송을 이용한 반연속 공정이다. 이 공정의 추가적인 신규한 측면은 기체 혼합물로부터 CO₂를 포집하는 반응이 바람직하게는 재생 가능한 물질(바람직한 일 실시예에서, 아미노중합체 상에)과 함께 발생하며, 재생 가능한 물질, 예를 들어, 아미노중합체 흡착제가 기관 내에 함침된다는 것이다.

[0030] 바람직한 실시예에서, 흡착제-지지 포집 구조체는 다음에 의해 차례로 지지되는 모놀리식(monolithic) 기관을 포함한다.

[0031] 1. CO₂ 포집 공정 동안 이동하는 페루프 또는 끌이-개방된 라인을 따라 기관을 지지하는 프레임워크. 하나의 바람직한 실시예에서, 기관은 모놀리식의 공극 내에 함침된 흡착제를 갖는 다공성 모놀리식을 포함한다;

[0032] 2. 본 발명의 하나의 바람직한 실시예에서, 기관은 예를 들어 코디어라이트(cordierite), 멀라이트(mullite), 실리카(silica), 알루미나(alumina), 티타니아(titania), 실리카 메조셀룰라 폼(silica mesocellular foam, MCF)으로부터, 및 메조포러스-γ-알루미나(mesoporous-γ-alumina) 상에, 뿐만 아니라 MCF 또는 그런 다른 물질의 공극 전체에 걸쳐 코팅된 메조포러스-γ알루미나 상에)와 같은 세라믹 물질, 금속 산화물(예를 들어, 후술하는 바와 같이, 단일 또는 혼합된, CO₂ 포집 스테이지 동안 또는 흡착제의 재생 동안 충족되는 조건 하에서 모놀리식 형상을 유지할 수 있도록 충분한 구조적 강도 및 열에 대한 저항성을 갖는, 실리카, 알루미나, 티타니아 또는 다른 금속의 다공성 산화물)로 형성될 수 있다. 열적 조건이 엄격하지 않기 때문에, 압출(extrusion), 주름 가공(corrugation), 크럼핑(crimping), 3-D 프린팅, 또는 몰딩(molding), 또는 다른 공지된 또는 개발될 절차에 의해 원하는 형상으로 형성될 수 있는 다공성 섬유 유리, 강성 폴리머 플라스틱, 또는 다른 구조적으로 강

한 다공성 재료와 같은, 다른 다공성 재료가 사용될 수 있다.

[0033]

3. 함침된 흡착제

[0034]

a. 가장 일반적으로 사용되는 흡착제는 아미노중합체이다:

[0035]

i. 폴리에틸렌이민(Polyethyleneimine, PEI)은 다음과 같은 이유로 이 분야에서 대부분의 근로자들에 의해 선택된 흡착제였다.

[0036]

1. 낮은 CO₂ 농도에서의 높은 활성, 높은 아민 밀도, 충분한 상업적 가용성;

[0037]

2. 그러나 그것은 상승된 온도에서 알려진 산화 분해에 의해 제한된다.

[0038]

ii. 다른 아미노폴리머는 다양한 정도의 1차, 2차 및 3차 아민뿐만 아니라 다양한 골격 화학구조(backbone chemistries), 분자량, 분기 정도 및 첨가제를 갖는 흡착제로서 사용될 수 있다. 다른 공지된 폴리아민 중 CO₂ 흡착제로서 유용한 것은 폴리프로필렌 아민(polypropylene amine), 폴리글리콜아민(polyglycolamine), 폴리프로필렌 아민 폴리(polypropylene amines poly)(바이닐아민(vinylamine)), 및 폴리(poly)(알릴아민(allylamine)) 및 이들의 유도체이다.

[0039]

iii. 비-아미노중합체 흡착제는 유용한 흡착제로 고려되어야 한다:

[0040]

1. 금속유기(metalorganic) 프레임워크, 공유유기(covalent organic) 프레임워크, POMs 및 기타 이러한 물질이 유용하다.

[0041]

2. 비-중합체성 아민 흡착제("Ph-XX-YY"), 올리고머(oligomers).

[0042]

3. 상기 시스템에 대한 개선은, 증가된 안정성(스캐빈저(scavengers)), 활성(공중합체), 접근성(PEG)을 위해 흡착제와 결합된 비-흡착제 첨가제, 및 본 기술분야에 공지되어 있거나 미래에 개발될 많은 다른 것들의 사용에 의해 달성될 수 있다.

[0043]

(예를 들어, 3D 프린팅에 의해) 활성 흡착제로 구성된 접촉기가 또한 사용될 수 있음이 본 발명에 의해 고려된다.

[0044]

분석

[0045]

일반적으로, DAC 제거 시스템("시스템")은 연도 가스(바람직하게는 전처리된)를 CO₂ 포집의 최종 스테이지로 공급함으로써 DAC 사이클당 여분 분율의 FGCO₂를 연도 가스로부터 포집할 것이며; 이로 인해 개별 기관이 재생 챔버에 들어가기 전에, 추가적인 CO₂("FG CO₂")가 포집된다. 이는 그 마지막 스테이지에서 증가된 효율의 결과로 될 것이며, 따라서 "시스템"의 각 사이클 동안 포착된 CO₂의 양을 증가시킨다. 첫 번째 순서로, 톤당 자본적 지출(CAPEX)은 순수한 DAC(연도 가스를 첨가하지 않음)에 비해 1/(1+FGCO₂)만큼 감소할 것이다. 이는 주변 공기에 대비 연도 가스 내의 CO₂ 농도의 수십 배(order of magnitude) 증가로부터 기인한다. 증가된 농도의 효과는 상이한 흡착제들에 따라 상이하다. 각각의 스테이지에서 연도 가스의 적은 부분과 함께 공기의 혼합물을 처리할 때 추가 장비의 자본적 지출(capex) 비용 또한 피할 수 있다.

[0046]

열병합(Cogen) 설비가 연간 천연 가스의 M* (MMbtu)를 연소하는 경우, 열 및 전기에 대해 생산된 에너지의 양 (M)은 M = COGENE x M*에 의해 주어지고, 첫 번째 순서로 연도(flue)를 나가는 에너지의 양은 MF = (1-COGENE) x M*이며, 그 에너지는 포집된 경우의 CO₂ 및 응축된 경우의 물의 반응 에너지를 포함하지 않고, COGENE은 열병합(Cogen) 유닛의 에너지 효율이다. 배출된 연도 가스 CO₂의 양, 연간 FT CO₂는, 연간 FTCO₂=0.056 M*톤이다.

[0047]

포집 효율(ECF)로 연도 가스로부터 CO₂를 포집하는 경우, 연간 연도 가스로부터 포집되는 CO₂의 양은 다음과 같다:

[0048]

$$FGCO_2 = ECF \times FTCO_2.$$

[0049]

연간 포집되는 총 공기 CO₂에 대한 FCCO₂의 비율(DACCO₂)은 사이클당 포집되는 비율과 동일하다. 이는 DAC 유닛의 경우 연간 DACCO₂ 톤을 포집하는 다음과 같은 경우를 의미한다:

- [0050] $DA\text{CO}_2 = (1/\text{FGCO}_2) \times \text{ECF} \times \text{FTCO}_2$
- [0051] 포집한 총 $\text{CO}_2(\text{TCCCO}_2)$ 는 다음으로부터 결정될 것이다:
- [0052] $\text{TCCO}_2 = (1/\text{FGCO}_2 + 1) \times \text{ECF} \times \text{FTCO}_2$.
- [0053] 배출된 CO_2 의 양은 $(1-\text{ECF}) \text{FTCO}_2$ 이다. 전체 설비는 $(1/\text{FGCO}_2+1) \times (\text{ECF}-1)\text{FTCO}_2$ 의 양만큼 탄소 네거티브이다.
- [0054] $\text{ECF}=0.9$ 의 경우(적은 비율이 연도 가스와 혼합된 공기("카뷰레터")의 경우), $1.7\text{FTCO}_2(\text{FGCO}_2= .5)$ 에서 $-0.8\text{FTCO}_2(\text{FGCO}_2=1)$ 까지 다양하다. 이는 시스템으로 유입되는 FGCO_2 의 양이 적을수록 탄소 네거티브 설비가 더 많아지나, 설비가 더 탄소 네거티브일수록 자본적 지출(Capex)의 감소가 적음을 의미한다. 이는 포집된 연도 가스의 비율이 클수록 자본적 지출(capex)이 더 많이 감소하지만, 더 적은 탄소 네거티브가 전체 설비가 된다는 예상된 결과이다.
- [0055] 열병합(Cogen) 유닛이 단지 DAC 유닛에 열 및 전기를 제공하기 위한 크기이고, CO_2 제거 시스템을 통해 배출되는 CO_2 가 있고, 총 에너지(열 및 전기)가 예를 들어 톤당 6 MMbtu인 경우, 설비는 $(1-0.9 \times 6 \times 0.056)$ 탄소 네거티브 또는 약 0.7이 될 것이다. 이는 FGCO_2 가 1과 동일한 경우와 잘 일치한다. 하지만 순수한 DAC 경우에는 여분의 전기가 생성되지 않아 자본적 지출(CAPEX) 비용이 더 높고 포집된 톤당 에너지를 더 많이 사용한다. 따라서, 이러한 통합된 실시예는, 예를 들어 더 적은 자본적 지출(CAPEX), 포집에 사용되는 더 적은 에너지 및 더 많은 탄소 네거티브인 것이 바람직하다.
- [0056] 다음으로 평가할 것은 얼마나 적은 에너지가 필요하고 따라서 얼마나 많은 여분의 전기를 생산할 수 있는가이다. 생성된 DAC의 톤당 필요한 에너지가 MDAC이고, 톤당 연도 가스를 포집하는데 필요한 에너지가 MFG인 경우(MFG의 경우, 연도 가스 성분에 대한 여분의 현열 성분 및 CO_2 를 유리시키기 위한 감소된 반응열을 가정하지 않음), 톤당 CO_2 포집에 필요한 총 에너지는 다음에 의해 결정된다:
- [0057] $\text{MT CO}_2 = ((1/\text{FGCO}_2) \times \text{MDAC} + \text{MFG}) / ((1/\text{FGCO}_2)+1) = (\text{MDAC} + \text{FGCO}_2 \times \text{MFG}) / (1+\text{FGCO}_2)$.
- [0058] 이는 이미 다음과 같은 DAC 경우에 비해 톤당 에너지를 절약한다.
- [0059] $\text{MDAC} - \text{MTCO}_2 = (\text{MDAC} - J \cdot \text{FGCO}_2) / (1+\text{FGCO}_2) = (\text{SHA} + \Delta \text{HR}) \times (\text{FGCO}_2 / (1+\text{FGCO}_2))$
- [0060] 여기서, SHA는 전체 현열이고, ΔHR 은 연도 가스 성분에 대한 반응열의 감소이다. 또한 톤당 전기 사용량도 감소할 것이다.
- [0061] 연소 가스 내의 열을 사용하여 SHA의 1/2이 제공되도록 어레이를 추가로 예열할 수 있다면, 0.5 SHA의 추가 감소를 가질 것이다. 이 열은 연도 가스 스트림으로부터 발생하고, 따라서 생산되는 전기의 양을 감소시키지 않는데, 이는 이 열이 일반적으로 사용되지 않는 진정한 폐열이기 때문이다.
- [0062] 재생 후 SHA의 일부를 추가로 회수하면, 예를 들어, 미국 특허 9,925,488에 기재된 바와 같이, 2-재생 상자 시스템에서 행해진 바와 같이 열을 스와핑함으로써 원칙적으로 현열의 3/4를 잠재적으로 수집할 수 있다. 연도 가스 열로 직접 이를 할 수 있지만, 온도의 증가는 포집된 여분의 CO_2 를 감소시킬 수 있다(여기서 다시 용량(capacity)과 운동(kinetics) 사이에 약간의 상호 절충(trade off)이 있을 것이다). 일부 응용에서, 물을 열병합(Cogen) 유닛에 예열하는 것을 포함하여 저등급 열(low grade heat)에 사용될 수 있지만, 매우 바람직한 실시예에서, 예열이 흡착의 마지막 스테이지 동안 수행되기 때문에, 최상의 결과는 재생을 더 빠르게 만드는 것일 수 있다.
- [0063] 이와 관련하여, 연도 가스 스테이지를 설계하는데 있어서 또 다른 자유도를 가진다는 것에 주목할 필요가 있다. 즉, 연도 가스 스트림의 속도 및 농도의 선택은, 배출되는 연도 가스 CO_2 의 속도와 일치하도록 생성물을 일정하게 유지한다. 일반적으로, 낮은 속도는 DAC 모놀리스(monolith)를 더 높은 CPSI처럼 보이게 할 것이기 때문에 높은 농도 및 낮은 속도를 원한다. 모놀리스가 100 CPSI를 갖고 5rn/초에서 0.7의 감쇠 지수를 갖는 경우, 1m/초에서 감쇠 지수는 3.5가 될 것이다. 보다 일반적으로 본 실시예의 또 다른 특징은 연도 가스 스트림으로부터의 포집 효율을 완화시킬 수 있지만, 전체 결과는 여전히 탄소 네거티브일 것이다. 각 시스템에 대한 최적 효율 매개변수를 결정하는 것은 처리되는 연도 가스 성분에 대한 속도 및 농도로부터 경험적으로 결정되어야 한다.

- [0064] 따라서, 나머지 문제는 재생 전에 기판을 예열하는데 필요한 열을 제공하기 위해 접촉기를 통과하는 연도 가스 스트림 내에 사용 가능한 열이 충분히 존재한다는 것이다. 어레이를 예열하기 위해 필요한 열은 응축수에 의해 생성되는 열에 의해 제공될 수 있으며, 연도 가스 스트림으로부터 포집되는 CO₂의 반응열 및 연도 가스 스트림의 현열은 다음과 같다.
- [0065] a. THF = 연도 가스 내의 총 열 = SHF + 연도 가스 스트림 내의 수증기의 응축열(HFCW) + 재생 전 마지막 스테이션 동안 수집된 CO₂의 톤당 CO₂ 반응열(HFRC).
- [0066] 이용 가능한 충분한 열이 있는지 매우 대략적으로 추정하기 위해, SHA는 CO₂의 톤당 2 MM BTU이고, 필요한 전체 열은 방출된 CO₂의 톤당 연소시 방출되는 에너지의 약 30%인 6 MM BTU로 가정한다.
- [0067] a. CO₂의 포집은 수집된 총 CO₂의 기껏해야 1/2이고 반응열이 더 낮기 때문에 많이 추가하지 않을 것이다.
- [0068] b. SHF = 수집된 CO₂의 톤당 연도 가스 내의 현열 = (1-COGENE) M*. COGENE가 70% 범위에 있는 경우 30%가 연도(flue) 위로 올라가고; 그 열의 1/4이 이용 가능하다고(200° C에서 50° C로 냉각함으로써) 가정한다. 이는 필요한 것의 약 1/2일 수 있다.
- [0069] 그러나, CO₂ 포집 스테이지의 마지막 스테이지로 들어가는 연도 가스 내의 이용 가능한 수증기로부터의 잠열은, 재생 상자로 들어가기 전에 CO₂ 포집 유닛을 예열하기에 충분할 것이다. 따라서, 또 다른 바람직한 실시예에서, 고온의 연도 가스는, 입사된 연도 가스 스트림이, 최종 온도, 예를 들어 60° C보다 높은 델타 T(예를 들어, 70° C)에 있지만, 높은 수증기 함량을 가지며, 기판("SA") 온도를 60° C로 상승시키는데 필요한 잠열의 양보다 더 많은 열을 함유하기에 충분한 수증기를 갖도록, 물을 증발시킴으로써 냉각될 수 있다. 이러한 경우에 예열이 발생되기까지 90초가 걸린다는 것에 주목할 필요가 있다. 속도는 1 m/초인 것으로 가정되고, 연도 가스는 일반적으로 적어도 약 10%의 물을 함유하고, 이는 300 cm/초에서 30초 동안 순수한 증기의 입력과 동등하며, 이는 명백히 필요한 것보다 훨씬 많다. 그러나, 이러한 방식으로 생성된 잉여 물은, 물이 비싼 사막 지역, 예를 들어, 미국 남서부 지역 또는 아프리카나 아시아의 사막 지역과 같은 곳에서 귀중한 부산물이 될 것이다. SA가 60° C에서 재생 상자에 들어가면, 재생 상자를 상당히 냉각시키지 않고도 압력이 0.2 bar로 감소될 수 있을 것이며; 사실 압력을 더 줄임으로써 더 냉각시키는 것이 가능하지만, 갇힌 연도 가스를 제거하기 위해 수증기를 사용할 수 있다.
- [0070] 일단 재생 상자 내에 밀봉되면, 흡착제는 예를 들어 증기로 가열함으로써 처리되어, CO₂를 흡착제로부터 박리시키고, 흡착제를 재생시킨다. 박리된 CO₂는 상자에서 제거되고 포집된다. 재생된 흡착제를 갖는 포집 구조체는 그 후 밀봉된 상자 밖으로 이동하고, 다음 포집 구조체가 재생 상자 내로 이동될 위치로 이동될 때까지 더 많은 CO₂를 흡착하기 위해, 다른 포집 구조체들과 함께 트랙을 따라 이동한다. 박리/재생 위치에서, 포집 구조체는 트랙의 지면(grade) 위 또는 아래에 위치하는 상자 내로 이동될 수 있거나, 또는 상자는 포집 구조체가 트랙과 동일한 지면 높이에서 상자 내로 이동하여 포집 구조체와 밀봉을 형성하도록 위치할 수 있다. 이러한 몇 가지 대안이 아래에 추가로 정의되며 첨부된 도면들에 도시된다.
- [0071] 재생 상자가 지면 아래 또는 위에 있는 경우 시스템은 포집 구조체를 높이거나 낮추는 하위 시스템을 포함해야 한다. 재생 상자가 트랙과 함께 지면 상에 있는 시스템에서, 상부 및/또는 하부 표면을 따라, 뿐만 아니라 측면을 따라 밀봉을 제공하기 위해, 만족스러운 밀봉 배열이 요구된다.
- [0072] **CO₂ 흡착 및 제거 공정**
- [0073] 이 공정의 기본적인 전제는, CO₂가 흡착제 베드를 통해, 바람직하게는 주변 조건에서 또는 주변 조건에 근접하여 공기 또는 공기 및 유출 가스의 혼합물을 통과시킴으로써, 대기로부터 흡착된다는 것이다. 일단 CO₂가 흡착제에 의해 흡착되면, CO₂는 수집되어야 하고 흡착제는 재생되어야 한다. 후자의 단계는 CO₂를 방출하고 흡착제를 재생하기 위해 밀봉된 격납 상자 내에서 증기로 흡착제를 가열함으로써 수행될 수 있다. CO₂는 상자로부터 수집되고, 이어서 흡착제는 재생 상자를 떠날 때 대기로부터 CO₂를 다시 흡착하는데 이용 가능하다.
- [0074] 대부분의 이용 가능한 흡착제는 특정 온도 이상에서 공기에 노출되면 분해되기 쉬우며 따라서 비활성화되기 쉽다는 것은 잘 알려져 있다. 따라서, 기판 상의 흡착제는 종종 포집 구조체가 재생 상자를 떠나고 공기 스트림으

로 복귀되기 전에 냉각되어야 한다.

- [0075] 본 발명의 공정의 다른 바람직한 실시예에서, 바람직하게는 임의의 미립자 고체 또는 액체 물질 및 흡착제에 독성이 있는 임의의 가스 물질을 제거한 후 정제된 형태로 연도 가스는, 포집 구조체가 재생 챔버에 들어가기 직전에 포집 구조체를 통해 유동된다. 이러한 연도 가스 처리 스테이지는, 전처리된 연도 가스가 포집 구조체 내의 다공성 기관의 주 표면 위를 통과하기 전에 주변 환경으로 빠져나가지 못하도록, 바람직하게는 폐쇄 챔버 내에서 수행된다.
- [0076] 일반적으로, 주변 공기로부터의 CO₂의 흡착에 필요한 시간은 연도 가스로부터의 흡착 시간보다 더 크고, CO₂의 농도는 훨씬 더 크다. 흡착제의 현재 발생에 따른 이러한 차이는, 주변 공기를 처리할 때, CO₂ 방출 및 흡착제 재생에 필요한 시간 대비 대략 10배가 더 긴 흡착 기간을 필요로 할 것이다. 따라서, 10개의 포집 구조체 및 단일 재생 유닛을 갖는 시스템이 폴리에틸렌이민 흡착제의 사용에 기초하여 개별 회전 시스템에 대한 현재 기초로서 채택되었다. 흡착제의 성능이 시간 경과에 따라 향상되면, 이 탈착 시간에 대한 흡착 시간의 비율과, 이에 따른 시스템에서 필요한 포집 구조체의 개수를 감소시킬 수 있다.
- [0077] 특히, 흡착제의 더 높은 부하(loadings) 실시예가 사용되는 경우, 1시간 흡착 시간이 실행 가능할 수 있고, 따라서 5개의 포집 구조체만을 제공하는 하나의 재생 상자가 필요하다. 또한, 상대 처리 시간(relative treatment times)은 처리된 가스 혼합물 내의 CO₂ 농도에 따라 달라질 것이며, 예를 들어 연소 유출물("연도 가스")을 가스 혼합기 또는 "카뷰레터"를 통해 주변 공기와 혼합함으로써, CO₂ 함량이 높을수록 재생 시간에 비해 흡착 시간이 짧아지고, 혼합물은 공기보다 상당히 높은 CO₂ 농도를 갖지만 순수한 연도 가스보다는 상당히 낮은 농도를 갖는다.
- [0078] 연도 가스로부터 CO₂의 보다 완전한 제거를 보장하기 위해, 제9 또는 재생 직전의 최종 스테이지로부터의 유출물은, 바람직하게는 직전 스테이지, 즉 포집 구조체의 흡착 사이클의 제8 스테이지의 제2 챔버 내로 다시 전달된다.
- [0079] 본 발명의 공정은, 상기 모든 실시예에서, 공정의 각 단계에서의 일방향 대량 수송을 이용한 저온(즉, 주변 -100° C 또는 그 미만) 일괄(batch) 공정으로 유지된다.
- [0080] 포집 구조체 내의 화학적 및 물리적 활성과, 포집 구조체 및 재생 챔버의 기계적인 부분(mechanics)은, 밀봉 상자 내의 흡착 사이클 및 재생 사이클의 적어도 첫번째 일곱 스테이지 동안, 실질적으로 미국 특허 10,413,866 및 10,512,880에 기재된 바와 동일하다. 이러한 특허의 개시는, 본원에 제시된 새로운 개시에 의해 수정된 바와 같이, 완전히 반복되는 것처럼 본원에 참조로 포함된다. 본 발명에 따른 시스템에서, 각각의 회전 시스템은 회전 포집 구조체 각각의 그룹에 대해 하나의 밀봉 가능한 재생 상자를 제공하며, 포집 구조체의 수는 원하는 흡착 및 원하는 재생을 달성하기 위해 상대 시간(relative time)에 의존한다. 또한, 바람직한 실시예들 중 특정 실시예에서, 2개의 회전 포집 구조체 시스템을 위한 재생 상자가 상호 작용할 수 있도록, 적절한 관계로 2개의 회전 시스템을 공간적으로 관련시키고 시간적으로 작동시킴으로써, 더 높은 효율 및 더 낮은 비용이 달성되어, 각각이 재생 상자에 들어가는 시간을 상쇄함으로써, 제1 상자에서의 재생 절차의 결과로 두 번째는 첫 번째에 남은 열에 의해 예열되어 재생 상자에 들어가는 것으로 밝혀졌으며; 이는 또한 회전 트랙 상의 흡착 사이클로 복귀되기 전에 재생된 포집 구조체를 효율적으로 냉각시킨다.
- [0081] 재생 상자들 사이의 이러한 상호 작용은 본 발명에 따라 제1 상자 시스템의 압력을 낮춤으로써 달성되어, 제1 상자 내에 잔류하는 증기 및 물이 CO₂의 방출 후에 증발하고, 시스템은 낮아진 부분 압력에서 증기의 포화 온도로 냉각된다. 뿐만 아니라, 후술하는 바와 같이, 이 공정에서 방출되는 열은 제2 흡착제 포집 구조체를 예열하기 위해 사용되고, 따라서 에너지 및 물 사용에 유익한 영향을 갖는 대략 50% 현열 회수를 제공한다. 이 개념은 산소 저항성 흡착제를 활용하는 경우에도 사용될 수 있다. 더 높은 온도에서 산소에 덜 민감한 흡착제의 사용은 시간이 지남에 따라 성능이 개선되는 결과를 가져올 것이다. 적어도 재생 상자 바로 전의 마지막 스테이지에서, 및 가능하게는 하나 이상의 스테이지 이전에, 직접적인 연도 가스 주입의 더 높은 농도로 인해, 흡착제 및 기관은 흡착제로 흡수되는 CO₂의 더 높은 농도 및 수축 반응의 발열 특성으로 인해 더 높은 온도에 있을 것이라는 것이 이해되어야 한다. 이는 주변 공기의 단독 처리를 다룰 때 또는 적은 비율의 연도 가스와 혼합될 때, 재생 챔버 내의 압력을 요구되는 만큼 낮은 진공으로 감소시킬 필요성을 피할 수 있게 한다.
- [0082] 위에서 이전 특허들에서 논의된 바와 같이, 흡착제 포집 구조체는 바람직하게는 공기 중의 산소에 의한 불활성

화를 피하기 위해 공기에 노출되기 전에 냉각된다. 폴리아민(polyamines) 중 예를 들어 폴리(알릴아민), 폴리(바이닐아민) 및 이들의 유도체와 같이 열 분해에 보다 큰 저항성을 갖는 흡착제를, 공동 출원한 미국 출원 14/063,850에 기재된 바와 같이 활용할 수 있다. 필요한 경우 냉각은 재생 상자 내의 시스템 압력을 낮추어 증기 포화 온도를 낮춤으로써 달성될 수 있다. 이는 시스템의 온도를 낮추어 흡착제 비활성화 문제를 제거하는데 효과적인 것으로 나타났다. 따라서, 감압 단계 동안 냉각되는 제1 포집 구조체로부터 상당한 양의 에너지가 제거된다. CO₂ 흡착 스테이지를 완료하고 제2 재생 상자에 들어간 CO₂를 가득 실은(CO₂-laden) 기관은, CO₂를 방출하고 흡착제를 재생하기 위해 매번 가열되어야 한다. 이 열은 재생 상자에 공급되는 대기압 증기만으로도 제공될 수 있지만, 이는 추가적인 운영 비용이다. 이러한 운영 비용을 최소화하기 위하여 2-베드(two-bed) 설계 개념이 개발되었다. 이 개념에서, 미국 특허 제 10,512,880에 기재된 바와 같이, 제 1 재생 상자 내의 시스템 압력(및 이에 따른 증기 포화 온도)을 감소시킴으로써 냉각되고 있는 제 1 재생 상자로부터 제거되는 열은 제 2 재생 상자에서 재생될 CO₂를 가득 실은(CO₂-laden) 기관을 적어도 부분적으로 예열하는데 사용된다. 따라서, 제 1 상자의 냉각에 의한 열을 사용하여 제 2 상자의 온도를 증가시킴으로써 증기 사용이 감소한다. 제2 상자에 대한 나머지 열 부하(duty)는, 바람직하게는 대기압에서, 증기를 추가함으로써 달성된다. 이 공정은 두 개의 재생 상자에 들어가고 나갈 때 다른 회전하는 포집 구조체에 대해 반복되어, 시스템의 열 효율을 크게 향상시킨다.

- [0083] 위에서 사용된 여러 약어들은 다음과 같이 정의할 수 있다.
- [0084] FG-CO₂ = 연도 가스인 사이클당 포집된 공기 CO₂에 대한 CO₂의 분율
- [0085] DA. CO₂ = 사이클당 포집된 공기 CO₂의 양
- [0086] FGCAPEX = 순수한 카뷰테터 실시예에서의 연도 가스 자본적 지출(CAPEX), 즉, 주변 공기 및 연도 가스의 혼합물의 각각의 포집 구조체로의 공급, M*= MMBTu에서 연소된 총 천연 가스
- [0087] M = 사용 가능한 열 및 생산된 전기
- [0088] COGENE = 열병합(cogen) 효율= M/M*
- [0089] FGCCO₂ = 연간 포집되는 연도 가스 CO₂
- [0090] DACCO₂ = 연간 포집되는 공기 CO₂
- [0091] FTCO₂= J \ 11* 천연 가스 연소시 생산된 총 연도 가스 CO₂
- [0092] MTCO₂ = 포집된 총 CO₂ / 년 = 포집된 공기 및 연도 가스로부터의 총 CO₂ / 년
- [0093] ECF = 연도 가스 포집 효율
- [0094] MDAC = 포집된 공기 CO₂의 톤당 에너지
- [0095] MFG = 포집된 연도 가스 CO₂의 톤당 에너지
- [0096] SHA= 모놀리스 어레이의 현열
- [0097] Delta HR = DAC CO₂와 연도 가스 CO₂ 부위 간 반응열의 차이
- [0098] THF = 연도 가스 증기 내의 총 열원 -현열 + CO₂ 반응열 + 물 응축 열- (천연 가스의 발열량이 일정하지 않음을 유의)
- [0099] 본 발명의 이들 및 다른 특징들은 이하의 상세한 설명 및 첨부 도면들에 설명되거나 그로부터 명백하다.

도면의 간단한 설명

- [0100] 도 1은, 본 발명의 예시적인 실시예에 따른, 대기로부터 이산화탄소를 제거하기 위한 서로 상호 작용하는 한 쌍의 회전 다중 포집 구조체 시스템의 개략적인 상면도로서, 포집 구조체들의 그룹 및 각각의 루프에 대한 지면 높이 재생 챔버를 도시하고, 각각의 재생 챔버로부터 바로 상류에 있는 2개의 포집 구조체가, 깨끗해진 연도 가스를 포집 구조체에 공급하기 위한 밀봉 가능한 도관이 제공된, 밀봉 가능한 하우스징 내에 도시된다;
- 도 2는 도 1의 포집 구조체로부터 이산화탄소를 제거하기 위한 한 쌍의 재생 챔버의 개략도로서, 챔버 중 하나

에 연결된 여러 개의 입구 및 출구 도관과, 두 개의 챔버를 연결하는 밀봉 가능한 연결 도관을 도시한다;

도 3은 각각의 챔버 및 챔버들 사이의 배관 시스템 배열을 나타내는 각각의 인접한 루프상의 연도 가스 포집 구조체 및 재생 챔버의 개략도이다;

도 4는 비교적 고정되어 있고 각각의 포집 구조체와 함께 각각 회전하는 팬을 도시하는 개략적인 입면도이다;

도 5는 도 4의 이중 흡출 축류 팬(Dual Induced Axial Fans) 및 플레넘(Plenums)에 대한 설계의 개략적인 측면면도이다;

도 6은, 대기로부터 이산화탄소를 제거하기 위한 트랙 높이 재생 챔버와, CO₂ 포집을 위해 연도 가스 스트림을 처리하기 위한 직전의 두 개의 포집 구조체 하우징을 도시하는, 회전 다중 포집 구조체 시스템의 서로 상호 작용하는 쌍들 중 하나의 개략적인 입면도이다;

도 7은 마지막 흡착 스테이지와 CO₂ 탈착 및 재생 단계 사이에서의 이 시스템의 일반적인 작동을 도시하는 개념도로서, 흡착 스테이지가 모두 주변 공기를 처리하는 시스템을 도시한다;

도 8은 마지막 흡착 연도 가스 스테이지와 CO₂ 탈착 및 재생 단계 사이에서의 이 시스템의 본 발명의 바람직한 실시예들 중 하나의 일반적인 작동을 도시하는 개념도로서, 본 실시예에서, "탈착 유닛"으로부터 바로 상류인 마지막 흡착 스테이지, 예를 들어 제9 스테이지는, 순수하거나 또는 주변 공기와 혼합된 연도 가스를 수용하고, 다음의 이전 스테이지, 예를 들어 제8 스테이지는, 제9 스테이지 배기가스의 조성에 따라, 제9 스테이지로부터의 배기가스, 그 배기가스와 주변 공기의 혼합물, 또는 주변 공기만을 수용할 수 있다;

도 9는 마지막 흡착-혼합된 공기-연도 가스 스테이지와 CO₂ 탈착 및 재생 단계 사이에서의 이 시스템의 본 발명의 또 다른 바람직한 실시예의 일반적인 작동을 도시하는 개념도로서, 본 실시예에서, "탈착 유닛"으로부터 바로 상류인 마지막 흡착 스테이지, 예를 들어 제 9 스테이지는, 연도 가스와 주변 공기와 혼합된 연도 가스를 수용한다; 및

도 10은, 각각의 하우징이 지면(grade) 높이에 있고 각각의 포집 구조체가 트랙을 따라 이동하는 동안 포집 구조체가 각각의 하우징에 들어갈 때, 탈착 유닛에서 또는 연도 가스 흡착 유닛 하우징 중 하나에서 각각의 포집 유닛의 모든 측면들 주변으로 연장되는 밀봉의 한 예를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0101] 진술한 이러한 작동을 수행하는 시스템에 대한 설계의 단순화된 묘사는 도 1 내지 6에 도시되어 있다. 필요한 보조 장비 및 작동에 대한 자세한 설명은 아래에 제시되어 있으며, 소유자가 동일한(in commonly owned) 미국 특허 10,413,866 및 10,512,880에 제시된 것과 유사하다.
- [0102] 본 실시예에서, 10개의 "포집 구조체"는 바람직하게는 그러나 필수적인 것은 아닌 10각형 배열로 위치하고 실질적으로 원형 또는 아치형 트랙 상에 위치한다. 2개의 실질적으로 원형(또는 타원형)/10각형인 어셈블리들은 각각의 공정 유닛과 연관되고 도시된 바와 같이 서로 상호 작용한다. 이러한 바람직한 실시예에서, 공기는 포집 구조체의 내부 측면에 위치하는 흡출 송풍기(induced draft fan)에 의해 포집 구조체를 통과한다. 하나의 위치에서 포집 구조체는, 각 포집 구조체가 처리를 위해 트랙을 따라 이동할 때 각 포집 구조체가 삽입되는, 단일의 밀봉 가능한 챔버 상자에 인접한 위치에 있다. 밀봉 가능한 재생 챔버 상자에서 이들은 130° C 이하, 보다 바람직하게는 120° C 이하, 최적으로는 100° C 이하의 온도로 가열되고, 바람직하게는 공정 열 증기를 사용하여 흡착체로부터 CO₂를 방출하고 흡착체를 재생시킨다. 대안적으로, 재생 챔버는 지면(grade)보다 높거나 낮을 수 있다. 본 실시예에서, 포집 구조체에 의해 CO₂를 흡착하기 위한 흡착 시간은, 바람직하게는 흡착체 재생 시간의 10배이다.
- [0103] 포집 구조체에서 다공성 모놀리식(monolithic) 기판을 사용하는 것이 바람직하지만, 가능한 경우 포집 구조체 상의 프레임 내에 지지되는 다공성 미립자(porous particulate) 또는 알갱이 모양(granular), 물질의 고정 베드(stationary bed)를 사용할 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 어느 경우에도 다공성 기판은, 입자 포집 구조체가 흡착체를 지지하기 위한 모놀리식(monolith) 포집 구조체와 동일한 공극 부피를 가질 때, 바람직하게는 CO₂ 용 아민 흡착제를 지지한다.
- [0104] 상기 개략도는 본 발명에 따른 시스템의 기본 작동 개념을 개략적으로 도시한다. 10개의 "포집 구조체"(21, 22)는 각각의 10각형 어셈블리 배열에 위치하고 원형 트랙(31, 33) 상에 이동 가능하게 지지된다. 2개의 원형/10

각형 어셈블리들(A, B)은 각각의 공정 유닛과 연관되고 서로 상호 작용한다. 공기 또는 연도 가스(flue gas)는, 각각의 10각형 어셈블리들 내부에 방사상으로 위치하는 흡출 송풍기(23, 26)에 의해 각각의 포집 구조체(21, 22)를 통과하고, 각각의 포집 구조체의 내주면 밖으로 그리고 시스템으로부터 멀리 위로 배기가스의 흐름을 유도한다. 트랙(31, 33)을 따른 하나의 위치에서 포집 구조체(21, 22)는, 포집 구조체(22, 22)가 트랙 주변에서 하나의 회전을 완료한 후 재생 처리를 위해 삽입되는, 밀봉 가능한 재생 상자(25, 27)에 인접한다.

- [0105] 따라서, 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 제1 포집 구조체(21)는 처리를 위해 재생 상자(25) 내의 위치로 회전된다; 지면 상의 재생 상자(25)에 대해. 포집 구조체가 재생 상자(25) 내의 위치에 있을 때, 트랙을 따른 이동은 모든 포집 구조체에 대해 정지된다. 대안적으로, 포집 구조체, 및 트랙의 직경을 증가시킴으로써, 재생 상자 상에, 그리고 임의의 연도 가스 흡착 하우징(121, 221, 122, 222) 상에 적합한 밀봉 시스템을 가짐으로써 일정한 움직임이 가능하게 된다. 포집 구조체(21, 22)가 재생되면, 모든 포집 구조체가 이동함에 따라 재생된 포집 구조체가 재생 상자(25, 27) 밖으로 이동되어, 다음 포집 구조체(21, 22)는 도 1에 도시된 바와 같이 연도 가스를 처리한 후에 안으로 이동될 수 있다. 이 공정은 실질적으로 지속적으로 반복된다. 도면에 도시된 바람직한 실시예에서, 타이밍이 바람직하게는 연도 가스 탈착 타이밍과 일치하기 때문에, 각각의 트랙 상의 하나 이상의 포집 구조체는 연도 가스 흡착 하우징(121, 221, 122, 222) 밖으로 이동할 것이다. 대안적으로, 포집 구조체 움직임은 포집 구조체가 재생 상자 및 하나 이상의 연도 가스 흡착 하우징(121, 221, 122, 222)에 들어갈 때마다 정지될 수 있고, 그 후 탈착 및 연도 가스 흡착이 완료되면 움직임이 재시작된다.
- [0106] 그러나, 전술한 바와 같이, 본 공정 발명은 저온(바람직하게는 주변 100° C까지)이고 공정의 각 단계에서의 일방향 대량 수송을 이용한 반연속 공정이다. 이 공정의 추가적인 신규한 측면은 기체 혼합물로부터 CO₂를 포집하는 반응이 바람직하게는 재생 가능한 물질(바람직한 일 실시예에서, 아미노중합체 상에)과 함께 발생하며, 재생 가능한 물질, 예를 들어, 아미노중합체 흡착제가 기관 내에 함침된다는 것이다.
- [0107] 바람직한 실시예에서, 흡착제-지지 포집 구조체는 각각의 포집 구조체를 형성하기 위해 프레임워크에 의해 차례로 지지되는 모놀리식 기관을 포함한다.
- [0108] 후술하는 바와 같이, 다른 상자, 예를 들어 재생 상자(27)의 예열을 제공하기 위해, 예를 들어, 상자(25)에서의 재생이 완료되면, 예를 들어 상자(25) 및 상자(27) 사이에서의, 열의 통과를 허용하기 위해, 각각의 10각형 고리에 대한 포집 구조체가 그들의 탈착./재생 상자 내외로 약간 상이한 시간에 이동됨에도 불구하고, 두 개의 10각형 고리 어셈블리는 함께 작동한다. 이는 재생 시작시 열을 절약하고, 재생 후 포집 구조체의 냉각 비용을 감소시킨다.
- [0109] 재생 상자(25, 27)를 위한 3개의 위치가, 즉, 연속적인 움직임을 허용하지 않는 회전 포집 구조체 위 또는 아래, 또는 지면 높이에서, 이용 가능하다. 미국 특허 10,413,866 및 10,512,880 참조.
- [0110] 재생 챔버(321, 327)는 회전하는 포집 구조체 어셈블리들과 함께 지면 상에 위치한다. 상자 또한 유지보수 및 배관 공정을 위한 적절한 접근이 가능하게 지면 상에 위치한다. 적절한 상호 밀봉 표면은 상자 상에 그리고 각각의 포집 구조체 상에 위치하여, 포집 구조체가 상자 내의 위치로 이동함에 따라, 상자(322, 327)는 움직임이 상향인지, 상승된 재생 상자 내로 향하는지, 지면-아래(sub-grade)의 재생 상자 내로 하향인지, 또는 지면 상의 재생 상자에 대해 직진인지에 관계없이 밀봉되며; 연도 가스 흡착 하우징(121, 221, 122, 222)이 지면 상에 또는 지면 위 또는 아래일 수 있는 실시예에 대해서도 마찬가지이다. 포집 구조체 내로 연도 가스 또는 부분적으로 깨끗해진 연도 가스를 공급하기 위한 트랙을 따른 직전 위치의 선택적인 폐쇄 챔버도 있다.
- [0111] 모든 경우에 보조 장비(펌프, 제어 시스템 등과 같은)는 바람직하게는 회전 포집 구조체 어셈블리(29)를 지지하는 트랙의 원주 내 또는 원주 외부의 지면에 위치한다.
- [0112] 재생 상자 및 하우징은, 본 발명의 개념 또는 범위로부터 벗어나지 않고, 특정 상황에서 상이한 높이에 위치할 수 있다.
- [0113] 본 발명의 범위 내에 있는 대안적인 설계는 한 쌍의 재생 상자, 챔버(25)가 트랙을 따라 이동할 수 있는 시스템을 제공한다. 이는 트랙 설계가 직선 트랙을 따른 포집 구조체에 의한 왕복 이동을 가능하게 하여, 재생 상자들(25)이 넓게 분리되지 않도록 하는 경우에 가장 잘 사용될 것이다. 종래 기술에 개시된 종래의 장치와 비교하면, 이는 다음과 같을 것이다:
- [0114] 구조상의 강철 최소화;
- [0115] 모든 주요 장비는 격납 용기로만 작용하는 재생 상자들과 떨어지게 지면 높이에 배치됨;

- [0116] 상자가 트랙과 상이한 높이에 있는 포집 구조체로의 공기 흐름에 간섭이 없음을 보장함;
- [0117] 재생 상자 내로 이동시키기 위해 모든 포집 구조체를 회전시키는 더 큰 다중 유닛 시스템의 이동을 피함;
- [0118] 효율을 높이기 위한 바람직한 열교환을 허용하기 위해 두 개의 재생 상자가 최소한의 간격으로 서로 인접하도록 함.
- [0119] 필요한 기계 및 전력을 사용하는 기계적 작동에는 다음이 포함된다:
- [0120] 지지 구조체 상의 실질적으로 원형인 트랙 주변의 두 세트의 포집 구조체 어셈블리들의 회전은, 재생 상자 및 임의의 연도 가스 흡착 하우징들 내외로 포집 구조체들의 자유로운 이동을 보장하기 위해, 포집 구조체들이 정지될 위치에 요소들을 정확하게 위치시킨다.
- [0121] 포집 구조체 또는 기관판의 제거, 재생 상자 내로 포집 구조체 삽입, 재생 상자로부터 포집 구조체 제거 및 트랙 어셈블리 상의 위치로 포집 구조체 재삽입. 이러한 모든 이동은 수직 방향으로, 또는 대안적으로 트랙 상의 수평 회전 이동의 일부로서 발생한다. 포집 구조체 및 재생 상자는, 수직으로 이동 가능한 포집 구조체의 경우, 상자의 지지 구조체와 각각의 포집 구조체의 상부 또는 하부 사이에 실질적으로 기밀 밀봉(air-tight seal)이 존재하도록 설계된다. 지면 상의 이러한 재생 상자 또는 연도 가스 흡착 하우징의 경우, 밀봉은 상부 및 하부 표면 뿐만 아니라 측면 상에 있을 수 있거나, 포집 구조체가 재생 상자 또는 연도 가스 흡착 하우징 내로 이동할 때 폐쇄되는 밀봉 도어가 있을 수 있다. 이러한 밀봉에 대한 일부 개념적 설계의 예는 이전에 등록된 미국 아이젠버그(Eisenberger) 특허에서, 그리고 본 출원의 도 10에 의해 보여진다.
- [0122] 바람직한 일 실시예의 모든 경우에, 도 1 내지 도 9를 참조하면, 포집 구조체(21-1)(고리 A)는 위치로 회전되고, 이어서 처리를 위해 재생 또는 탈착 상자(25) 내로 이동된다. 탈착 상자(25)(포집 구조체(21-1), 고리 A 함유) 내의 압력은, 예를 들어 진공 펌프(230)를 사용하여, 0.2 Bar 미만으로 감소된다. 상자(25)는 라인(235)을 통해 대기압에서 증기에 의해 가열되고, CO₂는 포집 구조체(21-1)로부터 발생되고 응축기(240)(도 SA) 상에서 분리되는 CO₂ 및 응축물을 위한 상자(25)로부터 출구 배관(237)을 통해 제거된다. 그 후 포집 구조체(22-1)(고리 B)는 위와 같이 상자(25)가 처리되는 동안 상자(27)(고리 B)에 배치된다(도 5B). 상자(25)로의 증기 공급은 정지되고, CO₂ 및 응축물을 위한 출구 배관이 격리된다. 상자(25) 및 상자(27)는 연결 배관(125)에서 밸브(126)를 개방함으로써 연결된다(도 SC).
- [0123] 상자(27) 내의 압력은 상자(27)와 연관된 진공 펌프(330)를 사용하여 낮아진다. 이는 두 상자 내의 시스템 압력을 낮추고, 상자(25) 내에 남아 있는 증기 및 불활성 요소를 상자(27)를 통해, 그리고 그 후 진공 펌프로 끌어들이는. 이는 상자(25)(및 그에 따른 포집 구조체(21-1), 고리 A)를 더 낮은 온도(즉, 상자 내의 증기의 부분 압력에서의 포화 온도)로 냉각시키고, 포집 구조체(21-1)가 공기 스트림 내로 다시 위치할 때 흡착체의 산소 비활성화를 위한 퍼텐셜(potential)을 감소시킨다. 이 공정은 또한 상자(25) 내의 증기의 부분 압력에서 주변 온도로부터 포화 온도까지 상자(27)(및 그에 따른 포집 구조체(22-1), 고리 B)를 예열시킨다. 따라서, 에너지가 회수되고, 제2 상자(27)(및 포집 구조체(22-1) 고리B)를 가열하는데 필요한 대기압 증기의 양이 감소된다(도 SD). 진공 펌프(330)가 상자들(25 및 27) 내의 압력을 낮춤에 따라, 제1 상자(25)는 온도(대략 100° C로부터 어느 중간 온도로)가 감소되고, 제2 상자(27)는 온도(주변 온도로부터 상기 동일한 중간 온도로)가 증가된다. CO₂ 및 불활성 가스는 진공 펌프(330)에 의해 시스템으로부터 제거된다.
- [0124] 제1 상자(25)와 제2 상자(27) 사이의 밸브는 폐쇄되고, 상자들은 서로 격리된다. 포집 구조체(21-1) 고리 A는 이제, 포집 구조체가 공기 흐름 내에 다시 위치할 때 흡착체의 산소 비활성화가 우려되는 온도 아래로 냉각된다. 제2 상자(27) 및 포집 구조체(22-1), 고리 B는 예열되었고, 따라서 상자 및 포집 구조체를 가열하는데 필요한 증기의 양이 감소된다(도 5E). 그 후, 포집 구조체(21-1) 고리 A는 포집 구조체 어셈블리 내로 이동된다. 고리 A 포집 구조체 어셈블리는 하나의 포집 구조체에 의해 회전되고 포집 구조체(21-2) 고리 A는 그 후 상자(25) 내로 삽입되며, 예열할 준비가 된다. 상자(27)는 대기 증기로 가열되고 박리된 CO₂가 수집된다(도 5F).
- [0125] 제2 상자(27)(포집 구조체(22-1) 고리 B 함유)가 완전히 재생되면, 상자 B로의 증기 공급은 격리되고, 응축물 및 CO₂를 위한 배관은 밸브(241, 242)를 사용하여 격리된다. 제1 상자(25)와 제2 상자(27) 사이의 밸브(126)는 개방되고, 상자(25, 27) 내의 압력은 상자(25)를 위한 진공 펌프(230) 시스템을 사용하여 감소된다. 제2 상자(27)(및 그에 따른 포집 구조체(22-1), 고리 B)의 온도는 감소된다(상기 5 참조). 제1 상자(25)(포집 구조체

(21-2), 고리 A 함유)의 온도는 증가된다(상기 5 참조)(도 5G). 진공 펌프(230)는 상자(25, 27) 내의 압력을 낮춘다. 상자(25)는 온도(대략 100° C로부터 어느 중간 온도로)가 감소된다. 상자(27)는 온도(주변 온도로부터 상기와 동일한 중간 온도로)가 증가된다. CO₂ 및 불활성 가스는 진공 펌프(230)에 의해 시스템으로부터 제거된다. 포집 구조체(22-1), 고리 B는 고리 어셈블리 내로 되돌아가고 어셈블리는 하나의 베드로 회전된다. 그 후, 포집 구조체(22-2), 고리 B는 상자(27) 내로 삽입된다. 상자(25)(포집 구조체(21-2), 고리 A 함유)는 대기 증기로 가열되어 CO₂를 방출하고 흡착체를 재생한다(도 5H). 그 후, 상자(27)의 예열은 전술한 바와 같이 발생한다. 이 과정은 10각형이 여러 번 회전함에 따라 모든 베드에 대해 반복된다.

[0126] 도 8에 도시된 바와 같은 바람직한 실시예를 다룰 때, 두 고리들은 재생 상자 내로 진입 직전의 한 쌍의 연도 가스 흡착 하우징을 포함하고, 바람직하게는 전처리된 연도 가스의 공급물이 제공된다. 예를 들어, 재생 상자 직전의 제9 흡착 스테이지에는, 보통 약 10-15% CO₂를 갖는 전처리된 연도 가스, 또는 전처리된 연도 가스와 주변 공기의 혼합물이 공급된다. 그 스테이지로부터의 배기가스는, 예를 들어 2 내지 8%의 CO₂를 함유할 수 있다. 바람직하게는, CO₂의 상부 범위가 배출될 때, 대기로 배출되기에 적합한 정도로 배기가스를 감소시키기 위해, 배기가스는 가장 바람직하게는 추가 흡착을 위해 직전의 탈착 스테이지 하우징 내로 전달된다.

[0127] **기본 설정 설계 매개변수**

[0128] 시스템 설계를 위한 현재 선호되는 기준은 다음과 같다:

[0129] 이동할 개별 포집 구조체의 무게:

[0130] 1,500 --- 10,000 파운드. (지지 구조체 포함)

[0131] 대략적인 베드 크기: 너비 - 5-6 미터

[0132] 높이 -- 9-10 미터

[0133] 깊이 - 0.15-1 미터

[0134] 포집 구조체 치수들은, 시스템의 각 쌍의 지리적 위치에서의 특정 조건들과, 원하는 또는 달성가능한 처리 매개변수들에 따라 조정될 수 있다는 점을 유의해야 한다.

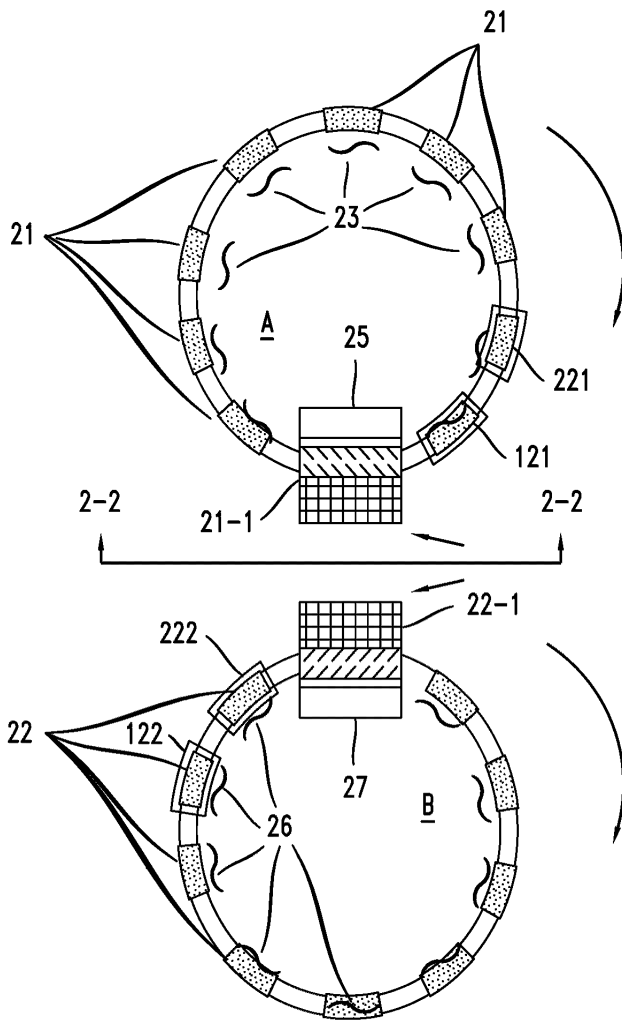
[0135] 각각의 10각형 고리 내에 10개의 포집 구조체를 포함하는 시스템의 경우, 바람직한 원형/10각형 구조체의 외부 치수는 약 15-17 미터, 바람직하게는 약 16.5 미터일 것이다. 포집 구조체 지지 구조체는, 예를 들어 트랙을 따라 전기 모터 및 구동 휠에 의해 개별적으로 구동될 수 있거나, 지지 구조체는 트랙을 따른 특정 위치 및 페루프 주변의 모든 구조체 및 트랙을 구동하는데 사용되는 단일 대형 모터에 고정될 수 있다. 어느 경우이나 재생 상자는 하나의 위치에 배치되고, 지지 구조체 중 하나가 재생 상자 내로 이동하도록 배치되면 모든 구조체는 이동을 정지할 수 있다. 단일 구동 모터 또는 엔진, 또는 다중 구동 모터 또는 엔진의 경제성은, 구동이 전기 모터에 의해 또는 일부 연료 구동 엔진에 의해 달성될 것인지 여부 및 위치와 같은, 많은 요인에 의존할 것이다. 구동 유닛의 성질은 그 자체가 본 발명의 주요 특징이 아니며, 많은 것이 통상의 기술자에게 잘 알려져 있다. 적합한 엔진의 예는, 예를 들어 스틸링 엔진 사이클을 사용하여 작동하는, 가스 압력 구동 엔진 또는 내연 또는 외연 엔진, 또는 공정 증기 엔진 또는 유압 또는 공압 엔진을 포함한다.

[0136] 재생 상자가 트랙 높이 위에 위치하는 경우, 상단은 트랙의 지면보다 약 20 미터 위에 있을 것이고, 재생 상자가 트랙의 지면 아래에 위치하는 경우, 상자의 상단은 트랙 지면의 바로 아래에 있을 것이다. 재생 동안 상자 내에 완전히 포집 구조체를 수용하기 위해, 지면 상의 상자는 포집 구조체의 상단보다 최소한으로만 위에 있을 것이다.

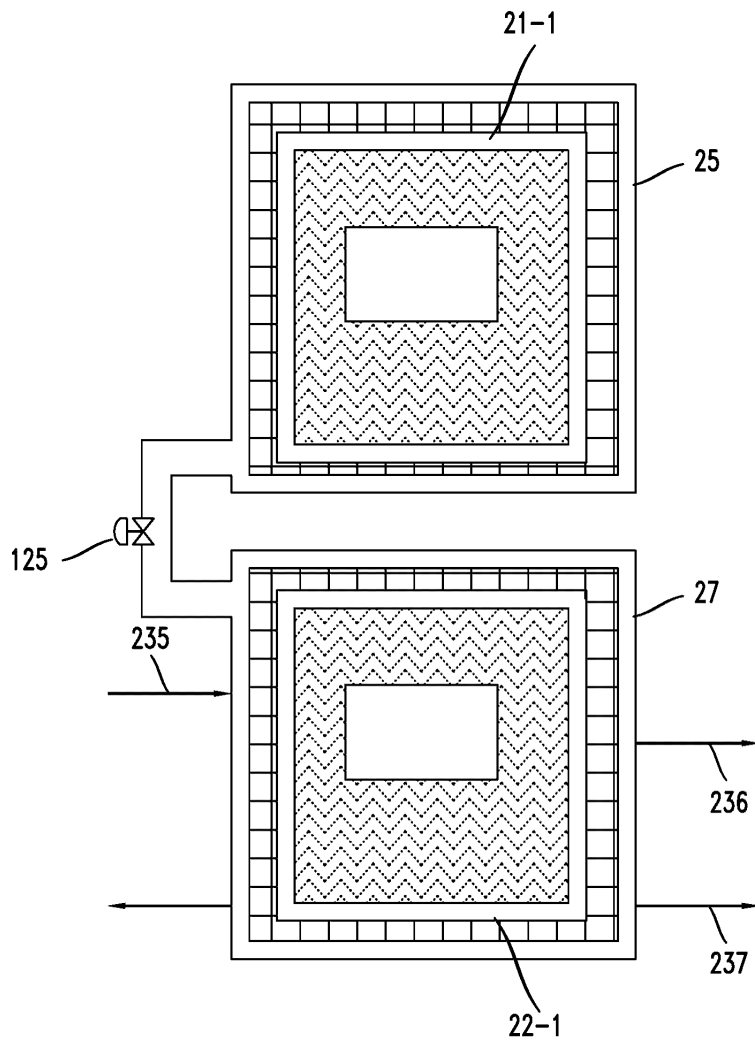
[0137] 재생 상자가 지면 상에 있지 않은 경우, 포집 구조체를 재생 상자 내외로 이동시키기 위한 승강 시스템은, 30초 내지 i20초, 바람직하게는 30 및 45초 사이의 범위 내의 기간 동안 상자 내외로 이동을 달성할 수 있어야 한다. 기간이 짧을수록 공정에 이용 가능한 공정 매개변수의 유연성이 커진다. 대량의 포집 구조체를 이동시키는 데는 일부 내재하는 기계적 한계가 존재한다는 것이 인식된다. 재생 상자가 지면 상에 있는 것의 한 가지 장점은, 포집 구조체가 단순히 회전 이동의 일부로서 상자 내로 회전하고 밀봉하기 때문에 수직 이동이 필요하지 않으며; 따라서 수직 이동, 시간의 손실 및 승강의 추가적인 자본 비용을 피한다는 것이다. 각각의 경우, 포집 구조체의 두 가장자리는 단단하고(solid) 재생 상자의 가장자리와 함께 밀봉을 형성한다.

도면

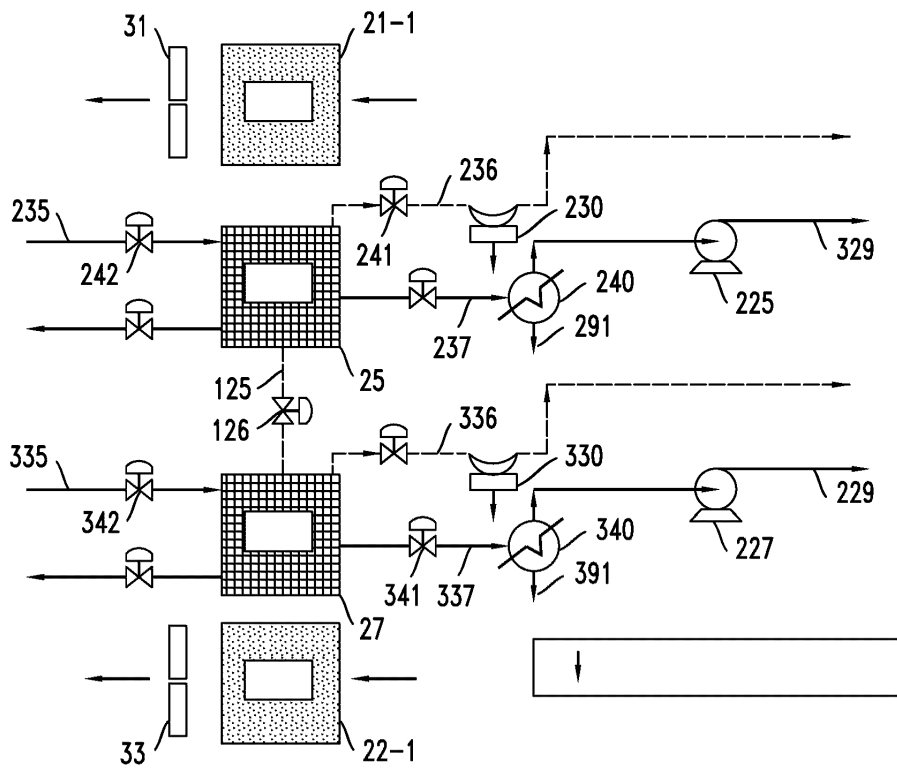
도면1



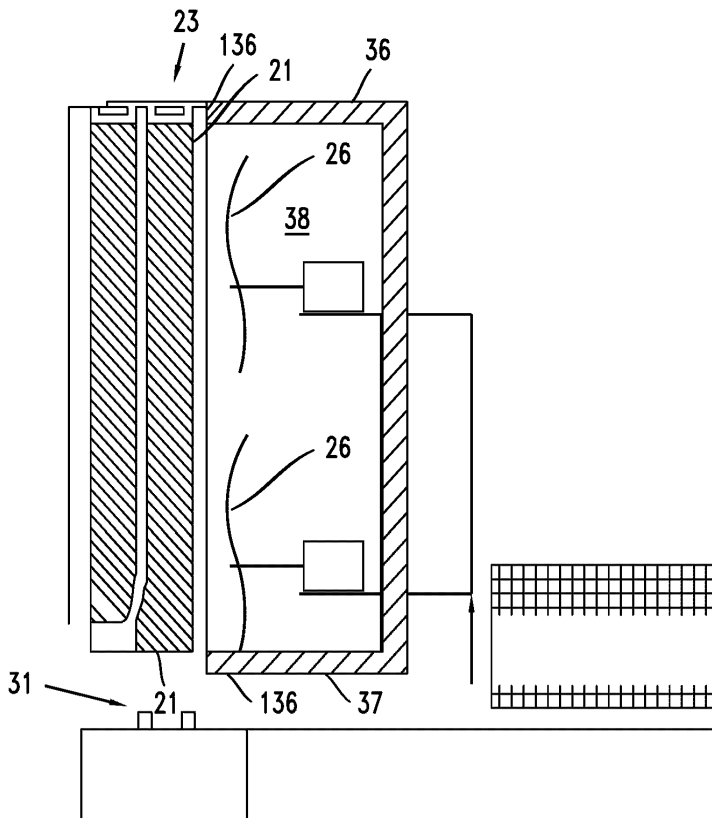
도면2



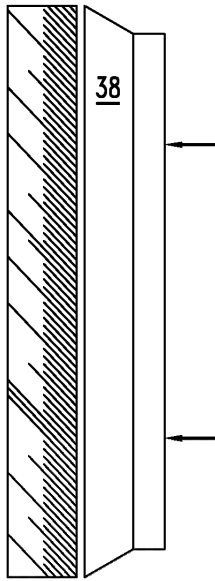
도면3



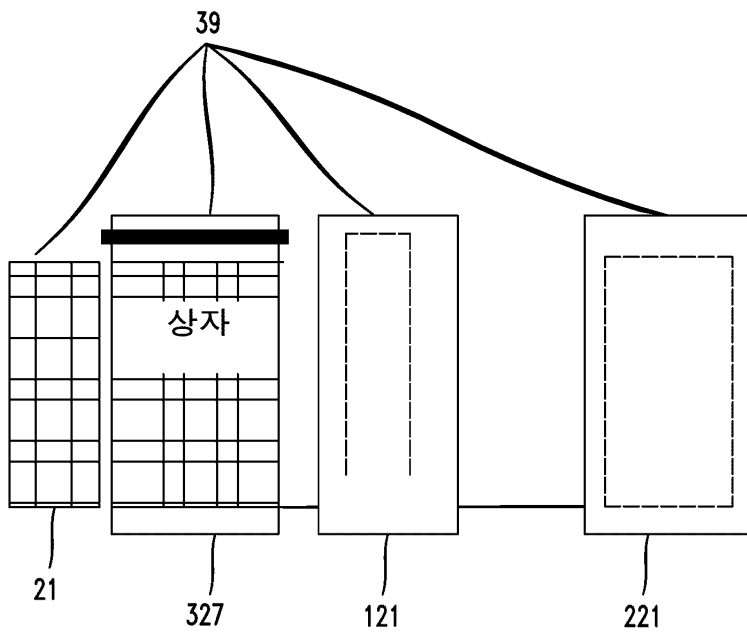
도면4



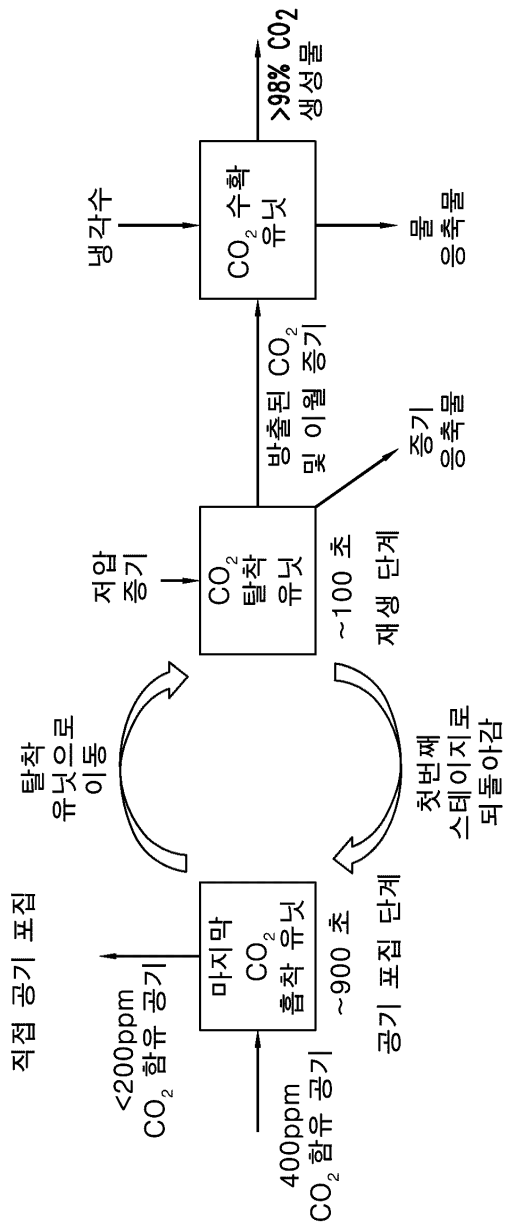
도면5



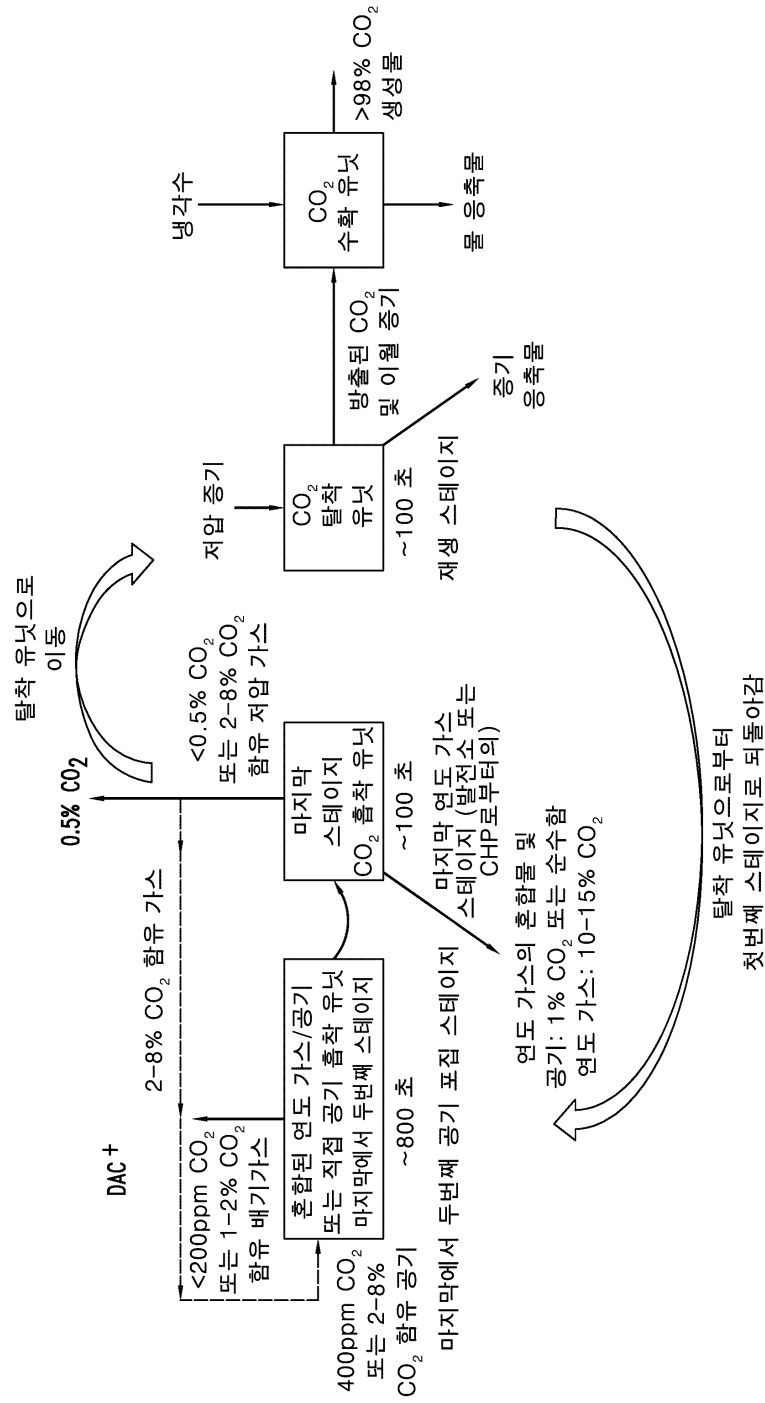
도면6



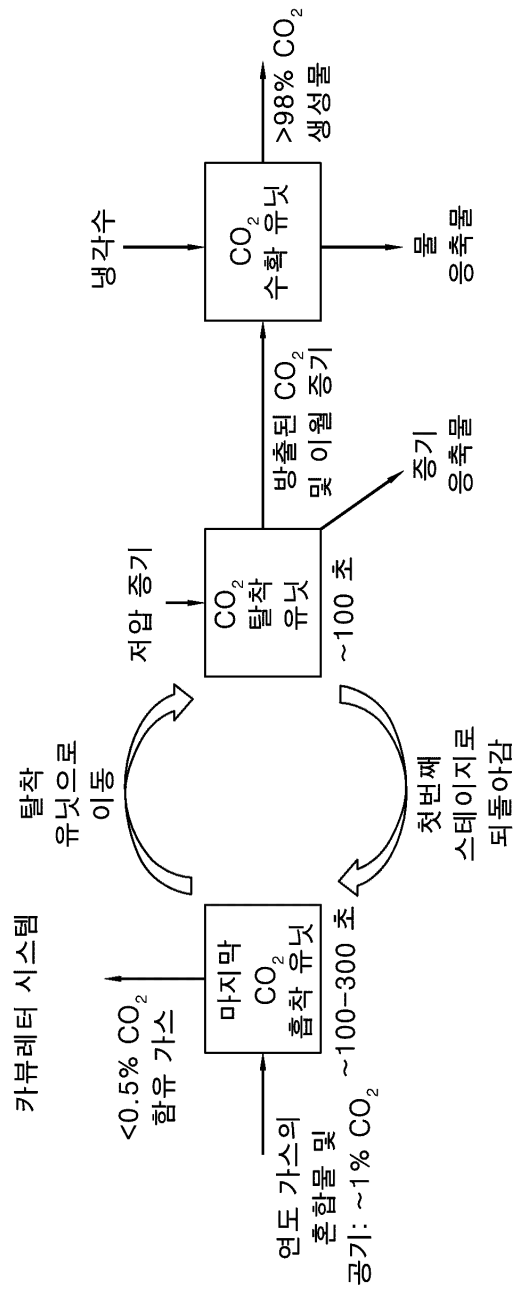
도면7



도면8



도면9



도면10

재생 상자와 연도 가스 하우징들
사이의 모든 주위 밀봉

