(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0121739
(43) 공개일자 2024년08월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C25B 1/23 (2021.01) *C25B 1/04* (2022.01)
C25B 15/021 (2021.01) *C25B 15/08* (2006.01)
C25B 9/23 (2021.01)
(52) CPC특허분류
C25B 1/23 (2021.01)
C07C 29/1518 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7018684
(22) 출원일자(국제) 2022년11월04일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년06월04일
(86) 국제출원번호 PCT/US2022/079335
(87) 국제공개번호 WO 2023/081846
국제공개일자 2023년05월11일
(30) 우선권주장
63/263,567 2021년11월04일 미국(US)

(71) 출원인
트웰브 베네핏 코포레이션
미국, 캘리포니아 94704-2224, 버클리, #비, 밴크로프트 웨이 614
(72) 발명자
플랜더스 니콜라스 에이치.
미국, 캘리포니아 94710, 버클리, 614 밴크로프트 웨이 #비
쿨 켄드라 피.
미국, 캘리포니아 94710, 버클리, 614 밴크로프트 웨이 #비
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
강명구

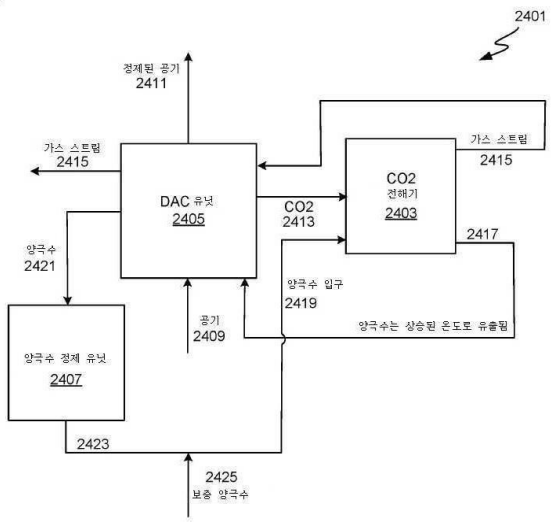
전체 청구항 수 : 총 78 항

(54) 발명의 명칭 **이산화탄소 반응기 제어를 위한 시스템 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 선택적으로는 탄소 산화물 반응기를 포함하는 시스템에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 탄소 산화물 반응기 제어 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은, 선택적으로 원하는 유출물 조성에 기초하여 탄소 산화물 반응기 양태를 선택하는 단계, 원하는 유출물 조성을 생성하기 위해 제어된 공정 조건 하에서 탄소 산화물 반응기를 작동시키는 단계, 및/또는 유출물 조성을 변경하기 위해 공정 조건을 변경하는 단계를 포함한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
C10G 2/32 (2013.01)
C10K 1/005 (2013.01)
C10K 1/32 (2013.01)
C10K 3/00 (2013.01)
C25B 1/04 (2022.01)
C25B 15/021 (2021.01)
C25B 15/081 (2021.01)
C25B 9/23 (2022.01)
C25B 9/70 (2022.01)

(72) 발명자
헤인즈 카터 에스.
미국, 캘리포니아 94710, 버클리, 614 밴크로프트 웨이 #비
스테비치 루카
미국, 캘리포니아 94710, 버클리, 614 밴크로프트 웨이 #비
디코솔라 그레고리
미국, 캘리포니아 94710, 버클리, 614 밴크로프트 웨이 #비

명 세 서

청구범위

청구항 1

하나 이상의 화학적 화합물을 생성하기 위한 시스템으로서, 상기 시스템은:

(a) 불순한 이산화탄소 공급원으로부터 이산화탄소를 포집하고, 불순한 이산화탄소 공급원의 이산화탄소 농도보다 높은 농도의 이산화탄소를 배출하도록 구성된 이산화탄소 포집 유닛;

(b) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층과 이산화탄소를 탄소 함유 반응 생성물로 화학적 환원을 촉진하는 캐소드 촉매를 포함하고; 및

(c) 상기 이산화탄소 환원 전해기에서 발생된 과잉 열을 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하고 이산화탄소 포집 유닛에 의한 이산화탄소 포집 및/또는 이산화탄소 방출을 촉진하도록 구성된 열 전달 유닛을 포함하며,

상기 시스템은 이산화탄소 포집 유닛으로부터 이산화탄소 환원 전해기로 이산화탄소를 제공하도록 구성되는, 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 이산화탄소 환원 전해기는, 작동 중에, 습기를 생성하도록 구성되고, 상기 시스템은 상기 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 습기를 상기 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하도록 구성되며, 상기 이산화탄소 포집 유닛은 습기에 노출되면 포집된 이산화탄소를 방출하도록 구성되는, 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 시스템은 과잉 이산화탄소를 이산화탄소 환원 반응기로부터 과잉 이산화탄소가 정제되는 이산화탄소 포집 유닛으로 이송하도록 추가로 구성되는, 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서, 불순한 이산화탄소 공급원은 공기인, 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서, 열 전달 유닛은 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된 과잉 열을 수용하도록 구성된 열교환기를 포함하는, 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서, 이산화탄소 포집 유닛은 제1 온도에서 이산화탄소를 포집하고 제2 온도에서 이산화탄소를 방출하도록 구성된 흡착제 층을 포함하며, 여기서 제2 온도는 제1 온도보다 높은, 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서, 시스템은 이산화탄소 포집 유닛의 출구로부터 열 전달 유닛으로 양극수를 수송하도록 구성되는, 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서, 시스템은 열 전달 유닛으로부터의 양극수를 이산화탄소 환원 전해기로 재순환시키도록 추가로 구성되는, 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서, 시스템은 탄소 함유 반응 생성물을 포함하는 가스 스트림을 이산화탄소 포집 유닛의 출구로부

터 열 전달 유닛으로 수송하도록 구성되는, 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서, 시스템은 이산화탄소 포집 유닛의 출구로부터 이산화탄소 포집 유닛에 열을 전달하도록 구성된 제2 열 전달 유닛으로 양극수를 수송하도록 추가로 구성되는, 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서, 탄소 함유 반응 생성물은 일산화탄소를 포함하고, 시스템은 수소와 일산화탄소를 결합하여 합성가스를 생성하도록 구성된, 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서, 수소를 생성하도록 구성된 물 전해기를 추가로 포함하는, 시스템.

청구항 13

제11항에 있어서, 합성가스를 수용하도록 구성된 피셔-트롭쉬 반응기를 더 포함하는, 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서, 피셔-트롭쉬 반응기에 의해 생성된 과잉 열을 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하고 이산화탄소 포집 유닛에 의한 이산화탄소 포집 및/또는 이산화탄소 방출을 촉진하도록 구성된 제2 열 전달 유닛을 더 포함하는, 시스템.

청구항 15

제11항에 있어서, 합성가스를 수용하도록 구성된 메탄올 합성 반응기를 추가로 포함하는, 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서, 메탄올 합성 반응기에 의해 발생된 과잉 열을 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하고 이산화탄소 포집 유닛에 의한 이산화탄소 포집 및/또는 이산화탄소 방출을 촉진하도록 구성된 제2 열 전달 유닛을 추가로 포함하는, 시스템.

청구항 17

방법으로서, 상기 방법은:

(a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기에서 이산화탄소를 탄소 함유 생성물로 환원시키는 단계를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 탄소 함유 생성물로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고;

(b) 상기 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생한 과잉 열을 불순한 이산화탄소 공급원로부터 이산화탄소를 포집하고 상기 불순한 이산화탄소 공급원의 이산화탄소 농도보다 높은 농도의 이산화탄소를 배출하도록 구성된 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계; 및

(c) 배출된 이산화탄소를 이산화탄소 환원 전해기로 이송하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 18

제17항에 있어서, 추가로:

이산화탄소 환원 전해기에서 이산화탄소를 환원시키면서 습기를 생성하는 단계, 및

이산화탄소 포집 유닛에 습기를 전달하고, 습기에 노출되면 포집된 이산화탄소의 방출을 촉진하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 19

제17항에 있어서, 상기 이산화탄소 환원 반응기로부터 과잉 이산화탄소를 정제하는 이산화탄소 포집 유닛으로

이송하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 20

제17항에 있어서, 불순한 이산화탄소 공급원은 공기인, 방법.

청구항 21

제17항에 있어서, 상기 이산화탄소 환원 전해기에서 발생된 과잉 열을 상기 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계는 상기 과잉 열을 열교환기로 전달하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 22

제17항에 있어서, 이산화탄소 포집 유닛은 제1 온도에서 이산화탄소를 포집하고 제2 온도에서 이산화탄소를 방출하는 흡착제 층을 포함하고, 여기서 제2 온도는 제1 온도보다 높은, 방법.

청구항 23

제17항에 있어서, 상기 이산화탄소 환원 전해기에서 발생된 과잉 열을 상기 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계는 상기 이산화탄소 포집 유닛의 출구로부터 상기 이산화탄소 포집 유닛으로 양극수를 이송하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 24

제23항에 있어서, 이산화탄소 포집 유닛으로부터의 양극수를 이산화탄소 환원 전해기로 재순환시키는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 25

제17항에 있어서, 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된 과잉 열을 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계는 탄소 함유 반응 생성물을 포함하는 가스 스트림을 이산화탄소 포집 유닛의 출구로부터 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 26

제25항에 있어서, 상기 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된 과잉 열을 상기 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계는 상기 이산화탄소 포집 유닛의 출구로부터 상기 이산화탄소 포집 유닛으로 양극수를 이송하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 27

제17항에 있어서, 탄소 함유 반응 생성물은 일산화탄소를 포함하고, 상기 방법은 수소를 일산화탄소와 결합시켜 합성가스를 생성하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 28

제27항에 있어서, 물을 전기분해하여 수소를 생성하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 29

제27항에 있어서, 피셔-트롭쉬 반응기에 합성가스를 제공하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 30

제29항에 있어서, 피셔-트롭쉬 반응기에 의해 생성된 과잉 열을 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 31

제27항에 있어서, 합성가스를 메탄올 합성 반응기에 제공하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 32

제31항에 있어서, 메탄올 합성 반응기에서 발생된 과잉 열을 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 33

시스템으로서, 상기 시스템은:

(a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 탄소 함유 화합물로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고;

(b) 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 탄소 함유 화합물 또는 탄소 함유 화합물의 유도체를 수용하고 하나 이상의 생성물 화학물질을 생성하도록 구성된 하나 이상의 반응기; 및

(c) 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된 과잉 열을 수용하고 하나 이상의 생성물 화학물질의 생성을 촉진하도록 구성된 열 수용 유닛을 포함하는, 시스템.

청구항 34

제33항에 있어서, 열 수용 유닛은 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 탄소 함유 화합물 또는 탄소 함유 화합물의 유도체를 수용하고 하나 이상의 생성물 화학물질을 생성하도록 구성된 하나 이상의 반응기에 과잉 열을 제공하도록 추가로 구성되는, 시스템.

청구항 35

제33항에 있어서, 열 수용 유닛은 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된 과잉 열을 수용하도록 구성된 열교환기를 포함하는, 시스템.

청구항 36

제33항에 있어서, 열 수용 유닛은 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된 과잉 열을 수용하도록 구성된 재비기를 포함하는, 시스템.

청구항 37

제33항에 있어서, 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 탄소 함유 화합물 또는 탄소 함유 화합물의 유도체를 수용하도록 구성된 하나 이상의 반응기는 피셔-트롭쉬 반응기를 포함하는, 시스템.

청구항 38

제37항에 있어서, 열 수용 유닛은 가스 탄화수소를 물과 반응시키도록 구성된 개질기인, 시스템.

청구항 39

제37항에 있어서, 피셔-트롭쉬 반응기는 나프타를 생성하도록 구성되는, 시스템.

청구항 40

제33항에 있어서, 탄소 함유 화합물은 CO이고, 열 수용 유닛은 CO 정제 유닛인, 시스템.

청구항 41

제40항에 있어서, CO 정제 유닛은 흡착제를 사용하는, 시스템.

청구항 42

방법으로서, 상기 방법은:

(a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기에서 이산화탄소를 탄소 함유 생성물로 환원시키는 단계를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 탄소 함유 생성물로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고;

(b) 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 탄소 함유 생성물 또는 탄소 함유 화합물의 유도체를 하나 이상의 반응에서 반응시켜 하나 이상의 생성물 화학물질을 생성하는 단계; 및

(c) 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 과잉 열을 하나 이상의 반응에 전달하여 하나 이상의 생성물 화학물질의 생성을 촉진하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 43

제42항에 있어서, 하나 이상의 반응은 흡열 반응인, 방법.

청구항 44

제42항에 있어서, (c) 단계는 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된 과잉 열을 수용하도록 구성된 열교환기에 과잉 열을 제공하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 45

제42항에 있어서, 하나 이상의 반응은 피셔-트롭쉬 반응을 포함하는, 방법.

청구항 46

제45항에 있어서, (c) 단계는 가스 탄화수소를 물과 반응시키는 개질기에 과잉 열을 제공하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 47

제42항에 있어서, 탄소 함유 화합물은 CO이고, (c) 단계는 CO 정제 장치에 과잉 열을 제공하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 48

제47항에 있어서, CO 정제 유닛은 흡착제를 사용하는, 방법.

청구항 49

이산화탄소로부터 메탄올을 생성하는 시스템으로서, 상기 시스템은:

(a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 일산화탄소로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고;

(b) 일산화탄소와 수소로부터 메탄올을 생성하도록 구성된 메탄올 합성 반응기를 포함하며, 상기 시스템은 일산화탄소를 이산화탄소 환원 전해기로부터 메탄올 합성 반응기로 수송하도록 구성되고; 및

(c) 메탄올 합성 반응기에 의해 발생된 과잉 열을 시스템의 보조 구성요소로 전달하도록 구성된 열 전달 유닛을 포함하는, 시스템.

청구항 50

제49항에 있어서, 수소를 생성하도록 구성된 물 전해기를 추가로 포함하는, 시스템.

청구항 51

제50항에 있어서, 물 전해기에 의해 발생된 열을 시스템의 보조 구성요소로 전달하도록 구성된 제2 열 전달 유닛을 추가로 포함하는, 시스템.

청구항 52

제49항에 있어서, 상기 보조 구성요소는 불순한 이산화탄소 공급원으로부터 이산화탄소를 포집하고 불순한 이산화탄소 공급원의 이산화탄소 농도보다 높은 농도의 이산화탄소를 배출하도록 구성된 이산화탄소 포집 유닛을 포함하는, 시스템.

청구항 53

제52항에 있어서, 열 전달 유닛은 과잉 열을 함유한 증기를 수용하도록 구성되는, 시스템.

청구항 54

제53항에 있어서, 열 전달 유닛은 끓는 물 스트림을 배출하도록 구성되는, 시스템.

청구항 55

제54항에 있어서, 시스템은 끓는 물을 메탄올 합성 반응기로 전달하도록 추가로 구성되는, 시스템.

청구항 56

방법으로서, 상기 방법은:

(a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기에서 이산화탄소를 탄소 함유 생성물로 환원시키는 단계를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 일산화탄소로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고;

(b) 일산화탄소를 이산화탄소 환원 전해기로부터 메탄올 합성 반응기로 이송하는 단계;

(c) 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 일산화탄소와 메탄올 합성 반응기에서 수소를 반응시켜 메탄올을 생성하는 단계; 및

(d) 이산화탄소 환원 전해기 및/또는 메탄올 합성 반응기에 의해 발생된 과잉 열을 보조 구성요소 전달하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 57

제56항에 있어서, 물을 전기분해하여 수소를 생성하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 58

제57항에 있어서, 물을 전기분해하여 발생된 열을 시스템의 보조 구성요소로 전달하는 단계를 추가로 포함하는,방법.

청구항 59

제56항에 있어서, 상기 보조 구성요소는 불순한 이산화탄소 공급원으로부터 이산화탄소를 포집하고 불순한 이산화탄소 공급원의 이산화탄소 농도보다 높은 농도의 이산화탄소를 배출하도록 구성된 이산화탄소 포집 유닛을 포함하는, 방법.

청구항 60

제59항에 있어서, 메탄올 합성 반응기에 의해 생성된 과잉 열을 전달하는 단계는 과잉 열을 함유한 증기를 이산화탄소 포집 유닛에 전달하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 61

제60항에 있어서, 증기를 끓는 물로 변환시키는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 62

제61항에 있어서, 끓는 물을 메탄올 합성 반응기로 전달하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 63

이산화탄소로부터 액체 탄화수소를 생성하는 시스템으로서, 상기 시스템은:

(a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 일산화탄소로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고;

(b) 일산화탄소와 수소로부터 액체 탄화수소 혼합물을 생성하도록 구성된 피셔-트롭쉬 반응기를 포함하고, 상기 시스템은 일산화탄소를 이산화탄소 환원 전해기로부터 상기 피셔-트롭쉬 반응기로 수송하도록 구성되며; 및

(c) 피셔-트롭쉬 반응기에 의해 발생된 과잉 열을 시스템의 보조 구성요소로 전달하도록 구성된 열 전달 유닛을 포함하는, 시스템.

청구항 64

제63항에 있어서, 보조 구성요소는 가스 탄화수소를 물과 반응시키도록 구성된 개질기를 포함하는, 시스템.

청구항 65

제64항에 있어서, 열 전달 유닛은 과잉 열을 개질기로 전달하도록 구성되는, 시스템.

청구항 66

제63항에 있어서, 피셔-트롭쉬 반응기에 의해 생성된 테일 가스를 연소하여 이산화탄소를 생성하도록 구성된 테일 가스 연소 유닛을 추가로 포함하고, 상기 시스템은 이산화탄소를 상기 테일 가스 연소 유닛으로부터 이산화탄소 환원 전해기로 수송하도록 구성된, 시스템.

청구항 67

제63항에 있어서, 상기 보조 구성요소는 불순한 이산화탄소 공급원으로부터 이산화탄소를 포집하고 불순한 이산화탄소 공급원의 이산화탄소 농도보다 높은 농도의 이산화탄소를 배출하도록 구성된 이산화탄소 포집 유닛을 포함하는, 시스템.

청구항 68

제67항에 있어서, 열 전달 유닛은 과잉 열을 함유한 증기를 수용하도록 구성되는, 시스템.

청구항 69

제68항에 있어서, 열 전달 유닛은 끓는 물 스트림을 배출하도록 구성되는, 시스템.

청구항 70

제69항에 있어서, 시스템은 끓는 물을 피셔-트롭쉬 반응기로 전달하도록 추가로 구성되는, 시스템.

청구항 71

방법으로서, 상기 방법은:

(a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기에서 이산화탄소를 탄소 함유 생성물로 환원시키는 단계를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 일산화탄소로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고;

(b) 일산화탄소를 이산화탄소 환원 전해기로부터 피셔-트롭쉬 반응기로 이송하는 단계;

(c) 피셔-트롭쉬 반응기에서 수소와 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 일산화탄소를 반응시켜 액체 탄화수소를 생성하는 단계; 및

(d) 이산화탄소 환원 전해기 및/또는 피셔-트롭쉬 반응기에 의해 발생된 과잉 열을 보조 구성요소 전달하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 72

제71항에 있어서, 보조 구성요소는 가스 탄화수소를 물과 반응시키도록 구성된 개질기를 포함하는, 방법.

청구항 73

제72항에 있어서, 과잉 열은 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생되는, 방법.

청구항 74

제71항에 있어서, 추가로:

피셔-트롭쉬 반응기에 의해 생성된 테일 가스를 연소시키고 이산화탄소를 생성하는 단계, 및

테일 가스를 연소시켜 생성된 이산화탄소를 이산화탄소 환원 전해기로 이송하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 75

제71항에 있어서, 상기 보조 구성요소는 불순한 이산화탄소 공급원으로부터 이산화탄소를 포집하고 불순한 이산화탄소 공급원의 이산화탄소 농도보다 높은 농도의 이산화탄소를 배출하도록 구성된 이산화탄소 포집 유닛을 포함하는, 방법.

청구항 76

제75항에 있어서, 피셔 트롭쉬 반응기에 의해 생성된 과잉 열을 전달하는 단계는 과잉 열을 함유한 증기를 이산화탄소 포집 유닛에 전달하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 77

제76항에 있어서, 증기를 끓는 물로 변환시키는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 78

제77항에 있어서, 끓는 물을 피셔-트롭쉬 반응기로 전달하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] PCT 요청서는 본 출원의 일부로서 본 명세서와 동시에 제출된다. 본 출원이 동시에 제출된 PCT 요청서에 확인된 바와 같이 이익 또는 우선권을 주장하는 각각의 출원은 그 전체가 모든 목적을 위해 참조문헌으로 본원에 포함된다.

[0002] 본 발명은 국립 과학 재단이 수여하는 수여 번호 1738554, 미국 에너지부 과학국이 수여하는 수여 번호 DE-SC0015872, DE-SC0017725, DE-SC0018549 및 DE-SC0018549, 미국 공군이 수여하는 계약 번호 FA864920P0616 및 FA8649-19-9-9026에 따라 정부 지원으로 이루어졌다. 정부는 본 발명에 대한 특정 권리를 가진다.

[0003] 본 개시내용은 일반적으로 탄소 산화물 반응기 분야에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로 탄소 산화물 반응기 분야에서 반응기 제어를 위한 신규하고 유용한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0004] 이산화탄소 반응기 제어를 위한 전형적인 시스템 및 방법은 일산화탄소(CO) 및/또는 다른 탄소 함유 생성물(CCP)의 생산과 관련된 양태의 최대화, 예컨대 CO 대 다른 반응기 생성물의 비율(예를 들어, CO:H_2 비율), CO 농도, 및/또는 총 CO 유출물 또는 유출물 속도 최대화 또는 조정에 초점을 맞춘다.

[0005] 따라서, 탄소 산화물 반응기 분야에서 반응기 제어를 위한 신규하고 유용한 시스템 및 방법을 생성할 필요가 있다.

발명의 내용

[0006] 본 개시내용의 일 양태는 하나 이상의 화학적 화합물을 생성하기 위한 시스템에 관한 것으로, 상기 시스템은: (a) 불순한 이산화탄소 공급원으로부터 이산화탄소를 포집하고, 불순한 이산화탄소 공급원의 이산화탄소 농도보다 높은 농도의 이산화탄소를 배출하도록 구성된 이산화탄소 포집 유닛; (b) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층과 이산화탄소를 탄소 함유 반응 생성물로 화학적 환원을 촉진하는 캐소드 촉매를 포함하고; 및 (c) 상기 이산화탄소 환원 전해기에서 발생된 과잉 열을 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하고 이산화탄소 포집 유닛에 의한 이산화탄소 포집 및/또는 이산화탄소 방출을 촉진하도록 구성된 열 전달 유닛을 포함한다. 상기 시스템은 이산화탄소 포집 유닛으로부터 이산화탄소 환원 전해기로 이산화탄소를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0007] 특정 실시예에서, 상기 이산화탄소 환원 전해기는, 작동 중에, 습기를 생성하도록 구성되고, 상기 시스템은 상

기 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 습기를 상기 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하도록 구성되며, 상기 이산화탄소 포집 유닛은 습기에 노출되면 포집된 이산화탄소를 방출하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 이산화탄소 포집 유닛은 제1 온도에서 이산화탄소를 포집하고 제2 온도에서 이산화탄소를 방출하도록 구성된 흡착제 층을 포함한다. 제2 온도는 제1 온도보다 높을 수 있다.

[0008] 특정 실시예에서, 불순한 이산화탄소 공급원은 공기를 포함한다. 특정 실시예에서, 상기 시스템은 과잉 이산화탄소를 이산화탄소 환원 반응기로부터 과잉 이산화탄소가 정제되는 이산화탄소 포집 유닛으로 이송하도록 구성된다.

[0009] 특정 실시예에서, 열 전달 유닛은 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된 과잉 열을 수용하도록 구성된 열교환기를 포함한다.

[0010] 특정 실시예에서, 시스템은 이산화탄소 포집 유닛의 출구로부터 열 전달 유닛으로 양극수를 수송하도록 구성된다. 이러한 실시예에서, 시스템은 열 전달 유닛으로부터의 양극수를 이산화탄소 환원 전해기로 재순환시키도록 추가로 구성될 수 있다.

[0011] 특정 실시예에서, 시스템은 탄소 함유 반응 생성물을 포함하는 가스 스트림을 이산화탄소 포집 유닛의 출구로부터 열 전달 유닛으로 수송하도록 구성된다. 이러한 실시예에서, 시스템은 이산화탄소 포집 유닛의 출구로부터 이산화탄소 포집 유닛에 열을 전달하도록 구성된 제2 열 전달 유닛으로 양극수를 수송하도록 추가로 구성될 수 있다.

[0012] 특정 실시예에서, 탄소 함유 반응 생성물은 일산화탄소를 포함하고, 시스템은 수소와 일산화탄소를 결합하여 합성가스를 생성하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 시스템은 수소를 생성하도록 구성된 물 전해기를 포함한다. 일부 경우에, 시스템은 합성가스를 수용하도록 구성된 피셔-트롭쉬 반응기를 더 포함한다. 특정 실시예에서, 시스템은 피셔-트롭쉬 반응기에 의해 생성된 과잉 열을 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하고 이산화탄소 포집 유닛에 의한 이산화탄소 포집 및/또는 이산화탄소 방출을 촉진하도록 구성된 제2 열 전달 유닛을 포함한다.

[0013] 특정 실시예에서, 합성가스를 수용하도록 구성된 메탄올 합성 반응기를 포함한다. 이러한 실시예에서, 시스템은 메탄올 합성 반응기에 의해 발생된 과잉 열을 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하고 이산화탄소 포집 유닛에 의한 이산화탄소 포집 및/또는 이산화탄소 방출을 촉진하도록 구성된 제2 열 전달 유닛을 포함할 수 있다.

[0014] 본 개시내용의 다른 양태는 다음 단계들을 포함하는 방법에 관한 것으로서, (a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기에서 이산화탄소를 탄소 함유 생성물로 환원시키는 단계를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 탄소 함유 생성물로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고; (b) 상기 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생한 과잉 열을 불순한 이산화탄소 공급원로부터 이산화탄소를 포집하고 상기 불순한 이산화탄소 공급원의 이산화탄소 농도보다 높은 농도의 이산화탄소를 배출하도록 구성된 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계; 및 (c) 배출된 이산화탄소를 이산화탄소 환원 전해기로 이송하는 단계를 포함한다.

[0015] 일부 구현예에서, 상기 방법은, 추가로, 이산화탄소 환원 전해기에서 이산화탄소를 환원시키면서 습기를 생성하는 단계, 및 이산화탄소 포집 유닛에 습기를 전달하고, 습기에 노출되면 포집된 이산화탄소의 방출을 촉진하는 단계를 더 포함한다.

[0016] 특정 실시예에서, 상기 방법은 상기 이산화탄소 환원 반응기로부터 과잉 이산화탄소를 정제하는 이산화탄소 포집 유닛으로 이송하는 단계를 더 포함한다. 일부 구현예에서, 불순한 이산화탄소 공급원은 공기를 포함한다.

[0017] 특정 실시예에서, 상기 이산화탄소 환원 전해기에서 발생된 과잉 열을 상기 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계는 상기 과잉 열을 열교환기로 전달하는 단계를 포함한다. 특정 실시예에서, 이산화탄소 포집 유닛은 제1 온도에서 이산화탄소를 포집하고 제2 온도에서 이산화탄소를 방출하도록 구성된 흡착제 층을 포함한다. 제2 온도는 제1 온도보다 높을 수 있다.

[0018] 일부 구현예에서, 상기 이산화탄소 환원 전해기에서 발생된 과잉 열을 상기 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계는 상기 이산화탄소 포집 유닛의 출구로부터 상기 이산화탄소 포집 유닛으로 양극수를 이송하는 단계를 포함한다. 이러한 구현예에서, 상기 방법은 이산화탄소 포집 유닛으로부터의 양극수를 이산화탄소 환원 전해기로 재순환시키는 단계를 추가로 포함할 수 있다.

[0019] 특정 실시예에서, 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된 과잉 열을 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계는 탄소 함유 반응 생성물을 포함하는 가스 스트림을 이산화탄소 포집 유닛의 출구로부터 이산화탄소 포집 유닛으

로 전달하는 단계를 포함한다. 이러한 일부 실시예에서, 상기 이산화탄소 환원 전해기에서 발생된 과잉 열을 상기 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계는 상기 이산화탄소 포집 유닛의 출구로부터 상기 이산화탄소 포집 유닛으로 양극수를 이송하는 단계를 더 포함한다.

[0020] 특정 실시예에서, 탄소-함유 반응 생성물은 일산화탄소를 포함한다. 상기 방법은 수소를 일산화탄소와 결합시켜 합성가스를 생성하는 단계를 추가로 포함할 수 있다. 이러한 실시예는 물을 전기분해하여 수소를 생성하는 단계를 추가로 포함할 수 있다. 이러한 실시예는 피셔-트롭쉬 반응기에 합성가스를 제공하는 단계를 추가로 포함할 수 있다. 일부 경우에, 상기 방법은 피셔-트롭쉬 반응기에 의해 생성된 과잉 열을 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계를 포함한다.

[0021] 일부 실시예에서, 상기 방법은 합성가스를 메탄올 합성 반응기에 제공하는 단계를 포함한다. 이러한 방법은 메탄올 합성 반응기에서 발생된 과잉 열을 이산화탄소 포집 유닛으로 전달하는 단계를 추가로 포함할 수 있다.

[0022] 본 개시내용의 또 다른 양태는 시스템에 관한 것으로서, 상기 시스템은: (a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 탄소 함유 화합물로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고; (b) 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 탄소 함유 화합물 또는 탄소 함유 화합물의 유도체를 수용하고 하나 이상의 생성물 화학물질을 생성하도록 구성된 하나 이상의 반응기; 및 (c) 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된 과잉 열을 수용하고 하나 이상의 생성물 화학물질의 생성을 촉진하도록 구성된 열 수용 유닛을 포함한다.

[0023] 특정 실시예에서, 열 수용 유닛은 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 탄소 함유 화합물 또는 탄소 함유 화합물의 유도체를 수용하고 하나 이상의 생성물 화학물질을 생성하도록 구성된 하나 이상의 반응기에 과잉 열을 제공하도록 추가로 구성된다.

[0024] 특정 실시예에서, 열 수용 유닛은 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된 과잉 열을 수용하도록 구성된 열교환기를 포함한다. 특정 실시예에서, 열 수용 유닛은 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된 과잉 열을 수용하도록 구성된 재비기를 포함한다.

[0025] 특정 실시예에서, 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 탄소 함유 화합물 또는 탄소 함유 화합물의 유도체를 수용하도록 구성된 하나 이상의 반응기는 피셔-트롭쉬 반응기를 포함한다. 이러한 실시예에서, 열 수용 유닛은 가스 탄화수소를 물과 반응시키도록 구성된 개질기일 수 있다. 특정 실시예에서, 피셔-트롭쉬 반응기는 나프타를 생성하도록 구성된다.

[0026] 특정 실시예에서, 탄소 함유 화합물은 일산화탄소이고, 열 수용 유닛은 CO 정제 유닛이다. CO 정제 유닛은 흡착제를 사용할 수 있다.

[0027] 본 개시내용의 또 다른 양태는 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은: (a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기에서 이산화탄소를 탄소 함유 생성물로 환원시키는 단계를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 탄소 함유 생성물로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고; (b) 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 탄소 함유 생성물 또는 탄소 함유 화합물의 유도체를 하나 이상의 반응에서 반응시켜 하나 이상의 생성물 화학물질을 생성하는 단계; 및 (c) 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 과잉 열을 하나 이상의 반응에 전달하여 하나 이상의 생성물 화학물질의 생성을 촉진하는 단계를 포함한다. 하나 이상의 반응은 흡열 반응일 수 있다.

[0028] 특정 실시예에서, (c) 단계는 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된 과잉 열을 수용하도록 구성된 열교환기에 과잉 열을 제공하는 단계를 포함한다.

[0029] 특정 실시예에서, 하나 이상의 반응은 피셔-트롭쉬 반응을 포함한다. 이러한 실시예에서, (c) 단계는 가스 탄화수소를 물과 반응시키는 개질기에 과잉 열을 제공하는 단계를 포함할 수 있다.

[0030] 일부 실시예에서, 탄소 함유 화합물은 CO이고, (c) 단계는 CO 정제 장치에 과잉 열을 제공하는 단계를 포함한다. CO 정제 유닛은 흡착제를 사용할 수 있다.

[0031] 본 개시내용의 또 다른 양태는 이산화탄소로부터 메탄올을 생성하는 시스템에 관한 것이다. 상기 시스템은: (a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 일산화탄소로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고; (b) 일산화탄소와 수소로부터 메탄올을 생성하도록 구성된 메탄올 합성 반응기를 포함한다. 상기 시스템은 일산화탄소를 이산화탄소 환원 전해기로부터 메탄올 합성 반응기로 수송하도록 구성되고; 및 (c) 메탄올 합성 반응기에 의해

발생된 과잉 열을 시스템의 보조 구성요소로 전달하도록 구성된 열 전달 유닛을 포함한다.

[0032] 일부 실시예에서, 시스템은 수소를 생성하도록 구성된 물 전해기를 더 포함한다. 이러한 시스템은 물 전해기에 의해 발생된 열을 시스템의 보조 구성요소로 전달하도록 구성된 제2 열 전달 유닛을 사용할 수 있다.

[0033] 특정 실시예에서, 보조 구성요소는 불순한 이산화탄소 공급원으로부터 이산화탄소를 포집하고, 불순한 이산화탄소 공급원의 이산화탄소 농도보다 높은 농도의 이산화탄소를 배출하도록 구성된 이산화탄소 포집 유닛을 포함한다. 이러한 실시예에서, 열 전달 유닛은 과잉 열을 함유한 증기를 수용하도록 구성된다. 또한, 열 전달 유닛은 끓는 물 스트림을 배출하도록 구성될 수 있다. 그리고, 시스템은 끓는 물을 메탄올 합성 반응기로 전달하도록 추가로 구성될 수 있다.

[0034] 본 개시내용의 일부 양태는 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은: (a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기에서 이산화탄소를 탄소 함유 생성물로 환원시키는 단계를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 일산화탄소로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고; (b) 일산화탄소를 이산화탄소 환원 전해기로부터 메탄올 합성 반응기로 이송하는 단계; (c) 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 일산화탄소와 메탄올 합성 반응기에서 수소를 반응시켜 메탄올을 생성하는 단계; 및 (d) 이산화탄소 환원 전해기 및/또는 메탄올 합성 반응기에 의해 발생된 과잉 열을 보조 구성요소 전달하는 단계를 포함한다.

[0035] 이러한 방법은 물을 전기분해하여 수소를 생성하는 단계를 추가로 포함할 수 있다. 그리고, 상기 방법은 물을 전기분해하여 발생된 열을 시스템의 보조 구성요소로 전달하는 단계를 포함할 수 있다.

[0036] 특정 실시예에서, 보조 구성요소는 불순한 이산화탄소 공급원으로부터 이산화탄소를 포집하고, 불순한 이산화탄소 공급원의 이산화탄소 농도보다 높은 농도의 이산화탄소를 배출하도록 구성된 이산화탄소 포집 유닛을 포함한다. 특정 실시예는 메탄올 합성 반응기에 의해 생성된 과잉 열을 전달하는 단계는 과잉 열을 함유한 증기를 이산화탄소 포집 유닛에 전달하는 단계를 포함한다. 특정 실시예는 증기를 끓는 물로 변환시키는 단계를 더 포함한다. 특정 실시예는 끓는 물을 메탄올 합성 반응기로 전달하는 단계를 추가로 포함한다.

[0037] 본 개시내용의 일 양태는 이산화탄소로부터 액체 탄화수소를 생성하는 시스템에 관한 것으로서, 상기 시스템은: (a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 일산화탄소로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고; (b) 일산화탄소와 수소로부터 액체 탄화수소 혼합물을 생성하도록 구성된 피셔-트롭쉬 반응기를 포함한다. 상기 시스템은 일산화탄소를 이산화탄소 환원 전해기로부터 상기 피셔-트롭쉬 반응기로 수송하도록 구성되며; 및 (c) 피셔-트롭쉬 반응기에 의해 발생된 과잉 열을 시스템의 보조 구성요소로 전달하도록 구성된 열 전달 유닛을 포함한다.

[0038] 특정 실시예에서, 보조 구성요소는 가스 탄화수소를 물과 반응시키도록 구성된 개질기를 포함한다. 특정 실시예에서, 열 전달 유닛은 과잉 열을 개질기로 전달하도록 구성된다.

[0039] 일부 실시예에서, 상기 시스템은 피셔-트롭쉬 반응기에 의해 생성된 테일 가스를 연소하여 이산화탄소를 생성하도록 구성된 테일 가스 연소 유닛을 추가로 포함한다. 이러한 시스템은 테일 가스 연소 유닛으로부터 이산화탄소 환원 전해기로 이산화탄소를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0040] 특정 실시예에서, 보조 구성요소는 불순한 이산화탄소 공급원으로부터 이산화탄소를 포집하고, 불순한 이산화탄소 공급원의 이산화탄소 농도보다 높은 농도의 이산화탄소를 배출하도록 구성된 이산화탄소 포집 유닛을 포함한다. 특정 실시예에서, 열 전달 유닛은 과잉 열을 함유한 증기를 수용하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 열 전달 유닛은 끓는 물 스트림을 배출하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 시스템은 끓는 물을 피셔-트롭쉬 반응기로 전달하도록 추가로 구성된다.

[0041] 본 개시내용의 일부 양태는 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은: (a) 막 전극 조립체를 포함하는 이산화탄소 환원 전해기에서 이산화탄소를 탄소 함유 생성물로 환원시키는 단계를 포함하며, 상기 막 전극 조립체는 이산화탄소를 일산화탄소로 화학적 환원을 촉진하기 위해 하나 이상의 이온 전도성 폴리머 층 및 캐소드 촉매를 포함하고; (b) 일산화탄소를 이산화탄소 환원 전해기로부터 피셔-트롭쉬 반응기로 이송하는 단계; (c) 피셔-트롭쉬 반응기에서 수소와 이산화탄소 환원 전해기에 의해 생성된 일산화탄소를 반응시켜 액체 탄화수소를 생성하는 단계; 및 (d) 이산화탄소 환원 전해기 및/또는 피셔-트롭쉬 반응기에 의해 발생된 과잉 열을 보조 구성요소 전달하는 단계를 포함한다.

[0042] 특정 실시예에서, 보조 구성요소는 가스 탄화수소를 물과 반응시키도록 구성된 개질기를 포함한다. 이러한 실시예에서, 과잉 열은 이산화탄소 환원 전해기에 의해 발생된다.

[0043] 일부 경우에, 상기 방법은, 추가로: (i) 피셔-트롭쉬 반응기에 의해 생성된 테일 가스를 연소시키고 이산화탄소를 생성하는 단계, 및 (ii) 테일 가스를 연소시켜 생성된 이산화탄소를 이산화탄소 환원 전해기로 이송하는 단계를 포함한다.

[0044] 특정 실시예에서, 보조 구성요소는 불순한 이산화탄소 공급원으로부터 이산화탄소를 포집하고, 불순한 이산화탄소 공급원의 이산화탄소 농도보다 높은 농도의 이산화탄소를 배출하도록 구성된 이산화탄소 포집 유닛을 포함한다. 일부 실시예에서, 피셔 트롭쉬 반응기에 의해 생성된 과잉 열을 전달하는 단계는 과잉 열을 함유한 증기를 이산화탄소 포집 유닛에 전달하는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 상기 방법은 증기를 끓는 물로 변환시키는 단계를 포함한다. 일부 실시예에서, 상기 방법은 끓는 물을 피셔-트롭쉬 반응기로 전달하는 단계를 포함한다.

[0045] 본 발명의 그 밖의 다른 특징은 첨부도면들을 참조하여 하기에서 상세하게 설명될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0046] 도 1은 본 방법의 실시예의 흐름도이다.

도 2A-2B는 각각 시스템의 실시예와 상기 실시예의 변형예의 개략도이다.

도 2C-2D는 각각 시스템의 실시예의 제1 및 제2 예를 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 3A-3B는 각각 전류 밀도에 대한 반응기 유출물의 이상화된 의존성과 비이상화된 의존성의 예이다.

도 4는 가스 발효 생물반응기로부터 상류에 있는 탄소 산화물 환원 전해기를 포함하는 가스 발효 시스템을 도시한다.

도 5는 합성가스를 생성하도록 구성된 이산화탄소 전해기를 포함하는 시스템을 도시한다.

도 6A는 탄소 공급원이 이산화탄소 및/또는 일산화탄소를 함유하는 것과 같은 탄소 산화물 공급원료인 액체 탄화수소를 생성하도록 구성된 피셔-트롭쉬 시스템을 도시한다.

도 6B는 탄소 공급원이 탄소 산화물 공급원료이고 부가적인 일산화탄소 및 수소를 생성하기 위해 개질된 시스템으로부터의 테일 가스인 액체 탄화수소를 생성하도록 구성된 피셔-트롭쉬 시스템을 도시한다.

도 7A는 직접 공기 CO_2 포집 서브시스템과 CO_2 환원 전해기 서브시스템을 포함하는 공기 포집 CO_2 전해기 시스템을 도시한다.

도 7B는 차량 또는 선박 상의 직접 공기 CO2 포집 서브시스템을 포함하는 공기 포집 CO2 전해기 시스템을 도시한다.

도 8은 이산화탄소 환원 전해기를 사용하여 폴리카르보네이트 폴리머를 생성하기 위한 시스템의 일반적인 도면이다.

도 9는 이산화탄소 환원 전해기, 포름산염 생성 반응기, 및 다양한 하류 포름산염 회수 유닛을 포함하는 예시적인 포름산염 생성 시스템을 예시한다.

도 10A는 탄소 산화물 전해기, 산화에틸렌 생산 반응기, 및 MEG 생성 반응기를 포함하는 모노에틸렌 글리콜(MEG) 생성 시스템을 도시한다.

도 10B는 이산화탄소 전해기 및 MEG 생성 반응기를 포함하는 MEG 생성 시스템을 도시한다.

도 11은 폴리에틸렌 테레프탈레이트를 생성하기 위해 사용될 수 있는 시스템의 개략도를 제공한다.

도 12는 이산화탄소 전해기에 의해 생성된 일산화탄소와 수소로부터 아세트산을 생성하기 위한 시스템을 개략적으로 예시한다.

도 13은 전해적으로 생성된 일산화탄소로부터 디이소시아네이트를 생성하도록 구성된 시스템을 개략적으로 예시한다.

도 14는 폴리우레탄을 생성하기 위해 사용될 수 있는 시스템의 개략도를 제공한다.

도 15는 옥살산 생성에 사용하기 위한 일산화탄소와 수소를 생성하도록 구성된 이산화탄소 전해기를 포함하는 시스템을 도시한다.

도 16은 전해기에 의해 생성된 일산화탄소로부터 옥살산을 생성하도록 구성된 시스템을 예시한다.

도 17A는 이산화탄소 전해기, 금속 포르산염 생성 반응기, 및 옥살산 형성 반응기를 포함하는 시스템을 도시한다.

도 17B는 이산화탄소 전해기로부터 일산화탄소를 사용하여 옥살산을 생성하기 위한 공정 및 일부 관련 구성요소를 도시한다.

도 18은 옥살산 생성에 사용하기 위한 일산화탄소 및 수소를 생성하도록 구성된 이산화탄소 전해기를 포함하는 시스템을 도시한다.

도 19는 이산화탄소 및 가능하게는 다른 구성요소, 가령, 수소를 함유하는 일산화탄소 스트림을 검증하기 위한 시스템을 도시한다.

도 20은 극저온 전처리 서브시스템 및 흡착제 후처리 서브시스템을 갖는 하이브리드 일산화탄소 정제 시스템을 도시한다.

도 21A는 공기로부터 농축된 이산화탄소로 구성된 상류 직접 공기 포집(DAC) 유닛, 및 이산화탄소 전해기의 생성물 가스로부터 미반응 CO2를 제거하도록 구성된 하류 DAC 유닛을 갖는 시스템을 예시한다.

도 21B는 공기로부터 이산화탄소를 포집하고 전해기의 생성물 가스로부터 미반응 이산화탄소를 분리하도록 구성된 DAC 장치를 갖는 시스템을 예시한다.

도 22A는 탄소 산화물 환원 전해기를 전기 그리드 또는 다른 전기 에너지원에 결합하는 시스템을 도시한다.

도 22B 및 22C는 탄소 산화물 전해기를 사용하는 그리드 관리 시스템의 추가 예를 도시한다.

도 23A는 이산화탄소 전해기 유출물을 처리하여 먼저 일산화탄소를 제거한 다음, 이산화탄소 함유 스트림으로부터 수소를 제거함으로써 수소와 일산화탄소의 혼합물을 생성하기 위한 시스템을 도시한다.

도 23B는 이산화탄소 전해기 유출물을 처리하여 이산화탄소를 직접 제거함으로써 수소와 일산화탄소의 혼합물을 생성하는 시스템을 도시한다.

도 23C는 이산화탄소 전해기 유출물을 처리하여 먼저 일산화탄소를 제거한 다음, 이산화탄소 함유 스트림으로부터 수소를 제거함으로써 수소와 일산화탄소의 혼합물을 생성하기 위한 시스템을 도시한다.

도 23D는 이산화탄소 전해기 유출물을 처리하여 이산화탄소를 직접 제거함으로써 수소와 일산화탄소의 혼합물을 생성하는 시스템을 도시한다.

도 24A-24D는 각각 이산화탄소 전해기 및 이산화탄소 포집 장치(예를 들어, DAC)를 사용하고 전해기로부터 이산화탄소 포집 유닛으로 과잉 열을 전달하도록 구성된 4개의 통합 시스템을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0047] 바람직한 실시예에 대한 하기 설명은 본 개시내용을 이러한 실시예로 제한하려는 것이 아니라, 오히려 당업자가 본 개시내용을 만들고 사용할 수 있게 하려는 의도이다.

[0048] **1. 개요**

[0049] 이산화탄소 반응기 제어를 위한 시스템 및/또는 방법이 반응기 생성 양태, 가령, 반응기 생성물의 양, 농도 및/또는 비율과 관련된 양태를 제어하도록 구성될 수 있다. 전기화학적 탄소 산화물 환원 전지가 관련 감지 및/또는 제어 시스템과 함께 화학 반응기, 화학적 분리 유닛, 정제 유닛 등과 같은 임의의 다양한 다른 화학 처리 시스템과 통합될 수 있다. 통합 시스템은 전기화학적 탄소 산화물 환원 전지 및 전기화학적 탄소 산화물 환원 전지의 상류, 하류 또는 병렬로 배치된 또 다른 화학 처리 시스템을 사용할 수 있다.

[0050] 탄소 산화물 반응물의 예에는 이산화탄소 및 일산화탄소가 포함되지만, 일반적으로 반드시 기체 형태일 필요는 없다. 탄소 산화물 반응물의 다른 예로는 탄산 이온 및 화합물, 그리고 중탄산 이온 및 화합물이 포함된다.

[0051] 이산화탄소 반응기 제어를 위한 일반적인 시스템 및 방법은 일산화탄소(CO) 및/또는 기타 탄소 함유 생성물(CCP)(예를 들어, 탄소 함유 종(CCS))의 생성과 관련된 양태의 최대화에 초점을 맞춰 왔습니다. 가령, CO 대 다른 반응기 생성물의 비율(예를 들어, CO:H2 비율), CO 농도 및/또는 총 CO 유출물 또는 유출물 속도를 최대화하는 데 집중한다.

[0052] 그러나, 일부 용도의 경우, 단순히 양태 값을 최대화하는 것은 바람직하지 않을 수 있으며, 단순한 최대화보다는 이러한 양태의 임의 제어(예를 들어, 목표 양태 값의 범위 내의 값을 충족시키기 위한 동적 또는 선택적 양태 제어)가 유리할 수 있다. 예를 들어, 반응기 생성물의 CO:H2 비율을 선택적으로 제어하는 것이 바람직할 수 있다(예를 들어, 주어진 시스템 및/또는 공정에 대해 가능한 가장 높은 CO:H2 비율로부터 대략 1:3의 CO:H2 또는 그 이하까지 스펙트럼 내에서 임의 제어를 가능하게 함). 이러한 제어를 통해, 반응기 유출물은 피셔-트롭쉬 공정(예를 들어, 반응기를 제어하여 대략적인 1:2의 CO:H2 유출물 비율), 화학 합성 공정 및/또는 가스(예를 들어, 합성가스) 발효 공정(예를 들어, 생물반응기)에 의해 액체 탄화수소 생성과 같은 용도에 대해 보다 효율적으로 사용될 수 있다(예를 들어, 반응기 유출물은 후속 유입물에 직접 공급된다).

[0053] **2. 시스템**

[0054] 시스템은 이산화탄소 반응기, 가령, 탄소 함유 생성물(예를 들어, CO, 알칸, 알코올 등) 및/또는 이산화탄소를 포함하는 유입물(예를 들어, 유입물 스트림, 예를 들어, 유체 스트림)으로부터 나온 수소를 생성하는 반응기를 포함할 수 있다. 예시적인 탄소 산화물 전해기가 도 2A-2D에 예시된다. 반응기는 기체상 이산화탄소 유입물을 수용하고 및/또는 기체상 이산화탄소를 사용하여 반응(들)을 수행하도록 구성될 수 있지만(예를 들어, 기체상 반응기임), 추가적으로 또는 대안적으로, 액체상 이산화탄소, 초임계 유체상 이산화탄소, 고체상 이산화탄소 및/또는 기타 적합한 이산화탄소 유입물을 수용할 수 있다. 본원의 논의는 이산화탄소 반응기에 초점을 맞추고 있지만, 많은 경우 논의는 일산화탄소 반응기(예를 들어, 전기화학적 일산화탄소 환원 반응기) 및 카르보네이트 및/또는 바이카르보네이트 환원 반응기에 동일하게 적용된다. 따라서, 달리 명시되지 않거나 문맥에서 명확하지 않는 한, 이산화탄소 반응기에 대한 언급은 보다 일반적으로 탄소 산화물 반응기를 언급하는 것으로 이해된다. 표시된 바와 같이, 반응기는 기체상 폴리머-전해질 막 전해기와 같은 전해기(예를 들어, 전기화학적 반응기)일 수 있지만, 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 다른 적합한 반응기를 포함할 수 있다.

[0055] 반응기는 다음 중 하나 이상을 포함할 수 있는데, 이들은: 전극(예를 들어, 애노드, 캐소드), 촉매(예를 들어, 캐소드 및/또는 애노드 내부에 및/또는 인접한), 가스 확산층(예를 들어, 캐소드 및/또는 애노드에 인접한) 및/또는 유동장(예를 들어, 가스 확산층을 가로질러 캐소드 맞은편에 형성된 하나 이상의 채널과 같이 전극 및/또는 가스 확산층 내부 및/또는 인접하게 형성된)이다. 일부 실시예에서, 반응기는 반응기의 애노드와 캐소드 사이에 이온 연통을 제공하는 하나 이상의 폴리머 전해질 막(PEM)을 갖는 막 스택 또는 막 전극 조립체(MEA)를 포함한다. 특정 실시예에서, 반응기는 다음을 포함하는 막 스택을 포함하며, 이들은: 환원 촉매 및 이온 전도성 폴리머를 포함하는 캐소드 층; PEM 막(예를 들어, 양극성 막, 단극성 막 등; 하나 이상의 음이온 전도체, 가령, 음이온 교환막(AEM), 양성자 및/또는 양이온 전도체, 가령, 양성자 교환막, 및/또는 임의의 다른 적합한 이온 함유 폴리머를 포함하는 막; 하나 이상의 완충층 등을 포함하는 막); 및 산화 촉매 및 이온 전도성 폴리머를 포함하는 애노드 층을 포함한다. 각각의 층의 이온 전도성 폴리머는 동일하거나 상이한 이온 전도성 폴리머일 수 있다.

[0056] 일부 실시예에서, 촉매(예를 들어, 환원 촉매, 산화 촉매) 중 하나 이상은 촉매 입자(예를 들어, 입자의 다공성 네트워크를 형성하는), 가령, 나노입자를 포함할 수 있다. 하나 이상의 촉매는 추가적으로 또는 대안적으로 하나 이상의 폴리머 전해질을 포함할 수 있으며, 선택적으로는 폴리머 전해질은 촉매 나노입자(예를 들어, 다공성 네트워크에 의해 형성된 개방 영역에 로딩되는 것과 같이 다공성 네트워크 내에 배열된)와 혼합된다. 촉매 나노입자는 하나 이상의 특정 크기(예를 들어, 평균 크기, 중간 크기, 최소 크기, 최대 크기, 입자 크기 분포의 특정 백분위수에서의 크기 등)를 형성할 수 있고 및/또는 다공성 네트워크는 다공성(예를 들어, 네트워크 내의 빈 공간의 분율), 밀도, 회로성(예를 들어, 빈 공간을 통과하는 경로 또는 상호연결된 입자를 따르는 경로 등과 같은 층 두께, 면적 및/또는 부피당 특정 경로 길이) 및 /또는 임의의 다른 적합한 다공성 네트워크 메트릭을 형성할 수 있다.

[0057] 일부 구성에서, 양극성 MEA기 다음과 같이: 캐소드 층/캐소드 완충층(음이온 전도층)/양이온 전도층(PEM일 수 있음)/애노드 층의 스택 배열을 갖는다. 일부 구현예에서, 양극성 MEA는 음이온 전도성 폴리머를 포함하는 캐소드 층 및/또는 양이온 전도층을 포함하는 애노드 층을 갖는다. 일부 구현예에서, 양극성 MEA는 양이온 전도층과 애노드 층 사이에 양이온 전도성 재료를 함유할 수 있는 애노드 완충층을 갖는다.

[0058] 일부 구성에서, 양극성 MEA는 캐소드 층/양이온 전도층(PEM일 수 있음)/음이온 전도층/애노드 층과 같은 스택 배열을 갖는다. 일부 적용예에서, 이러한 배열을 갖는 양극성 MEA는 카르보네이트 및/또는 바이카르보네이트의 수용액과 같은 카르보네이트 및/또는 바이카르보네이트 공급원료를 환원하기 위한 시스템으로 구성된다.

[0059] 일부 구성에서, MEA는 캐소드 층/음이온 전도층/애노드 층과 같은 스택 배열을 갖는다. 일부 구현예에서, 이 MEA는 캐소드 층과 애노드 층 사이에 양이온 전도층을 갖지 않는다. 일부 적용예에서, 캐소드와 애노드 사이에 오직 음이온 전도성 재료만 포함하는 MEA가 일산화탄소 공급원료를 환원하기 위한 시스템 내에 구성된다.

[0060] 일 예("반응기 구성 A")에서, 시스템은: 탄소 섬유 종이 가스 확산층(예를 들어, Sigracet 39BC); 음이온-전도성 폴리머(예를 들어, Fumasep FAA-3) 및 Vulcan 탄소 상의 약 4 nm 금 입자를 약 20 중량%를 포함하는 촉매층; 양극성 PEM; 및 유동장, 가령, 단일, 이중, 3중 또는 4중 굴곡형 또는 서로 맞물린 유동장을 포함한다. 일 특정예에서, 전극은 대략 25cm^2의 면적을 형성하지만, 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 다른 적합한 면적을 형성할 수 있다.

[0061] 일부 실시예에서, 반응기는 2017년 5월 3일 출원되고 본원에서 참조문헌으로 통합되는 "Reactor with Advanced Architecture for the Electrochemical Reaction of CO_2, CO and Other Chemical Compounds"라는 제목의 미국 특허출원 15/586,182에 설명된 것과 같은 하나 이상의 요소를 포함한다. 그러나, 반응기는 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 적합한 배열로 임의의 다른 적합한 요소를 포함할 수 있다.

[0062] 시스템 및/또는 방법의 선택적인 실시예 및/또는 요소에 관한 추가 정보는 2017년 5월 3일에 출원된 미국 특허출원공보 2017/0321334 및 2019년 11월 25일에 출원된 미국 가특허출원 62/939,960에 제공되며, 이들 특허출원들은 본원에 그 전체 내용이 참조로 포함된다.

[0063] 탄소 산화물 환원 반응기가 하나 이상의 전지 또는 MEA를 포함할 수 있다. 다수의 전지 또는 MEA는 스택으로 배열될 수 있으며, 직렬 및/또는 병렬로 서로 전기적으로 연결될 수 있다. 달리 명시되지 않는 한, 탄소 산화물 환원 반응기, 탄소 산화물 전해기 등에 대한 본원의 모든 언급은 단일 전지 전해기 및 다중전지 전해기 스택을 구현한다.

[0064] 탄소 산화물 환원 반응기가 다양한 공급원으로부터 탄소 산화물을 얻을 수 있다. 언급한 바와 같이, 탄소 산화물 반응물의 예에는 이산화탄소, 일산화탄소, 카르보네이트 및/또는 바이카르보네이트가 포함된다. 특정 실시예에서, 카르보네이트 또는 바이카르보네이트가 환원 전지의 캐소드로 전달될 수 있는 수용액(예를 들어, 포타슘 바이카르보네이트의 수용액)의 형태로 제공된다. 카르보네이트와 바이카르보네이트는 다양한 공급원(예를 들어, 미네랄) 및/또는 다양한 반응(예를 들어, 이산화탄소와 수산화물의 반응)을 통해 얻을 수 있다.

[0065] 시스템에는 선택적으로는 본 개시내용의 이산화탄소 반응기의 유입물에 연결된 이산화탄소 유입물의 상류 공급원이 포함될 수 있는데, 이들은: 바이오가스 생성 시스템; 에탄올 발효 시스템, 가령, 옥수수 에탄올 생성 시스템, 맥주 생성 시스템, 와인 생성 시스템; 천연가스 처리 시스템; 시멘트 생성 시스템; 고로 시스템, 예를 들어, 고로 가스를 생성할 수 있는 강철 고로 시스템; 코크 가스 생성 시스템; 발전소 시스템, 가령, 석유 발전소 시스템, 천연가스 발전소 시스템, 석탄 발전소 시스템; 석유 정제 시스템; 에틸렌 생성 시스템; 암모니아 생성 시스템; 수소 생성 시스템, 가령, 물-가스 변환 시스템; 천연가스 처리 설비(예를 들어, Benfield 처리); 산화에틸렌 생성 시스템; 알루미늄 제련 시스템; 액화천연가스(LNG) 생성 시스템; 고체 공급원료 가스화기(예를 들어, 도시의 고형 폐기물, 바이오매스 또는 석탄 공급원료); 개질기(예를 들어, 증기 메탄 개질기, 자열 개질기); Boudouard 반응을 수행하는 시스템; 이산화탄소 공정의 직접 공기 포집(DAC); 행성이나 달의 대기(예를 들어, 화성 대기), 달의 토양(예를 들어, 지구의 달의 토양) 및/또는 이산화탄소를 생성할 수 있는 기타 시스템을 포함한다. 이산화탄소의 상류 공급원은 본 개시내용의 이산화탄소 반응기의 유입물에 직접 연결될 수 있거나(예를 들어, 캐소드 유동장 및/또는 가스 확산층 등을 통해 환원 촉매에 연결되는 것과 같은 유입물 역할을 하거나) 또는 대안적으로 상류 공급원은 정제 시스템; 가스 압축 시스템; 또는 순서에 관계없이 정제 시스템과 가스 압축 시스템 모두에 연결될 수 있으며; 그 뒤 본 개시의 이산화탄소 시스템의 유입물에 연결될 수 있다. 다중 정제 및/또는 가스 압축 시스템(예를 들어, 스크러버 등)이 사용될 수 있다.

[0066] 탄소 산화물 환원 반응기에 대한 유입물으로서 제공되는 이산화탄소, 일산화탄소 또는 카르보네이트는 반응기의 구성 및 작동 조건에 따라 다양한 농도를 가질 수 있다. 특정 실시예에서, 이산화탄소 환원 반응기에 제공되는 이산화탄소는 적어도 약 20 몰%, 적어도 약 40 몰%, 적어도 약 75 몰%, 또는 적어도 약 90 몰%의 농도를 갖는다. 특정 실시예에서, 이산화탄소 환원 반응기에 제공되는 이산화탄소는 약 40 내지 60 몰%의 농도를 갖는

다.

[0067] 전기분해 탄소 산화물 환원 반응기를 위한 상류 물 공급원은 다양한 공급원 및 다양한 형태, 가령, 정제된 수돗물, 정제된 해수, 물의 직접 공기 포집, 선택적으로 이산화탄소 포집의 부산물, 이산화탄소 공급원료, 연료 전지 부산물 등을 생성할 수 있는 연소 공정 중 임의의 하나로부터 나올 수 있다.

[0068] 시스템이 본 개시내용의 이산화탄소 반응기의 유출물에 연결된, 본 개시의 이산화탄소 반응기로부터의 화학적 유출물을 변환할 수 있는 하류 시스템의 유입물을 포함할 수 있다. 예로서, 본 개시내용의 하류 시스템은 다음 중 하나 이상을 포함할 수 있는데, 이들은: 생물반응기 시스템; 피셔-트롭쉬 시스템; 혐기성 발효 시스템; 호기성 발효 시스템, 합성가스 발효 시스템; 케톤 및/또는 폴리케톤 생성 시스템; 포름산염 생성 시스템; 포름산염 에스테르 생성 시스템; 포름아미드 생성 시스템; 하이드로포르밀화 시스템; 메탄올 합성 시스템; 에틸렌 중합 시스템; 포스겐 생성 시스템, 이소시아네이트 생성 시스템, 폴리머(예를 들어, 폴리카르보네이트, 폴리에틸렌 테레프탈레이트 또는 폴리우레탄) 생성 시스템, 모노에틸렌 글리콜 생성 시스템, 폴리에틸렌 글리콜 생성 시스템 및 옥살산 생성 시스템, 및/또는 기타 탄소 산화물 환원 반응기로부터 나오는 화학 유출물을 변환할 수 있는 시스템인다. 본 개시내용의 이산화탄소 반응기 유출물은 (예를 들어, 캐소드 유동장 및/또는 가스 확산층을 통해) 하류 시스템에 직접 연결될 수 있고 및/또는 이산화탄소 반응기 유출물은 정제 시스템; 가스 압축 시스템; 또는 순서에 관계없이 정제 시스템과 가스 압축 시스템 모두에 연결될 수 있으며; 그 뒤 선택적으로는 하류 시스템의 유입물에 연결된다. 다중 정제 시스템 및/또는 가스 압축 시스템이 사용될 수 있다.

[0069] 하류 시스템은 다른 생성물 유출물 외에도 이산화탄소 유출물을 생성할 수 있다. 시스템이 하류 시스템의 이산화탄소 함유 유출물과 이산화탄소 반응기의 유입물 사이의 연결을 추가로 포함할 수 있다. 하류 시스템의 이산화탄소 함유 유출물은 이산화탄소 반응기의 유입물에 직접 연결될 수 있거나 또는 대안적으로 하류 이산화탄소 함유 유출물은 정제 시스템; 가스 압축 시스템; 또는 순서에 관계없이 정제 시스템과 가스 압축 시스템 모두에 연결될 수 있으며; 그 뒤 본 개시내용의 이산화탄소 반응기의 유입물에 연결된다. 다중 정제 시스템 및/또는 가스 압축 시스템이 사용될 수 있다.

[0070] 이산화탄소 반응기가, 하류 시스템 및 공정에 사용할 수 있는 다양한 생성물(예를 들어, 메탄, 에틸렌, 일산화탄소(CO), 분자 수소(H2), 에탄올, 포름산염, 포름산, 아세테이트, 아세트산, 프로판올, 부탄올, 에탄, 메탄올)을 생성할 수 있다. 상이한 이산화탄소 반응기(예를 들어, 다양한 층 스택, 촉매 및/또는 촉매층, PEM, 유동장, 가스 확산층, 전지 압축 구성 및/또는 임의의 다른 적합한 양태 등을 포함하는)를 사용하여 상이한 환원 생성물(예를 들어, HCR과 같은 생성물 조성)을 생성할 수 있지만; 그러나, 작동 파라미터를 조정함으로써 추가적으로 또는 대안적으로 상이한 환원 생성물이 달성될 수 있고 및/또는 그 외에 달리 달성될 수 있다. 가능한 많은 하류 시스템 및 공정은 CO_2를 배출한다(예를 들어, 메탄의 생물학적 활용, 포름산 또는 포름산염의 생물학적 활용, 아세트산 또는 아세테이트의 생물학적 활용, 피셔-트롭쉬 공정 및 메탄올 합성이 포함된다). 특정 적용예에 적합한 크기의 이산화탄소 재순환 시스템이 다수의 경우에 하류 시스템 유출물으로부터 본 개시내용의 이산화탄소 반응기의 유입물으로 CO_2를 복귀시켜 전체 공정의 탄소 효율성을 증가시키는 데 사용될 수 있다.

[0071] 시스템이 이산화탄소 반응기에 연결된 전기 에너지 공급원을 더 포함할 수 있으며, 상기 전기 에너지 공급원은: 태양 전기 에너지 생성 시스템; 풍력 전기 에너지 생성 시스템; 지열 전기 에너지 생성 시스템; 화석 연료 전기 에너지 생성 시스템; 또는 전기 에너지 생성이 가능한 기타 시스템 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0072] 전기 에너지를 화학 에너지의 형태로 저장하기 위해 시스템이 사용될 수 있다. 예를 들어, 전력 생성업체는 오프-피크 사용 기간 동안 과잉 전력을 생성할 수 있다. 탄소 산화물 환원 반응기를 포함하는 시스템은 과잉 전력 소비 요구에 신속하게 대응할 수 있다. 이들은 작동을 위해 예열할 필요가 없으며, 이산화탄소 반응기의 성능 저하 없이 전원 켜기와 전원 끄기 상태 사이를 순환할 수 있다. 전력 활용 요구에 신속하게 대응할 수 있는 능력을 통해 시스템은 태양 전기 에너지 생성 시스템, 및 풍력 전기 에너지 생성 시스템과 같은 간헐적인 전력 공급원과 잘 작동할 수 있다.

[0073] 시스템의 일 실시예가 상류 생물반응기, 이산화탄소 반응기 및 간헐적인 전기 에너지 공급원을 포함할 수 있다. 태양, 또는 풍력, 오프-피크 수요 또는 기타 공급원으로부터 전력을 사용할 수 있는 경우, 전력 가용성 감지기를 사용하여 이산화탄소 반응기를 시작할 수 있다. 또한, 시스템은 예를 들어 상류 생물반응기의 온도를 높이고 상류 생물반응기로의 영양분 흐름을 증가시킴으로써, 상류 생물반응기의 유출물을 증가시킬 수 있다. 다른 상류 이산화탄소 공급원의 경우, 본 개시내용의 이산화탄소 반응기 유입물으로의 이산화탄소 흐름을 증가시키기 위해 필요에 따라 기타 수단이 사용될 수 있다.

[0074] 본원에 개시된 시스템 중 임의의 시스템은 이산화탄소 반응기에 연결된 시스템의 조건, 유출물 및 유입물을 측정하기 위한 구성요소(예를 들어, 센서, 시스템 등)를 포함할 수 있다. 이러한 구성요소는 화학적 특성 측정 시스템, 가령, 가스 크로마토그래프, 질량 분석기, 적외선 분광계, 가시광선 분광계 및/또는 자외선 분광계; 온도 감지기; 유량 측정 센서; 전력 가용성 감지기; 및/또는 기타 모니터링 시스템을 포함할 수 있다. 모니터링 시스템은 유입물 및/또는 유출물 스트림의 파라미터, 유입물 및/또는 유출물 스트림의 구성요소의 파라미터(예를 들어, 불순물 농도, 이산화탄소 농도, 생성물 농도 등)를 모니터링할 수 있고 및/또는 스트림의 임의의 다른 적합한 파라미터를 모니터링 할 수 있다.

[0075] 본원에 개시된 시스템 중 임의의 시스템은 이산화탄소 반응기에 연결된 시스템에서 측정된 조건에 반응하기 위한 구성요소를 포함할 수 있다. 이러한 구성요소에는 유량, 온도, 전력 소비 또는 기타 시스템 파라미터를 조정하기 위한 시스템이 포함될 수 있다. 시스템이 하나 이상의 이산화탄소 반응기를 포함할 수 있다. 그러나, 시스템은 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 적절한 배열로 임의의 다른 적합한 요소를 포함할 수 있다. 다양한 실시예에서, 하나 이상의 모니터링 또는 감지 구성요소는 하나 이상의 작동 조건이 변형되어야 하는지 결정하고 이러한 작동 조건을 변형하기 위해 적절하게 프로그래밍되거나 구성된 논리(예를 들어, 프로세서 및 메모리)를 갖춘 컨트롤러를 포함하는 제어 시스템과 함께 사용된다. 피드포워드 및/또는 피드백 제어 시스템이 사용될 수 있다.

[0076] **3. 방법**

[0077] 방법은 전기화학적 탄소 산화물 환원 반응기를 포함하여 위에서 설명된 구성요소 중 임의의 구성요소를 사용하여 구현될 수 있지만, 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 다른 적합한 시스템(들)을 사용하여 구현될 수 있다. 선택적으로는, 상기 방법은 원하는 비율(예를 들어, 분자 수소 대 CCP 비율(HCR) 및/또는 CCP 대 분자 수소 비율)로 원하는 유출물(예를 들어 CO, H_2 등)을 생성하기 위해 제어된 공정 조건(예를 들어 아래에 더 자세히 설명됨) 하에서 반응기를 작동시키는 단계 및/또는 공정 조건을 변경하여 유출물 및/또는 유출물 비율(예를 들어, 도 1 참조)를 변경시키는 단계를 포함한다.

[0078] 반응기를 작동시키는 단계는, 하나 이상의 유입물(예를 들어, 가스, 액체, 고체 등), 가령, 이산화탄소, 일산화탄소, 탄소 산화물 공급원(예를 들어, 폐가스) 및/또는 물을 제공하는 단계; 유입물의 전부 또는 일부가 반응하도록 하여(예를 들어, 장치 전극에 전압을 가함으로써) 생성물을 생성하는 단계; 및/또는 반응기로부터 생성물(예를 들어, 유출물 가스 스트림으로서)을 제거하는 단계를 포함할 수 있다. 이러한 반응은, 예를 들어, 이산화탄소 및/또는 물을 환원시켜 생성물, 가령, CO(및/또는 기타 다른 CCP, 가령, 포름산, 메탄올, 글리옥살, 메탄, 아세트산, 글리콜알데히드, 에틸렌 글리콜, 아세트알데히드, 에탄올, 에틸렌, 하이드록시아세톤, 아세톤, 알릴 알코올, 프로피온알데히드, n-프로판올 등), 및/또는 H_2와를 생성하는 단계를 포함할 수 있다. 그러나, 반응기를 작동시키는 단계는 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 다른 적합한 반응이 발생하도록 하는 단계를 포함할 수 있고 및/또는 임의의 적합한 방식으로 수행되는 임의의 다른 적합한 요소를 포함할 수 있다.

[0079] 본 방법은 시스템을 제어하여 원하는 유출물 메트릭 값(예를 들어, 원하는 CCP:H_2 비율, 예를 들어, CO:H_2 비율)을 초래하는 것으로 알려진 원하는 공정 조건(예를 들어, 양태) 세트를 달성하는 단계를 포함할 수 있다. 본 방법은 추가적으로 또는 대안적으로, 실제 유출물과 원하는 유출물 사이의 차이에 기초하여(예를 들어, 이 차이를 줄이거나 제거하기 위해) 공정 조건을 변경하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 본 방법은 다음을 포함할 수 있는데, 이들은: 초기 세트의 공정 조건을 부과하는 단계; 하나 이상의 유출물 메트릭(예를 들어, CCP:H_2 비율)을 모니터링 하는 단계; 유출물 메트릭이 목표 유출물 메트릭과 상이한 지를((예를 들어, 목표값보다 큰지 혹은 작은 지를) 결정하는 단계; 유출물 메트릭 차이를 줄이기 위해 하나 이상의 공정 조건을 변경하는 단계(예를 들어, 공정 조건 값의 증가에 따라 유출물 메트릭이 증가하거나 감소하는 경향이 있는 조건과 같은 공정 조건 값을 감소 또는 증가시키는 단계); 및 선택적으로 유출물 메트릭을 계속 모니터링하고 및/또는 공정 조건을 변경하는 다계(예를 들어, 유출물 메트릭을 기반으로 공정 조건의 폐쇄 루프 제어를 구현하는 단계)를 포함한다.

[0080] 본 방법은 선택적으로 어떤 파라미터(들) 또는 양태(들)을 목표로 할지(예를 들어, 주어진 용도 또는 하류 시스템에 대한 주요 파라미터)를 결정하는 기능을 하는 목표 유출물 메트릭(들)을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 특정 공정에 대해 하나 이상의 목표 유출물 메트릭을 선택할 수 있다. 목표 유출물 메트릭은, 용도(예를 들어, 피셔-트롭쉬와 같이 위에서 설명된 용도)와 연관되고(예를 들어, 미리 결정되거나 지시되는 등의); 무작위로 선택되고; 경험적으로 결정되고(예를 들어, 하류 용도 성능의 반복 테스트 및 모니터링을 통해); 최적화되고(예를

들어, 하류 용도 작동 파라미터, 반응기 작동 파라미터 등에 기반); 사용자에 의해 특정되거나; 및/또는 그 밖에 달리 결정되는, 유출물 메트릭일 수 있다.

[0081] 본 방법은 선택적으로는 목표에 대한 값을(값들의 범위로부터) 식별하는 기능을 하는 목표 유출물 메트릭에 대한 목표 값을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 일부 변형예에서, 목표 값은 최대 또는 최소값(예를 들어, 실질적으로 달성 가능한 최대 또는 최소값, 이론적 최대 또는 최소값 등)일 수 있다. 그러나, 목표 값은 추가적으로 또는 대안적으로 극한값이 아닐 수 있다(예를 들어, 중간 값 또는 최대값과 최소값 사이의 값 범위일 수 있음). 목표 값은 용도와 연관되고(예를 들어, 사전결정된, 사전-연관된); 무작위로 선택되고; 경험적으로 결정되고(예를 들어, 반복적인 목표 값 선택, 하류 용도 성능 모니터링의 반복 목표 값 선택 및 용도 성능에 따른 목표 값 조정을 통해); 최적화되거나(예를 들어, 하류 용도 작동 파라미터, 반응기 작동 파라미터 등에 기반); 또는 그 밖에 달리 결정되는, 값일 수 있다. 그러나, 목표 값은 임의의 다른 적합한 값일 수 있으며 임의의 적합한 방식으로 결정될 수 있다.

[0082] 일부 조건 하에서, 본 방법은 95%보다 큰(예를 들어, 최대 100%)의 이산화탄소 변환(예를 들어, CO 분획 수율)을 달성할 수 있으며, 가령, 예를 들어, 이러한 조건 하에서 작동되는 시스템은 적어도 임계값 변환 메트릭을 달성할 수 있다. 그러나, 본 방법은 추가적으로 또는 대안적으로 50%, 60%, 70%, 80%, 90%보다 크거나; 10 내지 100% 사이의 이산화탄소 변환, 가령, 10-40, 30-50, 40-60, 50-70, 60-75, 70-85, 80-95, 90-95, 92-98 및/또는 95-100% 이거나; 및/또는 임의의 다른 적합한 이산화탄소 변환을 달선하는 단계를 포함할 수 있다.

[0083] 본 방법은 선택적으로 반응기 생성물(또는 이의 서브세트)을 생성물의 하류 소비자에게 제공하는 것을 포함한다(예를 들어, 가령, 반응기 유출물의 용도와 관련하여, 위에서 설명한 바와 같이, 예시 섹션에서와 같이 아래에 설명된 바와 같이). 본 방법은 선택적으로 반응기 생성물이 생성된 후(예를 들어, 변경된 생성물을 하류 소비자에게 공급하기 전 등) 반응기 생성물을 변경하는 단계를 포함할 수 있다. 반응기 생성물을 변경하는 단계는 선택적으로 생성물을 정제하는 단계(예를 들어, 반응기 유출물 스트림으로부터 SOx 및/또는 NOx와 같은 불순물을 제거하는 단계)를 포함할 수 있다. 반응기 생성물을 변경하는 단계는 원하는 유출물 메트릭을 달성하기 위해 추가 가스(및/또는 다른 물질)를 반응기 유출물 스트림(및/또는 유입물 스트림)에 혼합하는 단계로 추가적으로 또는 대안적으로 포함할 수 있다. 일 변형예에서, 반응기 유출물의 $CO:H_2$ 비율이 원하는 값과 상이한 경우, 비율은 반응기 유출물을 다른 가스(예를 들어, 실질적으로 순수한 CO 및/또는 H_2; CO와 H_2의 또 다른 혼합물, 가령, 예를 들어, 이전에 생성되고 저장된 반응기 유출물, 제2 반응기 유출물, 다른 시스템의 유출물 및/또는 폐가스 등)와 혼합함으로써 비율을 조정할 수 있다. 예를 들어, 유출물 스트림(및/또는 반응기의 다른 부분에 있는 가스)의 $CO:H_2$ 비율을 모니터링 할 수 있으며(예를 들어, 반응기 생산 동안 연속적으로), 기타 가스에 혼합함으로써(예를 들어, 비율을 높이기 위해 CO 및/또는 CO 풍부 혼합물을 첨가하고, 비율을 줄이기 위해서는 H_2 및/또는 H_2 풍부 혼합물을 첨가함으로써) 원하는 값으로부터의 편차를 보상할 수 있다. 상기 예는, (예를 들어, 폐쇄 루프 제어에 관해 위에서 설명한 대로) 반응기 유출물을 변형하기 위해 공정 조건을 변경하는 단계도 포함할 수 있다. 외부 가스 공급 장치(예를 들어, 제철소와 같은 하나 이상의 다른 시스템의 유출물 가스 및/또는 폐가스)가 하류 소비자(예를 들어, 가스 발효기)에 공급되는 제2 변형예에서, 반응기 생성물은 외부 가스 공급장치의 $CCP:H_2$ 비율(예를 들어, $CO:H_2$ 비율)을 변경하는 데 사용된다(예를 들어, 외부 가스 공급장치의 $CCP:H_2$ 비율이 원하는 값과 상이한 경우, 원하는 값을 달성하기 위해 반응기 생성물에서 혼합할 수 있다). 예를 들어, 원하는 값으로부터 외부 가스 공급의 편차를 기반으로, 공정 조건을 제어하여 반응기 생성물의 $CO:H_2$ 비율을 변경할 수 있거나(예를 들어, CO-부족 외부 가스 공급에 대응하여 비율이 증가되거나, CO 풍부 외부 가스 공급에 대응하여 비율이 감소하거나) 및/또는 외부 가스 공급장치에 혼합되는 반응기 생성물의 양이 제어될 수 있다(예를 들어, 원하는 값을 달성하기 위해). 그러나, 반응기 유출물 스트림은 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 다른 적합한 방식으로 변경될 수 있거나 또는 변경 없이 사용될 수도 있다.

[0084] 일부 예에서, 본 방법은 시스템의 하나 이상의 상류 및/또는 하류 요소(예를 들어, 하류 반응기, 상류 유입물 등)와 연관된 하나 이상의 메트릭(예를 들어, 작동 메트릭)을 결정하는 단계를 포함한다. 이러한 작동 메트릭은, 예를 들어, 반응기 조건, 가령, 온도, 압력 등; 하류 반응기 및/또는 상류 공급원 유출물 메트릭, 가령, 유출물량, 조성, 순도 등; 유입물량, 조성, 순도 등; 하류 반응기(들)에 대한 기타 유입물과 연관된 메트릭, 가령, 유입물량, 조성, 순도 등; 반응기 효율 메트릭; 및/또는 기타 임의의 다른 적합한 메트릭을 포함할 수 있다. 이러한 예에서, 본 방법은, (예를 들어 하류 반응기의 작동을 개선 및/또는 유지하기 위해; 이산화탄소 반응기의 작동을 개선 및/또는 유지하기 위해, 가령, 상류 공급원의 변화를 수용하기 위해; 목표 유출물

메트릭, 가령, HCR 또는 환원 생성물 농도, 가령, 주어진 가변 이산화탄소 공급원 등을 개선 및/또는 유지하기 위해), 가령, 예를 들어, 이산화탄소 반응기 유출물의 HCR을 변경함으로써, 메트릭에 기초하여, 이산화탄소 반응기 작동을 변경하는 단계를 포함할 수 있다. 그러나, 본 방법은 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 다른 적합한 메트릭을 결정하는 단계 및/또는 임의의 다른 적합한 방식으로 (예를 들어, 메트릭에 기초하여) 작동하는 단계를 포함할 수 있다.

[0085] **4. 공정 조건**

[0086] 공정 조건은, 예를 들어, 유입물 이산화탄소 유량 및/또는 압력, 유입물 가스 수화, 전류 밀도, 전압(예를 들어, 약 1.5 V 내지 3 V 사이에 유지하거나, 추가적으로 또는 대안적으로, 약 1.5V 미만에서 작동되거나, 약 2 V-2.5 V 사이, 약 2 V-4 V 사이, 약 4 V 초과 및/또는 임의의 다른 적합한 전압) 및/또는 온도를 포함할 수 있다. 공정 조건은 추가적으로 또는 대안적으로 시스템 구성, 가령, 가스 확산층 양태, 촉매 양태, 유동장 양태 및/또는 PEM 양태를 포함할 수 있다. 그러나, 다른 적합한 공정 조건을 제어하거나 목표로 삼을 수 있다. 공정 조건은 제어되지 않을 수 있거나(예를 들어, 상류 시스템에 의해 지시됨), 목표 값을 충족하도록 제어될 수 있거나(예를 들어, 목표 값은 반응기 유출물, 순간 또는 예상 반응기 작동 파라미터를 수용하거나 그 밖에 달리 결정되는 용도에 기초하여 결정될 수 있음) 또는 달리 결정될 수 있다.

[0087] 공정 조건은 압력(예를 들어, 유입물 가스 압력, 반응기 압력 등), 가령, 대기압보다 큰(예를 들어, 임계 압력 범위 내 및/또는 초과, 가령, 예를 들어 약 1-5, 약 5 -10, 약 10-20, 약 20-50, 약 50-100, 약 100-300, 약 300-1000, 약 1-10, 약 5-50, 약 10-100, 약 20-500 및/ 또는 약 1000 atm 초과, 약 14-50, 약 50-150, 약 100-300, 약 200-500, 약 500-1000, 약 750-1500, 약 1000-3000, 약 3000-10,000, 약 10,000-20,000 및/또는 약 20,000 psi 초과 등) 및/또는 기체상 전해기 이외의 전해기에서 일반적으로 실현 가능한 압력보다 높지만, 추가적으로 또는 대안적으로 1기압과 실질적으로 동일하거나 약 1기압 미만의 압력 및/또는 기타 적절한 압력을 포함할 수 있다. 공정 조건은 온도(예를 들어, 반응기 온도), 가령, 일반적인 실온보다 높은(예를 들어, 약 25-50, 약 40-60, 약 50-100, 약 50-75, 약 70-100 및/또는 약 100℃초과 등) 및/또는 기체상 전해기 이외의 전해기에서 일반적으로 실현 가능한 온도보다 높지만, 추가적으로 또는 대안적으로 실온과 실질적으로 동일한 온도(예를 들어, 약 20-30° C), 실온 미만의 온도 및/또는 임의의 다른 적합한 온도를 포함할 수 있다. 그러나, 공정 조건은 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 다른 적합한 공정 조건을 포함할 수 있다.

[0088] 더 높은 이산화탄소 유량은 CO와 같은 CCP의 생성 증가(예를 들어, 환원을 위한 이산화탄소의 더 큰 가용성으로 인해)로 이어질 수 있으며, 이에 따라 증가된 CCP:H_2 비율(및 그에 따라 더 낮은 이산화탄소 유량이 CCP 생성 및 CCP:H_2 비율로 이어질 수 있다). 일부 실시예에서, 더 높은 이산화탄소 유량은 또한 감소된 이산화탄소 변환 효율을 초래할 수 있으며, 이에 의해 유출물 스트림(예를 들어, 합성가스 산출물)을 미반응 이산화탄소로 희석시킬 수 있다. 예를 들어, 이산화탄소 유량(예를 들어, 반응기 입구에서 측정된)은 약 0.1-1000 sccm/cm^2(예를 들어, 약 0.1-1, 약 1-10, 약 10-100 및/또는 약 100-1000 sccm/cm^2) 범위의 하나 이상의 값으로 유지될 수 있다.

[0089] 유입물 가스 유량에 기초한 제어의 제1 특정예에서, 3중 굴곡형 유동장을 갖는 반응기 구성 A가 사용되고, 반응기 압력은 실질적으로 120 psi로 유지되고, 전류 밀도는 실질적으로 500 mA/cm^2로 유지되며, 반응기 온도는 실질적으로 30 ° C로 유지된다. 이 특정예에서, 실질적으로 순수한 이산화탄소 가스는 다양한 유량에서 유입물되며, 여기서, 12 sccm/cm^2, 20 sccm/cm^2 및 40 sccm/cm^2의 유입물 유량(예를 들어, 반응기 입구에서 측정된)은 각각 약 1:1, 2:1.1, 4:1의 CO:H_2 비율을 초래한다.

[0090] 유입물 가스 유량에 기초한 제어의 제2 특정예에서, 굴곡형 유동장을 갖는 반응기 구성 A가 사용되고, 반응기 압력은 실질적으로 130 psi로 유지되고, 전류 밀도는 실질적으로 500 mA/cm^2로 유지된다. 이 특정예에서, 40 sccm/cm^2 유량의 실질적으로 순수한 이산화탄소 가스 유입물은 대략 8:2의 CO:H_2 비율을 초래하는 반면, 12 sccm/cm^2 유량은 대략 1:1 비율을 초래한다.

[0091] 더 높은 이산화탄소 압력은 증가된 CCP 분획 수율 및/또는 CCP:H_2 비율을 초래할 수 있다(그리고 이에 상응하여, 더 낮은 이산화탄소 압력은 감소된 CCP 분획 수율 및/또는 CCP:H_2 비율을 초래할 수 있다). 첫 번째로, 이산화탄소 압력이 증가하면 환원을 위한 이산화탄소의 가용성이 높아져 CCP의 총 생성량이 증가할 수

있다. 두 번째로, 촉매에서의 더 높은 압력은 촉매(예를 들어, 캐소드로부터)로의 물 유입을 감소시켜 환원에 이용 가능한 물의 양을 줄일 수 있고, 이는 CCP:H_2 비율을 직접적으로 증가시킬 수 있고 및/또는촉매 반응 부위에 대한 경쟁 및/또는 반응 에너지(예를 들어, 이산화탄소 감소에 유리함)을 감소시킬 수 있다. 따라서, 일부 실시예(예를 들어, 높은 CCP 분획 수율 및/또는 CCP:H_2 비율이 바람직한 경우)에서는, 높은 반응기 압력(예를 들어, 100 psi 초과, 이산화탄소 상 전이 압력, 가령, 1070 psi의 임계 압력 이하)이 사용될 수 있다. 예를 들어, 반응기 압력은 약 1-1100 psi 범위(예를 들어, 약 1-10, 약 10-100, 약 100-300, 약 200-600, 및/또는 약 500-1100 psi) 범위의 하나 이상의 값 및/또는 기타 적절한 압력으로 유지될 수 있다.

[0092] 반응기 압력에 기초한 제어의 일 특정예에서, 단일 굴곡형 유동장을 갖는 반응기 구성 A가 사용되고, 실질적으로 순수한 이산화탄소 가스는 약 100 sccm/cm^2에서 유입물되고, 전류 밀도는 실질적으로 약 150 mA/cm^2에서 유지되며, 반응기 온도는 거의 20 ° C로 유지된다. 이 특정예에서, 반응기 압력은 실질적으로 다양한 압력으로 유지되며, 여기서, 25, 50, 75 및 100 psi의 반응기 압력은 각각 대략 3:2, 2.4:1, 3:1 및 5:1의 CO:H_2 비율 및 약 59%, 69%, 75% 및 84%의 CO 분획 수율을 초래한다.

[0093] 유입물 가스 수화의 증가는 물 환원의 증가(예를 들어, 환원을 위한 물의 더 큰 가용성으로 인해)를 유도할 수 있으며, 이에 따라 CCP:H_2 비율의 감소를 가져올 수 있다. 실질적으로 순수한 이산화탄소 유입물의 경우, 소량의 물만 촉매에 도달하여(반응기의 캐소드 측에서 거의 독점적으로 유입됨) CCP:H_2 비율이 높아진다. 대조적으로, 수화된 유입물 가스를 사용하는 경우, 유입물 가스로부터 상당한 양의 물이 촉매에 도달하여 반응할 수 있다. 예를 들어, 유입물 가스 수화(예를 들어, 유입물 가스 중 수증기의 비율)는 0%(예를 들어, 실질적으로 순수한 이산화탄소, 실질적으로 수화되지 않은 유입물 가스) 내지 100%(예를 들어, 0-1, 1-3, 3-5, 5-7, 7-10, 10-15, 15-25, 25-50, 50-75 및/또는 75-100%) 범위의 하나 이상의 값으로 유지될 수 있다.

[0094] 압력 가스 수화에 기초한 제어의 일 특정예에서, 단일 굴곡형 유동장을 갖는 반응기 구성 A가 사용되고, 전류 밀도는 실질적으로 50 mA/cm^2로 유지되고, 반응기 압력은 실질적으로 12 psi로 유지되며, 반응기 온도는 실질적으로 20 ℃로 유지된다. 이 특정예에서, 가변 양의 수화를 갖는 이산화탄소 가스는 100 sccm/cm^2로 유입물되며, 여기서 순수한 이산화탄소 유입물 가스는 약 3:2의 CO:H_2 비율을 생성하고, 12.2% 수화를 갖는 유입물 가스는 약 1:5.67의 CO:H_2 비율을 초래하고, 중간 수화량은 이 두 값 사이의 CO:H_2 비율을 초래한다.

[0095] 반응기는 전류 밀도와 관련하여 상이한 CCP 및 H_2 생성 방식을 나타낼 수 있다. 이상적인 반응기에서는, 낮은 전류 밀도에서 물 환원이 발생하지 않고 모든 전류가 이산화탄소를 환원시키는 데 사용되므로 CO 생성이 전류에 대해 실질적으로 선형 의존성(linear dependence)을 초래하고 H_2 생성은 실질적으로 발생하지 않는 반면에, 더 높은 전류 밀도에서는 추가 전류(예를 들어, 실질적으로 모든 이산화탄소가 이미 소비되어 버린 임계 전류 초과)는 물을 환원하기 위해 사용되며, 결과적으로 추가 전류에 대한 H_2 생성이 실질적으로 선형 의존성과 실질적으로 일정한 CO 생성(예를 들어 도 3A와 같이)을 초래한다. 다수의 일반적인 반응기에서, 이러한 이상은 느슨해졌지만, 두 가지 일반적인 방식이 여전히 나타난다. CO 생성은 낮은 전류 밀도 영역에서 H_2 생성보다 훨씬 빠르게 증가한 다음, 더 높은 전류 밀도 영역에서 안정기에 접근하는 반면, H_2 생성은 더 빠르게 증가한다. (예를 들어 도 3B에 도시된 바와 같이). 본 방법은 광범위한 전류 밀도 중 일부 또는 전부에서 작동함으로써(예를 들어, 낮은 및/또는 높은 전류 밀도 방식 내에서 반응기 작동을 제어함으로써) CO 및/또는 H_2 생성을 제어(예를 들어, CO:H_2 비율 제어)하는 단계를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 기체상 유입물 이산화탄소의 사용은 상대적으로 높은 전류 밀도를 가능하게 할 수 있다(수성 이산화탄소를 사용하는 반응기는 수십 mA/cm^2 이하의 전류 밀도로 제한될 수 있음). 예를 들어, 본 방법은 약 1mA/cm^2 내지 100A/cm^2 사이(예를 들어, 약 1-75mA/cm^2, 약 50-100mA/cm^2, 약 100-200mA/cm^2, 약 200-500mA/cm^2, 약 500-1000mA/cm^2, 약 50-1000mA/cm^2, 약 0.5-10A/cm^2, 약 1-2A/cm^2, 약 2-5A/cm^2, 약 5-10A/cm^2, 약 5-100A/cm^2, 약 10-20A/cm^2, 약 20-50A/cm^2, 약 50-100A/cm^2 등; 임계값 이상 또는 이하, 가령, 약 50mA/cm^2, 약 65mA/cm^2, 약 80mA/cm^2, 약 90mA/cm^2, 약 100mA/cm^2, 약 110mA/cm^2, 약 120mA/cm^2, 약 130mA/cm^2, 약 140mA/cm^2, 약 150mA/cm^2, 약 200mA/cm^2, 약 300mA/cm^2, 약 500mA/cm^2, 약 700mA/cm^2, 약 1000mA/cm2, 약 1500mA/cm^2 등)의 전류 밀도 및/또는 다른 적합한 전류 밀도에서

작동하는 단계를 포함할 수 있다.

[0096] 일부 실시예에서, 반응기 온도가 증가하면 CO:H_2 비율이 감소할 수 있다(예를 들어, 캐소드로부터 물의 유입 증가, 물의 반응성 증가 등으로 인해). 본 방법은, CO:H_2 비율 및/또는 기타 적합한 유출물 메트릭을 제어하기 위해, 작동 범위, 가령, 최소 온도(예를 들어, 0℃와 같은 물 동결 온도)와 최대 온도(예를 들어, 약 40℃약 50℃약 60℃약 75° C 등; 100° C와 같은 물 끓는점 온도) 사이 범위 내에서 반응기 온도를 제어하는 단계를 포함할 수 있다.

[0097] 반응기 온도에 기초한 제어의 일 특정예에서, 4중 굴곡형 유동장을 갖는 반응기 구성 A가 사용되고, 실질적으로 순수한 이산화탄소 가스는 70 sccm/cm^2로 유입물되고, 전류 밀도는 실질적으로 150 mA/cm^2로 유지되고, 반응기 압력은 실질적으로 100 psi로 유지된다. 이 특정예에서, 반응기 온도는 다양한 온도에 실질적으로 유지되며, 26.7, 35, 38.7 및 41.9℃의 반응기 온도는 각각 대략 1:0.4, 2:1, 1:1.8 및 1:3의 CO:H_2 비율을 초래한다.

[0098] 가스 확산층(GDL)의 특성은 추가적으로 또는 대안적으로 CCP 및/또는 H_2 생성에 영향을 주도록 사용될 수 있다. 예를 들어, GDL 소수성은 H_2 생성을 변경할 수 있는데(예를 들어, 물 수송에 영향을 끼침으로써), 여기서 더 친수성인 GDL은 H2 생성에 바람직하고(따라서 CCP:H_2 비율을 감소시키고), 더 소수성인 GDL은 H_2 생성을 억제한다(따라서 CCP: H_2 비율을 증가시킨다). 그 밖의 다른 GDL 특성, 가령, 두께 및/또는 공극 크기는 반응기 유출물을 변경하는 데 사용될 수 있다.

[0099] 막(예를 들어, 폴리머 전해질 막)의 특성은 추가적으로 또는 대안적으로 CCP 및/또는 H_2 생성에 영향을 주기 위해 사용될 수 있다. 예에서, CCP 생성에 유리한 음이온 교환막을 사용하여 높은 CCP:H_2 비율을 달성할 수 있고, H_2 생성에 유리한 양이온 교환막을 사용하여 낮은 CCP:H_2 비율을 달성할 수 있으며, 다양한 음이온 및 양이온 수송 특성(예를 들어, 이동도)을 나타내는 하이브리드 막(예를 들어, 음이온 및 양이온 수송을 모두 가능하게 하는)을 사용하여 다양한 중간 비율(예를 들어, 더 높은 비율에 대해 음이온 수송에 바람직한 막, 더 낮은 비율에 대해서는 양이온 수송에 바람직한 막)을 달성할 수 있다.

[0100] 촉매의 특성(예를 들어, 입자 크기, 촉매 종 등)은 추가적으로 또는 대안적으로 CCP 및/또는 H_2 생성에 영향을 주도록 사용될 수 있다. 예를 들어, 더 큰 촉매 입자는 이산화탄소 수송을 불량하게 하여, CCP 생성을 억제하고 CCP:H_2 비율을 감소시키는 반면, 더 작은 촉매 입자는 CCP 생성에 바람직하여, 비율을 증가시킬 수 있다. 수소 발생을 위한 높은 변환 빈도를 갖는 활성 부위("수소 부위") 및 이산화탄소 환원을 위한 높은 변환 빈도를 갖는 활성 부위("이산화탄소 부위")의 상대적 수는 추가적으로 또는 대안적으로 촉매 입자 크기에 따라 달라질 수 있는데; 즉, 더 큰 촉매 입자는 이산화탄소 부위에 대해 높은 비율의 수소 부위를 가져 H_2 생성에 바람직한 반면, 더 작은 촉매 입자는 일반적으로 낮은 비율을 가져 CO 생성에 바람직하다. 촉매 유형(예를 들어, 촉매 종)은 하나 이상의 촉매 재료의 혼합물을 사용하는 것과 같이 반응기 유출물을 제어하기 위해 추가적으로 또는 대안적으로 사용될 수 있으며, 여기서 제1 세트의 촉매 재료(예를 들어, 금)는 이산화탄소 환원에 바람직하고, 제2 세트의촉매 재료(예를 들어, 백금)는 물 환원에 바람직하다. 예에서, 실질적으로 순수한 금 촉매를 사용하여 높은 CCP:H_2 비율을 달성할 수 있고, 실질적으로 순수한 백금 촉매를 사용하여 낮은 CCP:H_2 비율을 달성할 수 있으며, 가변 조성의 금-백금 혼합물(예를 들어, 합금 입자, 금 입자와 백금 입자의 혼합물)을 사용하여 다양한 중간 비율을 달성할 수 있다(예를 들어, 비율이 높을수록 금이 많고 비율이 낮을수록 백금이 많음). 촉매는 추가적으로 또는 대안적으로 V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Sn, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, Hf, Ta, W, Re, Ir, Hg, Al, Si, In, Ga, Tl, Pb, Bi, Sb, Te, Sm, Tb, Ce, Nd 및/또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 촉매는 추가적으로 또는 대안적으로 하나 이상의 지지 구조(예를 들어, 지지 입자, 지지체 매트릭스 등)와 연관될 수 있으며(예를 들어, 부착, 지지, 내장, 인접, 접촉할 수 있음), 이 지지 구조는 탄소, 붕소가 도핑된 다이아몬드 및/또는 불소가 도핑된 산화주석과 같은 전도성 지지 구조일 수 있다. 그러나, 촉매는 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 다른 적합한 재료를 포함할 수 있다.

[0101] 촉매 입자 크기에 기초한 제어의 일 특정예에서, 2개의 촉매 입자 크기를 갖는 반응기 구성 A의 변형예가 사용되며, 둘 다 반응기 온도는 실질적으로 30℃로 유지되고, 반응기 압력은 실질적으로 100 psi로 유지되고, 서로 맞물린 유동장을 가지며, 실질적으로 순수한 이산화탄소 가스는 10 sccm/cm^2로 유입물되고, 전류 밀도는 실질적

으로 500 mA/cm^2로 유지된다. 제1 세트의 촉매 입자는 4nm의 특징적인 크기를 가지며(표준 반응기 구성 A에서와 같이), HCR은 1:1.6이고 전압은 3.8V이다. 제2 세트의 촉매 입자는 20nm의 특징적인 크기를 가지며, HCR은 1:2.8이고 전압은 4.2V이다.

[0102] 반응기 전지 압축의 특성은 추가적으로 또는 대안적으로 CCP 및/또는 H_2 생성에 영향을 주도록 사용될 수 있다. 반응기 전지 압축을 기반으로 한 제어의 일 특정예에서, 반응기 구성 A는 두 개의 상이한 개스킷 두께와 함께 사용되며(더 큰 개스킷 두께에 대해 더 큰 압축이 발생함), 둘 다 반응기 온도는 실질적으로 30℃로 유지되고, 반응기 압력은 실질적으로 100 psi로 유지되며, 3중 굴곡형 유동장을 가지며, 실질적으로 순수한 이산화탄소 가스는 40 sccm/cm^2로 유입물되고, 전류 밀도는 실질적으로 500 mA/cm^2로 유지된다. 제1 개스킷의 두께는 0.012 인치이며, HCR은 1:4이고 전압은 3.6V이다. 제2 개스킷의 두께는 0.010 인치이며, HCR은 1:10.1이고 전압은 3.8V이다.

[0103] 유동장의 특성은 추가적으로 또는 대안적으로 CCP 및/또는 H_2 생성에 영향을 주도록 사용될 수 있다. 유동장 특성에 기초한 제어의 제1 특정예에서, 반응기 구성 A는 두 가지 상이한 공정 조건 세트 하에서 사용되는데, 둘 다 반응기 온도는 실질적으로 30℃로 유지되고, 반응기 압력은 실질적으로 120 psi로 유지된다. 제1 세트의 조건에서, 서로 맞물린 유동장을 사용하고, 실질적으로 순수한 이산화탄소 가스를 10 sccm/cm^2로 유입물하고, 전류 밀도를 실질적으로 160 mA/cm^2로 유지하여, CO:H_2 비율이 1.6:1이 되게 했다. 제2 세트의 조건에서는, 4중 굴곡형 유동장을 사용하고, 실질적으로 순수한 이산화탄소 가스를 40 sccm/cm^2로 유입물하고, 전류 밀도를 실질적으로 120 mA/cm^2로 유지하여, CO:H_2 비율이 18.5:1이 되게 했다.

[0104] 유동장 특성에 기초한 제어의 제2 특정예에서, 반응기 구성 A는 두 개의 상이한 공정 조건 세트 하에서 사용되며, 둘 다 반응기 온도는 실질적으로 30℃로 유지되고, 반응기 압력은 실질적으로 100 psi로 유지되고, 실질적으로 순수한 이산화탄소 가스는 40 sccm/cm^2로 유입물되고, 전류 밀도는 실질적으로 500 mA/cm^2로 유지된다. 제1 조건 세트에서는, 서로 맞물린 유동장이 사용되며 3.6V의 전압이 실질적으로 유지되어 CO:H_2 비율이 1.6:1이 되게 했다. 제2 조건 세트에서는, 3중 굴곡형 유동장이 사용되며, 3.8V의 전압이 실질적으로 유지되어, CO:H_2 비율이 10.1:1이 되게 했다.

[0105] 그러나, 임의의 다른 적합한 유동장은 추가적으로 또는 대안적으로 반응기 유출물을 제어하기 위해 사용될 수 있고, 그 공정 조건은 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 다른 적합한 반응기 조건을 포함할 수 있으며, 본 방법은 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 적합한 방식으로 반응기 유출물을 제어하는 단계를 포함할 수 있다.

[0106] **5. 불순물 내성**

[0107] 일부 실시예에서, 가령, 반응기가 높은 압력에서 작동되고 및/또는 촉매가 낮은 전압(예를 들어, 애노드에 대해 음의 전압)으로 유지되는 실시예에서, 본 시스템 및/또는 방법은 불순물 및/또는 희석된 이산화탄소 유입물(예를 들어, 다른 이산화탄소 반응기와 비교하여)에 대한 높은 내성, 가령, 반응기 유입물 내의 불순물에 의한 중독 및/또는 메탄, CO, O_2 및/또는 N_2와 같은 종에 의해 희석된 유입물에 대한 높은 내성을 달성할 수 있다. 예를 들어, 본 방법은 목표 공정 조건(예를 들어, PEM 유형과 같은 반응기 구성, 높은 목표 반응기 압력 등)을 결정하여 불순물 및/또는 희석된 유입물 내성을 달성하는 단계(예를 들어, 항상 이러한 공정 조건을 선택하거나; 불순물 및/또는 희석된 상태 등과 같은 반응기 유입물의 현재 및/또는 예상 상태에 대응하는 공정 조건을 선택하는 단계)를 포함할 수 있다. 이러한 불순물은, 반응기 유입물 스트림(예를 들어, 석탄 및/또는 천연가스 연소 생성물, 가령, 석탄-화력 발전소 또는 천연가스-화력 발전소의 유출물) 내에 일반적으로 존재하는 종, 가령, SOx 및/또는 NOx를 포함할 수 있고 및/또는 그 밖의 다른 임의의 불순물, 가령, 암모니아, 황화수소, 수은을 포함할 수 있다. 일 예에서, 본 시스템 및/또는 방법은, CO, O_2 및 N_2 불순물, 예를 들어, 10% 이하의 합계와 함께, 최대 4% CO, 6% O_2, 10% N_2, 800 ppm NOx 및/또는 100 ppm SOx를 포함하는 유입물 스트림을 사용하여 효과적으로 기능할 수 있다.

[0108] 희석 유입물 내성의 일 특정예에서, 단일 굴곡형 유동장을 갖는 반응기 구성 A가 사용되고, 전류 밀도는 실질적으로 160 mA/cm^2로 유지되고, 반응기 압력은 실질적으로 110 psi로 유지되고, 반응기 온도는 실질적으로 20° C

로 유지되고, 메탄 또는 질소에 다양한 희석 수준을 갖는 이산화탄소-함유 가스가 200 sccm/cm^2로 유입물된다. 이 특정예에서, 반응기 성능은 최소 50% 메탄까지 메탄 희석에 매우 관대한데, 여기서 0%, 25%, 50%의 메탄 농도로 인해 CO:H_2 비율이 9.5:1 내지 8.5:1이 되고 CO 분획 수율은 90%보다 크게 된다. 75% 메탄을 사용하면 보다 현저한 성능 감소가 관찰되며, CO 분획 수율은 약 84%로 감소한다. 이 특정예에서, 질소 희석에 대한 유사한 내성이 관찰되며, 여기서 질소 농도가 0%, 25%, 50% 및 75%이면 CO:H_2 비율이 9:1 내지 8:1이 되고, 최대 50%의 질소 농도는 85%보다 큰 CO 분획 수율을 초래한다(75% 질소 농도로 인해 약 81%의 CO 분획 수율이 발생함).

[0109] 불순물 내성의 일 특정예에서, 단일 굴곡형 유동장을 갖는 반응기 구성 A가 사용되고, 전류 밀도는 실질적으로 150 mA/cm^2로 유지되고, 반응기 압력은 실질적으로 100 psi로 유지되고, 반응기 온도는 실질적으로 20° C 및 25° C로 유지되고, 다양한 불순물을 갖는 이산화탄소-함유 가스가 100 sccm/cm^2로 유입물된다. 이 특정예에서, 다양한 불순물 조건 하에서 반응기 유출물 메트릭(예를 들어, CO 분획 수율)은 동일한 조건이지만 실질적으로 불순물이 없는 이산화탄소 유입물을 사용하는 기준 반응기 성능과 비교된다. 이 특정예에서, 반응기 성능은 CO 농도 4% 이하, NOx 농도 800 ppm 이하, SOx 농도 120 ppm 이하 또는 산소 농도 6%에 대해 기준 성능에서 크게 벗어나지 않는 것으로 나타났다.

[0110] 그러나, 본 시스템 및/또는 방법은 추가적으로 또는 대안적으로 불순한 및/또는 희석 유입물에 대한 임의의 적절한 내성을 나타내거나 그러한 내성을 나타내지 않을 수도 있다.

[0111] 특정 실시예에서, 불순물 또는 다중 불순물이 탄소 산화물 환원 반응기를 통해 유출물 스트림으로 전달되고, 여기서 이들은 (a) 또 다른 화학 반응기의 상류에서 분리되고 및/또는 (b) 또 다른 화학 반응기로 전달된다. 유출물 스트림 내의 불순물이 또 다른 화학 반응기로 전달되는 실시예에서, 불순물은 해당 공정의 화학적 조작 시에 다른 반응기에 의해 사용될 수 있다. 예를 들어, 황화수소 또는 기타 황-함유 불순물은 하류 생물반응기에서 미생물 종에 의해 사용될 수 있다.

[0112] **6. 시스템 구성 선택**

[0113] 하나 이상의 시스템 구성은 유출물 HCR 고려사항, 가령, 원하는 유출물 HCR(예를 들어, 공정 조건의 특정 세트 및/또는 허용 가능한 공정 조건의 범위) 및/또는 HCR 범위에 기초하여 사용될 수 있다.

[0114] 일부 실시예에서, 이는: 제1 반응기(예를 들어, 전해기, 가령, 기체상 전해기)에서, 탄소 산화물을 포함하는 유입물을 수용하고, 유입물(예를 들어, 공정 조건의 제1 세트 하에서)로부터 제1 환원 생성물(예를 들어, 분자 수소 및/또는 제1 HCR에서 탄소 산화물 유입물 이외의 하나 이상의 CCP)을 전기화학적으로 생성하는 것을 포함한다. 제1 반응기 설계 및 그 작동 조건의 선택은 원하는 HCR 및/또는 HCR 범위(예를 들어, 하류 반응기 메트릭, 시장 가격 메트릭, 효율성 메트릭 및/또는 임의의 다른 적합한 메트릭을 기반으로 함)를 결정하고, 제1 HCR 및/또는 원하는 HCR에 기초한 구성(예를 들어, 제2 반응기가 제1 HCR에 비해 원하는 HCR에 더 가까운 HCR을 갖는 환원 생성물을 생성하거나 유출물할 수 있도록), 선택적으로 실질적으로 제1 세트의 공정 조건 하에 있지만 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 다른 적합한 공정 조건 하에서), 시스템을 선택하는(예를 들어, 제2 반응기에 대한) 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제2 반응기에 대한 구성은 제2 반응기가 제1 반응기와 실질적으로 동일한 조건 하에서(예를 들어, 공정 조건의 제1 세트 하에서 유입물을 수용하면서) 유입물으로부터 제2 환원 생성물을 생성하도록 선택될 수 있으며, 여기서 제2 환원 생성물은 분자 수소 및 제1 환원 생성물과 동일한 CCS를 포함하고(예를 들어, 제1 환원 생성물에 존재하는 실질적으로 모든 종을 포함함), 제2 환원 생성물은 제1 HCR과 실질적으로 상이한 제2 HCR을 형성하고, 제2 HCR은 제1 HCR보다 원하는 HCR에 더 가까울 수 있다. 상기 예 및/또는 본원에 기술된 임의의 다른 실시예에 대해, 제1 HCR과 제2 HCR 사이의 실질적인 차이는, 제2 HCR을 포함할 수 있으며, 제1 HCR보다 원하는 HCR에 더 가깝고; 제1 HCR과 적어도 1%, 5%, 10%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 0.5-5%, 2-10%, 5-25%, 20-50%, 40-80% 및/또는 75-100% 만큼 차이가 나며(예를 들어, 제1 HCR보다 크거나 작음); 및/또는 기타 제1 HCR과 다르다.

[0115] 일부 실시예에서, 시스템 구성을 선택하는 것은 유출물 HCR을 변경하는 것과 같은 PEM의 하나 이상의 양태를 선택하는 것을 포함할 수 있다. 그러한 선택에는 막 조성(예를 들어, 상이한 폴리머 종) 및/또는 미세구조의 선택, 막 층 두께의 선택, 및/또는 PEM의 임의의 다른 적합한 양태의 선택이 포함될 수 있다. 일부 예에서, 이러한 선택은 음이온 교환막 및/또는 양성자 교환막의 두께를 선택하는 것을 포함한다(예를 들어, 더 많은 AEM을 갖는 양극성 PEM은 더 많은 양성자 교환막을 갖는 것보다 더 낮은 유출물 HCR을 생성하는 경향이 있음). 제1 특정예에서, 더 얇은 AEM(예를 들어, 제1 반응기 AEM의 두께와 같은 기준 AEM 두께보다 얇은, 최적의 CCP 생성에

실질적으로 대응하는 최적화된 AEM 두께보다 더 얇은 등)을 선택하면 더 높은 유출물 HCR을 생성하도록 구성되는 반응기가 생성될 수 있는 반면, 더 두꺼운 AEM(예를 들어, 기준 AEM 두께보다 두껍지만 선택적으로는 최적화된 AEM 두께보다는 두껍지 않음)을 선택하면 반응기는 더 낮은 유출물 HCR을 생성하도록 구성될 수 있다.

[0116] 시스템 구성을 선택하는 것은 추가적으로 또는 대안적으로 유출물 HCR을 변경하는 것과 같이 반응기 촉매(들)(예를 들어, 환원 촉매, 산화 촉매)의 하나 이상의 양태를 선택하는 것을 포함할 수 있다. 일부 변형예에서, 반응기 촉매 양태를 선택하는 것은 촉매층 두께를 선택하는 것을 포함할 수 있다(예를 들어, 더 두꺼운 환원 촉매는 더 높은 HCR을 생성하는 경향이 있을 것이다). 일 예에서는, 더 두꺼운 환원 촉매층(예를 들어, 제1 반응기 환원 촉매층의 두께와 같은 기준 환원 촉매층 두께보다 두껍거나, 실질적으로 최적 CCP 생성에 상응하는 최적화된 환원 촉매층 두께보다 두꺼운)을 선택하면, 더 높은 유출물 HCR을 생성하도록 구성된 반응기를 생성할 수 있는 반면, 더 얇은 환원 촉매층(예를 들어, 기준 환원 촉매층 두께보다 얇지만 선택적으로는 최적화된 환원 촉매층 두께보다 얇지 않은)을 선택하면 더 낮은 유출물의 HCR을 생성하도록 구성된 반응기를 생성할 수 있다.

[0117] 반응기 촉매 양태를 선택하는 것은 추가적으로 또는 대안적으로 (예를 들어, 촉매층이 다공성 네트워크를 형성하는 나노입자와 같은 촉매 입자를 포함하는 실시예에서) 촉매 다공성을 선택하는 것을 포함할 수 있다(예를 들어, 여기서 더 다공성인 환원 촉매 네트워크는 더 낮은 HCR을 생성하는 경향이 있음). 일 예에서, 덜 다공성인 환원 촉매 네트워크(예를 들어, 제1 반응기 환원 촉매 네트워크의 다공성과 같은 기준 환원 촉매보다 덜 다공성, 최적의 CCP 생성에 실질적으로 대응하는 최적화된 환원 촉매보다 덜 다공성)를 선택하면, 더 높은 유출물의 HCR을 생성하도록 구성된 반응기를 생성할 수 있는 반면, 더 많은 다공성 환원 촉매(예를 들어, 기준 환원 촉매보다 더 다공성이지만 선택적으로는 최적화된 환원 촉매보다 더 다공성이지 않음)를 선택하면 더 낮은 유출물 HCR을 생성하도록 구성된 반응기가 생성될 수 있다.

[0118] 반응기 촉매 양태를 선택하는 것은 추가적으로 또는 대안적으로, (예를 들어, 촉매층이 나노입자와 같은 촉매 입자, 및 촉매 입자가 폴리머 전해질을 함유하고 및/또는 폴리머 전해질을 포함하는 매질 내에 혼합되는 다공성 네트워크를 형성하는 것과 같은 하나 이상의 폴리머 전해질을 포함하는 실시예에서) 촉매-대-폴리머 전해질 비율(CPR), (예를 들어, 더 높은 환원 촉매 CPR이 더 높은 HCR을 생성하는 경향이 있음), 다공성 환원 촉매 네트워크에 로딩하는 폴리머 전해질의 정도를 선택하는 것을 포함한다. 일 예에서, 더 높은 환원 촉매 CPR(예를 들어, 제1 반응기 환원 촉매 네트워크의 CPR과 같은 기준 환원 촉매 CPR보다 더 높은 CPR, 최적의 CCP 생성에 실질적으로 대응하는 최적화된 환원 촉매보다 더 높은 CPR 등)을 선택하면, 더 높은 유출물 HCR을 생성하도록 구성된 반응기를 생성할 수 있는 반면, 더 낮은 CPR 환원 촉매(예를 들어, 기준 환원 촉매보다 더 낮지만 선택적으로는 최적화된 환원 촉매 CPR보다는 낮지 않음)를 선택하면 반응기가 더 낮은 유출물 HCR을 생성하도록 구성될 수 있다.

[0119] 반응기 촉매 양태를 선택하는 것은 추가적으로 또는 대안적으로, (예를 들어, 촉매층이 나노입자와 같은 촉매 입자를 포함하는 실시예에서) 특정 촉매 입자 크기(예를 들어, 더 큰 입자 크기가 더 높은 HCR를 생성하는 경향이 있음)를 선택하는 것을 포함할 수 있다. 일 예에서, 더 큰 환원 촉매 입자 크기(예를 들어, 제1 반응기 환원 촉매와 같은 기준 환원 촉매의 입자보다 더 큰 크기, 최적의 CCP 생성에 실질적으로 대응하는 최적화된 환원 촉매보다 더 큰 크기 등)를 선택하면, 더 높은 유출물 HCR을 생성하도록 구성된 반응기를 생성하는 반면, 더 작은 환원 촉매 입자 크기(예를 들어, 기준 환원 촉매의 입자보다 작지만, 예를 들어 최적화된 환원 촉매의 입자보다는 작지 않음)를 선택하면 더 낮은 유출물 HCR을 생성하도록 구성되는 반응기가 생성될 수 있다. 그러나, 본 방법은 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 다른 적합한 반응기 촉매 양태를 선택하는 것을 포함할 수 있다.

[0120] 본 방법은 추가적으로 또는 대안적으로 반응기 전지 압축(예를 들어, 더 낮은 압축은 더 높은 HCR을 초래하는 경향이 있고, 더 높은 압축은 더 낮은 HCR을 초래하는 경향이 있음), 유동장, 및/또는 시스템의 임의의 다른 적합한 양태를 선택하는 것을 포함할 수 있다.

[0121] 2018년 1월 22일에 출원된 미국 가출원번호 62/619,996, 2018년 1월 22일에 출원된 미국 가출원번호 62/620,109, 및 2018년 6월 15일에 출원된 미국 가출원번호 62/685,771은, 각각 그 전체 내용이 참조로 본원에 통합된다.

[0122] 전해기 설계 및 작동 조건은 특정 용도에 맞게 그리고 특정 조성을 갖는 캐소드 유출물을 생성하기 위해 조정될 수 있다. 일부 구현예에서, 하나 이상의 일반 원칙이 적용되어 필요한 유출물 스트림 조성을 생성하도록 작동될 수 있다.

[0123] 1. 캐소드 활성 부위에서 이산화탄소 반응물 가용성을 제한하고 및/또는 캐소드에서 전류 밀도를 증가시킨다.

이러한 작동 조건 범위는 다음과 같은 결과를 생성하는 경향이 있다: (a) 초기에, 이산화탄소 반응물 가용성이 감소하거나 전류 밀도가 증가하면 CO로 변환되는 CO_2의 비율이 증가한다(즉, 유출물 스트림에서 $CO:CO_2$가 증가함); (b) 어떤 시점에서, 이산화탄소 반응물 가용성을 추가로 감소시키거나 전류 밀도를 증가시키면 수소 이온 환원 반응이 더욱 두드러지게 된다(즉, H_2:CO 증가). 상대적으로 적은 이산화탄소 유입물/가용성으로 작동할 수 있는 전해기는 이산화탄소가 전해기 캐소드의 활성 부위에 도달하는 것을 제한하는 유동장 또는 가스 확산 구성요소를 가질 수 있다. 특정 실시예에서, 서로 맞물려 있지 않은 유동장 설계 및 CO_2 공급원과 캐소드 사이의 굴곡형 경로와 같은 긴 경로를 갖는 이러한 유동장 설계는 더 높은 $CO:H_2$ 비율을 초래한다. 서로 맞물린 유동장은 유입물 가스(탄소 산화물)가 유동장의 상이한 위치로 배출되기 전에 가스 확산층을 통과하게 한다. 서로 맞물리지 않은 설계는 탄소 산화물 공급 가스가 캐소드 안팎으로 흐르는 긴 연속 경로를 갖는다. 입구측 채널은 출구측 채널과 이격되어 배열된다. 특정 실시예에서, 상대적으로 두꺼운 가스 확산 전극은 CO2 덩어리 수송을 캐소드 활성 부위로 제한하고, 따라서 $CO:CO_2$ 및/또는 H_2:CO의 비율을 증가시키는 경향이 있다.

[0124] 2. 수소 이온을 캐소드에서 상대적으로 더 많이 이용할 수 있게 한다. 캐소드에서 수소 이온의 이용 가능성을 상대적으로 더 높이면 H_2:CO 비율이 상대적으로 높은 캐소드 생성물 스트림을 생성할 수 있다. 상대적으로 수소가 풍부한 생성물을 제공하도록 구성된 전해기는: (a) 이산화탄소 반응물(앞의 1에 설명된 바와 같이)의 캐소드를 고갈시키고, (b) 상대적으로 높은 수소 이온 플럭스가 그들이 생성된 애노드로부터 캐소드로 수송되게 하거나, 및/또는 (c) 상대적으로 높은 전지 온도에서 작동하는 설계를 사용할 수 있다. 캐소드로의 상대적으로 높은 수소 이온의 플럭스로 작동할 수 있는 전해기는 캐소드에서 양이온 전도성 폴리머 및/또는 혼합된 이온 전도성 폴리머를 갖는 MEA를 가질 수 있다. 대안적으로 또는 추가로, 캐소드 완충층을 포함하는 MEA에서, 이 층은 상대적으로 얇고 및/또는 상대적으로 높은 수소 이온 전달 수(transference number)를 갖도록 설계된다.

[0125] 3. 캐소드에서 수소 이온의 이용 가능성을 낮추라. 캐소드에서 수소 이온을 상대적으로 더 적게 만드는 것은 $CO:H_2$의 비율이 상대적으로 높은 캐소드 생성물 스트림을 생성할 수 있다. 상대적으로 수소가 부족한 생성물을 제공하도록 구성된 전해기는: (a) 주어진 전류 밀도에 대해 잉여 이산화탄소 반응물을 캐소드에 제공하고, (b) 수소 이온이 캐소드에 도달하는 것을 방지하는 MEA 설계를 포함하거나, 및/또는 (c) 상대적으로 낮은 전지 온도에서 작동하는 설계를 사용할 수 있다.

[0126] ***높은 CO_2 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제***

[0127] 특정 실시예에서, 전해기는 작동 시에 $CO:CO_2$ 몰비가 적어도 약 1:1, 적어도 약 1:2 또는 적어도 약 1:3인 유출물 스트림을 생성하고 실제로 생성하도록 구성된다. 높은 CO 유출물 스트림은 대안적으로 적어도 약 25 몰%, 적어도 약 33 몰%, 또는 적어도 약 50 몰%의 CO 농도를 갖는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0128] 특정 실시예에서, 이러한 높은 일산화탄소 유출물 농도는 다음 작동 조건 중 어느 하나 또는 임의의 조합을 생성하도록 이산화탄소 전해기를 작동함으로써 획득된다:

[0129] 캐소드에서, 적어도 약 300 mA/cm2의 전류 밀도,

[0130] 최대 약 4, 또는 최대 약 2.5, 또는 최대 약 1.5의 CO_2 화학량론적 유량(본원의 다른 곳에 기술된 바와 같음),

[0131] 최대 약 80℃또는 최대 약 65℃의 온도,

[0132] 약 75 내지 400 psig의 압력 범위,

[0133] 약 0.1 내지 50 mM 바이카르보네이트 염의 양극수(anode water) 조성, 및

[0134] 적어도 약 1의 양극수 pH.

[0135] 특정 실시예에서, 전해기는 다음 특성 중 임의의 하나 또는 임의의 조합을 갖는 이산화탄소 전해기를 사용하여 본원에 정의된 바와 같이 높은 $CO:CO_2$ 몰비 또는 농도를 선호하도록 구축될 수 있다:

[0136] 상대적으로 작은 나노입자 캐소드 촉매(예를 들어, 평균 약 0.1-15 nm의 최대 치수를 가짐),

[0137] 캐소드 촉매 재료로서 금,

[0138] 약 5-20 um의 캐소드 촉매층 두께,

[0139] 미세다공층(MPL)을 갖는 캐소드 가스 확산층(GDL),

[0140] 약 1-20 중량%, 또는 약 1-10 중량%, 또는 약 1-5 중량%로 존재하는 PTFE를 갖는 캐소드 GDL,

[0141] 적어도 약 200 um의 두께를 갖는 GDL,

[0142] 적어도 약 5 um의 두께를 갖는 음이온-교환 캐소드 완충층을 갖는 I 양극성 MEA, 및

[0143] 평행 및/또는 굴곡형 유동 경로를 갖는 캐소드 유동장.

[0144] ***높은 환원 생성물 (H2+CO) 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제***

[0145] 특정 실시예에서, 전해기는 적어도 약 2:1 또는 적어도 약 1:2 또는 적어도 약 1:2 또는 최소 1:3의 $(H_2+CO):CO_2$ 몰비를 갖는 유출물 스트림을 생성하도록 구성되고 작동에서 실제로 생성한다.

[0146] 특정 실시예에서, 이러한 높은 환원 생성물 유출물 농도는 다음 작동 조건 중 임의의 하나 또는 임의의 조합을 생성하도록 이산화탄소 전해기를 작동시킴으로써 획득된다:

[0147] 적어도 약 300mA/cm2의 전류 밀도,

[0148] 최대 약 4, 또는 최대 약 2.5, 또는 최대 약 1.5의 CO_2 화학량론적 유량,

[0149] 최대 약 125℃의 온도,

[0150] 최대 약 800 psi의 압력,

[0151] 약 0 내지 500 mM 바이카르보네이트 염의 양극수 조성, 및

[0152] 약 0-15의 양극수 pH.

[0153] 특정 실시예에서, 전해기는 다음 특성 중 임의의 하나 또는 임의의 조합을 갖는 이산화탄소 전해기를 사용하여 본원에 정의된 바와 같이 높은 $(CO+H_2):CO_2$ 몰비 또는 농도를 선호하도록 구축될 수 있다:

[0154] 나노입자 캐소드 촉매(예를 들어, 평균 약 0.1-1000 nm의 최대 치수를 가짐),

[0155] 캐소드 촉매 재료로서 전이 금속,

[0156] 약 0.1-100 um의 캐소드 촉매층 두께,

[0157] 미세다공층(MPL)이 있거나 없는 캐소드 가스 확산 층,

[0158] 약 0-70중량% PTFE를 갖는 GDL,

[0159] 약 10-1000 um 두께의 GDL, 및

[0160] 약 0-100 um 두께의 음이온-교환 캐소드 완충층을 갖는 양극성 MEA.

[0161] ***수소 풍부 생성물 스트림 작동 파라미터 체제***

[0162] 특정 실시예에서, 이산화탄소 전해기는 적어도 약 1:1의 몰비로 H_2:CO를 갖는 유출물 스트림을 생성하고, 작동시에 실제로 생성하도록 구성된다.

[0163] 특정 실시예에서, 이러한 수소 풍부 유출물 농도는 다음 작동 조건 중 임의의 하나 또는 임의의 조합을 생성하도록 이산화탄소 전해기를 작동함으로써 획득된다:

[0164] 적어도 약 300 mA/cm2의 전류 밀도,

[0165] 최대 약 2의 캐소드로의 CO2 재료 전달 화학량론적 유량,

[0166] 적어도 약 65℃또는 적어도 약 80℃의 온도,

[0167] 약 75 내지 500 psig의 압력 범위,

[0168] 순수한 물 또는 적어도 약 50 mM 바이카르보네이트 염의 양극수 조성, 및

[0169] 최대 약 1의 애노드 물 pH.

[0170] 특정 실시예에서, 전해기는 다음 특성 중 임의의 하나 또는 임의의 조합을 갖는 이산화탄소 전해기를 사용하여 본원에 정의된 바와 같이 수소 풍부 몰비 또는 농도를 선호하도록 구축될 수 있다:

[0171] 상대적으로 큰 나노입자 캐소드 촉매(예를 들어, 평균 적어도 약 80 nm의 최대 치수를 가짐),

[0172] 캐소드 촉매 재료로서 은, 팔라듐, 또는 아연,

[0173] 최대 약 5 um의 캐소드 촉매층 두께 또는 적어도 약 25 um의 두께,

[0174] 미세다공층(MPL)이 없는 캐소드 가스 확산 층,

[0175] PTFE가 존재하지 않거나 적어도 약 20중량% PTFE를 갖는 캐소드 GDL,

[0176] 최대 약 200 um 또는 적어도 약 500 um의 두께를 갖는 캐소드 GDL, 및

[0177] 약 0-5 um 두께의 음이온-교환 캐소드 완충층을 갖는 양극성 MEA.

[0178] ***높은 환원 생성물 대 수소 생성물 스트림 작동 파라미터 체제***

[0179] 특정 실시예에서, 이산화탄소 전해기는 적어도 약 2:1의 몰비로 CO:H_2를 갖는 유출물 스트림을 생성하고, 작동 시에 실제로 생성하도록 구성된다.

[0180] 특정 실시예에서, 이러한 생성물 풍부 유출물 농도는 다음 작동 조건 중 임의의 하나 또는 임의의 조합을 생성하도록 이산화탄소 전해기를 작동함으로써 획득된다:

[0181] 캐소드에서, 적어도 약 300 mA/cm2의 전류 밀도,

[0182] 적어도 약 1.5, 또는 적어도 약 2.5, 또는 적어도 약 4의 캐소드로의 CO_2 재료 전달 화학량론적 유량,

[0183] 최대 약 80℃의 온도,

[0184] 약 75 내지 400 psig의 압력 범위,

[0185] 약 0.1 mM 내지 50 mM 바이카르보네이트 염의 양극수 조성, 및

[0186] 약 1보다 큰 양극수 pH.

[0187] 특정 실시예에서, 전해기는 다음 특성 중 임의의 하나 또는 임의의 조합을 갖는 이산화탄소 전해기를 사용하여 본원에 정의된 바와 같이 생성물 풍부 몰비 또는 농도를 선호하도록 구축될 수 있다:

[0188] 상대적으로 작은 나노입자 촉매(예를 들어, 평균 약 0.1-15 nm의 최대 치수를 가짐),

[0189] 캐소드 촉매 재료로서 금,

[0190] 약 5-20 um의 캐소드 촉매층 두께,

[0191] 미세다공층(MPL)을 갖는 캐소드 가스 확산층,

[0192] 약 1-20 중량%, 또는 약 1-10 중량%, 또는 약 1-5 중량%로 존재하는 PTFE를 갖는 캐소드 GDL,

[0193] 적어도 약 200 um의 두께를 갖는 캐소드 GDL, 및

[0194] 적어도 약 5 um의 두께를 갖는 음이온-교환 층을 갖는 양극성 MEA.

[0195] ***화학량론적 유량***

[0196] 몰 유량이 전지에 전달되는 전류에 의해 적어도 부분적으로 결정될 수 있다는 점을 고려하면, 몰 유량은 전류에 결합될 수 있다. 예를 들어, 유입물 스트림 중 탄소 산화물의 몰 유량은 주어진 전류에 대해 예상되는 반응 단위당 유량으로 정의될 수 있다. 본원에서, 용어 "화학량론적" 유량은, 탄소 산화물의 환원 반응이 캐소드에서 주어진 반응에 대해 100% 효율적이라는 가정 하에, 캐소드에서 모든 전류를 완전히 활용하는 데 필요한 반응물 탄소 산화물의 유량의 일부 또는 배수를 지칭한다. 화학량론적 값이 "1"인 탄소 산화물의 유량은 캐소드에서 주어진 환원 반응에서 캐소드에 제공된 모든 전자를 소비하는 데 필요한 유량이며 그 이상은 아니다. 다르게 말하면, 화학량론적 유량은 주어진 반응에 대한 전류 효율이 100%인 경우 이론적으로 반응할 수 있는 것 이상(또는 그 이하)에 존재하는 과잉(또는 부족) 반응물의 양이다.

[0197] 산성 환경에서 일산화탄소를 생성하는 이산화탄소 환원 반응($CO_2 + 2H^+ + 2e- \rightarrow CO + H_2O$)의 경우, 화학량론적 값이 1인 이산화탄소 유량은 전지에서 제공되는 전자 2몰당 1몰의 이산화탄소를 제공한다. 달리 말하면, 2 몰의 전자/초를 제공하는 전류 및 1몰의 이산화탄소 분자/초를 제공하는 이산화탄소 유량을 갖는 전지는 1의 화학량론적 유량을 가질 것이다. 동일한 전류 및 0.5 이산화탄소 몰/초의 유량에 대해, 전지는 0.5의 화학량론적 유량을 가질 것이다. 그리고, 다시 동일한 전류 그러나 1.5 이산화탄소 몰/초의 유량에 대해, 전지는 1.5의 화학량론적 유량을 가질 것이다. 1의 화학량론적 유량을 달성하기 위해 필요한 몰 유량은 다음과 같이 계산될 수 있다:

[0198] 화학량론적 유량 (seem) = [60 (s/min) * STP에서의 몰 가스 부피 (mL/mol)] / [패러데이 상수 (C/mol e-) * #e-'s/몰 CO_2] * 전해기에 공급되는 전류의 암페어.

[0199] 전류의 총 암페어는 전해기에서 전류 밀도, 전해기 전지의 면적 및 전지의 수로부터 계산될 수 있다:

[0200] 전류 암페어 = 전류 밀도 * 전해기 전지 면적 * 전지 수

[0201] 일 예에서, CO_2의 CO로의 전기화학적 환원을 수행하는 500 mA/cm^2의 전류 밀도를 갖는 100 cm^2 전해기는 50A의 총 전류를 갖고 반응은 2몰의 e-/몰 생성된 CO를 필요로 하므로, 1의 화학량론적 유량은 다음과 같다:

[0202] [60*22,413] / [9,6485 * 2] * 50 = 348.4 sccm

[0203] 이 예에서, 0.5의 화학량론적 유량은:

[0204] 0.5 * 348.4 = 174.2 sccm.

[0205] 그리고, 2의 화학량론적 유량은:

[0206] 2 * 348.4 = 696.8 sccm.

[0207] 이산화탄소로부터 에틸렌을 생성하는 전지의 또 다른 예에서, 2 몰의 이산화탄소를 1 몰의 에틸렌으로 환원시키기 위해 12 몰의 전자가 필요하다. 전류 밀도가 300 mA/cm2인 3 전지 1500cm2 전해기에 대한 화학량론적 유량은:

[0208] [60*22,413] / [96,485 * 6] * 1350 = 3,136 sccm.

[0209] 캐소드 유출물 스트림 내의 가스의 몰비에 대한 특정 전해기 설계 및 작동 파라미터의 효과에 대한 다양한 예는 2021년 11월 4일에 출원된 미국 가특허출원 63/263,567에 제시되어 있으며, 이는 본원에 참조문헌으로 통합되어 있다.

[0210] 다양한 실시예에서, 탄소 산화물 전해기의 애노드에서 생성된 산소는 통합 공정에서 사용된다. 예로서, 전해기에서 생성된 산소는 부분 산화 가스화 공정, 호기성 발효 공정, 산소 탈분극 전극을 사용하는 전기분해 공정 등에 사용될 수 있다. 통합체예의 일 예에서, 피셔-트롭쉬 반응기를 갖는 시스템이 피셔-트롭쉬 반응기에 대한 유입물으로서 합성가스를 생성하고 바이오매스의 가스화를 위한 반응기에 대한 유입물으로서 산소를 생성하도록 구성된 이산화탄소 전해기를 사용할 수 있고, 이는 또한 피셔-트롭쉬 반응기에 대한 유입물을 위한 합성가스를 생성할 수 있다.

[0211] **7. 통합 체계**

[0212] 시스템 및/또는 방법의 선택적인 실시예 및/또는 요소에 관한 추가 정보가 아래에 제공된다.

[0213] 본 개시내용의 탄소 산화물 반응기로부터의 생성물 가스는 하나 이상의 하류 공정에서 사용될 수 있다. 예를 들어, 합성가스 생성을 위해 구성된 개시내용의 이산화탄소 반응기가 CO, H_2, 및/또는 CO_2의 스트림을 유출할 수 있다. 탄소 산화물 전해기의 작동 중에 생성된 열은 가열이 필요한 하나 이상의 상류 및/또는 하류 공정에서 사용될 수 있다.

[0214] ***호기성 및 혐기성 발효***

[0215] 이 유출물 스트림은 미생물(예를 들어, 클로스트리디움 오토에타노제눔(Clostridium autoethanogenum), 클로스트리디움 카르복시도보란스(Clostridium carboxidovorans), 클로스트리디움 륭달리(Clostridium ljungdahlii), 클로스트리디움 라그스달레이(Clostridium ragsdalei), 클로스트리디움 테르모아세티쿰(Clostridium

thermoaceticum), 클로스트리디움 테르모오토트로피쿰(Clostridium thermoautotrophicum), 에우박테리움 리모숨(Eubacterium limosum), 펩토스트렙토코쿠스 프로둑투스(Peptostreptococcus productus), 부티리박테리움 메틸로트로피쿰(Butyribacterium 메틸otrophicum), 아세토젠(acetogen), 대장균(E. coli) 등)이 CO, H_2, 및/또는 CO 및 CO_2에 함유된 탄소의 일부의 에너지를 사용하여 하나 이상의 생물산물(예를 들어, 에탄올, 아세트산, 부탄올, 부티르산, 메탄, 등)을 생성하는 생물반응기의 유입물에 공급될 수 있다. 미사용 탄소는 하류 생물반응기의 유출물로부터 (예를 들어 CO_2로서, 선택적으로는 수증기 및/또는 기타 휘발성 화합물과 함께) 방출될 수 있다.

[0216] 하류 생물반응기의 유출물로서 방출된 CO_2는 (예를 들어, 생물산물 생성의 탄소 효율을 증가시키기 위해, 이산화탄소 반응기 작동을 제거하기 위해 등) 본 개시내용의 이산화탄소 반응기의 유입물로 선택적으로 다시 재순환될 수 있다. 일부 실시예에서, 이 CO_2가 본 개시내용의 이산화탄소 반응기 진입(예를 들어 재진입)하기 전에 처리하는 것이 바람직할 수 있다. 예를 들어, 수증기가 제거될 수 있고, 이산화탄소 반응기 기능을 억제할 임의의 휘발성 생성물이 제거될 수 있고 및/또는 CO_2가 본 개시내용의 이산화탄소 반응기의 작동에 필요한 수준으로 가압될 수 있다. 생물반응기를 떠나는 이산화탄소는 대기압에 가깝거나 및/또는 임의의 다른 적합한 압력을 가질 수 있고, 전형적인 이산화탄소 반응기 압력은 20 psi 내지 800 psi, 50 psi 내지 400 psi, 100 psi 내지 500 psi, 및/또는 임의의 다른 적합한 범위일 수 있다. 일부 예에서, 수증기는 상 분리기 및/또는 건조제(예를 들어, 상 분리기에 이어서 건조제)에 의해 제거된다. 일부 예에서, 휘발성 생성물은 산화, 적합한 흡착제에 대한 흡착 및/또는 응축에 의해 제거된다. CO_2 압축기는 CO_2의 압력을 이산화탄소 반응기에 적합한 압력까지 상승시키기 위해 사용될 수 있다. 이산화탄소 반응기가 저압 CO_2에서 작동할 수 있고 수증기 또는 하류 생물반응기로부터의 CO_2 스트림 유출물에서 발견되는 임의의 휘발성 화합물에 의해 억제되지 않는 경우, 시스템은 단순화되어 불필요한 정제 및 압축 시스템 및 공정을 제거할 수 있다.

[0217] 하류 생물반응기에서 각각의 리터의 배양 배지에 대해, 이산화탄소 반응기의 유출물부터 가스의 약 1 sccm 내지 1000 sccm 또는 약 1 sccm 내지 2000 sccm 또는 약 10 sccm 내지 500 sccm의 범위 또는 임의의 다른 적합한 범위의 유량이 바람직할 수 있다. 하류 생물반응기에서 각각의 리터의 배양 배지에 대해, 배출된 CO_2는 약 1 sccm 내지 2000 sccm 또는 약 10 sccm 내지 1000 sccm 또는 약 10 sccm 내지 500 sccm의 범위 또는 임의의 다른 적합한 범위에 있을 수 있다. 하류 생물반응기에서 각각의 리터의 배양 배지에 대해, 생물반응기로부터 배출되는 유출물 가스 스트림 중의 수증기는 부피로 스트림의 약 1%-2%, 부피로 스트림의 약 2%-5%, 부피로 스트림의 약 5%-10%, 부피로 스트림의 약 10%-25%, 부피로 스트림의 약 25% 내지 50%, 부피로 스트림의 약 50% 내지 90% 및/또는 임의의 다른 적합한 양일 수 있다. 하류 생물반응기를 떠나는 휘발성 생성물은 약 0.1% 미만, 부피로 스트림의 약 0.5% 미만, 부피로 스트림의 약 1% 미만, 부피로 스트림의 약 4% 미만 및/또는 스트림의 임의의 다른 적합한 양을 구성할 수 있다.

[0218] 일부 미생물 공정은 본 개시내용의 이산화탄소 반응기에 의해 생성된 합성가스를 사용할 수 있다. CO, H_2 및 선택적으로는 CO_2의 합성가스 유출물 스트림은 다양한 유용한 화합물(예는 에탄올, 아세트산, 부탄올, 부티르산, 아세톤, 메탄을 포함함) 생성을 위한 미생물 공정이 발생하는 하류 생물반응기에 대한 공급원료로서 사용될 수 있다. 합성가스 스트림 자체는 하류 생물반응기에서 미생물이 성장하기에 필요한 모든 영양소를 포함하지 않을 수 있다. 생물반응기에 다른 영양소를 첨가하는 것이 미생물을 성장시키고 생성물을 생성하기 위해 필요할 수 있다. 적합한 미생물의 예는 클로스트리디움 오토에타노제눔(Clostridium autoethanogenum), 클로스트리디움 카르복시도보란스(Clostridium carboxidovorans), 클로스트리디움 륭달리(Clostridium ljungdahlii), 클로스트리디움 라그스달레이(Clostridium ragsdalei), 클로스트리디움 테르모아세티쿰(Clostridium thermoaceticum), 클로스트리디움 테르모오토트로피쿰(Clostridium thermoautotrophicum), 에우박테리움 리모숨(Eubacteriumlimosum), 펩토스트렙토코쿠스 프로둑투스(Peptostreptococcus productus), 부티리박테리움 메틸로트로피쿰(Butyribacterium 메틸otrophicum), 아세토젠(acetogen), 및/또는 대장균(E. coli)을 포함한다.

[0219] 하류 생물반응기에 도입하기에 특히 어려울 수 있는 한 영양소는 황이다. 많은 미생물이 특정 아미노산 합성 및 효소 공정을 위해 황을 필요로 한다. 황에 내성인 본 개시내용의 이산화탄소 반응기는(예를 들어, 합성가스를 하류 생물반응기에 제공하는 것에 추가하여) 하류 생물반응기로의 황의 첨가를 단순화할 수 있다. 하나 이상의 황-함유 화학종(SCS) 형태의 황, 예컨대 H_2S, SO_2 및/또는 다른 황 산화물(SOx)이 본 개시내용의 이산화탄소 반응기의 유입물에 공급되는 CO_2 가스에 존재할 수 있다. H_2S는 변화 없이 본 개시내용의 이산화탄소 반응기를 통

과하고 합성가스 유출물 스트림과 함께 배출될 수 있다. SCS(예를 들어, SO_2 및/또는 SO_x)는 변화 없이 통과할 수 있고 및/또는 하나 이상의 다른 SCS(예를 들어, H_2S)로 변환될 수 있고, 합성가스 유출물 스트림을 갖는 유출물일 수 있다. 황 화학종(예를 들어, H_2S, SO_2 및/또는 SO_x)을 추가로 포함하는 합성가스는 이후 (예를 들어, 추가의 황 영양소에 대한 필요 없이) 하류 생물반응기의 유입물에 공급될 수 있다. 황 화학종 농도는 약 1ppm-10ppm, 약 5ppm-50ppm, 약 5ppm-100ppm, 약 10ppm 내지 200ppm, 약 20ppm 내지 1000ppm 및/또는 임의의 다른 적합한 범위의 범위일 수 있다.

[0220] 일부 실시예에서, 이산화탄소 반응기는 하나 이상의 가스 발효 반응기(예를 들어, 이산화탄소 반응기의 하나 이상의 생성물을 수용하는 것과 같은 이산화탄소 반응기의 하류)에 연결될 수 있다. 상기 방법은 탄소 효율 및/또는 에너지 효율을 최적화 하는 것과 같이 이러한 결합에 기초하여 반응기 작동을 제어하는 것을 임의로 포함할 수 있다. 표 1에 나타난 에너지 균형에서 알 수 있는 바와 같이, 아세토겐은 유입물로서 순수한 CO를 사용하여 가장 에너지 효율적이며, 많은 경우에, 원하는 최종 생성물에 대한 최고 선택도를 또한 나타낸다. 그러나, 통합된 전기화학적 가스 발효 시스템이 여러 이유로 수소-함유 합성가스를 활용하도록 설계될 수 있는 경우가 존재한다.

[0221] 표 1

[0222] $$6CO + 3H_2O \rightleftharpoons C_2H_5OH + 4CO_2 \quad \Delta G^{\circ\prime} = -217\ kJ/mol \quad (1)$$
$$3CO + 3H_2 \rightleftharpoons C_2H_5OH + CO_2 \quad \Delta G^{\circ\prime} = -156.9\ kJ/mol \quad (2)$$
$$2CO + 4H_2 \rightleftharpoons C_2H_5OH + H_2O \quad \Delta G^{\circ\prime} = -136.8\ kJ/mol \quad (3)$$
$$2CO_2 + 6H_2 \rightleftharpoons C_2H_5OH + 3H_2O \quad \Delta G^{\circ\prime} = -96.7\ kJ/mol \quad (4)$$

[0223] 하류 생물반응기에서 전자 전달 화학의 대부분 또는 전부에 CO를 사용하는 것은 전형적으로 CO_2의 생성을 야기하며, 이는 이후 생물반응기의 유출물 스트림에서 배기될 수 있다. 전형적으로, 합성가스 중의 수소의 비율이 증가함에 따라 더 적은 CO_2가 생성되고, CO_2 부산물은 수소 대 일산화탄소의 특정 비율 이상으로 화학량론적으로 제거될 수 있다. 에탄올로의 가스 발효의 경우에, 예를 들어 약 1:2 미만의 $CO:H_2$ 비율은 전형적으로 에탄올 최종 생성물로의 모든 유입물 탄소의 혼입을 초래할 것이다. 따라서, 본 개시내용의 이산화탄소 반응기의 유출물 스트림 중의 $CO:H_2$ 비율의 조정은 운영자가 더 많은 H_2 생성으로의 전환에 의해 탄소 효율을 최적화(예를 들어, CO_2 방출을 최소화) 하거나 및/또는 더 많은 CO 생성으로의 전환에 의해 에너지 효율 최적화를 가능하게 할 수 있다. 유입물 비용의 모니터링, 가령, 일간 전력 가격 또는 탄소 이용에 대한 인센티브의 모니터링은 언제든지 최적의 작동 파라미터를 통지할 수 있다. 이러한 방식으로 생성을 조정하는 것은 또한, 예를 들어, 더 많은 에탄올 생성(예를 들어, 더 많은 CO) 또는 더 많은 아세테이트 생성(예를 들어, 더 많은 H_2)을 향해 추진시켜 유출물을 변경시킬 수 있다. 유출물의 시장 가격 모니터링은 임의의 주어진 시간에 최적의 작동 파라미터를 통지할 수 있다(예를 들어, 여기서 작동 파라미터는, 예컨대 생성물의 시장 가격을 최적화하기 위해 또는 반응기 작동의 총 이익을 최적화하기 위해, 시장 가격에 기초하여 결정된다).

[0224] 그러나, 시스템 및/또는 방법은 추가적으로 또는 대안적으로 임의의 다른 적합한 요소를 포함할 수 있다.

[0225] CO_2 전해기 및 호기성 발효 반응기로 구성된 시스템이 단백질, 폴리하이드록시알카노에이트, 아세톤, 이소프로판올, 에탄올 및 기타 생성물과 같은 생성물을 생성하기 위해 사용될 수 있다. CO_2 전해기는 CO_2, 물 및 전기 유입을 수용하고, 산소 스트림 및 CO_2, 수소, 미반응 CO_2 및 물에서 얻은 하나 이상의 탄소-기반 생성물(들)을 포함하는 별도의 스트림을 유출한다. 탄소-기반 생성물은 CO, 메탄, 에틸렌, 또는 다른 탄소질 화합물과 함께 이들 화합물의 혼합물일 수 있다.

[0226] 산소 및 탄소 생성물 스트림은 원하는 생성물을 제조하기 위해 가스 스트림 중의 화합물을 대사할 수 있는 효모, 대장균 또는 기타 미생물을 포함하는 호기성 가스 발효 시스템에 공급될 수 있다. 호기성 가스 발효 반응기의 유출물은 전형적으로 액체상인, 적어도 하나의 생물산물을 함유하는 스트림 및 CO2, 수증기, 가스 공급원료의 대사되지 않은 구성요소 및 발효 동안 생성된 기타 휘발성 화합물, 예컨대 미량 탄화수소 또는 H_2S를 함유하는 가스 스트림을 포함한다. 이 가스 스트림 중의 CO_2는 혐기성 발효 공정과 동일한 방식으로 CO_2 전해기의 입구로 다시 재순환될 수 있지만, 스트림 중의 O_2 농도가 약 5%, 1% 또는 0.25% 초과인 경우 O_2 제거가 필요할 수

있다.

[0227] 다양한 미생물 대사 경로는 탄소 산화물 전해기의 생성물을 수용하도록 구성된 가스 발효 반응기에 대해 이용될 수 있다. 전해기의 설계 및 작동은 대사 경로(들)이 일치할 것이므로, 경로(들)의 요구되는 유입물도 마찬가지이다. 한 예시 경로는 Wood-Ljungdahl Pathway (WLP)이고, 이는 아세틸 조효소 A(아세틸-CoA)를 제조하기 위해 CO, CO_2, 포름산염, 메탄올, H_2 및/또는 다른 단일 탄소 화합물을 이용할 수 있는 일련의 생화학 반응을 갖는다.

아세틸-CoA는 미생물의 탄소 및 에너지 공급원으로 사용되는 분자이다. Wood-Ljungdahl Pathway는 Clostridium Ljungdahlii와 같은 아세토젠 미생물에서 발견되는 천연 대사 경로이지만, 대장균(E. coli)과 같은 다른 미생물이 이 경로를 갖도록 유전적으로 조작될 수 있다. 아세틸-CoA는 전지 재료를 구축하기 위해 미생물에 의해 이용될 수 있고 및/또는 아세톤, 에탄올 등과 같은 다른 생물산물을 만들기 위한 다른 생화학적 경로에 대한 시작 분자로서 사용될 수 있다. 생성물을 만들기 위해 아세틸-CoA를 이용하는 생화학적 경로는 유기체에 대해 고유한 것일 수 있거나 미생물이 원하는 생성물을 만들도록 유전적으로 조작되어 추가될 수 있다.

[0228] 미생물은 동시에 다수의 대사 경로를 이용할 수 있다. 예를 들어, 당(예를 들어, 글루코스)은 WLP로의 유입과 동시에 해당 또는 비산화적 해당 경로를 통해 미생물에 의해 대사될 수 있다. 생체분자(예를 들어 ATP/ADP, NADH/NAD+)는 하나의 대사 경로에서 생성되어 또 다른 대사 경로에서 사용될 수 있다.

[0229] WLP는 ATP를 생성하지 않는다. 전지에 ATP가 고갈되는 경우, 이들은 아세틸-CoA로부터 아세테이트 생성을 선호할 것이다. ATP를 생성하기 위해, 전지는 전지 막에 걸쳐 양성자 농도 구배를 생성하기 위해 플라빈 기반 전자 분기 경로를 통해 H_2를 직접 활용할 수 있다. 이 구배는 ATP 신타아제를 통한 ATP 생성을 유도할 수 있다. 전지가 이용 가능한 ATP를 갖는 경우, 아세틸-CoA는 천연 또는 유전적으로 조작된 생화학적 경로를 통해 원하는 생성물 범위로 전환될 수 있다. 가스 스트림 중의 H_2:CO의 비율은 ATP의 가용성을 결정하고 바이오공정의 탄소 효율을 결정할 수 있다.

[0230] 일부 실시예에서, 메탄 및 이산화탄소 유입물을 사용하는 호기성 발효 공정은 3-하이드록시 프로판산을 생성한다. 일부 예시 시스템에서, 탄소 산화물 전해기가, 다른 생성물 중에서, 3-하이드록시 프로판산을 생성하는 가스 발효 반응기에 메탄 및 이산화탄소를 제공하도록 구성된다.

[0231] 또 다른 예에서, 이산화탄소 전해기가 일산화탄소, 이산화탄소 및 수소의 유출물을 생성하도록 구성되며, 이들 가스의 비율은 추가적으로 유입물로서 당(예를 들어, 글루코스)을 수용하고 이들 구성요소를 반응시켜 아세톤을 생성하는 가스 발효 반응기로 전달하기 전에 조정되도록 처리될 수 있다.

[0232] 도 4는 가스 발효 생물반응기(405) 상류의 탄소 산화물 환원 전해기(403) 및 생물반응기(405)의 유출물을 전해기(403)의 유입물로 재순환시키도록 구성된 재순환 유닛(413)을 포함하는 가스 발효 시스템(401)을 도시한다.

[0233] 도시된 바와 같이, 전해기(403)는 반응물로서 물 및 탄소 산화물(이 예에서는 이산화탄소) 및 전기를 수용하여 애노드 및 캐소드 반응을 유도하도록 구성된다. 전해기(403)로의 유입물은 상대적으로 높은 압력(적어도 대기압 위)에서 제공된다. 전해기의 애노드 반응은 산소를 생성하고, 이는 호기성 발효만이 사용되는 경우 생물반응기(405)로의 유입물로서 사용된다. 전해기(403)의 캐소드 측으로부터의 유출물은 수소 가스 및 일산화탄소 및/또는 메탄과 같은 하나 이상의 탄소 함유 생성물과 함께 미반응 이산화탄소를 포함한다. 이들 유출물은 상대적으로 높은 압력에서 제공된다.

[0234] 시스템(401)은 선택적으로 애노드로 생성된 산소와 함께 전해기(403)의 캐소드 측 유출물을 생물반응기(405)로 수송하도록 구성된다. 시스템(401)은 생물반응기(405)로 전달하기 전 또는 전달하는 동안 일부 또는 모든 전해기 생성물의 압력을 감소시키도록 구성된다. 특정 구체예에서, 시스템(401)은 전해기(403)와 생물반응기(405) 사이에 가스 정제 유닛(도시되지 않음)을 포함한다. 가스 정제 유닛은 생물반응기(405)에 들어가기 전에 전해기 생성물의 농도를 조정하도록 구성된다. 일부 경우에, 정제 유닛은 가스 스트림 중의 이산화탄소의 농도를 감소시킨다. 일부 경우에, 정제 유닛은 가스 스트림 중의 일산화탄소의 농도를 증가시킨다.

[0235] 생물반응기(405)는 선택적으로 당과 같은 다른 유입물과 함께 유입물을 원하는 생물산물 및 부산물로 변환하도록 구성된다. 도시된 예에서, 부산물은 상대적으로 휘발성이거나 그렇지 않으면 원하는 생성물로부터 분리되고 따라서 재순환 유닛(413)으로 전달될 수 있다. 도시된 실시예에서, 시스템(401)은 저압에서 생물반응기로부터 재순환 유닛(413)으로 이산화탄소, 수증기 및 가능한 다른 휘발성 화합물을 운반하도록 구성된다.

[0236] 재순환 유닛(413)은 하나 이상의 분리 또는 제거 유닛 및 이산화탄소 압축기를 포함한다. 도시된 실시예에서, 재순환 유닛(413)은 초기에 생물반응기 증기 유출물을 수용하고 이들을 물 및 선택적으로는 산소 분리 유닛

(407)에 전달하도록 구성된다. 분리 유닛(407)의 유출물은 저압 이산화탄소 및 선택적으로는 휘발성 화합물의 혼합물일 수 있다. 재순환 유닛(413)은 휘발성 물질을 제거하고 저압 이산화탄소를 유출시키는 휘발성 화합물 제거 유닛(409)에 이산화탄소 및 휘발성 물질을 전달하도록 추가로 구성된다. 재순환 유닛(413)은 또한, 제거 유닛(409)으로부터 저압 이산화탄소를 수용하고 이를 전해기(403)에 유입시키기에 적합한 수준으로 가압하는 이산화탄소 압축기(411)를 포함한다.

[0237] 특정 실시예에서, 재순환 유닛(413)은 제1 상 동안 이산화탄소를 포집하고 제2 상 동안 이산화탄소를 방출하기 위한 흡착제를 포함하는 하나 이상의 이산화탄소 포집 유닛을 포함한다. 분리 유닛(409)은 이러한 이산화탄소 포집 유닛을 포함하거나 함께 작동하도록 구성될 수 있다. 이러한 포집 유닛의 예는 본원에 기재된 직접 공기 포집 유닛의 설명에 제공된다.

[0238] 도시된 실시예에서, 시스템(401)은 가압된 이산화탄소를 재순환 유닛(413)으로부터 전해기(403)로의 캐소드 측 입구 상류 지점으로 수송하도록 구성되고, 여기서 이산화탄소는 가압된 공급원료 이산화탄소와 혼합된다.

[0239] 특정 실시예에서, 수행된 생물반응에 따라, 생물반응기 상류에 위치한 이산화탄소 전해기는 (a) 본원에 기재된 바와 같은 수소 풍부 생성물 스트림 작동 파라미터 체제, 또는 (b) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 수소 생성물 스트림 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0240] 다양한 실시예에서, 전해기에 의해 생성된 산소는 가스화 공정에서와 같이 통합 공정에서 사용된다. 예를 들어, 피셔-트롭쉬 반응기를 갖는 시스템은 산소를 소모하는, 탄화수소의 부분적 산화 또는 바이오매스의 가스화로부터 이산화탄소 유입물을 수용하도록 구성된 전해기를 사용할 수 있다. 산소는 이산화탄소 전해기의 애노드 측 및/또는 공기 분리 유닛으로부터 나올 수 있다.

[0241] 도 5는 합성가스를 생성하도록 구성된 이산화탄소 전해기(503)를 포함하는 시스템(501)을 도시한다. 시스템(501)은 또한, 합성가스를 생성하도록 구성된 호기성 발효 반응기(505)를 포함한다. 시스템(501)은 또한 전해기(503)의 애노드에서 생성된 산소를 반응기(505)로 전달하도록 구성된다. 이 산소는 공기 분리와 같은 대체 공급원으로부터 일반적으로 제공되는 산소의 일부를 대체할 수 있으므로, 공기 분리 유닛의 에너지 듀티 및 규모를 줄일 수 있다.

[0242] 시스템(501)은 전해기(503), 발효 반응기(505) 및 잠재적으로 다른 공급원에 의해 생성된 합성가스를 하류 가스화 유닛 또는 부분적 산화 유닛(507)으로 전달하도록 구성된다. 시스템(501)은 유닛(507)으로부터 전해기(503)의 캐소드 유입물 스트림으로 일부 폐 이산화탄소를 전달하도록 구성될 수 있다.

[0243] **나프타 및 연료**

[0244] 지시된 바와 같이, 피셔 트롭쉬 반응은 다음 일반적 표현을 특징으로 할 수 있다:

[0245] $(2n+1)H_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n} + nH_2O$

[0246] 하기 논의는 피셔 트롭쉬 반응에 초점을 맞추지만, 당업자는 수소 및 일산화탄소를 포함하는 유입물 스트림으로부터 액체 탄화수소 및 이의 혼합물(흔히 일반적으로 나프타로 지칭됨)을 생성하기 위해 관련 반응 부류가 사용될 수 있음을 인식한다. 반응 부류는 유입물 스트림의 조성 및 반응 조건에 따라 액체 탄화수소 혼합물의 다양한 조성물을 생성한다. 용어 피셔 트롭쉬가 본원에서 사용되지만, 이는 일산화탄소 및 수소를 포함하는 혼합물로부터 나프타를 생성하는 반응의 부류 중 임의의 것을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 일반적으로, 이러한 반응은 발열이다.

[0247] 다양한 실시예에서, 피셔 트롭쉬 반응기로의 유입물 스트림은 약 1:2 몰비의 $CO:H_2$이다. CO/H_2 혼합물(또는 기타 피셔 트롭쉬 유입물)을 생성하기 위한 시작점으로서 CO_2를 사용하기 위해, 일부 기존의 비전해 공정은 두 단계를 필요로 한다. 예를 들어, 기존의 공정은 $CO_2 + H_2$를 생성하는 제1 공정(단계 1) 및 이후 $CO_2 + H_2$를 반응시키고 CO 및 물을 생성하여 필요한 2:1 $CO:H_2$에 가까운 비율을 갖는 가스를 야기하는 역 물-가스 변환(RWSG) 반응(단계 2)을 사용한다. 따라서, 기존의 공정에서, 정확한 비율로 CO 및 수소를 얻은 후에만 피셔 트롭쉬 반응을 사용하여 액체 탄화수소를 생성할 수 있다. 물 전환(WSG) 반응 및 역 물 전환 반응 촉매는 하류 공정에 유해한 금속 분진을 생성할 수 있다. 또한, 물 전환 반응은 일산화탄소 및/또는 수소의 공급물을 필요로 한다.

[0248] 기존의 합성가스 공정은 때로 (CO의 생성을 강조할 수 있는 WSG 및/또는 RWSG 반응 또는 이산화탄소 전해기 사용보다는) $CO + H_2$ 혼합물을 직접 생성하기 위해 사용됨에 유념한다. 그러나, 합성가스 생성은 흔히 석탄을 사

용한다.

[0249] 일산화탄소의 공급원으로서 이산화탄소 전해기를 사용하는 피셔 트롭쉬 시스템은 WSG 또는 합성가스 경로에 비해 다양한 이점을 갖는다. 예를 들어, RWSG 반응과 달리, 이산화탄소 전해기는 금속 분진을 생성하지 않는다. 추가적으로, RWGS 반응과 비교하여, 이산화탄소 전해기는 CO로의 CO_2의 더 높은 전환율을 제공한다.

[0250] 그러나, 이산화탄소 전해기는 피셔 트롭쉬 공급물에 대해 요구되는 약 1:2의 $CO:H_2$ 몰비를 갖는 가스를 생성하지 않을 수 있다. 일부 경우에, 이산화탄소 전해기는 CO 풍부 스트림을 생성한다. 따라서, 일부 실시예에서, 피셔 트롭쉬 시스템, 또는 일산화탄소 및 수소 혼합물을 필요로 하는 임의의 다른 시스템은 선택적으로 이산화탄소 전해기와 함께 작동하는 물 전해기 또는 다른 수소 공급원을 사용할 수 있다. 물 전해기는 이산화탄소 전해기의 CO 풍부 유출물을 보충하기 위한 기체 수소를 제조하도록 구성된다. 일부 실시예에서, 상대적으로 수소가 풍부한 합성가스가 이산화탄소 및 물의 공동 전기분해의 일부로서 생성될 수 있다. F-T 반응을 위한 대략 1:2 $CO:H_2$ 공급 농도를 달성하기 위해, 시스템은 CO_2 전해기로부터 가스 분리 유닛을 통해 들어오는 CO 및 H_2의 농도를 결정하도록 구성된 센서를 포함할 수 있다. 감지된 정보를 피드백으로 사용하여, 총 스트림을 약 1:2 $CO:H_2$ 농도로 만들기 위해 필요한 H_2의 양으로 수소 스트림을 전달하도록 물 전해기의 작동 조건을 조정할 수 있다.

[0251] 대안적으로, 단일 CO_2 전해기가 사용되어 적합한 피셔 트롭쉬 CO 및 H_2 공급 혼합물을 생성할 수 있다. 이는 유출물을 수소 생성으로 편향시키도록 전해기를 작동함으로써 및/또는 피셔 트롭쉬 반응기에 전달하기 전에 조성을 조정하기 위해 전해기 유출물을 처리함으로써 달성될 수 있다. 특정 실시예에서, 이산화탄소 전해기는 상대적으로 높은 비율의 H+가 캐소드에 도달하게 하는 MEA를 포함한다. 캐소드에서 상대적으로 높은 H+ 플럭스를 촉진하는 한 방법은 양극성 MEA가 상대적으로 얇은 캐소드 완충층을 사용하고 및/또는 상대적으로 높은 H+ 전달수를 갖는 폴리머를 갖는 캐소드 및 캐소드 완충층을 사용하는 것이다. 또 다른 접근법에서, 이산화탄소 전해기는 이산화탄소를 고갈시키도록 구성되거나 작동된다. 특정 실시예에서, 전해기는 상대적으로 높은 전류 밀도에서 작동되며, 이는 더 높은 비율의 수소 대 일산화탄소 비율을 발생시키는 경향이 있다. 일부 구현예에서, 전해기는 상대적으로 높은 전류 밀도 및 전해기로의 상대적으로 적은 이산화탄소 공급물을 모두 사용한다. 상대적으로 높은 전류 밀도에서의 작동은 장비 비용이 상대적으로 저렴한 전해기를 사용하여 생성하는 이점이 있다.

[0252] CO_2 전해기의 유출물은 생성물 CO, 부산물 H_2, 미반응 CO_2 및 수증기를 함유한다. 시스템은 수증기를 제거하고 미반응 이산화탄소를 분리하도록 구성될 수 있다. 가스 분리 유닛은 CO 및 H_2로부터 CO_2를 분리하고 및/또는 그렇지 않으면 CO 및 H_2를 농축시키기 위해 사용될 수 있다. 시스템은 CO_2 또는 물 전해기의 물 입구로 물을 재순환시키는 재순환 루프를 포함할 수 있다. 반응하지 않고 분리된 CO_2는 이후 압축되어 CO_2 전해기의 입구로 되돌아간다. 가스 분리 유닛의 예는 도 19, 20, 23A-D 및 관련 설명에 제시된다.

[0253] F-T 반응기는 약 300 psi 이상 및 약 150-300℃에서 작동할 수 있다. 이산화탄소 전해기 및 선택적 물 전해기의 유출물이 필요한 압력이 아닌 경우, 시스템은 압축기를 사용하여 공급 가스 압력을 F-T 반응기에 들어가기 전에 높일 수 있다. F-T 반응기에서, $CO-H_2$ 혼합물은 미가공 F-T 액체 및 왁스로 전환된다. 시스템은 물, 높은 용융점 F-T 액체, 중간 용융점 F-T 액체 및 테일 가스, 휘발성 탄화수소, CO_2, CO 및 H_2의 혼합물을 분리하기 위해 F-T 반응기에 이어서 분리기를 포함할 수 있다. F-T 액체는 수소첨가분해를 통해 추가로 업그레이드될 수 있다. F-T 액체의 상이한 분획의 증류 및 분리는 제트 연료, 디젤 및 가솔린을 생성할 수 있다. F-T 반응기로부터의 물은 불순물을 제거하기 위해 여과되고 CO_2 및/또는 선택적 물 전해기의 물 유입구로 공급될 수 있다.

[0254] F-T 시스템은 테일 가스 및/또는 휘발성 탄화수소(예를 들어 메탄 포함)가 CO_2 전해기로 다시 재순환되도록 설계될 수 있다. 시스템은 테일 가스를 CO_2로 분리하도록 구성될 수 있으며, 이는 압축되어 전해기 입구 및 휘발성 탄화수소와 미반응 CO 및 H_2로 직접 공급될 수 있다. 시스템은 이러한 생성물이 연소 반응기에 공급되어 열, 에너지 및 CO_2를 생성하도록 설계되거나 구성될 수 있다. 이후 CO_2는 CO_2 전해기 입구로 공급된다. 전해기로부터의 O_2는 연소를 위한 산소 공급원으로 사용되어, 순수한 CO_2 유출물 스트림을 생성할 수 있다. 연소 반응기는 출구 스트림에서 산소의 농도를 최소화하기 위해 산소에 대해 과량의 연료를 이용하는 "농후 연소(rich burn)" 모드로 가동될 수 있다. 연소 반응으로부터의 물은 가스 유출물로부터 분리될 수 있고 CO_2 전해기 또는 물 전해기의 물 유입물에 공급될 수 있다.

[0255] 피셔 트롭쉬 반응이 발열이므로, 이는 시스템에서 다른 목적을 위해 사용될 수 있는 열을 발생시킨다. 이러한 다른 용도의 예는 분리(예를 들어, 경질 탄화수소의 증류) 및 반응을 포함한다. 기존의 시스템에서, 이러한 반응은 화석 연료의 개질, 바이오매스의 가스화, 또는 역 물-가스 변환을 통한 이산화탄소 및 수소로부터의 생성과 같은 합성가스의 생성에 대해 흡열 반응이다. 따라서, 기존의 처리에서는, 피셔 트롭쉬 반응으로부터 발생하는 과잉 열의 전부 또는 상당 부분이 일반적으로 합성가스 생성에 관여한다. 그러나, 선택적으로는 저온 물 전기분해와 함께 이산화탄소 전기분해와 같은 공정에 의해 저온(예를 들어, 약 100 ℃미만)에서 합성가스를 생성하는 본 발명의 경우, 피셔 트롭쉬 반응으로부터의 더 많은 과잉 열이 이산화탄소 포집과 같은 다른 공정에 이용 가능하고, 이에 의해 시스템의 전체 외부 열 요구를 감소시키고 연료 합성 경로에 대한 이산화탄소의 탄소 및 에너지 효율을 향상시킨다.

[0256] 일부 실시예에서, 테일 가스는 메탄 또는 다른 가스 탄화수소가 물과 반응하여 합성가스 형태인 수소 및 일산화탄소의 혼합물을 생성하는 개질기로 공급된다. 이는 액체 탄화수소 생성물에서 이산화탄소로부터 탄소의 수율을 증가시킬 수 있다. 테일 가스의 조성에 따라, 수소 대 일산화탄소의 비율이 가변적일 수 있다. 일부 실시예에서, 일부 양의 이산화탄소 및/또는 산소가 개질기에 존재한다. 많은 경우에, 개질 반응은 흡열 반응이다. 일부 실시예에서, 적어도 부분적으로, 피셔 트롭쉬 반응 동안 생성된 과잉 열로부터 흡열 반응을 유도하기 위한 열이 제공된다. 일부 실시예에서, 적어도 부분적으로, 이산화탄소 환원 전해기에 의해 이산화탄소의 전기분해 동안 생성된 과잉 열로부터 흡열 반응을 유도하기 위한 열이 제공된다. 일부 경우에, 일부 열은 연소 또는 직접 전기 열에 의해 제공될 수 있다. 연소-유도된 열의 경우, 산소(선택적으로는 전해기로부터의)가 노에 공급되어 효율을 개선할 수 있고, 이산화탄소 배출물이 포집되어 전해기에 공급될 수 있다.

[0257] 도 6A는 탄소의 주요 또는 독점적 공급원이 이산화탄소 및/또는 일산화탄소를 함유하는 것과 같은 탄소 산화물 공급원료인 액체 탄화수소를 생성하도록 구성된 시스템(601)을 도시한다. 시스템은 2개의 주 반응기: 즉 전해 탄소 산화물 환원 전지 또는 전해기(611) 및 피셔 트롭쉬 반응기(621)를 포함한다.

[0258] 전해기(611)는 전기 공급원에 연결되고 이산화탄소 및 물과 같은 반응물을 수용하기 위한 하나 이상의 입구를 갖는다. 전해기(611)는 산소 및 가능한 미량 불순물을 제거하기 위한 애노드 측의 하나 이상의 출구 및 적어도 일산화탄소를 포함하는 환원 생성물을 제거하기 위한 캐소드 측의 하나 이상의 출구를 갖는다. 캐소드 측을 떠나는 다른 화합물은 수소, 물 및 이산화탄소를 포함할 수 있다.

[0259] 캐소드 측 출구는 다른 성분으로부터 일산화탄소를 분리 또는 정제하도록 설계된 일산화탄소 정제 유닛(612)과 같은 정제 유닛에 연결된다. 도시된 실시예에서, 정제 유닛(612)은 일산화탄소를 제공하기 위한 하나의 출구 및 이산화탄소, 수소, 및 가능한 약간의 일산화탄소를 제공하기 위한 또 다른 출구를 갖는다. 특정 실시예에서, 일산화탄소 정제 유닛(612)은 도 19, 20 및/또는 23A-D 및 관련 설명에 제시된 것과 같은 흡착제-기반 유닛일 수 있다.

[0260] 시스템(601)에서, 가능하게는 일부 수소 및 일산화탄소와 함께 이산화탄소는 CO 정제 유닛(612)의 출구로부터 전해기(611)의 캐소드 측을 위한 입구 스트림으로 다시 재순환된다.

[0261] 피셔 트롭쉬 반응기(621)는 가압된 공급 스트림으로 특정 조성에서 일산화탄소 및 수소를 수용하도록 구성된다. 시스템(601)에서, 압축기(624)는 전해기(611)로부터의 일산화탄소를 수소와 함께 피셔-트롭쉬 반응을 위한 적절한 압력으로 압축한다. 피셔-트롭쉬 반응은 약 150-300℃의 온도 및 약 1 내지 수십 기압의 압력에서 발생할 수 있다. 반응은 발열 반응이므로, 반응기(621)에 열이 거의 또는 전혀 제공되지 않는다.

[0262] 언급된 바와 같이, 피셔 트롭쉬 반응기로의 유입물은 약 n:(2n+1)의 CO:H 비율을 가질 수 있으며, 여기서 n은 반응의 원하는 알칸 생성물의 탄소 원자 길이이다. 따라서, 다양한 실시예에서, 반응기(621)에 제공되는 수소 대 일산화탄소의 몰비는 약 (2n+1) 대 n이다. 피셔 트롭쉬 반응을 위한 수소 대 일산화탄소의 원하는 입구 조성 비율을 제공하기 위해, 수소 공급원(614)이 CO 정제 유닛(612)의 출구 또는 압축기(624)의 입구에 연결될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 전해기(611)는 상대적으로 높은 수소 대 이산화탄소 비율을 발생시키는 방식으로 설계되거나 작동될 수 있다. 이 비율을 달성하기 위한 반응기 설계 및 작동 조건은 본원의 다른 곳에 설명된다. 일부 경우에, 상대적으로 높은 수소 대 일산화탄소 비율을 갖는 가스가 유입물로서 FT 테일 가스를 사용하는 반응과 같은 개질 반응으로부터 생성된다.

[0263] 도시된 바와 같이, 시스템(601)은 피셔 트롭쉬 반응기(621)의 유출물을 MFTL 및 HFTL 피셔 트롭쉬 액체를 물 및 테일 가스로부터 분리하도록 구성된 분리기(623)에 제공하도록 구성된다. 도시된 바와 같이 피셔 트롭쉬 물은 CO 정제 유닛(612)의 유입물 및/또는 전해기(611)의 유입물로 다시 재순환될 수 있다.

[0264] 시스템(601)은 분리 유닛(631), 연소 챔버(632) 및 물/가스 분리기(633)를 갖는 주 재순환 루프를 포함한다. 분리 유닛(631)은 분리기(623)로부터 테일 가스를 수용하고 휘발성 탄화수소로부터 이산화탄소를 제거하도록 구성된다. 시스템(601)은 이산화탄소를 유닛(631)으로부터 전해기(611)로의 이산화탄소 공급 스트림으로 재순환시키도록 구성된다.

[0265] 시스템(601)은 휘발성 탄화수소를 분리 유닛(631)으로부터 전해기(611)로부터의 산소 공급원을 사용하여 탄화수소를 연소시키도록 구성된 연소 유닛(632)으로 수송하도록 구성된다. 시스템(601)은 연소 생성물을 연소 유닛(632)으로부터 이산화탄소 및 물 연소 생성물을 분리하도록 구성된 가스/물 분리기 유닛(633)으로 수송하도록 구성된다. 시스템(601)은 물을 전해기(611)의 애노드 입구로 수송하고 이산화탄소를 전해기(611)의 캐소드 입구로 수송하도록 구성된다.

[0266] 특정 실시예에서, 피셔 트롭쉬 반응기 상류에 위치한 이산화탄소 전해기는 (a) 본원에 기재된 바와 같은 수소 풍부 생성물 스트림 작동 파라미터 체제 및/또는 (b) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0267] 특정 실시예에서, 시스템(601)은 제1 상 동안 이산화탄소를 포집하고 제2 상 동안 이산화탄소를 방출하기 위한 흡착제를 포함하는 하나 이상의 이산화탄소 포집 유닛을 포함한다. 분리 유닛(631) 및/또는 가스/물 분리기 유닛(633)은 이러한 이산화탄소 포집 유닛을 포함하거나 함께 작동하도록 구성될 수 있다. 일부 작동 원리의 예가 본원에 기재된 직접 공기 포집 유닛의 설명에서 제공된다. 일부 실시예에서, 피셔 트롭쉬 시스템은 발열성 피셔 트롭쉬 반응으로부터 생성된 폐열을 이산화탄소 포집 유닛에 제공하도록 구성된다.

[0268] 도 6B는 (a) 일산화탄소 및 수소(637)를 생성하기 위한 이산화탄소 전해기(636) 및 (b) 일산화탄소 및 수소를 수용하고 액체 탄화수소를 생성하도록 구성된 피셔 트롭쉬 반응기(638)를 사용하여 이산화탄소 유입물 스트림(635)으로부터 액체 탄화수소 혼합물을 생성하기 위한 예시 시스템(634)을 도시한다. 전해기(636)에 의해 생성된 일산화탄소 및 수소의 적어도 일부는 피셔 트롭쉬 반응기에 들어가기 전에 전달하기 전에 합성가스를 정제하거나 그렇지 않으면 개질할 수 있는(예를 들어, 전해기로부터 미반응 CO_2 제거 및 합성가스 스트림의 압축 및/또는 가열 또는 냉각할 수 있는) 합성가스 처리 요소(640)에서 전처리된다. 전해기(636)의 폐열은 피셔 트롭쉬 반응기에 들어가기 전에 합성가스를 정제하거나 변형하는 데 사용될 수 있다. 시스템(634)은 처리된 가스를 요소(640)로부터 피셔 트롭쉬 반응기(638)에 제공하도록 추가로 구성되며, 이는 혼합물 경질 탄화수소 및 다른 구성 요소(642)를 생성할 수 있고, 시스템이 이를 하나 이상의 액체 탄화수소 스트림(644)으로부터 테일 가스(641)를 분리하기 위한 특징을 포함할 수 있는 생성물 분리 서브시스템(643)에 이용 가능하게 한다. 도시된 실시예에서, 시스템(634)은 개질기(645)를 포함하고 테일 가스(641)를 개질기에 제공하도록 구성된다. 테일 가스는 일산화탄소 및 수소의 수소 풍부 혼합물(647)을 생성하기 위한 메탄 개질 반응에 의해 물(선택적으로는 테일 가스(641)에도 포함됨)과 반응할 수 있는 메탄을 함유한다. 시스템(634)은 또한 혼합물(647)을 피셔 트롭쉬 반응기(638)로의 도입을 위한 가스를 제조하는 합성가스 처리 요소(640)에 전달하도록 구성된다. 메탄 개질 반응은 흡열 반응이다. 일부 실시예에서, 피셔 트롭쉬 반응기(638)에서의 반응으로부터의 과잉 열이 개질기(645)에 제공된다. 일부 실시예에서, 전해기(636)에서의 반응으로부터의 과잉 열이 개질기(645)에 제공된다.

[0269] 도 6B에 도시된 실시예에서, 시스템(634)은 산소(649)를 전해기(636)로부터 노(651)로 제공하도록 선택적으로 구성되며, 상기 노는 연료를 연소시키고 시스템(634) 또는 다른 곳에서 사용하기 위해 추가 열을 생성하도록 구성된다.

[0270] **CO_2의 직접 공기 포집**

[0271] 특정 실시예에서, 전해 이산화탄소 환원 시스템은 공기로부터 직접 수용되는 이산화탄소를 사용한다. 이러한 실시예를 위한 시스템은 직접 공기 CO_2 포집 서브시스템 및 이산화탄소 환원 전해기 서브시스템을 포함한다. 시스템은 포집 서브시스템으로부터의 CO_2가 전해기 서브시스템의 캐소드 측에 직접적으로 또는 간접적으로 CO_2를 공급하도록 구성된다.

[0272] 공기가 종종 유일한 중요 공급원료이므로, 공기 포집 CO_2 전기분해 시스템은 시스템 구성요소를 위한 공간이 있는 임의의 위치에 배치될 수 있다. 일부 배치에서, 시스템은 상대적으로 인구가 적은 영역을 차지한다. 일부 배치에서, 시스템은 인구 밀집 영역을 차지한다. 일부 실시예에서, 시스템은 차량 또는 선박에 적어도 부분적으로 배치된다. 예를 들어, 공기 포집 유닛은 차량 또는 선박에 제공될 수 있는 반면 이산화탄소 전해기는 항구 또는 해양 플랫폼에 제공될 수 있다. 일부 경우에, 배치 장소, 예를 들어 태양열 및/또는 풍력이 풍부한 장소에 에너

지 공급이 준비되어 있다. 일부 경우에, 배치 장소는 사막이다. 일부 실시예에서, 시스템은 CO_2 함유 대기를 갖는 외계 환경에 배치된다. 일부 실시예에서, 시스템은 화물선과 같은 대형 선박 또는 항공모함과 같은 군용 선박에 배치된다. 일부 실시예에서, 에너지 공급원은 해양 플랫폼 또는 항구와 관련된 태양열 또는 풍력 발전소에 의해 제공되는 반면, 이산화탄소 포집 유닛은 배 또는 선박에 제공된다. 이산화탄소 전해기는 연안 플랫폼 또는 항구에 제공될 수 있다.

[0273] 시스템은 공기 또는 다른 가스가 특정 조건 하에서 CO_2 포집 서브시스템에 제공되도록 설계될 수 있다. 특정 실시예에서, 팬, 진공 펌프 또는 단순한 바람이 공기를 CO_2 포집 서브시스템에 전달하기 위해 사용된다.

[0274] 특정 실시예에서, CO_2 포집 서브시스템은 두 단계를 포함하는데: 공기가 공기로부터 CO_2를 제거하는 흡착제와 접촉하는 제1 단계(단계 1) 및 CO_2 및/또는 물을 방출시키기 위해 흡착제에 열, 전기, 압력 및/또는 습기가 적용되는 제2 단계(단계 2)를 포함한다. 특정 실시예에서, CO_2 환원 전해기부터의 폐열이 사용된다.

[0275] 일부 구현예에서, CO_2 포집 서브시스템은 단계 1에서 CO_2를 포집하기 위해 고체 또는 액체 흡수제 또는 흡착제를 사용한다. 다양한 구현예에서, 단계 1은 주위 조건에서 또는 주위 조건에 가까운 조건에서 수행된다. 단계 2에서, 온도, 전기, 압력 및/또는 수분 변동(swing)이 적용되어, 흡수 또는 흡착된 CO_2 및 선택적으로는 물이 방출되도록 한다.

[0276] 특정 실시예에서, 흡수제는 가열되어 CO_2를 방출한다. 일 예로서, 흡착제는 예를 들어 주위 온도(예를 들어, 약 20-40℃로부터 최소 약 70℃의 온도로 가열되어 CO_2 및 선택적으로는 물을 방출한다. 일부 경우에, 온도 변동은 주위로부터 약 50 내지 1000℃까지 또는 약 75-200℃까지 또는 주위로부터 약 600 내지 1000℃까지이다. 특정 실시예에서, CO_2 환원 전해기부터의 폐열이 사용된다. 일 예로서, 흡착제는 원하는 분율의 CO_2 및 선택적으로는 물을 제거하기에 충분한 시간 기간 동안 가열된다. 상기 기간은 처리될 흡착제의 양, 제거될 CO_2 및/또는 물의 분율 및 흡착제로의 열 전달의 함수이다.

[0277] 특정 실시예에서, 흡수제는 습기에 노출되어 CO_2를 방출한다. 일 예로서, 흡착제는 처음에 건조 공기(예를 들어, 최대 약 50 몰% 물, 또는 최대 약 30 몰% 물, 또는 최대 약 5 몰% 물을 갖는 공기)에 노출되고, 후속하여 습한 증기(예를 들어, 최소 약 75 몰% 물, 또는 최소 약 90 몰% 물, 또는 약 100 몰% 물을 갖는 공기)에 노출된다.

[0278] 일부 실시예에서, CO_2 포집 유닛은 CO_2를 포집하고 나중에 방출하기 위한 전기-변동 메커니즘을 사용한다. 특정 경우에, 전기-변동 이산화탄소 유닛은 이산화탄소 포집을 위해 퀴논(예를 들어, 2,6-디-테르트-부틸-1,4-벤조퀴논), 4,4'-바이피리딘 또는 티올레이트와 같은 산화환원 화학종에 대한 CO2의 환원적 첨가를 이용하는 전기화학 전지를 포함하는 패러데이 흡착 시스템을 포함한다. 이들 산화환원제는 유기 전해질에 제공될 수 있다. 일부 경우에, 전기-변동 흡착 시스템은 탄소 나노튜브 지지체 및/또는 제올라이트 지지체와 같은 고체 지지체에 이산화탄소 포집 물질을 제공한다. 일부 경우에, 전기-변동 CO_2 포집 유닛은 포집된 CO_2를 붙들고 있는 흡수제 및/또는 전극에 열을 제공함으로써(예를 들어, 줄-가열에 의해) CO2를 방출한다.

[0279] CO_2 포집 서브시스템의 구성 및 그 작동 조건에 따라, 이는 예를 들어 약 90 몰% 이상의 고농도에서 공기로부터 CO_2를 생성할 수 있다. 일부 경우에, CO_2 포집 서브시스템은 상대적으로 낮은 농도에서 CO_2를 생성하도록 구성되며, 이는 여전히 CO_2 환원 전해기가 작동하기에 충분하다.

[0280] 예로서, CO_2 포집 흡착제 및 관련 서브시스템 구성요소는 스위스, 취리히의 Climeworks AG, 미국 뉴욕주 뉴욕의 Global Thermostat, 캐나다, 브리티시 컬럼비아, 스쿼미시의 Carbon Engineering Ltd. 및 아일랜드, 더블린의 Silicon Kingdom Holdings로부터 입수 가능하다.

[0281] 지시된 바와 같이, 포집되고 후속하여 방출된 CO_2는 CO_2 환원 전해기의 캐소드 측으로 직접적으로 또는 간접적으로 전달되는 공급원료이다. 특정 실시예에서, 공기로부터 포집된 물은 또한 CO_2 전해기의 공급원료에서 사용된다.

[0282] 특정 실시예에서, 공기 포집 CO_2 전기분해 시스템은 예를 들어 약 99 몰% 이상의 CO_2의 실질적으로 순수한 스트

림에서 직접 공기 포집 서브시스템으로부터 CO_2를 전달하는 방식으로 작동하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 시스템은 전해기에 대해 낮은 농도의 CO_2, 예를 들어 약 98 몰% 이상의 CO_2, 또는 약 90 몰% 이상의 CO_2, 또는 심지어 약 50 몰% 이상의 CO_2를 사용하여 작동하도록 구성된다. 일부 경우에, 상당히 낮은 CO_2 농도가 공급원료로서 사용된다. 이러한 농도는 약 0.035 몰%인 이산화탄소의 대기 농도보다 여전히 실질적으로 더 크다. 특정 실시예에서, 시스템은 공기 또는 질소와 같은 또 다른 가스와 혼합되는 약 5-15 몰%의 CO2 농도를 사용하여 작동하도록 구성된다.

[0283] 공정에서 사용되는 흡착제의 유형에 따라, 물은 또한 CO_2와 함께 포집되고 방출될 수 있다. 특정 실시예에서, CO_2 포집 서브시스템의 유출물은 약 0 내지 20 몰% 물의 물 농도를 갖는 가습된 CO_2이다.

[0284] 특정 실시예에서, CO_2 포집 서브시스템의 유출물은 CO_2 및 공기 중의 기타 다른 구성요소, 가령, 질소, 산소, 물, 아르곤 또는 이들의 임의의 조합 만을 함유한다. 모든 경우에, CO_2는 공기 중의 농도보다 더 높은 농도로 존재한다. 특정 실시예에서, CO_2 포집 서브시스템의 유출물은 황을 함유하지 않는다.

[0285] 직접 공기 포집 유닛 및 CO_2 전해기는 공기 포집 기술의 유형에 따라 여러 방식으로 통합될 수 있다. 열 및 물질 전달 구성요소는 전체 공기 포집 CO_2 전기분해 시스템에 통합될 수 있다.

[0286] 예를 들어, 일부 설계에서, CO_2 환원 전해기는 직접 공기 포집 서브시스템으로부터 CO_2를 수용하고 직접 공기 포집 서프시스템에 열 및/또는 습기를 제공하도록 구성된다. 제공된 열은 온도 변동 탈착 메커니즘을 사용하는 직접 공기 포집 서브시스템의 단계 2 동안 포집된 CO_2를 방출할 수 있다. 수분 변동 탈착 메커니즘을 사용하는 직접 공기 포집 서브시스템의 단계 2 동안 포집된 CO_2를 방출하기 위해 가습된 전해기 생성물 가스가 사용될 수 있다.

[0287] 특정 실시예에서, CO_2 전해기는 유입물로서 희석 CO_2(예를 들어 약 50 몰% 이하의 CO_2)를 수용하도록 설계되거나 구성된다.

[0288] 직접 공기 포집 유닛은 다중 흡착제 용기로 설계될 수 있다. 공기 포집 서브시스템으로부터 CO_2 (및 선택적으로는 물)의 연속 스트림을 수용하기 위해, 최소 2개의 상이한 용기가 전체 공기 포집 CO_2 전기분해 시스템의 작동 중에 상이한 흡착/탈착 단계에 있도록 작동된다. 예를 들어, 하나의 흡착제 용기가 CO_2를 포집하기 위해 공기를 흡입하는 동안, 또 다른 용기는 가열되어 CO_2를 방출할 수 있으며; 각각의 용기는 흡착/탈착 사이클을 통해 계속됨에 따라, CO_2를 흡입하는 흡착 용기는 CO_2를 배출할 것이고 그 반대도 마찬가지이다. 사이클의 여러 상이한 지점에서 많은 용기의 추가가 유입물의 연속 스트림을 CO_2 전해기에 전달하고 CO_2 및 습기 및/또는 열 및/또는 진공을 포함하는 공기의 연속 스트림을 수용할 수 있다.

[0289] 직접 공기 포집 유닛은 CO_2 전해기와 같은 하류 공정을 위해 원하는 부피의 CO_2 흐름을 전달하도록 크기가 정해질 수 있다. 이는 다중 흡착제-함유 용기를 사용하는 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 직접 공기 포집 서브시스템은 750 slpm CO_2를 전달하도록 구성될 수 있다. 이러한 서브시스템은 300mA/cm2 및 3 V/전지에서 작동되는 1000cm2 막-전극 조립체로 구성된 200-전지 전기화학 스택에 결합되어 공정의 90% CO_2 대 CO 전류 효율의 378 slpm CO 및 42 slpm 수소를 생성할 수 있다. 전해기의 출구에서 미반응 CO_2는 입구로 재순환되어 탄소 효율을 증가시킬 수 있다. 지속적으로 작동하는 조합된 공기 포집 및 전해기 유닛은 약 675 kg/일 CO를 생성할 수 있다. 일반적으로, 일부 설계에서, 공기 포집 CO_2 전해기 시스템은 최소 약 100 kg/일 CO 및/또는 기타 CO_2 환원 생성물(들)을 유출하도록 구성되고, 일부 설계에서, 공기 포집 CO_2 전해기 시스템은 최소 약 500 kg/일 CO 및/또는 기타 CO_2 환원 생성물(들)을 유출하도록 구성된다.

[0290] 특정 실시예에서, 탄소 산화물 전해기 및 선택적으로는 이산화탄소 유닛의 직접 공기 포집을 사용하는 시스템은 공기 또는 대기로부터 물을 포집하도록 구성된 모듈을 또한 포함한다. 일부 실시예에서, 공기로부터 물을 포집하도록 구성된 모듈은 흡습성 재료와 함께 광전지 및/또는 태양열로부터의 태양 에너지를 이용한다. 특정 실시예에서, 물을 포집하도록 구성된 모듈은 하이드로패널(예를 들어, 미국, 아리조나주, 스코츠데일의 Zero Mass

Water Inc.로부터 입수 가능)과 같은 주위 제습기이다.

[0291] 도 7A는 직접 공기 CO_2 포집 서브시스템(703)과 CO_2 환원 전해기 서브시스템(705)을 포함하는 공기 포집 CO_2 전해기 시스템(701)을 도시한다. 도시된 바와 같이, 직접 공기 CO_2 포집 서브시스템(703)은 흡착 단계 1 동안, 예를 들어, 대기 조건(약 0.035 몰% CO_2) 하에서 선택적으로는 습기가 있는 CO_2를 함유하는 공기를 수용하고, 대부분의 CO_2가 제거되고 선택적으로는 많은 습기가 제거되는 공기를 방출하도록 구성된다.

[0292] 직접 공기 CO_2 포집 서브시스템(703)은 단계 2 동안 CO_2 및 선택적으로는 물을 방출하도록 구성된다. 적어도 CO_2 및 선택적으로 물은 CO_2 전해기(705)에 대한 유입물로서 제공된다. 단계 2 동안 직접 공기 포집 서브시스템(703)으로부터 방출된 CO_2는 전해기(705)의 캐소드 측에 제공된다. 도시된 바와 같이, 선택적 CO_2 정제 유닛(707)은 직접 공기 CO_2 포집 서브시스템(703)과 전해기(705) 사이에 개재된다. 선택적으로는 직접 공기 CO_2 포집 서브시스템(703)에 의해 제공되는 물은 전해기(705)의 캐소드 측(CO_2 공급원료 중의 습기로서) 또는 애노드 측(반응물로서)으로 안내될 수 있다.

[0293] 도시된 실시예에서, 전해기(705)는 (CO_2 환원 반응 및 애노드 산화 반응을 유도하기 위해) 전기를 수용하도록 구성된다. 또한, 전해기(705)는 과잉 열을 전기분해 반응으로부터 직접 공기 CO_2 포집 서브시스템(703)으로 제공하고 단계 2(흡착제로부터 CO_2 방출)를 유도하도록 구성된다.

[0294] CO_2 전해기(705)는 산소(물이 반응물인 경우 애노드 반응 생성물) 및 하나 이상의 CO_2 환원 생성물을 유출하도록 구성되며, 이는 CO 및/또는 본원의 다른 곳에서 기재된 바와 같은 다른 탄소 기반 생성물을 포함할 수 있다. CO_2 전해기(705)의 생성물 스트림(들)은 수소, CO_2 및/또는 물을 함유할 수 있다. 도시된 바와 같이, 시스템(701)은 전해기 유출물을 분리 유닛(709)에 제공하도록 구성되고, 상기 분리 유닛은 CO 및/또는 다른 탄소-기반 전기분해 생성물을 수소, CO_2, 물, 및/또는 다른 구성요소로부터 분리하도록 구성된다. 도시된 실시예에서, 시스템(701)은 가습된 CO_2를 분리 유닛(709)으로부터 직접 공기 CO_2 포집 서브시스템(703)으로 전달하도록 구성된다.

[0295] 특정 실시예에서, 탄소 산화물은 연료가 연소됨에 따라 선박 또는 차량에 탑재되어 포집된다. 연료는, 예를 들어, 선박 또는 차량을 추진하기 위해 내연 기관에서 사용될 수 있다. 연료는 난방, 발전 등과 같은 다른 목적을 위해 사용될 수 있다. 포집된 탄소 산화물은, 직접 사용되거나 저장되거나 하류 처리에 의해 상이한 생성물(예를 들어, 화학물질, 폴리머 또는 연료)로 변환되는 환원 생성물을 생성하는, 탄소 산화물 전해기의 캐소드에 제공된다. 전해기 및 관련 하류 구성요소가 연료를 생성하도록 구성된 구체예에서, 생성된 연료는 원래 선박 또는 차량, 혹은 하나 이상의 다른 선박 또는 차량에서 사용될 수 있다. 일부 구현예에서, 탄소 산화물 포집 서브시스템과 전해기는 물론, 선택적 하류 처리 서브시스템이 차량 또는 선박에 탑재되어 제공된다. 일부 구현예에서, 탄소 산화물 포집 서브시스템만이 차량 또는 선박에 제공된다. 일부 경우에, 포집된 탄소 산화물은 차량 또는 선박에 일시적으로 저장된다. 예를 들어, 이산화탄소는 하나 이상의 탱크, 가압 컨테이너, 탱커선 등에 저장될 수 있다. 다른 경우에, 포집된 탄소 산화물은 지하 저장소, 탱커선, 해양 플랫폼 등과 같은 차량 또는 선박 외부에 저장된다. 일부 경우에, 저장된 탄소 산화물은 탄소 산화물 전해기에 제공되는 선박 또는 차량으로부터 양하된다. 저장된 탄소 산화물이 양하될 수 있고 및/또는 전해기가 위치하는 장소의 예는 풍력 에너지 또는 태양 에너지와 같은 그린 에너지의 일부 근접하게 위치한 공급원을 포함하여, 화학 플랜트, 항구 및 해양 플랫폼을 포함한다. 선박 및 차량의 예는 배, 트럭, 버스, 승용차, 항공기 및 기타 선박을 포함한다.

[0296] 도 7B는 이산화탄소가 선박 또는 차량에 탑재된 연료 연소 생성물로부터 포집되는 예를 나타낸다. 도시된 바와 같이, 선박(720)은 탄소 산화물(721)을 생성하고, 이는 탄소 산화물 전해기(723)에 공급되기 전에 저장 매체(722)에 저장된다. 전해기 및 관련 하류 화학 처리 장치는 화학 생성물(725) 및/또는 연료(726)를 생성할 수 있다. 연료의 경우, 연료는 차량 또는 선박에 의해 이용될 수 있다.

[0297] 특정 실시예에서, 시스템의 필요에 따라, 직접 공기 CO_2 포집 서브시스템 하류에 위치한 이산화탄소 전해기는: (a) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제, (b) 본원에 기재된 바와 같은 수소 풍부 생성물 스트림 작동 파라미터 체제 또는 (c) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 수소 생성물 스트림 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0298] **폴리카르보네이트**

[0299] 본 개시내용의 특정 양태는: (a) 하나 이상의 탄소 함유 생성물을 생성하도록 구성된 하나 이상의 탄소 산화물 전해기 및 (b) 하나 이상의 전해기의 생성물로부터 직접적으로 또는 간접적으로 유도된 탄소 함유 화합물로부터 폴리카르보네이트 폴리머를 생성하도록 구성된 하나 이상의 폴리카르보네이트 합성 반응기를 포함하는 폴리카르보네이트 생성 시스템에 관한 것이다.

[0300] 특정 실시예에서, 폴리카르보네이트 생성 시스템의 적어도 하나의 전해기는 선택적으로는 양이온 교환 폴리머 막과 같은 폴리머 전해질 막(PEM)을 포함하는, 막 전극 조립체(MEA)를 포함한다. 달리 명시되지 않거나 문맥으로부터 명확하지 않은 한, 본원에서 이산화탄소 환원 전해기를 포함하는 탄소 산화물 전해기에 대한 언급은 MEA-기반 전해기를 포함하며, 이의 특정 실시예는 본원의 다른 곳에서 설명된다.

[0301] 특정 실시예에서, 폴리카르보네이트 생성 시스템은 일산화탄소를 생성하도록 구성된 이산화탄소 환원 전해기 및 일산화탄소를 후속 반응을 위한 하나 이상의 중간체로 전환하여 폴리카르보네이트 폴리머를 생성하는 하나 이상의 다른 서브시스템을 포함한다.

[0302] 다양한 실시예에서, 탄소 산화물 전해기의 직접 유출물은 페놀, 케톤 및/또는 유기 카르보네이트와 같은 하나 이상의 중간 화합물로 전환되고, 이는 반응하여 폴리카르보네이트를 생성한다. 이러한 중간 화합물로의 전환은 임의의 다양한 공정에 의해 일어날 수 있다. 예는 피셔 트롭쉬 반응, 가스 발효 반응 및 분해 반응을 포함한다.

[0303] 가스 발효 서브시스템 실시예에서, 이산화탄소 전해기는, 일산화탄소 및 선택적으로는 수소를 생성하기 위해 사용되며, 이는 폴리카르보네이트 폴리머를 생성하기 위한 하나 이상의 중간 화합물을 생성하기 위해 하류 가스 발효 공정에서 후속하여 사용된다. 이들 중간 화합물의 예는 케톤(예를 들어, 아세톤), 경질 탄화수소 및 페놀을 포함한다.

[0304] 본원에 기재된 다른 실시예에 부합할 수 있는 피셔 트롭쉬 서브시스템에서, 이산화탄소 전해기로부터의 일산화탄소 및 수소는 반응하여 나프타 또는 다른 경질 탄화수소 생성물을 형성한다.

[0305] 특정 실시예에서, 중간체를 생성하기 위한 하나 이상의 서브시스템은 비스페놀 A와 같은 디올 화합물을 생성하거나 이를 생성하도록 구성된다. 다른 디올 폴리카르보네이트 중간체는 대안적인 실시예에서 생성될 수 있으며, 이들은 비스페놀 A 이외의 비스페놀을 포함한다. 특정 실시예에서, 서브시스템은 일산화탄소 및 염소로부터 포스겐을 생성하기 위한 반응기를 포함한다. 일산화탄소는 이산화탄소 환원 전해기로부터 생성될 수 있다.

[0306] 특정 실시예에서, 폴리카르보네이트 합성 시스템은 공통 전기 버스와 같은 일부 공통 전기 기반시설을 공유할 수 있는 적어도 두 개의 별개의 전해 모듈을 사용한다. 특정 실시예에서, 두 개의 별개의 전해 모듈은 두 개의 별개의 전해 탄소 산화물 환원 전해기이다. 일 예로서, 제1 탄소 산화물 환원 전해기는 일산화탄소 및 선택적으로는 수소 가스를 생성하는 방식으로 설계되거나 구성되거나 작동되는 이산화탄소 전해기이고, 제2 탄소 산화물 환원 전해기는 아세톤과 같은 케톤 또는 에틸렌과 같은 최소 두 개의 탄소 원자를 갖는 적어도 하나의 생성물 화합물을 생성하는 방식으로 설계되거나 구성되거나 작동되는 이산화탄소 전해기이다. 일부 구현예에서, 제1 전해기는 금과 같은 귀금속 촉매가 있는 캐소드를 포함하고 제2 전해기는 구리와 같은 전이 금속 촉매가 있는 캐소드를 포함한다. 본원의 다른 곳에 개시된 바와 같이, MEA 기반 탄소 산화물 전해기는 별개의 생성물(예를 들어, CO 대 C_2 화합물)의 생성을 허용하는 다양한 설계 또는 구성을 가질 수 있다.

[0307] 특정 실시예에서, 제1 전해 모듈은 탄소 산화물 환원 모듈이고 제2 전해 모듈은 염소-알칼리 전지와 같은 염소 생성 모듈이다. 이들 두 모듈은 공통 전기 기반시설을 공유할 수 있다. 일부 실시예에서, 염소 생성 모듈은 유입물로서 염화물 염 및 물을 수용하고 유출물로서 염소 가스 및 수소 가스를 생성하도록 구성된 기존의 염소-알칼리 모듈이다. 일부 실시예에서, 염소 생성 모듈은 전해질 중의 염화물 염을 수용하고 캐소드(산소 탈분극 캐소드)에서 산소 가스를 수용하고 애노드에서 염소 가스 및 캐소드에서 물을 생성하도록 구성된 산소 환원 염소-알칼리 전지를 포함한다. 이러한 산소 환원 염소-알칼리 전지는 효율적으로 작동하여 기존의 염소-알칼리 전지보다 더 적은 전기 에너지를 소비한다. 그러나, 이들은 산소 공급원을 필요로 한다. 일부 구현예에서, 폴리카르보네이트 생성 시스템은 탄소 산화물 환원 전지의 애노드로서 생성된 산소 가스가 산소를 환원시키도록 구성된 염소 생성 전지의 캐소드에 제공되도록 구성된다. 일부 구현예에서, 폴리카르보네이트 생성 시스템은 산소 환원 염소-알칼리 전지에 의해 생성된 물을 양극수 또는 탄소 산화물 공급 스트림을 위한 가습으로서 탄소 산화물 환원 전지에 제공하도록 구성된다.

[0308] 도 8에 나타난 특정 구체예에서, 시스템(801)은 염소를 생성하기 위한 염소-알칼리 전지와 같은 전해 전지를 포

함한다. 일부 구현예에서, 시스템(801)은 산소를 전해기(803)로부터 산소 탈분극 캐소드를 포함하는 염소-알칼리 전지의 캐소드에 공급하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 시스템(801)은 산소를 물 전해기로부터 염소-알칼리 전지의 산소 탈분극 캐소드에 공급하도록 구성된다. 시스템(801)은 수소를 물 전해기로부터 피셔 트롭쉬 반응기, 가스 발효 반응기, 또는 폴리올 전구체의 생성에서 사용되는 다른 반응기에 제공하도록 구성될 수 있다. 전해기(803) 또는 다른 전해기로부터의 산소는 공기 분리와 같은 다른 공급원으로부터 산소 대신 사용될 수 있다.

[0309] 특정 실시예에서, 염소-알칼리 전지의 알칼리성 부산물(예를 들어, 수산화나트륨)이 일 예로서, 탄소 산화물 전해기를 사용하는 포름산염 생성 시스템을 포함하여 포름산염 생성 시스템과 같은 상호보완적인 화학 생성 시스템으로의 공급원료로서 제공된다.

[0310] 특정 실시예에서, 폴리카르보네이트는 폴리머 백본에서 비스페놀 A 결합을 사용하고, 사실상 본원에 제시된 대부분의 시스템 및 방법 예는 포스겐과 함께 폴리카르보네이트 전구체로서 비스페놀 A를 기재한다. 그러나, 일부 적용 분야의 경우, 다른 디올이 비스페놀 A 대신 사용된다. 예는 다른 선형 및 링 불포화 디올 뿐만 아니라 디페놀 및 다른 비스페놀을 포함한다. 본원에 기재된 실시예에서, 비스페놀 A가 언급되는 경우, 다른 바이페놀이 원하는 폴리카르보네이트 최종 생성물에 대해 적절하게 사용될 수 있는 것으로 의도됨을 이해해야 한다. 페놀 생성 모듈을 페놀 유도체 또는 유사체를 생성하도록 구성된 모듈로 대체하고 및/또는 아세톤 생성 모듈을 다른 케톤을 생성하도록 구성된 모듈로 대체하기 위해 적절한 시스템 및 방법 변형예가 사용될 수 있음을 또한 이해해야 한다.

[0311] 폴리카르보네이트 합성 반응은 수산화나트륨으로 비스페놀 A를 처리하는 것을 포함할 수 있고, 이는 비스페놀 A의 하이드록실기를 탈양성자화한다.

[0312] $(HOC_6H_4)_2CMe_2 + 2\ NaOH \rightarrow Na_2(OC_6H_4)_2CMe_2 + 2\ H_2O$

[0313] 디페녹사이드(Na2(OCeH4)2CMe2)는 포스겐과 반응하여 클로로포르산염을 제공하고, 이는 후속하여 또 다른 페녹사이드에 의해 공격을 받는다. 디페녹사이드로부터의 알짜 반응은 다음과 같다:

[0314] $Na_2(OC_6H_4)_2CMe_2 + COCl_2 \rightarrow 1/n\ [OC(OC_6H_4)_2CMe_2]_n + 2\ NaCl$

[0315] 다양한 실시예에서, 폴리카르보네이트 생성 시스템에서 사용되는 적어도 하나의 이산화탄소 환원 전해기는 일산화탄소 이외에 상당한 분율의 수소를 생성하는 방식으로 작동하도록 설계되거나 구성된다. 특정 실시예에서, 디올 생성 반응기 상류에 위치한 이산화탄소 전해기는 (a) 본원에 기재된 바와 같은 수소 풍부 생성물 스트림 작동 파라미터 체제 및/또는 (b) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0316] 일산화탄소를 생성하기 위한 전해기는 흔히 금과 같은 귀금속을 포함하는 캐소드 촉매를 사용한다. 이러한 촉매는 메탄, 에틸렌, 포름산 등과 같은 수소-함유 화합물보다 일산화탄소의 생성을 선호한다. 수소 풍부 생성물을 제공하는 방식으로 구성된 전해기는 (a) 이산화탄소 반응물의 캐소드를 고갈시키고, 및/또는 (b) 상대적으로 높은 플럭스의 수소 이온이 이들이 생성되는 애노드로부터 캐소드롤 수송되도록 허용하는 설계를 사용할 수 있다. 상대적으로 적은 이산화탄소로 작동할 수 있는 전해기는 이산화탄소가 전해기 캐소드 상의 활성 부위에 도달하는 것을 제한하는 유동장 또는 가스 확산 구성요소를 가질 수 있다. 캐소드으로의 상대적으로 높은 플럭스의 수소 이온으로 작동할 수 있는 전해기는 캐소드 및/또는 사용되는 경우 캐소드 완충층에서 양이온 전도성 폴리머 및/또는 혼합 이온 전도성 폴리머를 갖는 MEA를 가질 수 있다. MEA가 음이온 전도성 캐소드 완충층을 포함하는 일부 경우에, 층은 상대적으로 얇게 및/또는 상대적으로 높은 수소 이온 전달 수를 갖도록 설계된다.

[0317] 도 8A는 이산화탄소 환원 전해기를 사용하여 폴리카르보네이트 폴리머를 생성하기 위한 시스템의 일반적인 도면이다. 도시된 바와 같이, 폴리카르보네이트 생성 시스템(801)은 반응물로서 이산화탄소와 물 및 산소와 하나 이상의 이산화탄소 환원 생성물을 생성하는 애노드 및 캐소드 반응을 유도하기 위해 전기를 수용하도록 구성된 이산화탄소 환원 전해기(803)를 포함한다. 도시된 구체예에서, 이산화탄소 환원 반응기(803)는 하나의 환원 생성물로서 적어도 일산화탄소를 생성하도록 구성된다. 시스템(801)은 특히 전해기(803)로부터 포스겐 생성 반응기(805)로 일산화탄소를 전달하도록 구성된다. 반응기(805)는 염소 가스를 수용하기 위한 유입부를 추가로 포함한다. 염소 가스와 일산화탄소는 포스겐 반응기(805)에서 반응하여 유출물로서 포스겐을 생성한다. 시스템(801)은 포스겐 반응기(805)로부터 폴리카르보네이트 합성 반응기(807)로 포스겐을 전달하도록 추가로 구성된다.

[0318] 특정 실시예에서, 포스겐 생성 반응기로부터 상류에 위치한 이산화탄소 전해기는 (a) 본원에 기재된 바와 같은

높은 환원 생성물 대 수소 생성물 스트림 작동 파라미터 체제 및/또는 (b) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0319] 도시된 바와 같이, 폴리카르보네이트 합성 반응기(807)는 또한, 디올 유입물 재료를 수용하기 위한 유입부를 갖는다. 디올 유입물은 도면에 도시되지 않은 반응기를 통하는 것을 포함하는 다양한 방법에 의해 생성될 수 있다. 대안적으로, 본원에 도시된 바와 같이, 시스템(801)은 전해기(803)로부터 이산화탄소 환원 생성물을 수용하도록 구성된 서브시스템(809) 또는 디올 합성 반응기를 포함한다. 다양한 실시예에서, 이들 전해기 반응 생성물은 일산화탄소 및 수소를 포함한다. 일부 경우에, 이들 전해기 생성물은 C_2 또는 더 고급인 생성물, 예컨대, 아세톤 또는 포름알데하이드를 포함한다. 특정 실시예에서, 반응기 또는 서브시스템(809)은 전해기(803) 이외의 공급원으로부터 유입물을 수용하고 반응하도록 구성된다. 이러한 다른 유입물은 예를 들어 비스페놀과 같은 페놀 화합물을 포함할 수 있다. 시스템(801)은 또한, 디올 합성 반응기 또는 서브시스템(809)에 의해 생성된 디올을 폴리카르보네이트 합성 반응기(807)로 수송하도록 구성된다. 폴리카르보네이트 합성 반응기(807) 내에서, 디올 및 포스겐이 반응하여 폴리카르보네이트 폴리머를 생성한다. 도시된 실시예에서, 폴리카르보네이트 최종 생성물은 폴리카르보네이트 합성 반응기(807)로부터 출구를 통해 이용 가능하다.

[0320] 도 8에 도시된 것과 같은 폴리카르보네이트 생성 시스템이 도면에 도시되지 않은 추가적인 또는 대안적인 유형의 모듈을 포함할 수 있음을 이해해야 한다. 이들은 예를 들어 하나 이상의 정제 유닛, 가령, 일산화탄소 정제 모듈, 가열기, 압축기, 응축기 및 기타 다른 화학 반응기를 포함한다. 도 8의 시스템에서 사용하기 위한 가스 정제 유닛의 예 또는 본원에 기재된 임의의 다른 폴리카르보네이트 생성 시스템은 도 19 및 20와 관련 설명에 제시된다.

[0321] 페놀, 케톤 및 유기 탄산염 중간체를 생성하기 위해 사용될 수 있는 반응기 유형 중에는 가스 발효 반응기, 피셔 트롭쉬 반응기 및 산화적 카르보닐화 반응기가 포함된다. 일부 경우에, 특히 페놀 화합물에 의해 형성에 사용되는 반응 경로의 경우, 시스템(801)은 다중 중간 모듈 또는 반응기를 포함할 수 있다. 일 예에서, 시스템(801)은 단순 액체 탄화수소를 생성하기 위한 하나의 모듈, 이러한 탄화수소를 분해하여 방향족 및 기타 불포화 탄소-함유 화합물을 생성하기 위한 또 다른 모듈 및/또는 케톤, 유기 카르보네이트 및/또는 페놀 유도체를 생성하기 위한 하나 이상의 추가 중간 반응기를 포함한다. 다양한 실시예에서, 케톤 및/또는 페놀을 생성하기 위한 이러한 중간 모듈은 이산화탄소 환원 전해기(803)에 의해 생성된 일산화탄소 및 과잉 수소의 조합을 사용한다. 폴리카르보네이트를 생성하기 위한 다양한 통합 시스템의 예는 2021년 11월 4일에 출원된 미국 가특허출원 63/263,567에 제시되어 있으며, 이는 본원에 참조문헌으로 통합되어 있다.

[0322] **포름산염**

[0323] 알칼리 금속 포름산염은 액체 세제에서 효소 안정화제를 포함하여 많은 용도를 갖는다. 효소는 리파아제, 아밀라아제, 프로테아제 등일 수 있다. 알칼리 토금속 포름산염과 같은 다른 포름산염도 또한 많은 용도를 갖는다. 특정 실시예에서, 포름산염 생성 시스템은 이산화탄소를 일산화탄소로 전환하는 이산화탄소 환원 전해기를 사용하고, 이는 알칼리 금속 포름산염을 생성하도록 처리된다. 다양한 실시예에서, 금속 포름산염은 금속 수산화물을 일산화탄소와 접촉시켜 생성된다. 접촉은 액체(예를 들어, 수성) 또는 고체 매질에서 일어날 수 있다.

[0324] 도 9는 이산화탄소 환원 전해기(903), 포름산염 생성 반응기(905) 및 다양한 하류 포름산염 회수 유닛을 포함하는 예시 포름산염 생성 시스템(901)을 도시한다. 전해기(903)는 반응물로서 산소 및 이산화탄소를 수용하고 이산화탄소의 환원을 유도하여 일산화탄소를 생성하도록 전기를 수용하도록 구성된다. 시스템(901)은 일산화탄소를 전해기(903)로부터 포름산염 생성 반응기(905)로 수송하도록 구성되고, 여기서 일산화탄소는 수산화물(예를 들어, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 수산화세슘 또는 수산화칼슘)과 반응하여 용해된 금속 포름산염을 생성한다. 반응기(905)는 전해기(903)로부터의 일산화탄소 뿐만 아니라 금속 수산화물, 용매 및 촉매를 수용하도록 구성된다. 반응기(905)는 교반되는 탱크 반응기일 수 있다.

[0325] 특정 실시예에서, 금속 포름산염 생성 반응기 상류에 위치한 이산화탄소 전해기는 (a) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 수소 생성물 스트림 작동 파라미터 체제 및/또는 (b) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0326] 시스템(901)은 포름산염 함유 용액을 반응기(905)로부터 탈기 유닛(907)으로 수송하도록 구성되고, 이는 작업 동안 가스를 포름산염 용액으로부터 제거한다. 이러한 가스는 미반응 일산화탄소를 포함한다. 시스템(901)은 탈기된 포름산염 용액을 유닛(907)으로부터, 포름산염 용액으로부터 적어도 부분적으로 용매를 증발시키고 슬러리 또는 다른 액체-고체 혼합물 함유 침전된 금속 포름산염을 생성하도록 구성된 증발기(909)로 추가로 수송하도록

구성된다. 시스템(901)은 증발기(909)의 유출물을 수용하고 여과하도록 구성된 여과 유닛(911)을 추가적으로 포함한다. 여과 유닛(911)의 유출물은 농축된 고체 금속 포름산염을 포함한다. 시스템(901)은 포름산염 재료를 용매와 접촉시켜 유닛(911)의 고체 포름산염 함유 유출물을 세척하도록 구성된 용매 세척 유닛(913)을 추가적으로 포함한다. 시스템(901)은 여과되고 세척된 고체 포름산염을 유닛(913)으로부터, 고체 포름산염을 건조하고 고체 금속 포름산염을 최종 형태로 생성하도록 구성된 건조기(915)로 수송하도록 추가로 구성된다. 건조기(915)는 질소 또는 이산화탄소와 같은 건조 가스를 열과 함께 수용하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 건조기(915)는 전해기(903)로부터 폐열을 수용하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 건조기(915)는 전해기(903)로부터 또는 입구 스트림으로부터 전해기(903)로 이산화탄소를 수용하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 외부에서 제공된 건조 이산화탄소는 건조기(915)로부터 전해기(903)를 위한 유입물 스트림으로 전달된다.

[0327] 일부 구현예에서, 시스템(901)에 의해 생성된 포름산염은 포름산나트륨, 포름산칼륨 또는 포름산세슘과 같은 알칼리 금속 포름산염, 또는 포름산칼슘 또는 포름산바륨과 같은 알칼리 토류 포름산염이다. 일부 경우에, 시스템(901)은 금속 포름산염을 염산과 같은 산과 접촉시키도록 구성된 반응기를 사용하여 금속 포름산염으로부터 포름산을 생성하도록 구성된다.

[0328] 일부 실시예에서, 금속 포름산염은 이산화탄소 전해기에 의해 생성된 일산화탄소를 고체 또는 슬러리 형태 금속 수산화물과 접촉시켜 생성된다. 예를 들어, 포름산나트륨은 고체 수산화나트륨을 일산화탄소 스트림와 접촉시켜 생성될 수 있다. 이 반응은 NaOH (s) + CO (g) →NaCOOH (s)로 나타낼 수 있다. 고체 수산화물은 분말과 같은 다양한 형태로 제공될 수 있다. 일부 경우에, 반응에 이용 가능한 수산화물의 표면적을 증가시키기 위해, 이는 선택적으로는 일산화탄소와의 반응 동안 분쇄되거나, 미분되거나 또는 그 외에 달리 입자 크기가 감소된다. 예를 들어, 고체 수산화물은 일산화탄소와의 접촉 동안 볼 밀 오토클레이브에서 분쇄될 수 있다. 일부 경우에, 선택적으로는, 오토클레이브에서의 반응 동안, 고체 수산화물은 최소 약 200℃예를 들어, 약 230 내지 300℃의 온도 및/또는 최소 약 2 bar(예를 들어, 약 5 내지 10 bar)의 압력에서 일산화탄소와 접촉한다. 일부 실시예에서, 오토클레이브에서의 포름산염 생성 반응은 최소 약 15 내지 60 분 또는 약 20 내지 40 분의 체류 시간을 갖는다.

[0329] 일부 금속 포름산염 합성에서, 일산화탄소는 최소 약 0.5 몰분율, 또는 최소 약 0.8 몰분율, 또는 최소 약 0.9 몰분율의 농도로 반응기(예를 들어, 고체 금속 수산화물이 있는 오토클레이브)에 제공된다.

[0330] **에틸렌 글리콜**

[0331] 도 10A 및 10B는 에틸렌 글리콜(모노에틸렌 글리콜 또는 MEG) 제조 공정을 도시한다. 도 10A에 나타난 바와 같이, MEG 생성 시스템(1001)은 탄소 산화물 전해기(1003), 산화에틸렌 생성 반응기(1005) 및 MEG 생성 반응기(1007)를 포함한다. 전해기(1003)는 에틸렌을 생성하도록 구성된다. 시스템(1001)은 전해기(1003)로부터 산화에틸렌 생성 반응기(1005)로 에틸렌을 전달하도록 구성된다. 선택적으로는, 시스템(1001)은 전해기(1003)로부터 반응기(1005)로 산소를 전달하도록 추가적으로 구성된다. 산소의 공급원에 관계없이, 반응기(1005)는 에틸렌과 산소를 반응시켜 산화에틸렌을 생성하도록 구성된다.

[0332] 특정 실시예에서, 반응기(1005)는 에틸렌 및 산소로부터 직접 산화에틸렌을 생성하도록 설계되거나 구성된 직접 산화에틸렌 반응기이다. 이러한 접근에서, 에틸렌 및 압축 산소는 다중관 촉매 반응기(반응기(1005)의 예)에 공급될 수 있다. 이러한 반응기의 작업 동안, 혼합물은 약 200-300℃및 약 10-30 bar에서 다공성 캐리어에 지지된 산화은 촉매에 전달된다. 반응은 발열 반응이고, 제거된 열이 시스템의 다른 곳에서 사용될 수 있다. 시스템(1001)은 반응기(1005)로부터의 가스를 냉각하고 이를 산화에틸렌이 희석된 수용액으로서 흡수되는 스크러버를 통과시키도록 구성될 수 있다.

[0333] 시스템(1001)은 산화에틸렌을 반응기(1005)로부터 에틸렌 글리콜 생성 반응기(1007)로 전달하도록 구성될 수 있다. 반응기(1007)는 산화에틸렌과 물을 반응시켜 에틸렌 글리콜을 생성하도록 구성될 수 있다. 반응은 산 또는 염기에 의해 촉매화되거나, 중성 pH 및 상승된 온도에서 수행될 수 있다. 특정 실시예에서, 시스템(1001)은 열을 전해기(1003) 및/또는 산화에틸렌 생성 반응기(1005)로부터 MEG 반응기(1007)로 제공하도록 구성된다.

[0334] 도 10B에 나타난 바와 같이, MEG 생성 시스템(1011)은 이산화탄소 전해기(1013) 및 MEG 생성 반응기(1017)를 포함한다. 전해기(1013)는 일산화탄소 및 수소를 생성하도록 설계 또는 구성된다. 시스템(1011)은 산소와 함께(선택적으로 전해기(1013)로부터의) 이들 유출물을 반응기(1017)로 전달하도록 구성되며, 여기서 반응물은 반응하여 에틸렌 글리콜을 생성한다. 반응기(1017)는 메탄올, 삼산화이질소 및 일산화탄소를 포함하는 반응 경로로부터 중간체로서 디메틸 옥살산염을 생성하는 2단계 공정을 통해 이들 반응물로부터 에틸렌 글리콜을 생성하도록

구성될 수 있다. 디메틸 옥살산염의 생성은 팔라듐 촉매를 사용할 수 있다. 반응기(1017)는 구리 촉매를 사용하여 디메틸 옥살산염을 수소 가스와 반응시켜 에틸렌 글리콜을 생성함으로써 제2 단계를 수행하도록 구성될 수 있다. 이 공정에서, 일산화탄소, 수소 및 산소 만이 소모된다. 반응을 위한 수소는 임의의 적합한 공급원으로부터 나올 수 있다. 일반적인 수소 공급원은 시스템(1011)에서 수소 생성기(1019)로 나타난다. 특정 실시예에서, 수소 생성기(1019)는 물 전해기이다. 특정 실시예에서, 수소 생성기(1019)는 물 전환 반응을 수행하도록 구성된 반응기이다. 특정 실시예에서, 수소는 화석 연료로부터 생성되고, 이산화탄소 생성물은 선택적으로는 전해기(1013)로 재순환된다. 시스템(1011)은 전해기(1013)로부터 연소 반응기로 과잉 산소를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0335] 특정 실시예에서, MEG 생성 반응기 상류에 위치한 이산화탄소 전해기는 (a) 본원에 기재된 바와 같은 수소 풍부 생성물 스트림 작동 파라미터 체제 및/또는 (b) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0336] **폴리에틸렌 테레프탈레이트**

[0337] 도 11은 폴리머 폴리에틸렌 테레프탈레이트를 생성하기 위해 사용될 수 있는 시스템(1101)의 개략적 도시를 제공한다. 하나의 공정 또는 공정의 그룹은 에틸렌을 생성하도록 구성된 탄소 산화물 전해기(1103)를 사용한다. 또 다른 공정 또는 공정의 그룹은 일산화탄소 및 수소를 생성하도록 구성된 이산화탄소 전해기(1113)를 사용한다.

[0338] 시스템(1101)은 전해기(1103)를 포함하는 PET 생성 경로를 구현하도록 구성된다. 도시된 바와 같이, 시스템(1101)은 추가적으로 산화에틸렌 생성 반응기(1105) 및 에틸렌 글리콜 생성 반응기(1107)를 포함하고, 이는 도 10A의 시스템(1001)에서와 같이 구성되고 배열될 수 있다. 시스템(1101)은 에틸렌 글리콜과 프탈산과 반응하여 PET 폴리머를 생성하도록 구성된 PET 생성 반응기(1109)로 에틸렌 글리콜을 전달하도록 구성된다.

[0339] 에틸렌 글리콜 및 프탈산을 모두 생성하기 위한 시스템(1101)의 버전은 일산화탄소 및 수소를 생성하도록 구성된 전해기(1113)를 포함한다. 에틸렌 글리콜 생성 경로는 가능하게는 MEG 생성 반응기(1117)에서 공급원(1119)으로부터 추가 수소를 첨가하여, 이들 생성물을 반응시키도록 구성된다. 시스템(1101)은 반응기(1117)로부터 PET 생성 반응기(1109)로 MEG를 제공하도록 구성된다. 전해기(1113)를 사용하는 시스템(1101)의 버전은, 선택적으로는, 전해기 (1103), 산화에틸렌 생성 반응기(1105) 및 MEG 합성 반응기(1107)를 사용하는 MEG 경로를 위한 구성요소를 포함하지 않는다.

[0340] 전해기(1113)를 사용하는 시스템(1101)의 버전은 전해기(1113)에 의해 생성된 일산화탄소 및 수소로부터 테레프탈산을 생성하기 위한 반응기를 또한 포함할 수 있다. 반응기는 중간체로서 나프타 및 p-자일렌을 생성할 수 있다. 도시된 구체예에서, 피셔 트롭쉬 또는 가스 발효 반응기(1121)는 전해기(1113)에 의해 일산화탄소 및 수소 유출물로부터 나프타를 생성하도록 구성된다. 반응기(1121)는 본원의 다른 곳에 설명된 바와 같이 설계되거나 구성될 수 있다. 나프타 분해 반응기(1123)는 나프타를 분해하고 p-자일렌을 생성하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 시스템(1101)은 분해기(1123)에 의해 생성된 과잉 열 및/또는 수소를 반응기(1121)에 공급하도록 구성된다. PTA 반응기(1125)는 p-자일렌을 테레프탈산으로 전환하도록 구성된다.

[0341] 특정 실시예에서, 피셔 트롭쉬 반응기 상류에 위치한 이산화탄소 전해기는 (a) 본원에 기재된 바와 같은 수소 풍부 생성물 스트림 작동 파라미터 체제 및/또는 (b) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0342] 시스템(1101)의 일부 버전에서, 탄소 산화물 환원 전해기는 전기분해에 의해 에틸렌 글리콜(MEG)을 직접 생성하도록 구성된다. 이러한 버전에서, 전해기는 반응기(1107) 또는 반응기(1117)를 사용하는 것과 같은 또 다른 MEG 생성 경로를 대체하거나 보완할 것이다. 시스템(1101)의 일부 버전은 수소와 함께 반응기(1113)로부터의 일산화탄소를 p-자일렌으로 직접 전환하도록 구성된 반응기를 사용한다. 이 버전의 시스템(1101)은 이러한 p-자일렌을 PTA 반응기(1125)로 수송하도록 구성된다.

[0343] **아세트산**

[0344] 도 12는 이산화탄소 전해기(1203)에 의해 생성된 일산화탄소 및 수소로부터 아세트산을 생성하기 위한 시스템(1201)을 개략적으로 도시한다. 시스템(1201)은 일산화탄소 및 수소를 반응시켜 메탄올을 생성하도록 구성된 메탄올 생성 반응기(1205)를 포함한다. 반응기(1205)는 합성가스를 사용하는 종래의 메탄올 합성 반응기의 방식으로 구성될 수 있다.

[0345] 특정 실시예에서, 메탄올 생성 반응기 상류에 위치한 이산화탄소 전해기는 (a) 본원에 기재된 바와 같은 수소 풍부 생성물 스트림 작동 파라미터 체제 및/또는 (b) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0346] 시스템(1201)은 또한, 메탄올 및 정제된 일산화탄소를 반응시켜 아세트산을 생성하도록 구성된 아세트산 생성 반응기(1207)를 포함한다. 반응기(1207)는 예를 들어 금속 카르보닐 촉매를 사용하여 메탄올 카르보닐화를 수행하도록 구성될 수 있다. 특정 실시예에서, 시스템(1201)은 정제된 일산화탄소를 생성하도록 구성된 일산화탄소 정제 유닛(1209)을 포함한다. 이산화탄소 정제 유닛은 본원의 다른 곳에 설명된 방식으로 (예를 들어 도 19 및 20의 유닛 방식으로) 설계될 수 있다.

[0347] **이소시아네이트**

[0348] 도 13은 전해적으로 생성된 일산화탄소로부터 디이소시아네이트를 생성하도록 구성된 시스템(1301)을 개략적으로 도시한다.

[0349] 시스템(1301)은 이산화탄소 전해기(1313)에 의해 생성된 일산화탄소를 일산화탄소 정제 유닛(1317)에 수송하도록 구성될 수 있다. 시스템(1301)은 또한, 유닛(1317)으로부터, 정제된 일산화탄소를 염소와 반응시켜 포스겐을 생성하도록 구성된 포스겐 생성 반응기(1319)로, 정제된 일산화탄소를 수송하도록 구성될 수 있다. 특정 실시예에서, 포스겐 생성 반응기(1319)는 본원에 기재된 다른 포스겐 생성 반응기와 유사한 방식으로, 예컨대, 폴리카르보네이트 생성 시스템과 연결되어 작동하도록 설계되거나 구성된다. 일산화탄소 정제 유닛의 예는 도 19 및 20 및 관련 설명에 제시된다.

[0350] 특정 실시예에서, 포스겐 생성 반응기로부터 상류에 위치한 이산화탄소 전해기는 (a) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 수소 생성물 스트림 작동 파라미터 체제 및/또는 (b) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0351] 특정 실시예에서, 시스템(1301)은 염소를 생성하기 위한 염소-알칼리 전지와 같은 전해 전지를 포함한다. 시스템(1301)은 염소를 포스겐 생성 반응기(1319)에 제공하도록 구성될 수 있다. 일부 구현예에서, 시스템(1301)은 전해기(1313)의 산소 부산물을 산소 탈분극 캐소드를 포함하는 염소-알칼리 전지의 캐소드에 공급하도록 구성된다. 전해기(1313)로부터의 산소는 공기 분리와 같은 다른 공급원으로부터 산소 대신 사용될 수 있다. 일부 구현예에서, 시스템(1301)은 물 전해기를 포함하고 시스템(1301)은 물 전해기에 의해 생성된 산소를 염소-알칼리 전지의 산소 탈분극 캐소드에 공급하도록 구성된다. 시스템(1301)은 물 전해기로부터의 수소를 아민 생성 반응기에 제공하도록 구성될 수 있다.

[0352] 도시된 실시예에서, 시스템(1301)은 포스겐 생성 반응기(1319)로부터 포스겐 및 아민을 반응시켜 폴리이소시아네이트, 예를 들어, 공급된 아민의 구조에 따라, 톨루엔 디이소시아네이트(TDI) 또는 메틸렌 디이소시아네이트(MDI)와 같은 디이소시아네이트를 생성하도록 구성된 이소시아네이트 생성 반응기(1321)로 포스겐을 수송하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 반응기(1321)는 저온에서 불활성 유기 용매 중에서 포스겐 및 유리 아민을 반응시키도록 구성된다. 카르바모일 클로라이드 및 아민 하이드로클로라이드의 생성된 혼합물은 이후 더 높은 온도에서 반응하여 원하는 폴리이소시아네이트를 생성한다.

[0353] 특정 실시예에서, 아민 반응물은 예를 들어 피셔 트롭쉬 및 분해 반응을 통해 본원에 기재된 바와 같은 탄소 산화물 전해기에 의해 생성된 하나 이상의 탄소 산화물 환원 생성물을 사용하는 반응기 또는 반응에 의해 생성된다. 특정 실시예에서, 아민 반응물은 가스 발효 반응기와 같은 생물반응기에 의해 생성된다. 특정 실시예에서, 시스템(1301)은 (선택적으로 전해기(1313) 또는 물 전해기로부터) 전해적으로 생성된 수소를 아민 생성물 또는 아민 생성에서 사용되는 중간체를 생성하도록 구성된 가스 발효 반응기에 제공하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 아민 생성을 위한 수소는 별도의 공급원에 의해 제공된다.

[0354] 아민 공급원에 관계없이, 반응기(1321)는 포스겐화 반응에 의해 폴리아민을 포스겐과 반응시켜 디이소시아네이트와 같은 폴리이소시아네이트를 생성하도록 구성될 수 있다. 특정 실시예에서, 디이소시아네이트는 2,4-톨루엔 디이소시아네이트 및/또는 2,6-톨루엔 디이소시아네이트이다. 특정 실시예에서, 디이소시아네이트는 4,4'-디페닐메탄 디이소시아네이트이다.

[0355] 다양한 실시예에서, 실질적으로 순수한 일산화탄소는 포스겐을 생성하기 위해 사용되며, 이는 이후 다양한 아민과 반응하여 이소시아네이트를 생성한다. 일부 아민은 수소를 사용하여, 따라서 이산화탄소 전해기로부터 또는 같은 위치의 물 전해기로부터 부산물 수소에 대한 적용을 제공하여 생성될 수 있다.

[0356] 일 예로서, 톨루엔 디이소시아네이트(TDI)를 생성하도록 구성된 시스템의 경우, 이산화탄소 전해기는 수소 풍부 유출물 스트림을 생성하도록 구성되거나 작동될 수 있다. 높은 수소 함량 스트림(예를 들어, 대략 1:1 H_2:CO 비율)이 전구체 톨루엔 디아민(TDA) 및 포스겐의 생성을 위해 사용될 수 있다. TDA는 디니트로톨루엔의 수소화에 의해 생성될 수 있다. 예를 들어, 수소는 디니트로톨루엔을 생성하기 위한 톨루엔의 니트로화에 사용되는 질산(다른 곳에서 설명됨)을 생성하기 위해 사용될 수 있다.

[0357] 특정 실시예에서, 이산화탄소 전해기를 포함하는 시스템은 아닐린 및 포스겐으로부터 메틸렌 디이소시아네이트(MDI)를 생성하도록 구성된다. 아닐린은 니트로벤젠의 수소화에 의해 생성될 수 있다. 일부 실시예에서, 아닐린을 통해 MDI를 생성하기 위한 시스템은 상대적으로 높은 수소 대 일산화탄소 비율(예를 들어, 약 3:1 수소:CO 부근)을 갖는 공급 가스를 생성하도록 구성된다. 일부 실시예에서, 시스템은 니트로벤젠을 생성하기 위한 벤젠의 니트로화에 사용되는 질산(다른 곳에서 설명됨)을 생성하도록 구성된다. 시스템은 상대적으로 낮은 농도의 수소(예를 들어,수소 및 CO의 약 1:1 부근의 비율)를 함유하는 별도의 가스 스트림을 사용하도록 구성될 수 있으며, 이는 포름알데하이드를 생성하기 위해 사용될 수 있고, 포름알데하이드는 아닐린과 반응하여 디아민을 생성하고, 이는 후속하여 포스겐화되어 MDI를 생성한다.

[0358] 특정 실시예에서, 이산화탄소 전해기를 포함하는 시스템은 수소 풍부 가스 스트림(예를 들어 약 4:1의 H_2:CO 비율을 갖는 가스 스트림)을 사용하여 헥사메틸렌 디이소시아네이트(HDI)를 생성하도록 구성된다. 시스템은 아디포니트릴을 수소화하여 헥사메틸렌디아민을 생성하도록 구성될 수 있으며, 이는 후속하여 포스겐화되어 HDI를 생성한다.

[0359] **폴리우레탄**

[0360] 도 14는 폴리머 폴리우레탄을 생성하기 위해 사용될 수 있는 시스템(1401)의 개략적 도시를 제공한다. 반응기의 한 그룹은 에틸렌를 생성하도록 구성된 탄소 산화물 전해기(1403)를 사용한다. 반응기의 또 다른 그룹은 일산화탄소 및 수소를 생성하도록 구성된 이산화탄소 전해기(1413)를 사용한다. 대안의 실시예에서, 반응기의 이들 두 그룹 중 단지 하나만이 사용되며, 반응기의 그룹 중 다른 하나에 의해 생성될 중간 화학물질을 제공하기 위해 대안의 공급원이 사용된다.

[0361] 일부 구현예에서, 시스템(1401)은 전해기(1403)로부터 산화에틸렌 생성 반응기(1405)로 에틸렌 및 선택적으로는 산소를 수송하도록 구성된다. 시스템(1401)은 또한, 산화에틸렌을 반응기(1405)로부터 에틸렌 글리콜 생성 반응기(1407) 및/또는 폴리에틸렌 글리콜 생성 반응기(1409)로 제공하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 산화에틸렌 생성 반응기(1405) 및/또는 에틸렌 글리콜 생성 반응기(1407)는 시스템(1001)의 반응기(1005 및 1007)와 유사한 방식으로 작동하도록 설계되거나 구성된다.

[0362] 폴리에틸렌 글리콜 생성 반응기(1409)는 산화에틸렌을 물, 에틸렌 글리콜 및/또는 에틸렌 글리콜 올리고머의 상호작용으로부터 폴리에틸렌 글리콜을 생성하도록 구성될 수 있다. PEG 사슬의 길이 및 생성물의 다분산성은 반응물의 선택 및 비율에 의해 영향을 받는다. 시스템(1401)은 반응기(1409)로부터 일산화탄소 정제 공정(예를 들어, 포스겐 생성을 위한) 또는 기타 에너지-요구 공정으로 발열 PEG 생성 반응에 의해 생성된 열을 수송하도록 구성될 수 있다. 일산화탄소 정제 유닛의 예는 도 19 및 20 및 관련 설명에 제시된다.

[0363] 일부 구현예에서, 시스템(1401)은 일산화탄소 및 선택적으로는 수소를 전해기(1413)로부터 하나 이상의 폴리올(예를 들어 폴리에틸렌 글리콜)을 생성하도록 구성된 반응기 또는 반응기의 그룹(1415)으로 수송하도록 구성된다. 반응기 또는 반응기의 그룹(1415)은 가스 발효 반응에 의해 폴리올을 생성하도록 구성된 생물반응기일 수 있다. 일부 실시예에서, 반응기(들)(1415)는 조류-기반 반응을 사용하여 폴리올을 생성하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 반응기 또는 반응기의 그룹(1415)은 폴리올로 전환될 수 있는 탄화수소를 생성하기 위해 사용되는 피셔 트롭쉬 반응기 및/또는 나프타 분해 반응기를 포함한다.

[0364] 특정 실시예에서, 나프타 생성 및 분해 서브시스템 상류에 위치한 이산화탄소 전해기는 (a) 본원에 기재된 바와 같은 수소 풍부 생성물 스트림 작동 파라미터 체제 및/또는 (b) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0365] 시스템(1401)은 MDI 또는 TDI와 같은 디이소시아네이트를 생성하기 위해 전해기(1413)에 의해 생성된 일산화탄소 및 선택적으로는 수소를 이용하도록 구성될 수 있다. 특정 실시예에서, 시스템(1401)은 서브시스템으로서 도 13에 나타난 시스템(1301)을 사용하여 디이소시아네이트 생성을 구현하도록 구성된다. 이러한 서브시스템은 일산화탄소 정제 유닛 및 포스겐 생성 반응기를 포함할 수 있다. 포스겐 및 유리 아민과 같은 디이소시아네이트

전구체가 어떻게 생성되는지에 관계없이, 시스템(1401)은 디이소시아네이트 생성 반응기(1421)에서 이들을 반응시키도록 구성된다. 생성될 폴리우레탄에 따라, 다양한 유형의 디이소시아네이트가 사용될 수 있다. 예는 2,4-톨루엔 디이소시아네이트 및/또는 2,6-톨루엔 디이소시아네이트를 포함한다. 특정 실시예에서, 디이소시아네이트는 4,4'-디페닐메탄 디이소시아네이트이다.

[0366] 시스템(1401)은, 선택적으로는, 에틸렌-생성 전해기(1403)의 출구 스트림에서 과잉 일산화탄소를 포스겐/이소시아네이트 생성 경로로 제공하도록 구성된다.

[0367] 시스템(1401)은 폴리올 및 디이소시아네이트를 수용하고, 이들을 반응시켜 폴리우레탄 폴리머를 생성하도록 구성된 폴리우레탄 생성 반응기(1411)를 포함한다. 특정 구현예에서, 폴리올은 예를 들어 반응기 또는 반응기 그룹(1415) 및/또는 폴리에틸렌 글리콜 생성 반응기(1409)에 의해 생성된다. 일부 구현예에서, 시스템(1401)은 폴리올을 이들 반응기 중 하나 또는 둘로부터 수송하고 및/또는 디이소시아네이트를 반응기(1421)로부터 폴리우레탄 생성 반응기(1411)로 수송하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 반응기(1411)는 폴리올 및 디이소시아네이트의 스트림을 접촉 및 반응시키도록 설계되거나 구성된다. 특정 실시예에서, 폴리올 스트림은 촉매(예를 들어 산성 또는 염기성 아민), 계면활성제 및/또는 발포제를 포함한다.

[0368] **옥살산**

[0369] 특정 실시예에서, 옥살산은 이산화탄소 전해기에 의해 생성된 일산화탄소로부터 생상된다. 일산화탄소로부터 옥살산을 생성하기 위해 다양한 경로가 사용될 수 있다. 이들 경로를 통합하는 시스템의 예는 도 15 내지 18에 도시된다.

[0370] 특정 실시예에서, 이산화탄소 전해기 및 관련 옥살산 생성 유닛은 시멘트 생산을 위한 플랜트 또는 그 근처에 배치된다. 시멘트 플랜트에 의해 생성된 이산화탄소는 이산화탄소 전해기를 위한 공급원료로 사용될 수 있다. 시스템에 의해 생성된 옥살산은 시멘트 경화에 사용될 수 있다. 특정 실시예에서, 시멘트에 사용되는 옥살산은 매우 낮은 용해도를 갖는 옥살산칼슘을 생성한다. 옥살산을 사용하여 생성된 시멘트는 사용하는 동안(예를 들어, 설치 또는 시공 후에) 산과의 접촉으로 인한 분해에 저항할 수 있다.

[0371] 도 15는 일산화탄소 및 수소를 생성하도록 구성된 이산화탄소 전해기(1503)를 포함하는 시스템(1501)을 도시한다. 시스템(1501)은 전해기(1503)에 의해 생성된 일산화탄소 및 수소의 일부를, 선택적으로는 약간의 산소와 함께, 알코올 생성 반응기(1505)로 수송하도록 구성된다. 반응기(1505)는 특정 실시예에서 메탄올 또는 부탄올을 생성하도록 구성된다.

[0372] 일부 구현예에서, 반응기(1505)는 일산화탄소를 부탄올과 같은 알코올로 전환하기 위한 대사 경로를 갖는 유기체를 사용하는 생물반응기이다. 이러한 유기체의 예는 클로스트리디움 카르복시디보란스(Clostridium carboxidivorans), 부티리박테리움 메틸로트로피쿰(Butyribacterium 메틸otrophicum)과 같은 독립영양 아세토젠(autotrophic acetogen)을 포함한다. 일부 실시예에서, 반응기(1505)는 상승된 온도 및 압력에서 일산화탄소 및 수소의 촉매 반응에 의해 메탄올을 생성하도록 구성된다. 일부 실시예에서, 촉매는 알루미나에 지지된 산화구리 및 산화아연의 혼합물이다. 일부 실시예에서, 시스템(1501)은 전해기(1503)에 의해 생성된 것 이상의 추가 수소를 알코올 반응기(1505)에 제공하도록 구성된다.

[0373] 특정 실시예에서, 알코올 생성 반응기 상류에 위치한 이산화탄소 전해기는 (a) 본원에 기재된 바와 같은 수소 풍부 생성물 스트림 작동 파라미터 체제 및/또는 (b) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0374] 시스템(1501)은 반응기(1505)에 의해 생성된 알코올을 옥살산 생성 반응기(1507)로 수송하도록 추가로 구성된다. 특정 실시예에서, 반응기(1507)는 알코올을 일산화탄소 및 산소와 반응시켜 옥살산 디에스테르를 생성하고, 이는 후속하여 가수분해되어 유리 옥살산을 생성하도록 구성된다.

[0375] $4ROH + 4CO + O_2 \rightarrow 2(CO_2R)_2 + 2H_2O$

[0376] 반응기(1507)에 제공된 일산화탄소는 전해기(1503)로부터 직접 제공될 수 있다. 일부 실시예에서, 전해기(1503)로부터의 일산화탄소는 반응기(1507)로 전달되기 전에 정제된다.

[0377] 반응기(1507)는 불순한 형태의 옥살산을 생성할 수 있다. 따라서, 시스템(1501)은 옥살산 생성물을 분리기(1509)로 제공하도록 추가로 구성될 수 있고, 분리기는 옥살산을 정제하고 미반응 알코올을 반응기(1507)로 회수하도록 구성될 수 있다. 특정 실시예에서, 분리기(1509)는 반응기(1507)로부터의 옥살산 생성물에 대해 공비

증류를 수행하도록 구성된다.

[0378] 도 16은 전해기(1603)에 의해 생성된 일산화탄소로부터 옥살산을 생성하도록 구성된 시스템(1601)을 도시한다. 도시된 바와 같이, 시스템(1601)은 전해기(1603)에 의해 생성된 일산화탄소 및 수소를 에틸렌 글리콜 생성 반응기(1605)로 수송하도록 구성된다. 반응기(1605)는 도 10A의 시스템(1011)(반응기(1017) 참조)과 관련하여 전술한 것과 유사한 방식으로 에틸렌 글리콜을 생성하도록 설계되거나 구성될 수 있다.

[0379] 특정 실시예에서, MEG 생성 반응기 상류에 위치한 이산화탄소 전해기는 (a) 본원에 기재된 바와 같은 수소 풍부 생성물 스트림 작동 파라미터 체제 및/또는 (b) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0380] 시스템(1601)은 반응기(1605)에 의해 생성된 에틸렌 글리콜을 에틸렌 글리콜을 산화시키고 옥살산을 생성하도록 구성된 옥살산 생성 반응기(1607)로 수송하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 반응기(1607)는 에틸렌 글리콜로부터 옥살산을 생성하기 위해 질산 및/또는 공기와 같은 산화제를 이용하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 반응기(1607)는 공기 또는 질산과 같은 산화제의 존재하에 오산화바나듐과 같은 촉매를 사용하여 알코올(MEG)을 반응시켜 옥살산을 생성하도록 구성된다.

[0381] 특정 실시예에서, 시스템(1601)은 질산을 생성하기 위한 반응기(1609)를 포함한다. 특정 실시예에서, 반응기(1609)는 오스트발트 공정을 구현하게 구성되도록 설계된다. 특정 실시예에서, 시스템(1601)은 추가적으로 암모니아를 생성하기 위한 하버 공정을 구현하기 위한 반응기를 포함한다. 시스템(1601)은 암모니아를 오스트발트 반응기(1609)에 제공하도록 구성될 수 있다. 일부 구현예에서, 하버 반응기 및 오스트발트 반응기(1609)는 반응물로서 수소 및 질소를 취하고 생성물로서 질산을 생성하는 서브시스템으로서 제공된다. 시스템(1601)은 전해기(1603)에 의해 생성된 수소를 질산을 생성하기 위한 서브시스템(예를 들어, 수소 및 질소로부터 암모니아를 먼저 생성하는 서브시스템)으로 안내하도록 구성될 수 있다. 일부 실시예에서, 질산은 외부 공급원으로부터 공급된다. 질산을 필요로 하는 다른 실시예, 예를 들어 옥살산을 생성하기 위한 다른 시스템에서, 질산은 탄소 산화물 전해기로부터 수소를 수용하는 하버 공정 서브시스템으로부터 생성될 수 있음을 이해해야 한다.

[0382] 도시된 실시예에서, 반응기(1607)는 반응기(1609)로부터 질산을 수용하고 옥살산을 생성한다. 특정 실시예에서, 반응기(1609)는 일정량의 질산을 함유하는 옥살산과 같은 상대적으로 불순한 옥살산을 생성한다. 도시된 실시예에서, 시스템(1601)은 옥살산을 정제하고 질산을 반응기(1607)에 회수하도록 구성된 결정화기 및 분리기 유닛(1611)에 불순한 옥살산을 전달하도록 구성된다.

[0383] 도 17A는 이산화탄소 전해기(1703), 금속 포름산염 생성 반응기(1705) 및 옥살산 형성 반응기(1707)를 포함하는 시스템(1701)을 도시한다. 시스템(1701)은 전해기(1703)에 의해 생성된 일산화탄소를 포름산염 생성 반응기(1705)에 전달하도록 구성된다. 작동 중에, 열, 선택적으로는 전해기(1703)로부터의 폐열과 함께, 금속 수산화물이 금속 포름산염을 생성하는 반응기(1705)에 공급된다. 포름산염의 생성 및 정제 및/또는 추출은 도 9를 참조하여 전술한 바와 같이 진행될 수 있다. 일부 구현예에서, 포름산염은 포름산나트륨, 포름산칼륨 또는 포름산세슘과 같은 알칼리 금속 포름산염, 또는 포름산칼슘 또는 포름산바륨과 같은 알칼리 토류 포름산염이다. 특정 실시예에서, 포름산염은 포름산나트륨이다. 특정 실시예에서, 포름산염은 포름산칼륨이다.

[0384] 어떻게 금속 포름산염이 생성되고 선택적으로 추출되는지에 관계없이, 시스템(1701)은 포름산염을 옥살산 생성 반응기(1707)로 수송하도록 구성된다. 반응기(1707)는 열분해 반응을 통해 포름산염을 옥살산염으로 전환하도록 구성될 수 있다. 반응기(1707)는 또한 산과의 접촉을 통해 금속 옥살산염을 옥살산으로 전환하도록 구성될 수 있다. 특정 실시예에서, 옥살산 형성 반응기(1707)는 예를 들어 반응을 유도하기 위해 염산과 같은 산을 수용하도록 구성된다. 특정 실시예에서, (반응기(1707)에서의) 옥살산 생성 반응의 할로겐화물 부산물(예를 들어, NaCl)은 염소 가스 및 금속 수산화물을 생성하도록 구성된 염소-알칼리 전해기 또는 다른 시스템(1709)에 제공된다. 일부 구현예에서, 시스템(1701)은 옥살산 생성 반응기(1707)에 전달될 수 있는 염화수소 또는 염산을 생성하기 위해 염소를 이용하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 시스템(1701)은 포름산염 생성 반응기(1705)에서 반응기(1709)로부터의 수산화물을 이용하도록 구성된다.

[0385] 지시된 바와 같이, 옥살산은 금속 옥살산염으로의 전환 및 후속 산성화에 의해 금속 포름산염으로부터 생성될 수 있다. 일부 구현예에서, 공정은 다음 작업을 포함할 수 있다: (1) 이산화탄소 전해기에 의해 생성된 일산화탄소로부터 금속 포름산염 생성, (2) 예를 들어 열분해에 의해 금속 포름산염으로부터 금속 옥살산염 생성, 및 (3) 금속 옥살산염을 산에 노출시켜 옥살산 생성하는 작업. 전체 공정은 배치 공정(batch process)으로 수행될 수 있다. 일부 경우에, 적어도 금속 포름산염 생성 작업 및 금속 옥살산염 생성 작업은 동일한 용기에서 수행된

다. 일부 예에서, 포름산염 및/또는 옥살산염 생성 용기는 오토클레이브와 같은 압력 용기일 수 있다. 일부 경우에, 금속 포름산염 생성 용기 및/또는 금속 옥살산염 생성 용기는 금속 수산화물과 같은 고체 반응물의 입자 크기를 감소시키기 위한 메커니즘을 포함한다. 일부 예에서, 생성 용기는 볼 밀(ball mill)을 포함한다.

[0386] 일부 실시예에서, 선택적으로는 오토클레이브에서의 반응 동안, 포름산염 생성 반응(예를 들어, 일산화탄소와 고체 수산화나트륨 사이의 반응)은 최소 약 15 내지 60 분 또는 약 20 내지 40 분의 체류 시간을 갖는다. 일부 경우에, 고체 수산화물은 최소 약 200℃의 온도(예를 들어, 약 230 내지 300℃및/또는 최소 약 2 bar의 압력(예를 들어, 약 5 내지 10 bar)에서 일산화탄소와 접촉한다.

[0387] 금속 포름산염을 금속 옥살산염으로 전환하는 작업은 선택적으로는 금속 포름산염이 생성되는 동일한 반응에서 열분해에 의해 달성될 수 있다. 반응은 열과 탄산나트륨의 존재 하에 수행될 수 있다. 단일 반응기가 금속 포름산염 및 금속 옥살산염을 생성하기 위해 사용되는 배치 공정에서, 금속 카르보네이트(예를 들어, 탄산나트륨)은 옥살산염 반응 전에 반응기에 첨가된 유일한 유입물일 수 있다.

[0388] 일부 실시예에서, 금속 옥살산염 생성 반응은 약 0.5 내지 5 bar의 압력(예를 들어, 실질적으로 대기압)에서 수행된다. 일부 실시예에서, 금속 옥살산염 생성 반응은 최소 약 200℃또는 최소 약 300℃또는 약 300 내지 400℃의 온도에서 수행된다. 일부 실시예에서, 금속 옥살산염 생성 반응의 체류 시간은 약 10 내지 100 분 또는 약 20 내지 40 분이다.

[0389] 일부 구현예에서, 금속 옥살산염 생성 반응의 시작 시에, 반응기 압력은 저압(예를 들어, 약 1 bar)으로 감소되는 반면, 최소 약 300℃예를 들어, 약 360℃의 온도에 도달할 때까지 반응기가 가열된다. 열분해 작업 동안, 금속 수산화물 잔류물은 일산화탄소와 계속 반응할 수 있으며, 이는 상기 반응의 전체 전환율을 증가시킨다.

[0390] 고체 금속 카르보네이트는 촉매 역할을 할 수 있다. 또한, 이는 금속 옥살산염이 금속 카르보네이트 및 일산화탄소로 열분해되는 것을 억제할 수 있다. 일부 구현예에서, 반응기 압력은 저압(예를 들어, 약 1 bar)으로 감소되는 반면, 반응기는 최소 약 300℃의 온도(예를 들어 약 360℃에 도달할 때까지 가열된다. 열분해 작업 동안, 금속 수산화물 잔류물은 일산화탄소와 계속 반응할 수 있으며, 이는 상기 반응의 전체 전환율을 증가시킨다.

[0391] 특정 실시예에서, 옥살산은 금속 옥살산염 및 할로겐화수소산과 같은 산으로부터 형성된다. 특정 실시예에서, 산은 약 0.05 내지 0.2 M의 농도를 갖는 염산이다. 일부 구현예에서, 옥살산 형성 반응은 배치 결정화기와 같은 결정화기에서 수행된다. 일부 실시예에서, 반응기는 옥살산 결정 분리의 효율을 증가시키기 위해 재순환 스트림을 생성하도록 구성된다.

[0392] 일부 실시예에서, 옥살산은 약 20 내지 100℃또는 약 50 내지 100℃의 온도에서 생성된다. 일부 실시예에서, 새롭게 생성된 옥살산은 약 10 내지 60 분 동안 (예를 들어 약 30℃이하로) 냉각된다. 일부 실시예에서, 옥살산 형성 반응 동안 사용된 압력은 약 0.5 내지 2 bar(예를 들어 대략 대기압)이다. 특정 실시예에서, 금속 옥살산염을 함유하는 반응 용액은 낮은 pH, 예를 들어 약 1 내지 3 또는 간단히 약 1이 된다.

[0393] 일부 구현예에서, 금속 옥살산염에 첨가된 물의 질량은 초기 온도에서 금속 옥살산염의 용해를 완료하기에 충분하다. 용해 공정은 예를 들어 배치의 온도가 약 80C인 동안 일어날 수 있다. 결정화 공정은 배치 내 용액의 온도가 감소할 때, 예를 들어 급격히 감소할 때 일어날 수 있다. 이 작업은 처음에 금속 옥살산염을 용해하기 위해 사용된 물의 우회 흐름을 사용하여 가능할 수 있다. 즉, 옥살산이 완전히 용해될 때, 물 스트림은 가열기를 통과하지 않고 배치에 놓인 열교환기로 직접 흐를 수 있다. 옥살산을 형성하고 결정화하는 공정은 도 17B에 도시된 결정화기(1731)와 같은 결정화기를 사용하여 달성될 수 있다.

[0394] 결정화된 옥살산은 선택적으로는 여과 및/또는 건조된다. 일부 실시예에서, 옥살산은 푸셔 원심분리기를 사용하여 여과된다. 일부 실시예에서, 옥살산은 유동층 건조기를 사용하여 건조된다. 일부 구현예에서, 여과된 옥살산은 약 20-30 질량%의 수분 함량을 갖는다.

[0395] 도 17B는 고체 금속 포름산염으로부터 옥살산을 형성하는 공정(1720)을 나타낸다. 도시된 바와 같이, 공정(1720)은 작업(1721)에서 금속 포름산염의 형성으로 시작한다. 이 공정은 이산화탄소 전해기로부터의 일산화탄소와 금속 수산화물의 반응을 포함한다. 금속 포름산염을 생성하는 임의의 적합한 공정이 사용될 수 있다. 예는 도 9와 관련하여 설명된 공정을 포함하여, 금속 포름산염을 생성하기 위해 본원에 개시된 모든 공정을 포함한다. 금속 포름산염이 생성된 후, 이는 작업(1723)에서 금속 옥살산염으로 전환된다. 도시된 작업에서, 포름산염에서 옥살산염으로의 전환 반응은 탄산나트륨과 같은 금속 카르보네이트의 존재 하에 수행된다. 특정 실시예에서, 작업(1721 및 1723) 중 하나 또는 둘 모두는 도면에 도시된 오토클레이브(1729)와 같은 볼 밀 오토클

레이브에서 수행된다.

[0396] 금속 옥살산염이 작업(1723)에서 형성된 후, 금속 옥살산염은 할로겐화수소산(예를 들어, 염산)과 같은 산과 반응하여 옥살산을 형성한다. 작업(1725)을 참조하라. 일부 실시예에서, 반응은 도면에 도시된 배치 냉각 결정화기(1731)와 같은 결정화기에서 일어날 수 있다. 배치 냉각 결정화기는 (1) 교반기, (2) 배플, (3) 냉각 재킷, (4) 재킷 유체 입구, (5) 재킷 유체 출구 및 (6) 출구 밸브를 포함한다. 이 배열은 옥살산의 형성 및 결정화를 모두 촉진한다.

[0397] 작업(1723)에서 옥살산이 형성되고 선택적으로는 결정화된 후에, 이는 선택적으로 정제 및/또는 건조된다. 일 예에서, 정제는 여과에 의해 달성된다. 일 예에서, 건조는 유동층에서 수행된다.

[0398] 도 18은 일산화탄소 및 수소를 생성하도록 구성된 이산화탄소 전해기(1803)를 포함하는 시스템(1801)을 도시한다. 시스템(1801)은 전해기(1803)에 의해 생성된 일산화탄소 및 수소를 블록(1805)에 의해 일반적으로 도시된 피셔 트롭쉬 반응기 또는 가스 발효 반응기에 제공하도록 구성된다. 전해기(1803)에 의해 생성되는 생성물의 함량 및 반응기(1805)에서 일어나는 반응에 따라, 추가 수소가 반응기(1805)의 반응을 촉진하기 위해 필요할 수 있다. 이를 위해, 반응기(1805)는 외부에서 생성된 수소 가스를 위한 입구가 있도록 구성될 수 있다. 반응기(1805)는 나프타를 생성하도록 구성되고, 시스템(1801)은 나프타를 반응기(1805)로부터 나프타 분해 반응기(1807)로 전달하도록 구성된다. 나프타 분해 반응기(1807)는 적어도 일부 프로필렌을 생성하는 방식으로 나프타를 분해하도록 구성된다.

[0399] 특정 실시예에서, 프로필렌 생성 반응기 상류에 위치한 이산화탄소 전해기는 (a) 본원에 기재된 바와 같은 수소 풍부 생성물 스트림 작동 파라미터 체제 및/또는 (b) 본원에 기재된 바와 같은 높은 환원 생성물 대 CO_2 비율 작동 파라미터 체제에서 작동하도록 구성된다.

[0400] 시스템(1801)은 프로필렌을 프로필렌 이외에 질산 및 선택적으로는 산소를 수용하도록 구성된 옥살산 생성 반응기(1809)로 전달하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 시스템(1801)은 전해기(1803)로부터 반응기(1809)로 과잉 산소를 전달하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 반응기(1809)는 프로필렌을 질산 내로 흡수하고 산소를 첨가하고 질소 산화물을 제거하면서 생성된 혼합물을 가열하도록 구성된다. 결과적인 공정은 옥살산을 생성하고, 시스템(1801)은 결정화기 및 분리기 유닛(1811)과 같은 분리 유닛으로 전달하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 유닛(1811)은 순수 옥살산을 생성하도록 구성된다. 시스템(1801)은 유닛(1811)으로부터 반응기(1809)로 질산을 회수하도록 구성될 수 있다.

[0401] 시스템(1801)의 일 버전에서, 프로필렌은 다른 경로에 의해 전해기-생성된 일산화탄소 및 수소로부터 생성된다. 이 버전에서, 시스템(1801)은 이산화탄소 전해기(1803)로부터 메탄올 또는 기타 알코올을 생성하도록 구성된 알코올 합성 반응기(1813)로 일산화탄소 및 수소를 전달하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 반응기(1813)는 전해기(1803)와 별개의 공급원으로부터 추가 수소를 수용하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 반응기(1813)는 도 12에서의 메탄올 합성 반응기(1205)와 유사한 방식으로 알코올을 생성하도록 구성된다.

[0402] 반응기(1801)는 알코올 합성 반응기(1813)에 의해 생성된 알코올을, 프로필렌을 포함하는 하나 이상의 올레핀으로 알코올을 전환하도록 구성된 올레핀 반응기(1815)로의 메탄올로 수송하도록 구성된다. 시스템(1801)은 반응기(1815)에 의해 생성된 프로필렌을 옥살산 합성 반응기(1809)로 수송하도록 구성된다. 메탄올에서 올레핀으로의 반응기(1815)는 H-SAPO-34와 같은 산성 제올라이트 촉매의 존재 하에 화학 반응의 네트워크를 포함하는 반응에 의해 알코올(예를 들어, 메탄올)을 올레핀으로 전환하도록 구성될 수 있다. 반응의 온도 및 기타 파라미터는 시스템(1801)에서 프로필렌인 원하는 생성물을 생성하도록 조정될 수 있다. 특정 실시예에서, 시스템(1801)은 약 600 내지 650℃의 온도에서 반응기(1815)를 작동시키도록 구성된다.

[0403] 다양한 실시예에서, 일산화탄소 및 수소를 생성하기 위해 이산화탄소 전해기를 사용하는 시스템은 도 12의 메탄올 합성 반응기(1205)와 같은 방법에 의해 일산화탄소 및 수소로부터 메탄올을 생성하도록 구성된다. 관련 시스템은 포름산메틸을 생성하기 위한 BASF 및/또는 Kemira-Leonard 공정을 수행하도록 구성될 수 있는 포름산염 합성 반응기에 생성된 메탄올을 제공하도록 구성된다.

[0404] ***정제 유닛***

[0405] 다양한 유형의 정제 유닛이 이산화탄소 전해기에 의해 생성된 일산화탄소 정제 또는 그렇지 않으면 농축을 위해 사용될 수 있다. 예는 아민 흡수 유닛(예를 들어, 약 20 부피% 이하의 CO_2 농도를 갖는 가스 스트림과 함께 사용됨), CO_2의 산도를 이용하는 CO_2 흡착 유닛, CO 흡착 유닛(예를 들어, 구리 화합물 사용), 분자체 및 금속 유

기 프레임워크와 같은 CO/CO2 분리 조성, 극저온 시스템(예를 들어, 플래시 증류 시스템) 및 막 투과 유닛을 포함한다. 특정 실시예에서, CO 정제 유닛은 약 100 내지 400 psia의 압력에서 작동하도록 구성된다. 아민 기반 CO_2 흡수 유닛은 메틸 디에탄올아민 MDEA와 같은 에탄올 아민의 수용액을, 흡수 동역학을 향상시키기 위해 선택적으로는 피페라진과 함께 사용할 수 있다. 아민 흡수제는 열을 가함으로써 재생될 수 있다. 예시 유닛은 약 30% (중량%) MDEA 및 1% (중량%) 피페라진의 물 용액을 사용한다.

[0406] 극저온 시스템은 가스 혼합물을 냉각한 다음 분류 컬럼을 통과시켜 가스를 끓는점에 의해 분리함으로써 작동한다. 다중 분류 컬럼은 가스 혼합물의 정제된 구성요소를 분리하고 전달하기 위해 단일 공정에서 사용될 수 있다.

[0407] 막 정제 공정은 원하는 생성물 가스를 보유하지만 가스 스트림에서 불순물에 대한 투과성이 높은 막을 사용한다. 막은 고압 가스 혼합물이 입구에서 유입되는 모듈로 패키징된다. 막은 고압에서 원하는 생성물 가스를 유지하고 원하지 않는 불순물 가스가 별도의 저압 스트림으로 배출되도록 한다. CO 정제의 경우, 막은 CO를 보유하지만, H_2 및 CO_2는 통과시킨다. 순수 CO는 생성물 스트림에서 배출될 것이다. H_2, CO_2 및 작은 부피의 CO는 폐 스트림에 남을 것이다. 저압 폐 스트림은 압축기에 의해 재가압되고 또 다른 막 단계를 통과하여 CO 생성물의 회수를 증가시킬 수 있다. 99% 초과의 순수 CO는 막 기반 분리 공정으로부터 기인할 수 있다.

[0408] CO를 제거하기 위한 흡착 공정이 사용될 수 있다. 흡착 공정은 압력 변동, 온도 변동, 진공 변동 또는 기타 작동 조건 변화(예를 들어, 습기 변동)를 사용할 수 있다. 흡착제는, 전형적으로, 한 극한 작동 조건 하에서는 원하는 가스 분자에 대한 높은 친화성을 갖고, 다른 극한 작동 조건 하에서는 가스 분자에 대한 낮은 친화성을 갖는 고체 또는 액체이다. 예를 들어, 고압 조건(예를 들어, 약 300 kPa 및 약 40-60C) 하에서 CO에 대한 흡착제는 CO_2 및 H_2의 혼합물로부터 CO(약 60-70 몰%)를 포집할 수 있다. 각각 8L의 흡착제를 포함하는 4개의 흡착탑이 있는 시스템은 약 5-10 Nm3 유량의 99-99.9% 순도의 생성물 CO를 생성한다. 더 큰 탑 또는 추가 단계의 사용은 약 20-30% CO-함유 가스 혼합물이 약 99% 이상의 순도로 업그레이드 되도록 허용한다. CO 흡착을 위한 흡착제는 탄소, 알루미나 또는 실리카와 같은 고체 매트릭스에 구리 도펀트를 사용하여 Kobe steel에 의해 개발되었다.

[0409] 도 19는 이산화탄소 및 가능하게는 다른 구성요소, 가령, 수소를 함유하는 일산화탄소 스트림을 확인하기 위한 시스템(1901)을 도시한다. 도시된 바와 같이, 시스템(1901)은 이산화탄소 함유 가스를 에탄올아민과 같은 흡수제 재료와 접촉시킴으로써 이산화탄소를 선택적으로 제거하도록 구성된 흡수기(1903)를 포함한다. 흡수기(1903)는 이산화탄소 전해기(도시되지 않음)로부터 가스 스트림과 같은 입구 가스 스트림을 수용하기 위한 가스 입구(1905)를 포함한다. 흡수기(1903)는 또한 정제된 일산화탄소를 방출하기 위한 가스 출구(1907)를 포함한다.

[0410] 또한, 도시된 바와 같이, 흡수기(1903)는 정제된 흡착제를 수용하기 위한 입구(1911) 및 로딩된 흡착제, 예를 들어 흡수기(1903)에 들어가는 흡착제보다 더 높은 농도의 이산화탄소를 함유하는 흡착제를 배출하기 위한 출구(1909)를 포함한다.

[0411] 시스템(1901)은 또한 흡수기(1903)에 의해 배출된 이산화탄소를 제거하도록 구성된 재생기(1913)를 포함하고 이에 의해 흡수기(1903)에서 재사용하기 위해 재생된 흡착제 재료를 생성한다. 도시된 실시예에서, 흡착제는 이산화탄소를 방출하는 가열에 의해 재생된다. 가열은 예열기(1915) 및 재비기(1917)를 사용하여 일어난다. 일부 실시예에서, 재비기(1917)는 이산화탄소 전해기(미도시)로부터 폐열을 수용하도록 구성된다. 예열기(1915)는 로딩된 흡착제를 흡수기(1903)의 출구(1909)로부터 수용하고 예열된 흡착제를 재생기(1913)의 입구(1919)로 전달하도록 구성된다. 예열기(1915)는 재생기(1913)로부터 흡수기(1903)로 가는 도중에 희박 흡착제로부터 약간의 열을 받는다.

[0412] 시스템(1901)은 희박 흡착제를 재생기(1913)의 출구(1923)로부터, 희박 용매 펌프(1921)를 사용하여, 예열기(1915)로 수송하도록 구성되고, 여기서 흡착제는 열의 일부를 잃는다. 시스템(1901)은 또한, 희박 흡착제를 예열기(1915)로부터 트림 냉각기(1925)를 통해 흡수기 입구(1911)로 수송하도록 구성된다. 트림 냉각기(1925)는 흡수기(1903)에서 CO_2를 제거하는 작업을 효과적으로 수행할 수 있는 온도로 흡착제를 추가로 냉각하도록 구성된다. 트림 냉각기는 수냉식 모듈일 수 있다.

[0413] 지시된 바와 같이, 재비기(1917)는 재생기(1913)에 열을 제공하여 로딩된 흡착제로부터 이산화탄소가 방출하도록 구성된다. 도시된 바와 같이, 재비기(1917)는 재생기 출구(1923)로부터 희박 흡착제의 일부를 수용하고 가열된 희박 흡착제를 입구(1927)를 통해 재생기(1913)로 회수하는 재순환 루프에 포함된다.

[0414] 추가적으로, 시스템(1901)은 이산화탄소를, 예를 들어, 입구 일산화탄소 함유 스트림을 생성하는 이산화탄소 전

해기에 들어가기에 적합한 압력으로 압축하도록 구성된 재순환 압축기(1931)를 포함한다.

[0415] 시스템(1901)은 가스 출구(1935)를 통해 재생기(1913)를 나가는 방출된 이산화탄소에 포함될 수 있는 흡착제의 일부를 응축하기 위해 응축기(1933)를 사용하는 재생기(1913)와 관련된 서브시스템을 또한 포함한다. 응축기(1933)는 흡착제를 응축하고 이를 흡착제 입구(1937)에서 재생기(1913)로 다시 전달하도록 구성됨에 유의하라.

[0416] 일부 경우에, CO 정제기는 직렬로 연결된 2개의 상이한 정제 서브시스템을 갖는 하이브리드 시스템이다. 예를 들어, CO 정제기는 흡착제 서브시스템의 상류의 극저온 서브시스템을 가질 수 있다. 하이브리드 시스템은 예를 들어 유입물 CO 스트림이 약 70% 몰 미만과 같은 상대적으로 낮은 농도의 일산화탄소를 갖는 시스템에서 사용될 수 있다.

[0417] 도 20은 극저온 전처리 서브시스템(2003) 및 흡착제 후처리 서브시스템(2005)을 갖는 하이브리드 일산화탄소 정제 시스템(2001)을 도시한다. 시스템(2001)의 제1 상은 일산화탄소를 부분적으로 농축하도록 구성된 극저온 서브시스템(2003)이다. 특정 실시예에서, 극저온 서브시스템은 일산화탄소를 최소 약 70 부피%의 수준으로 농축하도록 구성된다.

[0418] 도시된 바와 같이, 극저온 전처리 서브시스템(2003)은 생성물 가스를 예를 들어 이산화탄소 전해기(도시되지 않음)로부터 가스를 정해진 압력 또는 밀도로 압축하도록 구성된 압축기(2007)로 공급하도록 구성된다. 시스템(2001)은 압축된 가스를 압축기(2007)로부터 압축된 가스의 온도를 낮추도록 구성된 급냉기(2011)로 수송하도록 구성된다. 급냉기(2011)는 압축된 가스를 원하는 온도 또는 그 아래에서 유지하기 위해 급냉기(2011)로부터 충분한 열을 제거하도록 구성된 냉장 시스템(2009)에 결합된다.

[0419] 급냉기(2011)는 압축된 가스를 감소된 온도로 급냉하도록 구성된다. 급냉기(2011)는 또한 CO2 슬러리(감소된 온도를 제공함)를 분리기(2019)로부터 수용하고 CO_2를 기화된 이산화탄소를 방출하도록 구성된 트림 기화기(2013)로 방출하도록 구성된다. 트림 기화기(2013)로부터의 기화된 이산화탄소는, 시스템(2001)에 의해, 이산화탄소 전해기의 캐소드 측에 공급하기에 적합한 가압된 이산화탄소를 제공하도록 구성된 재순환 압축기(2015)로 수송될 수 있다.

[0420] 도시된 실시예에서, 극저온 서브시스템(2003)은 급냉 및 압축된 급냉기(2011)의 유출물을 압축된 가스를 급속하게 팽창시켜 가스를 추가로 냉각하도록 구성된 줄 톰슨 밸브(2017)에 제공하도록 구성된다. 이 작업은 가스를 충분히 냉각하여 가스 CO_2의 일부를 액체 또는 고체 또는 슬러리로 전환할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 차가운 가스가 줄 톰슨 밸브(2017)에 연결되고 이산화탄소 슬러리 출구(2021) 및 부분적으로 정제된 일산화탄소 가스 스트림 출구(2023)를 갖는 분리기(2019)에 제공된다. 특정 실시예에서, 부분적으로 정제된 일산화탄소 스트림은 최소 약 50% 몰 또는 최소 약 70% 몰의 농도를 갖는다.

[0421] 도시된 실시예에서, 시스템(2001)은 부분적으로 정제된 일산화탄소 가스 스트림을 출구(2023)로부터 흡착제 후처리 서브시스템(2005)에 제공하도록 구성되며, 이는 도시된 실시예에서 전체 흡착제 시스템(1901)과 유사하게 구성된다. 도시된 바와 같이, 서브시스템(2005)은 부분적으로 정제된 CO 스트림으로부터 이산화탄소를 흡수하고 정제된 CO 가스를 유출하도록 구성된 흡수기(2033)를 갖는다. 서브시스템(2005)은 또한 흡착제 재생기(2043)를 갖는다. 서브시스템(2005)의 다른 구성요소는 흡착제 트림 냉각기, 흡착제 예열기, 희박 흡착제 펌프, 흡착제 재비기 및 흡착제 응축기를 포함한다. 일부 실시예에서, 재비기는 이산화탄소 전해기(미도시)로부터 폐열을 수용하도록 구성된다.

[0422] 도 19 및 20의 논의뿐만 아니라, 일산화탄소 정제기에 대한 다른 논의가 이산화탄소의 제거를 포함하는 경우를 설명하는 한편, 일산화탄소 정제기는 추가적으로 또는 대안적으로 황 함유 가스(예를 들어, 황 산화물)와 같은 다른 불순물 가스를 제거하도록 구성될 수 있다.

[0423] ***보충 수소 공급원***

[0424] 특정 실시예에서, 탄소 산화물 전해기를 사용하는 통합 시스템은 추가 수소 공급원 (전해기로부터 생성된 것 이상)을 포함하거나 외부 공급원으로부터 추가 수소를 수용하도록 구성된다. 추가 수소 공급원을 사용할 수 있는 통합 시스템의 예는 피셔 트롭쉬 시스템, 폴리카르보네이트 생성 시스템, 에틸렌 글리콜 생성 시스템, 폴리에틸렌 테레프탈레이트 생성 시스템, 메탄올, 부탄올, 및/또는 기타 알코올 생성 시스템, 아세트산 생성 시스템, 이소시아네이트 생성 시스템, 폴리우레탄 생성 시스템 및 옥살산 생성 시스템을 포함한다. 특정 실시예에서, 추가 수소 공급원은 양성자 교환막 물 전해기와 같은 물 전해기이다. 일부 구현예에서, 물 전해기는 탄소 산화물 환원 전해기와 전기 기반시설을 공유한다. 특정 실시예에서, 추가 수소 공급원은 탱크, 캐니스터, 또는 통합 시스

템 외부의 다른 저장 용기이다. 특정 실시예에서, 추가 수소 공급원은 (a) 증기 개질, 열분해, 및/또는 메탄, 연료 오일, 석유 코크 및/또는 다른 화석 연료의 부분적 산화, 석탄 가스화, (b) 증기 메탄 개질, (c) 바이오매스, 도시 고형 폐기물 및/또는 그 밖의 다른 폐기물 공급원의 가스화, 열분해 및/또는 기타 고온 전환, (d) 정제 폐기물 스트림의 압력 변동 흡착, (e) 용융 염 염소 생성과 같은 산업적 반응으로부터의 수소 부산물의 분리, 및/또는 (f) 예를 들어 태양/열 에너지에 의한 물의 해리를 수행하도록 구성된 유닛이거나 이를 포함한다. 특정 실시예에서, 하나 이상의 이들 유닛에서 사용된 메탄 또는 기타 단순 탄화수소는 바이오가스로부터 유래한다.

[0425] ***전해기 유출물로부터의 이산화탄소의 회수***

[0426] 많은 구현예에서, 이산화탄소 전해기의 캐소드를 나가는 생성물 가스는 미반응 이산화탄소의 상당한 분율을 포함한다. 예를 들어, 생성물 가스는 약 10 내지 70% 몰 이산화탄소를 함유할 수 있다. 특정 실시예에서, 시스템은 이산화탄소 전해기로부터 생성물 가스를 수용하고 선택적으로는 전해기로 재순환될 수 있는 농축된 이산화탄소 생성물을 생성하도록 배열된 이산화탄소 회수 유닛을 포함한다. 일 예에서, 이산화탄소 회수 유닛은 본원의 다른 곳에 기재된 것과 같은 직접 공기 이산화탄소 회수 모듈을 포함한다. 이산화탄소 전해기로부터의 생성물 가스는 공기보다 훨씬 더 높은 농도의 이산화탄소를 함유할 수 있음을 이해해야 한다. 따라서, 전해기와 함께 사용되는 직접 공기 포집 유닛은 직접 공기 포집에 사용되는 상응하는 유닛과 비교하여 변형된 구성을 가질 수 있다. 예로서, 직접 공기 포집 유닛은 온도 변동 흡수, 압력 변동 흡수 또는 전기-변동 흡수를 사용할 수 있다.

[0427] 도 21A는 공기로부터 이산화탄소를 농축하도록 구성된 상류 DAC 유닛(2105) 및 이산화탄소 전해기(2103)의 생성물 가스로부터 미반응 CO_2를 제거하도록 구성된 하류 DAC 유닛(2107)을 갖는 시스템(2101)을 도시한다. 시스템(2101)은 정제된 미반응 이산화탄소를 상류 DAC 유닛(2105)으로부터의 새로운 이산화탄소와 조합하고 이를 전해기(2103)에 도입하도록 구성된다. 하류 DAC 유닛(2107)은 공기 대 생성물 가스 중의 이산화탄소의 현저하게 상이한 농도를 다루기 위해 상류 DAC 유닛(2105)와 상이하게 설계될 수 있다(예를 들어, 용매의 양, 접촉기의 치수).

[0428] 도 21B는 공기로부터 이산화탄소를 포집하고 전해기(2113)의 생성물 가스로부터 미반응 이산화탄소를 분리하도록 구성된 DAC 유닛(2115)을 갖는 시스템(2111)을 도시한다. 시스템(2111)은 분리된 이산화탄소를 전해기(2113)로 공급하도록 구성된다. 이산화탄소 희박 생성물 및 이산화탄소 희박 공기는 하류 처리를 위해 DAC 유닛(2115)을 떠난다.

[0429] ***전기 그리드와의 통합***

[0430] 그리드를 위한 전기 에너지원이 수요에 따라 직접 제어될 수 없는 경우, 다양한 문제가 발생할 수 있다. 태양, 풍력 및 특정 기타 비연소-기반 전기 에너지원은 에너지 생성이 에너지 수요와 분리되는 공급원의 예이다.

[0431] 재생 가능한 에너지원이 전기 그리드에 연결될 때, 풍속 또는 태양광 강도의 변동은 수요가 공급을 초과하는 지점까지 그리드에서 사용 가능한 전력량을 낮출 수 있다. 이는 그리드의 빈도수(frequency)를 낮출 수 있고, 이는 일부 전기 장비를 손상시키고 및/또는 브라운 아웃(brown out) 또는 블랙 아웃(black out)을 야기할 수 있다.

[0432] 이를 방지하기 위해, 재생 가능한 전원와 함께 유연한 발전기 및 소비자가 사용될 수 있다. 이러한 구성요소는 전기 그리드 부하 평준화 시스템을 용이하게 할 수 있고, 그리드로부터 유연한 부하를 끌어내어 필요한 경우 전력 수요를 줄여 수요가 공급에 접근하는 것을 방지하도록 구성될 수 있다. 이는 그리드에 주파수 안정화를 제공하여 많은 양의 재생 가능한 전기로 작동하도록 할 수 있다.

[0433] 공급이 수요를 능가할 때 생성된 과잉 에너지를 저장하기 위한 다양한 접근법이 제안되었다. 예는 물 저장소, 배터리 및 물 전해기를 포함한다. 일 예로서, 그리드에 과잉 에너지를 저장하기 위해 배터리를 사용하는 것은 그리드 상의 에너지 공급원이 생성할 수 있는 최대 과잉 에너지를 저장하기에 충분한 용량을 제공하기 위해 많은 수의 고용량 배터리를 필요로 한다.

[0434] 비교를 위해, 탄소 산화물 전해기는 상대적으로 저장하기 쉬운 액체 또는 가스 형태로 과잉 에너지를 저장할 수 있다. 그리고, 물 전해기와 비교하여, 탄소 산화물 환원 전지는 가스 생성물보다는 액체 생성물을 생성하는 방식으로 작동될 수 있다. 액체 생성물은 특히 상대적으로 더 높은 밀도를 고려해 볼 때 저장하기 더 쉬울 수 있다.

[0435] 탄소 산화물 전해기의 생성물은 수요가 공급을 초과할 수 있는 기간에 그리드에 공급할 전기 에너지를 생성하기

위한 연료로서 사용될 수 있다. 전해기 생성물은 터빈 또는 다른 기계적 전력 공급원에서 연소될 수 있고 및/또는 연료 전지에서 전기화학적으로 소비되어 전력을 직접 생성할 수 있다. 특정 실시예에서, 일산화탄소 또는 메탄올과 같은 탄소 산화물 전해기 유출물은 전기 에너지를 그리드에 다시 직접 주입하기 위해 연료 전지에서 나중에 사용하기 위해 저장된다. 특정 실시예에서, 연료 전지는 미국, 캘리포니아, 서니베일 소재의 Bloom Energy의 고체 산화물 연료 전지와 같은, 탄소 함유 반응물(예를 들어, 천연 가스)을 산화시키도록 구성된 연료 전지이다.

[0436] CO_2 전기분해 생성물은 가스(예를 들어 CO, 메탄, 에틸렌) 또는 액체상(예를 들어, 에탄올, 메탄올, 에틸렌 글리콜)일 수 있다. 액체 생성물은 장기간 저장이 용이하다는 장점이 있다. 기체상 생성물은 가스 발효 또는 열화학 반응과 같은 다양한 하류 공정을 통해 액체상 화학 화합물로 전환될 수 있다. 가스 및 액체상 생성물은 또한 고체 재료를 제조하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, CO는 폴리카르보네이트를 제조하기 위해 필요한 유입물 중 하나이거나 수산화칼륨과 반응하여 포름산칼륨을 제조할 수 있다.

[0437] 도 22A는 탄소 산화물 환원 전해기(2203)를 전기 그리드(2205) 또는 다른 전기 에너지 공급원에 연결하는 시스템(2201)을 나타낸다. 이 시스템(2201)은 생성되는 에너지가 전기 에너지에 대한 수요를 초과할 때 전기 시스템에 의해 생성되는 과잉 에너지를 저장하는 방식으로 작동하도록 구성될 수 있다.

[0438] 시스템(2201)에서, 가변 전기 에너지 공급원(2206)은 선택적으로는 전기 그리드(2205)에 제공된 전기 에너지를 생성한다. 도시된 실시예에서, 에너지 공급원(2206)은 정류기(2207) 및 변압기(2209)를 갖는 전기 라인을 통해 그리드(2205)에 연결된다. 이들 및/또는 다른 전기 요소는 적절한 전압 및 파형에서 가변 공급원(2206)으로부터 그리드(2205)로 전기 에너지를 제공하기 위해 사용될 수 있다.

[0439] 도시된 실시예에서, 그리드(2205)는 적어도 전기 에너지 공급(2206)의 가변성과 비교하여 거의 일정한 전기 에너지에 대한 수요에 연결된다. 도시된 실시예에서, 수요는 요소(2208)에 의해 예시되며, 이는 일반적으로 주거 및/또는 산업 소비자와 같은 하나 이상의 전기 에너지 소비자를 나타낸다. 많은 적용 분야의 경우, 에너지 소비자는 정류기(2211) 및 변압기(2213)에 의해 생성될 수 있는 전압 및 전기 파형의 전기 에너지를 필요로 한다. 도시된 바와 같이, 이들 요소는 그리드(2205)와 수요(2208) 사이에 제공된다.

[0440] 지시된 바와 같이, 도시된 실시예는 과잉 에너지를 전해 탄소 산화물 환원의 화학 생성물로 전환함으로써 그리드 또는 다른 전기 에너지 시스템으로부터 과잉 전기 에너지를 소비하도록 구성되는 전해 탄소 산화물 환원 전지 또는 스택(2203)을 제공한다. 상기 전지 또는 스택(2203)이 그리드로부터 전기 에너지를 직접 수용하는 경우, 이는 전기 에너지가 예컨대 정류기(2217), 변압기(2219) 및/또는 다른 전기 구성요소에 의해 정류 및 변환될 것을 필요로 할 수 있다.

[0441] 전해기(2203)의 캐소드 측은 입구 라인을 통해 탄소 산화물 반응물(이산화탄소 및/또는 일산화탄소)을 수용한다. 탄소 산화물은 본원의 다른 곳에 기재된 것과 같은 많은 가능한 공급원 또는 공급원료(2222) 중 임의의 하나 이상에 의해 제공될 수 있다.

[0442] 캐소드는 생성물, 예컨대 가스 또는 액체 C1 화합물(예를 들어, 일산화탄소, 메탄, 포름알데하이드 또는 포름산) 또는 가스 또는 액체 고급 탄소 화합물, 예컨대 에틸렌을 생성하도록 구성된다. 이러한 생성물은 다른 구성요소와 함께 출구 라인을 통해 전해기(2203)로부터 제거된다. 특정 실시예에서, 가습될 수 있는 출구 가스는 가스 분리기(2225)에 제공된다. 이는 물 및/또는 하나 이상의 액체 생성물을 응축시킨다. 미반응 탄소 산화물 및/또는 물은 라인(2221)을 통해 탄소 산화물 전해기(2203)에 다시 제공될 수 있다. 특정 실시예에서, 전해기에 공급된 탄소 산화물은가습되어 환원 반응을 촉진한다.

[0443] 도시된 실시예에서, 다양한 선택적 구성요소가 전해기(2203)의 캐소드 측의 하류에 제공된다. 이들은 디미스터(2227), 질량 유량계 또는 컨트롤러(2229), 응축물 트랩(2231), 밸브(2233), 가스 저장소(2235), 정제 모듈(2237) 및 생성물 전환 시스템/반응기(2239)를 포함한다. 생성된 연료, 화학 또는 기타 재료(2241)는 적절하게 저장되거나 사용된다. 언급된 바와 같이, 전해기(2203)의 화학 생성물은 가변 에너지 공급원에 의해 생성된 과잉 에너지를 저장한다. 그 에너지는 생성물에 저장된 화학 에너지를 연소, 연료 전지 작동 등에 의해 열 또는 전기 에너지로 전환하여 회수될 수 있다. 대안적으로, 에너지는 적어도 가까운 시일 내에 회수되지 않고, 전기화학적 환원 생성물은 플라스틱과 같은 또 다른 유용한 상품으로 전환된다.

[0444] 전해기(2203)는 또한, 애노드에서 전해적으로 산화되는 물과 같은 애노드 반응물을 수용하는 애노드를 포함한다. 도시된 실시예에서, 물의 공급원(2243)은 공급 물 펌프(2245), 디미스터(2247), 가스 분리 유닛(2249), 여기서 이는 또한 애노드로부터 생성물을 수용하기 위한 입구를 가지며, 상기 생성물은 수증기 및 산소

를 포함할 수 있고, 순환 펌프(2251), 질량 유량계 또는 컨트롤러 및 이온 또는 전해기(2203)의 작동에 유해할 수 있는 양극수의 다른 구성요소를 제거하도록 구성된 이온 교환기와 같은 하나 이상의 선택적 구성요소를 통해 전지(2203)의 애노드에 제공된다. 특정 실시예에서, 시스템(2201)은 전해기(2203)의 캐소드 측에 전달되는 탄소 산화물을 가습하기 위해 양극수 재순환 루프를 탄소 산화물 입구 라인(2221)에 연결하는 라인을 포함한다.

[0445] 시스템(2201)은 또한, 산소 또는 전해기(2203)의 다른 생성물을 제거하기 위한 하나 이상의 구성요소를 가질 수 있다. 전해기(2203)의 애노드 측은 전해기로부터 산소 또는 다른 생성물을 제거하도록 구성된 출구 라인(2207)을 포함한다. 출구 라인(2207)은 분리 유닛(2249)에 연결된다. 애노드 생성물 스트림 중의 산소 및 물은 유닛(2249)에서 서로 분리될 수 있어, 물이 순환 펌프(2251)를 통해 애노드로 다시 재순환될 수 있다.

[0446] 시스템(2201)은 산소 또는 애노드의 다른 가스 생성물을 제거하기 위한 구성요소를 갖도록 구성될 수 있다. 도시된 실시예에서, 이들 구성요소는 디미스터(2259) 및 제어 밸브(2261)이다.

[0447] 이들 실시예에서, 그리고 개시내용 전반에 걸쳐, 설명된 시스템은 설비, 플랜트 또는 복합시설 건물에 제공될 수 있다. 일부 실시예에서, 시스템의 전부 또는 다수의 반응기 및 유닛 및/또는 모듈은 공통 공장, 플랜트 또는 복합시설에 제공된다. 예를 들어, 폴리카르보네이트 폴리머 또는 수송 연료와 같은 특정 재료를 생성하기 위한 시스템은 탄소 산화물 전해기 및 전해기의 생성물을 이용하고 및/또는 반응물을 전해기에 제공하는 하나 이상의 다른 반응기를 포함할 수 있고, 전해기 및 다른 반응기는 단일 건물 또는 플랜트에 제공된다. 일부 경우에, 하나 이상의 시스템 구성요소가 외부 환경에 제공된다. 예를 들어, 시스템이 이산화탄소를 직접 공기 포집 유닛으로부터 전해기에 제공하도록 구성되더라도, 이산화탄소 전해기가 건물 내부에 위치하는 반면 직접 공기 포집 유닛이 외부에 제공될 수 있다.

[0448] 전해기를 사용하는 그리드 관리 시스템의 추가 예는 도 22B 및 도 22C에 도시된다. 도시된 바와 같이, 시스템(2258 및 2259)은 위에서 언급한 바와 같이 Bloom Energy의 고체 산화물 연료 전지와 같은 탄소 함유 반응물(예를 들어, 메탄 또는 천연 가스)을 산화시키도록 구성된 연료 전지를 사용한다. 도시된 실시예에서, 탄소 산화물 전해기(2261)는 그리드 또는 풍력, 태양열 또는 다른 재생 가능한 에너지원으로부터 전기를 생성하도록 구성된 장치와 같은 다른 전기 에너지 공급원(2263)에 결합된다. 전기 에너지 이외에도, 전해기(2261)는 유입물로서 이산화탄소 및 물을 수용한다. 특정 실시예에서, 이산화탄소 유입물은 적어도 부분적으로 연료 전지(2265)의 유출물로부터 수용된다. 압축기(2267)는 이러한 이산화탄소를 전해기(2261)로 전달하기 전에 압축하도록 제공될 수 있다.

[0449] 도 22B의 실시예에 나타난 바와 같이, 전해기(2261)는 일산화탄소를 유출하도록 구성되고, 시스템(2258)은 일산화탄소를 연료 전지(2265)에 전달하도록 구성된다. 시스템(2258)은 천연 가스 또는 기타 유입물을 연료 전지(2265)에 제공하도록 추가로 구성될 수 있고, 연료 전지는 그리드(2263)에 제공될 수 있는 전기를 생성하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 시스템(2258)은 연료 전지(2265)로의 유입을 위한 수소를 생성하도록 구성된 증기 메탄 개질기 유닛(2271)을 포함한다.

[0450] 도 22C의 실시예에 나타난 바와 같이, 전해기(2261)는 일산화탄소, 에틸렌, 메탄 등을 포함하는 임의의 하나 이상의 다양한 화합물을 유출하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 이들 화합물 중 하나 이상이 전기적 부하 평준화와 잠재적으로 관련되지 않은 목적을 위해 시스템(2259)으로부터 제거된다. 예를 들어, 화합물 중 하나 이상은 본원의 다른 곳에 기재된 것과 같은 화합물 또는 폴리머를 합성하기 위한 공급원료로서 사용될 수 있다.

[0451] 도시된 실시예에서, 시스템(2259)은, 선택적으로는 천연 가스 또는 외부 공급원으로부터의 다른 연료와 함께, 전해기(2261)의 유출물의 적어도 일부를 연료 전지(2265)로 전달하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 전해기(2261)로부터의 유출물은 합성 천연 가스로서 제공되거나 전환되어 이러한 가스를 형성한다. 시스템(2259)은 합성 천연 가스를 단독으로 또는 다른 천연 가스와 함께 연료 전지(2265)에 공급하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 시스템(2259)은 일산화탄소 및/또는 전해기(2261)의 다른 유출물을 연료 전지(2265)에 직접 제공하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 시스템(2259)은 증기 메탄 개질기 및/또는 압력 변동 흡수 유닛(2273) 또는 연료 전지(2265)에 유입되기 전에 가스를 처리하도록 구성된 다른 정제 유닛을 포함한다. 증기 메탄 개질기는 천연가스 공급원 및/또는 전해기로부터 메탄을 연료 전지(2265)로 전달하기 위한 수소로 전환할 수 있다. 압력 변동 흡수 유닛은 입구 스트림으로부터 연료 전지(2265)로 일부 이산화탄소 또는 다른 불순물을 제거하기 위해 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 또 다른 유형의 불순물 제거 유닛이 사용된다.

[0452] 도 22B 및/또는 도 22C에 도시되는 것과 같은 특정 실시예에서, 압력 변동 흡수기 또는 다른 가스 정제 유닛은 증기 메탄 개질기를 나가는 가스 혼합물로부터 순수 수소 스트림을 분리하도록 구성된다. 개질기로부터의 테일

가스는 CO, CO_2, 미반응 CH4 및 약간의 H_2를 포함할 수 있다. 테일 가스는 연료 전지에 공급되고, 이는 결국 상대적으로 순수한 CO_2 (및 물)의 스트림을 생성하고 이는 이후 CO_2 전해기에 공급된다. 일부 증기 메탄 개질기는 개질 반응 후 물-가스 전이 반응을 사용함으로써 상대적으로 높은 농도의 수소를 갖는 생성물을 제조하도록 구성된다. 물-가스 전이 반응은 일산화탄소 및 물(반응물)을 이산화탄소 및 수소로 전환한다. 일부 구현예에서, 증기 메탄 개질기는 합성가스 혼합물을 제조하도록 구성되고 물-가스 전이 단계를 구현하지 않을 수 있다.

[0453] 도 22B 및/또는 도 22C에 도시된 것과 같은 일부 구현예에서, 증기 메탄 개질기는 2개의 CO_2 함유 스트림을 생성하는데, 이들은: (1) 위에 기재된 바와 같이, 반응기로부터 나오는 테일 가스, 및 (2) 반응기 튜브를 가열하고 반응을 위한 증기를 생성하는 데 사용되는 노로부터 나오는 연도 가스이다. 테일 가스는 상당히 높은 농도의 이산화탄소(예를 들어, 분리 전 약 15% 및 분리 후 약 50%)를 함유할 수 있다. 연도 가스는 상대적으로 낮은 농도의 이산화탄소(예를 들어, 단지 약 3-5% CO_2 농도)를 갖는다. 다양한 구현예에서, 이산화탄소 배출의 약 2/3는 테일 가스로부터 나오고, 약 1/3은 연도 가스로부터 나온다. 특정 실시예에서, 시스템은: (a) 정제 전의 테일 가스(예를 들어 압력 변동 흡수기를 사용하여), (b) 정제 후의 테일 가스, (c) 연도 가스 또는 (d) 연도 가스 및 테일 가스의 조합된 스트림으로부터 배출물을 포집하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 시스템은 산소를 탄소 산화물 전해기로부터 증기 메탄 개질기의 하나 이상의 노로 공급하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 이는 더 높은 효율을 제공하고 및/또는 연도 가스 중의 더 높은 이산화탄소 농도를 산출하여, 이산화탄소 포집을 단순화한다.

[0454] 연료 전지(2265)는 그리드(2263)로 전달될 수 있는 전기를 출력하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 시스템(2259)은 전해기(2261)에 의해 사용되기 전에 연료 전지(2265)로부터 유출된 이산화탄소를 저장하도록 구성된 이산화탄소 저장 유닛(2269)을 포함한다.

[0455] ***합성가스 제조***

[0456] 이 섹션에 설명되고 및/또는 도 23A-D에 도시된 실시예는 일산화탄소 및 수소의 혼합물 제조에 관한 것이다. 이들 혼합물 중 일부는 합성가스로 지칭될 수 있다. 본원에 기재된 실시예는 일산화탄소, 이산화탄소 및 수소의 혼합물을 수용하고 특정 조성을 갖는 일산화탄소 및 수소의 혼합물을 생성하도록 혼합물을 변형하도록 구성된 방법 및 시스템에 관한 것이다. 일부 경우에, 유입물은 본원에 기재된 탄소 산화물 전해기 중 하나와 같은 탄소 산화물 전해기로부터 얻은 가스 혼합물이다.

[0457] 본원에 기재된 바와 같이 생성된 일산화탄소 및 수소 혼합물은 다양한 적용분야를 가질 수 있다. 이는 나프타 또는 피셔 트롭쉬 공정에 의해 생성될 수 있는 것과 같은 다른 액체 탄화수소 조성물(예를 들어 도 6A 및 6B의 논의 참조)을 생성하기 위해 사용될 수 있다. 이는 또한 가스 발효 반응기로의 유입물로서 사용될 수 있다(예를 들어 도 4 및 5 참조). 이는 또한 알코올(예를 들어 도 15 및 18 참조) 및/또는 폴리올(예를 들어 도 14 및 16 참조)과 같은 다양한 임의의 화학물질을 생성하기 위해 사용될 수 있다.

[0458] 일산화탄소 및 수소의 혼합물을 생성하기 위한 다양한 실시예는 도 19 및 20과 관련하여 설명된 바와 같은 탄소 산화물 분리기 시스템을 사용할 수 있다.

[0459] 일산화탄소 및 수소의 혼합물은 유입물 스트림으로부터 CO 또는 CO_2를 직접 제거하여 생성될 수 있다. 유입물 스트림으로부터 CO를 직접 분리하여 혼합물을 생성하는 실시예에서, 수소는 CO 정제 작업의 하류에서 정제된 CO 스트림에 첨가될 수 있다. 예를 들어, 정제된 수소는 CO 분리 작업의 하류인 작업에서 CO_2로부터 분리하여 제조될 수 있다.

[0460] 도 23A는 유입물 스트림으로부터 일산화탄소를 직접 분리하는 공정에서 일산화탄소 및 수소의 혼합물을 생성하기 위한 일반적 도식을 나타낸다. 이산화탄소 전해기의 캐소드 출구로부터 제공될 수 있는 유입물 스트림은 이산화탄소, 일산화탄소, 수소 및 선택적으로는 소량의 물 및/또는 탄화수소(들)와 같은 다른 구성요소를 함유한다. 유입물 스트림은 정제된 일산화탄소를 함유하는 하나의 스트림(2305) 및 이산화탄소 및 수소의 혼합물을 함유하는 또 다른 스트림(2307)을 생성하도록 구성된 하나 이상의 분리 요소(2303)에 공급된다. 요소(들)(2303)은 예를 들어 CO 흡수 요소 및/또는 압력 변동 또는 온도 변동 서브시스템과 같은 CO 흡수 및 탈거 서브시스템을 포함할 수 있다. 증기(2307)는 이산화탄소로부터 수소를 분리하도록 구성된 하나 이상의 요소(2309)에 공급된다. 일부 실시예에서, 요소(들)(2309)는 예를 들어 수소의 통과를 허용하면서 이산화탄소의 통과를 차단하는 막 분리기를 포함한다. 작업에서, 요소(들)(2309)는 수소 스트림(2311) 및 이산화탄소 스트림(2313)을 생성한다. 수소 스트림(2311)은 일산화탄소 스트림(2305)과 조합되어 일산화탄소 및 수소의 혼합물을 함유하는 스

트림(2315)을 생성할 수 있다. 이산화탄소 스트림(2313)은 선택적으로는 탄소 산화물 전해기로 재순환될 수 있다.

[0461] 일부 실시예에서, 수소 및 일산화탄소의 혼합물을 제조하는 공정은 다음 작업을 특징으로 할 수 있다:

[0462] 1. 예를 들어 압력 변동 흡수 공정에서 이온성 액체 흡수에 의해 혼합물로부터 CO의 분리,

[0463] 2. 예를 들어 막을 통해 CO_2로부터 H_2 분리,

[0464] 3. H_2 및 CO 혼합이다.

[0465] 유입물 스트림으로부터 정제된 일산화탄소를 직접 생성하기 위한 특정 실시예에서, 이온성 액체는 유입물 가스 스트림으로부터 일산화탄소를 탈거하기 위해 사용된다. 분리 동안, 이온성 액체는 유입물 가스와 접촉하여 대부분의 수소 및 이산화탄소를 통과시키면서(비용해 또는 비흡수) 일산화탄소를 선택적으로 흡수한다. 일부 실시예에서, 유입물 스트림은 흡수 컬럼에서 이온성 액체와 접촉한다. 유입물 스트림과 접촉한 후, 이온성 액체의 일산화탄소 풍부 스트림은 이온성 액체로부터 일산화탄소를 탈거하는 조건 하에서 작동하는 탈거기에 공급된다. 생성된 이온성 액체의 희박 스트림은 일산화탄소를 선택적으로 흡수하는 구성요소(들)로 다시 재순환될 수 있다.

[0466] 일산화탄소를 분리하기 위한 적합한 이온성 액체는 실질적으로 이산화탄소 및/또는 수소를 흡수하지 않고 일산화탄소를 선호적으로 흡수한다. 다른 특징은 저비용, 낮은 증기압(예를 들어 사용 중 휘발성 유기 화합물의 생성이 없음), 낮은 동점도(예를 들어 약 150 cSt 미만), 적당한 흡수 조건(예를 들어, 약 0 ℃내지 20 ℃의 온도; 약 25 bar 이하(예를 들어 약 17 bar)의 압력), 적당한 탈거 조건(예를 들어 약 0-100 ℃이하의 온도; 약 5 bar 이하의 압력) 및/또는 낮은 독성을 포함할 수 있다. 이러한 이온성 액체의 예는 1-헥실-3-메틸이미다졸륨 클로라이드 (염화제일구리가 있음)를 포함한다.

[0467] 일부 실시예에서, 일산화탄소 및 수소의 혼합물은 일산화탄소, 수소 및 이산화탄소를 함유하는 유입물 스트림으로부터 이산화탄소를 직접 제거함으로써 생성된다. 이러한 실시예에서, 분리의 하나의 유출물 스트림은 수소 및 일산화탄소의 원하는 혼합물을 포함한다.

[0468] 도 23B는 유입물 스트림으로부터 이산화탄소를 직접 분리하는 공정에서 일산화탄소 및 수소의 혼합물을 생성하기 위한 일반적 도식을 나타낸다. 이산화탄소 전해기의 캐소드 출구로부터 제공될 수 있는 유입물 스트림은 이산화탄소, 일산화탄소, 수소 및 선택적으로는 소량의 물 및/또는 탄화수소(들)와 같은 다른 구성요소를 함유한다. 유입물 스트림은 정제된 이산화탄소를 함유하는 이산화탄소 스트림(2304) 및 일산화탄소 및 수소의 혼합물을 함유하는 또 다른 스트림(2306)을 생성하도록 구성된 하나 이상의 요소(2302)에 공급된다. 요소(들)(2302)은 예를 들어 이산화탄소 흡수 요소, 또는 압력 변동 또는 온도 변동 서브시스템과 같은 이산화탄소 흡수 및 탈거 요소를 포함하는 서브시스템을 포함할 수 있다. 이산화탄소 스트림은 선택적으로는 탄소 산화물 전해기로 재순환될 수 있다.

[0469] 유입물 스트림으로부터 이산화탄소를 직접 제거하기 위한 특정 실시예에서, 이온성 액체는 유입물 가스 스트림으로부터 이산화탄소를 탈거하기 위해 사용된다. 이온성 액체는 유입물 가스과 접촉하여 수소 및 일산화탄소의 대부분을 통과시키면서 이산화탄소를 선택적으로 흡수한다. 일부 실시예에서, 유입물 스트림은 흡수 컬럼에서 이온성 액체와 접촉한다. 유입물 스트림과 접촉한 후, 이온성 액체의 이산화탄소 풍부 스트림은 이온성 액체로부터 이산화탄소를 탈거하는 조건 하에 작동하는 탈거기에 공급된다. 생성된 이온성 액체의 희박 스트림은 일산화탄소를 선택적으로 흡수하는 성분(들)으로 다시 재순환될 수 있다.

[0470] 이산화탄소를 분리하기 위한 적합한 이온성 액체는 실질적으로 일산화탄소 및/또는 수소를 흡수하지 않고 이산화탄소를 선호적으로 흡수한다. 다른 특징은 저비용, 낮은 증기압(예를 들어 사용 중 휘발성 유기 화합물의 생성이 없음), 낮은 동점도(예를 들어 약 150 cSt 미만), 적당한 흡수 조건(예를 들어, 약 15 ℃이상의 온도; 약 50 bar 이하의 압력), 적당한 탈거 조건(예를 들어 약 0-100 ℃이하의 온도; 약 5 bar 이하의 압력) 및/또는 낮은 독성을 포함할 수 있다. 이러한 이온성 액체의 예는 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 헥사플루오로포스페이트 [bmim][PF6]을 포함한다.

[0471] 일부 구현예에서, 일산화탄소 및 수소의 혼합물을 생성하도록 구성된 시스템은 유입물 또는 유출스트림을 약 30 ℃이하 또는 약 20℃이하 또는 약 10℃이하로 냉각하도록 구성된 구성요소를 포함하지 않는다. 예를 들어, 시스템은 입구 가스를 약 20℃아래로 급냉하는 압축기를 포함하지 않는다.

[0472] *CO 분리 예*

[0473] 설명한 바와 같이, 일산화탄소 및 수소는 이산화탄소 전해기로부터의 유출물에 포함된다. 이 전해기 유출물 가스는 일산화탄소 및 수소의 혼합물을 생성하는 분리 시스템으로의 유입물 역할을 한다. 일부 실시예에서, 일산화탄소는 1-헥실-3-메틸이미다졸륨 클로라이드(CuCl)와 같은 이온성 액체를 사용하는 압력 변동 흡수 공정에 의해 가스 스트림으로부터 회수된다.

[0474] 가압된 입구 가스 스트림은 흡수 컬럼의 하단에 들어가는 한편, 흡수제는 컬럼의 상단으로부터 분무된다. 충전층은 가스와 액체 상 사이의 접촉을 향상시키고 일산화탄소 흡수를 촉진할 수 있다. 나머지 가스 화합물(CO_2, H_2 및 소량의 잔류 CO)은 컬럼의 상단으로부터 떠나는 반면 CO 풍부 액체 상은 컬럼의 하단으로부터 떠난다.

[0475] 특정 실시예에서, 흡수제는 CuCl 및 이온성 액체의 혼합물(예를 들어, 약 50% 몰 CuCl 및 50% 몰 이온성 액체 1-헥실-3-메틸이미다졸륨 클로라이드)을 포함한다. CuCl의 입구 몰량은 흡수될 일산화탄소의 양보다 약 1.5 내지 2.5 배(예를 들어, 약 1.9 배) 더 클 수 있다.

[0476] CO 풍부 액체 상은 열교환기에서 가열된 다음 탈거 컬럼에 들어간다. 탈거 컬럼의 압력은 2 bar 미만(예를 들어 대략 대기압)일 수 있는 한편, 온도는 상단에서 상대적으로 낮음(예를 들어, 약 30℃내지 하단에서 상대적으로 높음(예를 들어, 약 60℃일 수 있다. 이들 조건 하에, 대부분의 CO는 증발할 수 있다. 액체 상은 컬럼의 하단으로 흐르고, 여기서 일부 분획(예를 들어, 약 15%)이 예를 들어 전체 재비기를 사용하여 컬럼으로 다시 재순환되는 한편, 나머지(예를 들어, 약 85%)는 흡수 컬럼으로 다시 흐른다. 특정 실시예에서, 재비기로부터 나오는 비등된 액체는 들어오는 스트림으로 열을 전달한다. 일부 실시예에서, 재비기는 이산화탄소 전해기로부터 폐열을 수용하도록 구성된다.

[0477] 도 23C에 도시된 시스템(2321)의 다음 CO 흡수-탈거 구성요소를 참조하라: 입구 스트림(2322)은 급냉기(2324)와 함께 작동하는 압축기(2323)에 의해 압축 및 급냉된다. 압축 및 급냉된 입구 가스는 입구 스트림 중의 CO가 액체에 의해 선택적으로 흡수되는 흡수 컬럼(2325)의 하단으로 들어간다. CO 풍부 액체 상은 열교환기(2326)에서 가열되고 (스트림 5) 다음 탈거 컬럼(2327)으로 들어간다 (스트림 6). 탈거 컬럼의 압력은 대기압일 수 있는 한편, 온도는 예를 들어 상단의 30 ℃로부터 하단의 60℃까지의 범위일 수 있다. 이러한 작동 파라미터에서 흡수제에 대한 CO의 용해도가 낮으므로, 대부분의 CO가 증발한다. 액체 상은 컬럼(2327)의 하단으로 흐르고 (스트림 8), 여기서 예를 들어 약 15%가 재비기(2328)를 사용하여 컬럼(2327)으로 다시 재순환되는 한편 (스트림 9/10), 나머지, 예를 들어 85%는 흡수 컬럼(2325)으로 다시 흐른다 (스트림 11-16).

[0478] CO_2 및 H_2의 가스 스트림은 흡수 컬럼(2325)의 상부를 빠져나간다. CO_2 및 H_2는 다양한 기술에 의해 분리될 수 있다. 일부 실시예에서, 이들은 막 필터(2330)를 사용하여 분리된다. 일부 실시예에서, 막 필터는 미국, 캘리포니아, 뉴어크 소재의 Membrane Technology and Research Corporation Inc.의 Polaris™필터이다. 이러한 막은 잔류물로 얻어지는 H_2에 비해 높은 CO_2 투과도를 가질 수 있다. 일부 예에서, 막 필터는 약 5 내지 15 bar(예를 들어, 약 9 bar 압력)의 압력 및/또는 약 0-20℃(예를 들어, 약 5℃의 온도에서 작동한다.

[0479] *CO_2 분리 예*

[0480] CO 흡수 실시예에서와 같이, 일산화탄소 및 수소는 이산화탄소 전해기로부터의 유출물에 포함된다. 이 전해기 유출물 가스는 일산화탄소 및 수소의 혼합물을 생성하는 분리 시스템으로의 유입물 역할을 한다. 특정 구현예에서, CO_2는 [bmim][PF6]와 같은 이온성 액체를 사용하여 유입물 스트림으로부터 직접 흡수된다. 흡수는 임의의 다양한 압력(예를 들어, 약 10-60 bar)에서 수행될 수 있다. 일부 구현예에서, 입구 가스 스트림의 압력은 약 8 내지 16 bar일 수 있다. 이를 위해, 시스템은 압축기에 의한 추가 압축을 사용할 수 있다.

[0481] 일부 실시예에서, CO_2 흡수 컬럼은 약 20 내지 60 bar 또는 약 40-50 bar(예를 들어, 약 44 bar)와 같은 상대적으로 높은 압력에서 작동된다. 이 압력 및 25 ℃에서, CO_2의 용해도는 1 몰의 이온성 액체에서 약 0.2 몰이다. 일부 실시예에서, CO_2 흡수 컬럼은 약 1 내지 20 bar와 같은 상대적으로 낮은 압력에서 작동된다. 특정 실시예에서, 흡수 컬럼은 약 20 내지 80℃또는 약 20-30℃또는 약 40 내지 60℃의 온도에서 작동된다.

[0482] 도 23D는 탄소 산화물 전해기의 유출물을 처리하여 일산화탄소 및 수소의 혼합물을 생성하기 위한 예시적인 CO_2 흡수-탈거 시스템(2351)을 도시한다. 입구 스트림은 압축기(2353)에 의해 압축된다. 압축된 입구 가스(스트림 (2))는 입구 스트림 중의 CO_2가 액체(예를 들어, 이온성 액체)에 의해 선택적으로 흡수되는 흡수 컬럼(2355)의

하단으로 들어간다. 흡수제 액체의 유량은 입구 스트림 중의 이산화탄소의 몰 유량을 모니터링 하여 조정되거나 제어될 수 있다. 컬럼의 흡수제 액체는 특정 수준으로 유지될 수 있다. 흡수제는 시스템을 통해 재순환하기 때문에, 컬럼 하단에 축적되지 않을 수 있다. 컨트롤러는 컬럼 하단에서 흡수제의 양을 감지하고 컬럼 내의 원하는 수준으로 흡수제 수준을 조정하거나 유지하기 위해 사용될 수 있다.

[0483] 특정 실시예에서, CO_2 흡수 컬럼은 다음 조건 하에서 작동한다:

[0484] **CO_2의 분압: 13 bar**

[0485] **온도: 28.1 ℃**

[0486] **액체 상 점도: 110 cP**

[0487] **기체상 점도: 0.017 cP**

[0488] **흡수제에서CO_2 확산도: 500 mm^2/s**

[0489] **컬럼 직경: 0.5 m**

[0490] **컬럼 높이: 12.4 m**

[0491] **압력 강하: 0.012 bar**

[0492] **Cf (충전 상수): 170**

[0493] **충전 총 비표면적: 108 m^2/m^3**

[0494] **공칭 충전 직경: 0.005 m**

[0495] CO 및 H_2의 가스 스트림(스트림 (3))은 흡수 컬럼(2355)의 상단을 나간다. 이 스트림은 합성가스로 사용될 수 있다.

[0496] 흡수 컬럼(2355)으로부터의 CO_2 풍부 액체 상은 열교환기(2356)에서 가열되고 (스트림 5) 이후 탈거 컬럼(2357)으로 들어간다 (스트림 6). 탈거기의 작동 파라미터에서 흡수제에 대한 CO_2의 용해도가 낮으므로, 대부분의 CO_2가 증발한다. 액체 상은 탈거 컬럼(2357)의 하단으로 흐르고 (스트림 8), 여기서 이의 분획은 재비기(2358)를 사용하여 컬럼(2357)으로 다시 재순환되는 한편 (스트림 9/10), 나머지 액체는 흡수 컬럼(2355)으로 다시 흐른다(스트림 11-16). 특정 실시예에서, 흡수 컬럼의 하단에서 하단 액체의 약 4 내지 5%가 예를 들어 재비기를 사용하여 컬럼으로 다시 재순환된다.

[0497] 특정 실시예에서, CO_2 탈거 컬럼은 약 0.5 내지 5 bar(예를 들어, 약 1 bar)의 압력에서 작동되고, 입구 CO_2-풍부 흡수제 스트림은 약 40 내지 60 ℃의 온도를 갖고, 컬럼의 하단은 약 60 내지 80 ℃의 온도를 갖는다.

[0498] ***에틸렌 정제***

[0499] 이 섹션에 설명된 실시예는 에틸렌 제조에 관한 것이다. 본원에 기재된 구체예는 에틸렌을 함유하는 혼합물을 수용하고 혼합물을 변형하여 정제된 에틸렌을 생성하도록 구성된 방법 및 시스템에 관한 것이다. 일부 경우에, 유입물은 본원에 기재된 탄소 산화물 전해기 중 하나와 같은 탄소 산화물 전해기로부터 얻은 가스 혼합물이다.

[0500] 일부 구현예에서, 에틸렌 정제 시스템은 상대적으로 순수한 에틸렌을 생성하고, 전해기에 의해 생성된 임의의 다른 구성요소의 상대적으로 순수한 스트림을 반드지 생성하지는 않도록 구성된다. 일부 구현예에서, 에틸렌 정제 시스템은 수소, 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄, 에탄올 또는 이들의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 다른 구성요소의 상대적으로 순수한 스트림과 함께 상대적으로 순수한 에틸렌을 생성하도록 구성된다.

[0501] 다양한 실시예에서, 에틸렌 정제 시스템은 (a) 이산화탄소 흡수 및 분리, (b) 막 여과에 의한 하나 이상의 다른 구성요소로부터의 에틸렌 분리, (c) 분별 증류하여 에틸렌 및 메탄 분리, (d) 메탄의 에틸렌으로의 화학적 전환, (e) (a)-(d)의 임의의 조합을 위한 하나 이상의 구성요소 또는 서브시스템을 포함한다. 일부 실시예에서, 아민 또는 이온성 액체는 이산화탄소를 흡수하기 위해 사용된다. 일부 실시예에서, 막 여과 구성요소는 (선택적으로 메탄과 함께) 에틸렌으로부터 일산화탄소 및 수소를 분리하도록 구성된다.

[0502] 본원에 기재된 바와 같이 생성된 에틸렌은 다양한 적용분야를 가질 수 있다. 예를 들어, 이는 산화에틸렌(예를 들어, 도 10A, 11 및 14의 논의 참조), 일부 경우에, 모노에틸렌 글리콜 및 폴리에틸렌 글리콜과 같은 산화에틸렌의 반응 생성물을 생성하기 위해 사용될 수 있다.

[0503] 이 섹션에 설명된 특정 실시예에서, 유입물 가스는 에틸렌 및 전형적으로 약간의 메탄 및 미반응 이산화탄소를 포함한다. 존재할 수 있는 다른 구성요소는 수소, 일산화탄소 물, 에탄올 및 이들의 임의의 조합을 포함한다.

[0504] 정제된 에틸렌을 생성하기 위한 다양한 극저온 증류 및 막 분리 기술은 2021년 11월 4일에 출원된 미국 가특허 출원 63/263,567에 제시되어 있으며, 이는 본원에 참조문헌으로 통합되어 있다.

[0505] ***산소 생성***

[0506] 탄소 산화물 전해기 애노드는 물로부터 산소를 생성할 수 있다. 산소는 전해기에 대한 다양한 통합 방식 중 어느 하나로 사용될 수 있다. 일부 경우에, 산소는 연료와의 연소 반응에 사용될 수 있다. 일부 경우에, 산소는 나중에 사용하기 위해 압축되고 저장될 수 있다. 특정 실시예에서, 압축된 산소는 냉각된 다음, 스로틀 밸브를 통과하여 산소가 액화하게 된다. 냉각은 프레온 유형 냉각기를 사용하여 달성될 수 있다. 일부 경우에, 산소 스트림은 염수 냉각기(예를 들어, CaCl2 염수 사용)를 사용하여 먼저 냉각된다. 예를 들어, 40 bar 및 -120 ℃에서, 산소는 액체가 된다. 일부 구현예에서, 산소 스트림은 약 -70℃이하로 냉각된다.

[0507] ***탄소 산화물 전해기에 의해 생성된 열***

[0508] 정상 작동 중에, 탄소 산화물 전해기는 열을 발생시킬 수 있다. 일부 경우에, 탄소 산화물 전해기에 공급되는 전력의 약 25 내지 50%가 열로 변환된다. 생성된 열의 일부 또는 전부는 하나 이상의 하류 또는 상류 공정에서 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 이산화탄소 전해기는 열 에너지를 함유하는 가스 및/또는 액체 스트림을 생성한다. 일부 경우에, 가스 및/또는 액체 스트림의 온도는 약 25-90℃이다. 특정 구현예에서, 탄소 산화물 전해기는 통합 시스템에 의해 하나 이상의 상류 또는 하류 유닛 또는 서브시스템에 공급될 수 있는 열을 함유하는 캐소드 유출물 가스 스트림을 생성한다. 일부 구현예에서, 탄소 산화물 전해기는 통합 시스템에 의해 하나 이상의 상류 또는 하류 유닛 또는 하위시스템에 공급될 수 있는 열을 포함하는 애노드 액체 유출물 스트림을 생성한다. 일부 경우에, 탄소 산화물 전해기는 작동 중에 냉각수가 순환하는 재킷 및/또는 도관과 같은 전용 열 전달 요소를 포함한다. 일부 구현예에서, 전해기의 하나 이상의 양극판은 그러한 냉각제가 이를 통해 순환하도록 구성된다. 전해기로부터 냉각수로 전달된 열은 통합 시스템의 다른 유닛이나 서브시스템에 공급될 수 있다.

[0509] 일부 실시예에서, 전해기에 의해 생성된 열은 보일러와 같은 서브시스템으로의 입구 스트림을 예열하는 데 사용된다. 일부 실시예에서, 전해기에 의해 생성된 열은 이산화탄소 포집을 위한 직접 공기 공정, 이산화탄소 탈거 공정 및/또는 일산화탄소 탈거 공정과 같은 열 변동 공정에 사용된다. 본원에 설명된 통합 실시예에서, 통합 실시예에서 탄소 산화물 전해기에 의해 생성된 유형의 열을 활용할 수 있는 임의의 상류 또는 하류 유닛 작업은 전해기로부터 열을 수용하도록 구성될 수 있다. 이 예는 건조기, 분리기 및 반응기가 포함되며 본원에 개시된 것과 같은 폴리머 또는 벌크 화학물질을 제조하기 위한 것도 포함된다. 따라서, 정상 작동 중에, 시스템은 탄소 산화물 전해기에 의해 생성된 열을 작업을 촉진하기 위해 이러한 열을 이용하는 하나 이상의 별도의 서브시스템으로 전달할 수 있다.

[0510] 위에서 설명된 바와 같이, 일부 통합 시스템 실시예는 직접 공기 포집 서브시스템 및 전해기로부터의 과잉 열을 직접 공기 포집 서브시스템으로 전달하도록 구성된 탄소 산화물 전해기를 사용한다. 온도 변동 구현예에서, 직접 공기 포집 유닛은 상당한 양의 이산화탄소를 포집하고 방출하기 위해 상당한 양의 열 에너지를 필요로 한다. 일 예로서, 예를 들어, DAC 유닛은 포집된 CO_2 1톤당 적어도 약 1200kWh (4.32 GJ)의 열 에너지를 필요로 할 수 있다. 또한, 온도 변동에 따라, DAC 유닛은 약 70℃만큼 낮을 수 있는 상승된 온도에서 CO_2를 탈착할 수 있다.

[0511] 일반적으로, CO_2 전해기의 임의의 유출물은 DAC 유닛에 열을 공급하는 데 사용될 수 있다. 이러한 유출물의 예는 양극수와 전해기의 캐소드 측으로부터 나오는 가스 유출물을 포함한다. 일 예로서, 예를 들어, 일부 CO_2 전해기는 약 20° C 내지 약 110° C의 온도 범위에서 작동하며, 양극수 및/또는 가스 생성물 스트림은 이 범위 내의 온도에서 전해기를 떠날 수 있다.

[0512] 특정 실시예에서, 전해기에서 나오는 양극수는 DAC 유닛의 한 구성요소를 가열하는 데 사용된다. 특정 실시예에서, 양극수에 의해 전달되는 열은 DAC 유닛에 필요한 열부하의 약 40%까지 기여할 수 있다. 물론, 부분적인 기여는 전해기의 작동 온도 및 전기분해 에너지 효율을 포함한 다양한 요인에 따라 달라진다.

[0513] 일부 실시예에서, 전해기를 떠나는 가스 스트림은, 다시 전해기의 작동 온도 및 전기분해 에너지 효율에 따라, DAC 유닛에 필요한 열의 약 5%까지 기여할 수 있다.

[0514] 온도 변동 DAC 유닛은 일반적으로 작동 중에 이산화탄소를 흡수할 때 낮은 온도 또는 주위 온도에서 유지되고 이산화탄소를 탈착할 때에는 더 높은 온도로 상승되는 흡착제 충전층을 포함한다. 탈착 중에, 충전된 층은 전기 가열기, 증기 또는 기타 가열제를 사용하여 가열될 수 있다. 본원에 설명된 DAC 실시예에서, 하나 이상의 열교환기가 충전 층에 열을 제공하기 위해 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 적어도 하나의 이러한 열교환기는 전해기 및/또는 발열 반응을 위한 반응기로부터 열을 수용한다. 이러한 열교환기(들)의 위치는 다양한 설계 고려사항에 따라 달라진다. 특히, DAC 유닛은 전해기 및/또는 기타 반응기에 의해 생성된 스트림을 수용하기 위해 추가 입구 및 출구 파이프를 가질 수 있다. 그러나, DAC 유닛 자체(충전 층, 송풍기, 밀폐된 공간 등)는 변형되지 않은 상태로 유지될 수 있다.

[0515] 도 24A는 직접 공기 포집 유닛(2405), 이산화탄소 전해기(2403) 및 애노드 정제 유닛(2407)을 포함하는 통합 시스템(2401)을 도시한다. 시스템(2401)에서, 직접 공기 포집 유닛(2405)은 공기 또는 불순한 이산화탄소의 또 다른 공급원(2409)을 수용하며, 그리고 2개의 스트림, 즉 정제된 공기의 스트림(2411)과 정제된 이산화탄소의 스트림(2413)을 출력한다. 시스템은 정제된 이산화탄소 스트림(2413)을 이산화탄소 전해기(2403)의 캐소드측 입구에 제공하도록 구성된다.

[0516] 이산화탄소 전해기(2403)는 입구 이산화탄소 스트림(2413) 내의 미반응 이산화탄소 및 불순물과 같은 다른 구성요소와 함께 선택적으로 하나 이상의 탄소 함유 환원 생성물을 포함하는 유출물 가스 스트림(2415)을 생성하도록 구성된다.

[0517] 본원의 다른 곳에 표시된 바와 같이, 캐소드측 유출물 가스 스트림(예를 들어, 가스 스트림(2415))은 일반적으로 이산화탄소 전해기(2403)와 같은 전해기의 작동으로 인한 폐열을 포함한다. 시스템(2401)은 가스 스트림(2415)을 전달하도록 구성되며, 이는 예를 들어 직접 공기 포집 유닛(2405)의 입구에 약 70 내지 200℃의 상승된 온도를 가질 수 있다. 유닛(2405)은 가스 스트림(2415)으로부터 열을 추출하고 추출된 열을 사용하여 공기 스트림(2409)의 정제를 촉진하고 정제된 이산화탄소 스트림(2413)을 생성하도록 구성된다. 지시된 바와 같이, 온도 변동 직접 공기 포집 유닛의 탈착 공정은 상승된 온도에서 일어날 수 있고, 이러한 온도는 가스 스트림(2415)의 폐열을 사용하여 적어도 부분적으로 달성될 수 있다. 직접 공기 포집 유닛(2405)에 일부 열을 제공한 후, 가스 스트림(2415)은 스트림이 유닛(2405)에 유입되었을 때보다 더 낮은 온도 및 더 낮은 엔탈피를 가지더라도 유닛(2405)에서 배출된다. 일부 실시예(여기서는 소시되지 않음)에서, 유닛(2405)에서 나온 후, 가스 스트림(2415)은 스트림에 남아 있을 수 있는 미반응 이산화탄소의 일부 또는 전부를 제거하여 정화된다. 추가 실시예에서, 가스 스트림(2415)으로부터 분리된 이산화탄소는 이를 전해기(2403)의 캐소드 측에 다시 제공함으로써, 이를 정제된 이산화탄소 스트림(2413)과 조합함으로써 재순환될 수 있다.

[0518] 시스템(2401)은 이산화탄소 전해기(2403)의 애노드 측에 양극수 유입 스트림(2419)을 제공하도록 구성되며, 이는 물을 환원시키고 유입물로서 제공된 미반응 물을 함유하는 양극수(2417)와 함께 분자 산소(도시되지 않음)를 전해기에 배출한다.

[0519] 전해기(2403)에서 나오는 양극수(2417)는 전해기의 작동 중에 생성된 일부 폐열을 포함한다. 시스템(2401)은 양극수(2417)를 직접 공기 포집 유닛(2405)로 전달하도록 구성된다. 유닛(2405) 내에서, 스트림(2417)의 가열된 양극수는 가열된 유출물 가스 스트림(2415)과 유사하게 작용할 수 있다. 즉, 양극수 스트림(2417)의 과잉 열은 정제된 이산화탄소 스트림(2413)에 제공되는 이산화탄소의 탈착을 촉진하기 위해 직접 공기 포집 유닛(2405)에 의해 추출될 수 있다.

[0520] 도시된 바와 같이, 직접 공기 포집 유닛(2405)를 통해 흐르는 양극수는 유출물 양극수 흐름(2421)을 통해 유닛(2405)에서 나온다. 스트림(2421)의 양극수는 이어서 양극수 정제 유닛(2407)에 제공되며, 여기서 양극수는 예를 들어 CO_2 전해기를 통과할 때 흡수될 수 있는 불순물을 제거하기 위해 처리된다. 양극수 정제 유닛(2407)은 정제된 양극수 스트림(2423)을 생성하도록 구성되며, 이는 정제된 양극수로서 전해기(2403)의 입구로 역류한다.

[0521] 일부 보충 양극수는 양극수 보충 스트림(2425)을 통해 시스템(2401)에 예시된 바와 같이 제공될 수 있다는 점에 유의하라. 보충 물은 이산화탄소 전해기(2403)의 애노드에서 산화에 의해 소비되는 일부 양극수를 대체할 수 있다. 또한, 일부 구현예에서, 재순환되는 양극수의 일부는 예를 들어 양극수 정제 유닛(2407)에 의해 선택적으로 수행되는 역삼투에 의해 지속적으로 배출되고 정제된다. 보충 양극수는 또한 배출된 양극수를 대체할 수 있다. 일반적으로 DAC 유닛은 양극수 또는 캐소드 생성물 스트림을 소비하지 않지만, 이러한 스트림의 온도를 낮출 수

있다.

[0522] 피셔-트롭쉬(FT) 반응은 150-350℃의 온도 범위에서 발생할 수 있다. 반응은 -152 내지 -165 kJ/molCO의 표준 반응 엔탈피로 인해 발열성이 높다. 그러나, 반응 온도는 일정하게 유지되어야 한다. 이는 피셔-트롭쉬 반응기의 입구에 끓는 물을 적용하여 달성할 수 있으며, 이는 과잉 반응열을 얻고 이를 증기로 변환한 다음 반응기를 빠져나간다.

[0523] FT 공정에서 생성된 증기는 DAC 유닛에 연결될 수 있으며, 여기서 DAC 유닛의 충전층으로 에너지를 전달하여 이산화탄소의 탈착을 촉진할 수 있다. 열을 전달하는 과정에서, FT 공정의 증기는 끓는 물로 변환된다.

[0524] FT 반응에 의해 생성된 열이 FT 반응의 내부 열 요구량에 의해 소비되면, DAC 유닛와 통합하기 위해 소비된 CO_2 1톤당 약 900 내지 1400kWh의 폐열이 있을 수 있다. 따라서, FT 폐열은 일부 실시예에서 DAC 유닛 열부하의 약 75 내지 100%를 감당할 수 있다.

[0525] 도 24B는 이산화탄소 전해기(2403)(도 24A에 예시된 전해기와 유사) 및 도 24A의 시스템(2401)과 유사한 방식으로 상호작용하도록 구성된 직접 공기 포집 유닛(2426)를 포함하는 통합 시스템(2420)을 예시한다. 예를 들어, 시스템(2420)은 DAC 유닛(2426)에 의해 생성된 정제된 이산화탄소 스트림(2442)을 이산화탄소 전해기(2403)에 제공하도록 구성된다. 또한, 유닛(2426)은 입구 스트림(2443)을 통해 공기 또는 기타 불순한 이산화탄소를 수용하고 스트림(2445)을 통해 정제된 공기를 전달하도록 구성된다.

[0526] 그러나, 시스템(2401)과 달리, 도 24B의 시스템(2420)은 피셔-트롭쉬 합성 유닛(2428) 및 피셔-트롭시 반응을 지원하는데 사용되는 일부 추가 모듈을 포함한다. 이들 추가 유닛은 이산화탄소 전해기로부터 출구 가스 스트림(2430)을 수용하고 해당 가스 스트림을 정제된 일산화탄소 스트림(2431)과 정제된 이산화탄소 증기(2432)로 분리하도록 구성된 가스 분리 유닛(2429)을 포함한다. 일부 실시예에서, 시스템(2420)은 정제된 이산화탄소 스트림(2432)을 환원될 수 있는 이산화탄소 전해기(2403)로 다시 전달하도록 구성된다.

[0527] 시스템(2420)은 또한 입구 물 스트림(2446)으로부터 물을 전기화학적으로 환원시켜 수소 스트림(2433)을 생성하도록 구성된 물 전기분해기(2427)를 포함한다. 시스템(2420)은 또한 예를 들어 도관 및/또는 혼합 유닛을 통해 수소 스트림(2433) 및 일산화탄소 스트림(2431)을 결합하여 합성가스 스트림(2434)을 생성하도록 구성된다.

[0528] 통합 시스템(2420)에서, 피셔-트롭쉬 합성 유닛(2428)은 합성 가스 스트림(2434)을 수용하고 이를 발열 FT 반응을 통해 반응시켜 본원의 다른 곳에 설명된 것과 같은 다양한 피셔-트롭쉬 생성물(2444)을 생성하도록 구성된다. 피셔-트롭쉬 합성 반응을 적절한 온도로 유지하기 위해, 유닛(2428)은 끓는 물 입구 스트림(2435)으로부터 끓는 물을 수용하도록 구성된다. 피셔-트롭쉬 반응 동안, 물 스트림은 반응에 의해 생성된 과잉 열을 수용하고 이를 포화 증기 스트림(2436)으로 변환한다.

[0529] 시스템(2420)에서, DAC 유닛(2426)에 의해 요구되는 열은 피셔-트롭쉬 합성 유닛(2428) 및 이산화탄소 전해기(2403)의 열 함유 스트림에 의해 완전히 또는 실질적으로 제공될 수 있다. 도 24A의 시스템과 관련하여 설명한 바와 같이, 작동 중인 전해기(2403)로부터의 폐열은 전해기(2403)의 캐소드 측에서 나오는 가스 스트림(2415) 및 전해기(2403)의 애노드 측에서 나오는 양극수 스트림(2417) 중 하나 또는 둘 모두를 통해 DAC 유닛으로 전달될 수 있다. DAC 유닛(2426)에서, 가스 스트림(2415)으로부터의 열은 열교환기(2437)를 통해 유닛으로 전달된다. 그리고, 양극수 출구 스트림(2417)으로부터의 열은 열교환기(2438)를 통해 DAC 유닛(2426)에 제공된다.

[0530] 열교환기(2438)에서 나오는 양극수는 스트림(2439)을 통해 애노드 정제 유닛(2407)에 제공되며, 이는 도 24A의 시스템(2401)의 유닛(2407)과 동일한 목적으로 사용된다. 정제된 양극수는 양극수 입구(2419)를 통해 전해기(2403)의 애노드 측으로 재순환된다. 보충 양극수 스트림(2425)은 시스템(2401)에서와 같이 사용될 수 있다. 전해기(2403)로부터의 가스 스트림(2415)은 가스 분리 유닛(2429)으로 공급되는 가스 스트림(2430)과 같이 DAC 열교환기(2426)에서 나간다.

[0531] 피셔-트롭쉬 합성 유닛(2428)에 의해 생성된 과잉 열은 포화 증기 스트림(2436)을 통해 운반될 수 있으며 DAC 유닛(2426) 내의 열교환기(2440)로 전달될 수 있다. 포화 증기 스트림(2436)으로부터의 열은 DAC 유닛(2426)의 탈착 구성요소로 전달될 수 있으며 온도 변동 작업에서 이산화탄소 방출을 촉진한다. 도시된 실시예에서, 열교환기(2440)는 스트림(2436)의 포화 증기를 끓는 물로 변환한 후 스트림(2435)을 통해 피셔-트롭쉬 합성 유닛(2428)으로 다시 전달되도록 구성된다.

[0532] 표시된 바와 같이, DAC 유닛은 종래의 것과 같은 하나 이상의 열교환기를 사용하여 가열될 수 있다. 각각의 열

교환기(2437, 2438 및 2440)는 DAC 유닛에 들어오고 나가는 하나 이상의 파이프를 갖는다. 그러나, 그 외에는, 충전층, 송풍기, 밀폐된 공간 등을 포함한 DAC 유닛 자체는 동일하게 유지된다. 열교환기(2440)는 출구 스트림에 끓는 물을 제공하는 방식으로 크기가 결정되고 제어될 수 있다는 점에 유의하라. 유입되는 포화 증기 스트림(2436)의 압력과 유량은 제어되는 파라미터이다. 특정 실시예에서, 플래시 용기가 열교환기(2440)의 하류에 제공되며, 여기서 응축된 물은 회수되어 FT 장치로 다시 펌핑된다.

[0533] 선택적으로는, 물 전해기(2427)의 작동 중에 생성된 열은 DAC 유닛(2426)에 제공되어 정제된 이산화탄소(2442)를 생성하기 위한 온도 변동 공정을 촉진한다.

[0534] 특정 실시예는 메탄올 합성 반응기, DAC 유닛 및 이산화탄소 전해기를 포함하는 통합 시스템에 관한 것이다. 일부 메탄올 합성 반응기에서, 이산화탄소 전해기에 의해 생성된 CO가 충전층 반응기에서 상승된 압력과 온도에서 수소와 반응하여 메탄올을 형성한다.

[0535] **반응 - CO + 2 H2 --> CH3OH**

[0536] **반응 엔탈피 H = 90.8 kJ 몰1**

[0537] 반응은 약 200℃보다 높은 온도에서 일어날 수 있으며 발열 반응이다. 메탄올 반응기 온도는 일정하게 유지될 수 있으며 250° C를 초과할 수 없다. 이는 반응기 입구에 끓는 물을 가함으로써 달성되며, 이는 과잉 반응열을 얻고 이를 증기로 변환하여 반응기를 빠져나간다. 열 전달 효율에 따라, 증기에 의해 전달되는 메탄올 반응기의 폐열은 DAC 유닛 열 부하의 약 35% 내지 50%를 차지할 수 있다.

[0538] 도 24C는 도 24B의 통합 시스템(2420)과 유사한 통합 메탄올 유출물 시스템(2451)을 예시한다. 그러나, 피셔-트롭쉬 반응기를 사용하는 대신, 시스템(2451)은 메탄올 합성 반응기(2453)를 사용한다. 도 24C에서, 유사한 참조 번호 및 연결선을 갖는 구성요소들은 도 24B의 해당 구성요소들과 동일하거나 유사한 목적을 수행한다.

[0539] 도시된 바와 같이, 메탄올 생성 시스템(2451)은 이산화탄소 전해기(2403), DAC 유닛(2426), 물 전해기(2427), 가스 분리 유닛(2429), 및 양극수 정제 유닛(2407)을 포함하며, 이들은 도 24B의 피셔 트롭쉬 합성 시스템(2420)의 해당 구성요소들과 유사하게 배열 및 구성된다. 이와 유사하게, 다양한 이들 유닛은 도 24B의 시스템(2420)에 대응하는 입구 및 출구 스트림을 갖는다.

[0540] 메탄올 합성 유닛(2453)은 메탄올 합성 반응의 온도를 끓는 물의 온도로 유지하는 유입물 스트림(2457)을 통해 끓는 물을 수용하도록 구성된다. 발열 메탄올 합성 반응 중에 발생된 열은 끓는 물로 전달되어 포화 증기로 변환된다. 유닛(2453)은 상승된 온도에서 스트림(2459)을 통해 포화 증기를 유출하도록 구성된다. 시스템(2451)은 스트림(2459)을 DAC 유닛(2426) 내의 열교환기(2461)로 공급하도록 구성되며, 여기서 포화 증기로부터의 과잉 열은 유닛(2426)으로 전달되어 이산화탄소 정제 공정을 촉진한다.

[0541] 일부 경우에, 피셔-트롭쉬와 메탄올 통합 시스템(2420 및 2451) 간의 유일한 실질적인 차이점은 화학 반응 및 관련 반응 엔탈피에 있다. 예를 들어, 스트림(2436 및 2459)의 증기는 두 경우 모두 동일한 압력과 온도에 있을 수 있다. 그러나, 메탄올의 경우 증기 스트림은 반응 엔탈피가 낮기 때문에 피셔-트롭쉬의 경우보다 낮다.

[0542] 합성가스, 연료, 메탄올, 아세트산, 아세톤 등의 생성에서와 같이, CO_2 전해기의 하류에 수소가 필요한 시나리오에서, 상승된 온도에서 H2O 전해기에서 나오는 미반응 물은 온도 변동 DAC 유닛 내에서 CO2 탈착 충전층을 가열하도록 사용될 수 있다.

[0543] 내부 열의 일부를 충전층으로 전달한 후, 산소는 물에서 회수될 수 있으며, 이는 H2O 전해기로 다시 재순환될 수 있다. 일부 구현예에서, 산소는 증기 상으로 플래시 용기에서 회수되는 반면, 물은 액체 상으로 플래시 용기를 떠난다. 일부 실시예에서, 미반응 물은 에너지 효율, 작동 온도 및 전해기 입구의 물 과잉에 따라 DAC 유닛의 열 부하의 약 70%까지 기여할 수 있다.

[0544] 도 24D는 이산화탄소 전해기(2403), 물 전해기(2469) 및 DAC 유닛(2467)를 포함하는 시스템(2465)을 도시한다. 전해기는 둘 다 이산화탄소 포집 및 정제를 촉진하기 위해 유닛(2467)에 의해 사용될 수 있는 폐열을 생성한다.

[0545] 이산화탄소 전해기(2403)의 캐소드 측은 DAC 유닛(2467)에 의해 생성된 정제된 이산화탄소를 수용하도록 구성된다. 이산화탄소 전해기(2403)의 애노드 측은 양극수 스트림(2419)을 수용하도록 구성된다. 작동 중에, 전해기(2403)의 캐소드는 이산화탄소의 하나 이상의 탄소 함유 환원 생성물을 함유하는 가스 스트림(2415)을 생성하고 전해기(2403)의 애노드는 출구 양극수(2417)에서 산소를 생성한다.

[0546] 물 전해기(2469)는 물 스트림(2466)을 수용하고 그 스트림으로부터 물을 애노드와 캐소드 모두에 제공하도록 구

성된다. 전해기(2469)의 작동 중에, 애노드는 미반응 물과 함께 스트림(2468)으로 유출되는 분자 산소를 생성하는 반면, 캐소드는 스트림(2470)으로 유출되는 분자 수소를 생성한다.

[0547] DAC 유닛(2467)는 공기(2476) 또는 이산화탄소의 또 다른 불순한 공급원을 수용하고 정제된 공기(2478)와 스트림(2480)에서 정제된 이산화탄소를 유출하도록 구성된다. DAC 유닛(2467)는 적어도 3개의 공급원: 즉 열교환기(2477)를 통한 가스 스트림(2415), 열교환기(2479)를 통한 양극수 스트림(2417), 및 열교환기(2473)를 통한 산소/물 스트림(2468)으로부터 열을 수용한다.

[0548] 열 함량 중 일부를 DAC 유닛(2467)으로 전달한 후, 산소/물 스트림(2468)은 스트림(2472)로서 유닛(2467)에서 나간다. 시스템(2465)은 스트림(2472)을 수용하고 정제된 분자 산소(2474)를 생성하도록 구성된 산소 분리 유닛(2475)을 포함한다. 작동 중에, 산소 분리 유닛(2475)은 또한 열교환기(2491)에 의해 냉각될 수 있고 스트림(2466)에서 물 전해기(2769)에 대한 유입물로서 재순환될 수 있는 물 스트림을 생성한다.

[0549] 가스 스트림(2415)은 DAC 유닛(2467)에 들어가고, 열의 일부를 전달한 후, 이산화탄소와 일산화탄소를 포함하는 가스 스트림(2484)으로서 배출된다. 시스템(2465)은 가스 스트림(2484)을 수용하고 정제된 이산화탄소 스트림(2486) 및 정제된 일산화탄소 스트림(2488)을 생성하도록 구성된 가스 분리 시스템(2471)을 포함한다. 시스템(2465)은 DAC 유닛(2467)로부터의 이산화탄소 스트림(2480)과 함께 이산화탄소 스트림(2486)을 다시 이산화탄소 전해기(2403)로 재순환시키도록 구성된다. 시스템(2465)은 일산화탄소 스트림(2488)을 수소 스트림(2470)과 결합하여 합성가스(2490) 스트림을 생성하도록 구성된다.

[0550] 추가적으로, 시스템(2465)은 열교환기(2479)에서 나오는 양극수 스트림(2481)을 수용하고 이를 이산화탄소 전해기(2403)로 회수하기 전에 양극수를 정제하도록 구성된 양극수 정제 유닛(2407)을 포함한다.

[0551] ***컨트롤러 실시예***

[0552] 하나 이상의 반응기, 펌프, 분리기 및/또는 시스템의 다른 구성요소의 작동을 제어하기 위한 컨트롤러 또는 기타 로직을 사용하는 실시예에서, 컨트롤러 또는 로직은 컴퓨터 판독 가능 매체에서 실행 가능한 명령과 같은 프로그램 명령을 사용할 수 있다. 명령은 통신 시스템에 통합된 것과 같은 컴퓨터 실행 가능 구성요소에 의해 실행될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 임의의 적합한 컴퓨터 판독 가능 매체, 예컨대 RAM, ROM, 플래시 메모리, EEPROM, 광학 장치 (CD 또는 DVD), 하드 드라이브, 플로피 드라이브, 또는 임의의 적합한 장치에 저장될 수 있다. 컴퓨터 실행 가능 구성요소는 선택적으로 프로세서이지만 명령이 임의의 적합한 전용 하드웨어 장치에 의해 대안적으로 또는 부가적으로 실행될 수 있다.

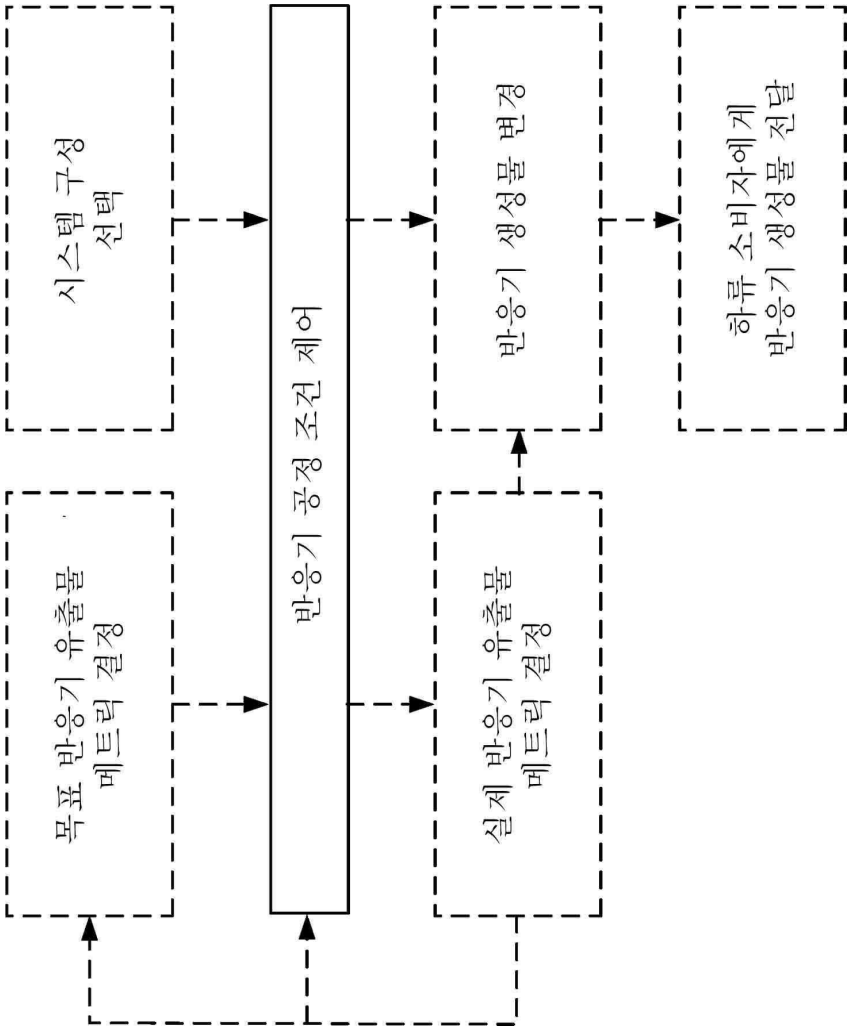
[0553] 간결함을 위해 생략되었지만, 시스템 및/또는 방법의 실시예는 다양한 시스템 구성요소 및 다양한 방법 공정의 모든 조합 및 순열을 포함할 수 있으며, 여기서 본원에 기재된 방법 및/또는 공정의 하나 이상의 예는 비동기적으로(예를 들어, 순차적으로), 동시에(예를 들어, 병렬로), 또는 임의의 다른 적합한 순서로 및/또는 본원에 기재된 시스템, 요소, 및/또는 개체의 하나 이상의 예를 사용하여 수행될 수 있다.

[0554] 도면은 개시된 실시예, 예시적인 구성, 및 이들의 변형에 따른 시스템, 방법 및 컴퓨터 프로그램 제품의 가능한 구현예의 아키텍처, 기능 및 작동을 도시한다. 이와 관련하여, 플로우차트 또는 블록 다이어그램의 각각의 블록은 지정된 로직 기능(들)을 구현하기 위한 하나 이상의 실행 가능한 명령어를 포함하는 모듈, 세그먼트, 단계 또는 코드의 일부를 나타낼 수 있다. 또한 일부 대안의 구현예에서, 블록에 기록된 기능이 도면에 기록된 순서를 벗어나 발생할 수 있음에 유의해야 한다. 예를 들어, 연속으로 도시된 두 블록이 실제로는 실질적으로 동시에 수행될 수 있거나, 관련된 기능에 따라 블록이 때때로 역순으로 실행될 수 있다. 블록 다이어그램 및/또는 플로우차트 각각의 블록, 및 블록 다이어그램 및/또는 플로우차트의 블록의 조합이, 지정된 기능 또는 동작을 수행하는 특수 목적 하드웨어-기반 시스템, 또는 특수 목적 하드웨어 및 컴퓨터 명령어의 조합에 의해 구현될 수 있음이 또한 주목될 것이다.

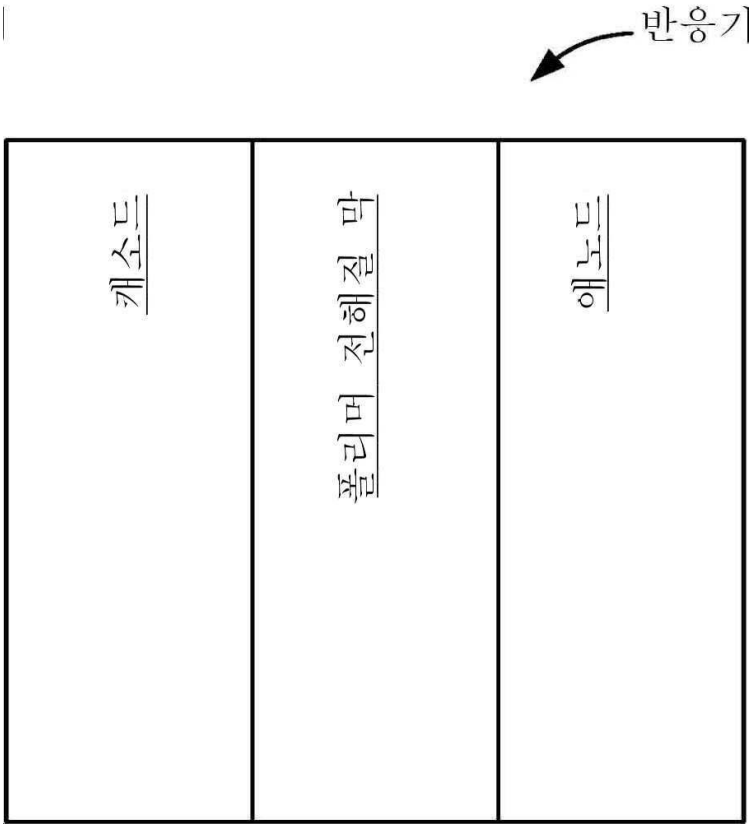
[0555] 당업자가 이전의 상세한 설명 및 도면 및 청구범위로부터 인식할 수 있는 바와 같이, 다음 청구범위에 정의된 본 개시내용의 범위를 벗어나지 않고 본 개시내용의 개시된 구체예에 대한 수정 및 변경이 이루어질 수 있다.

도면

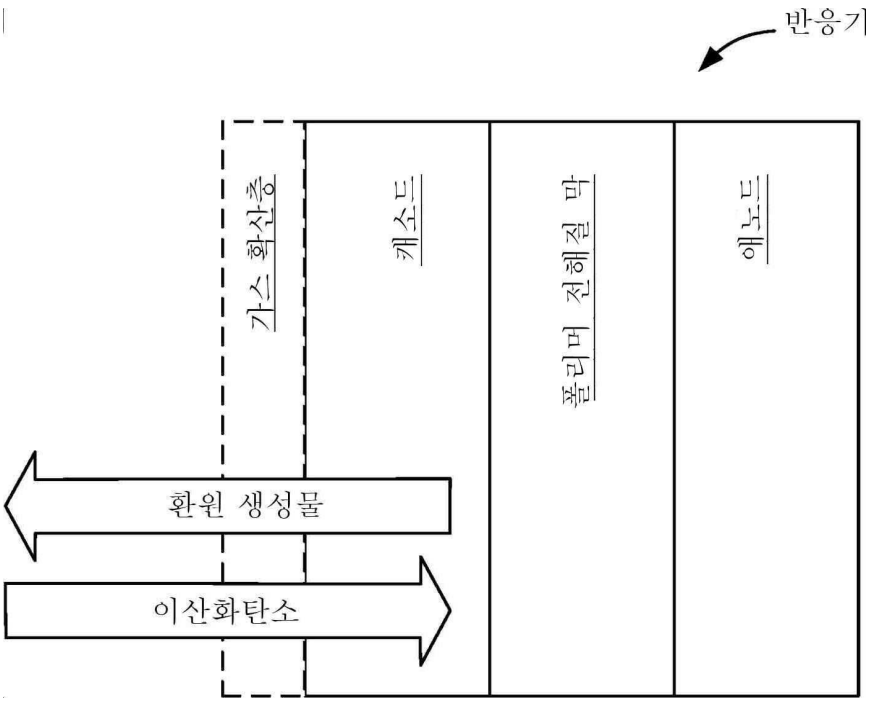
도면1


시스템 구성
선택
목표 반응기 유출물
메트릭 결정
반응기 공정 조건 제어
실제 반응기 유출물
메트릭 결정
반응기 생성물 변경
하류 소비자에게
반응기 생성물 전달

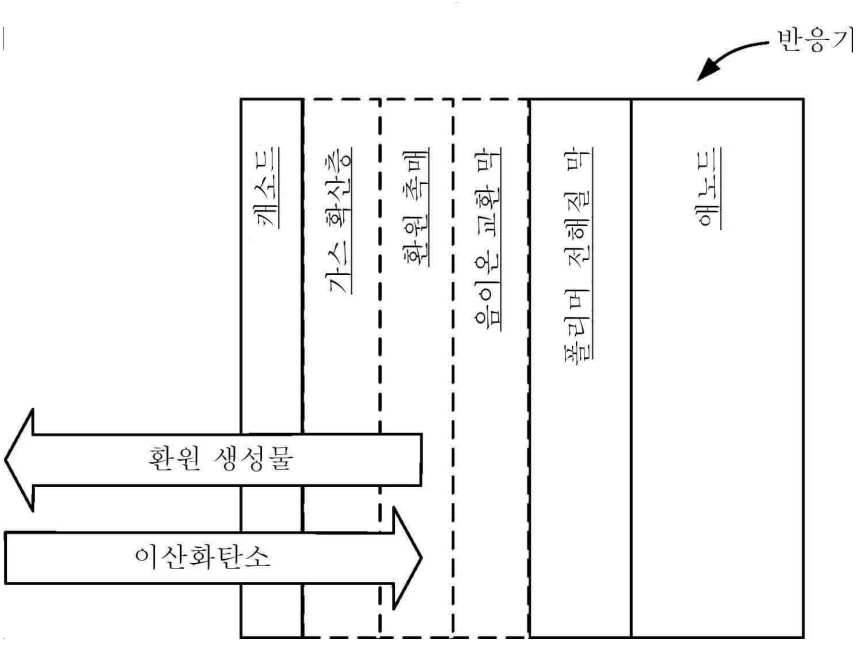
도면2a



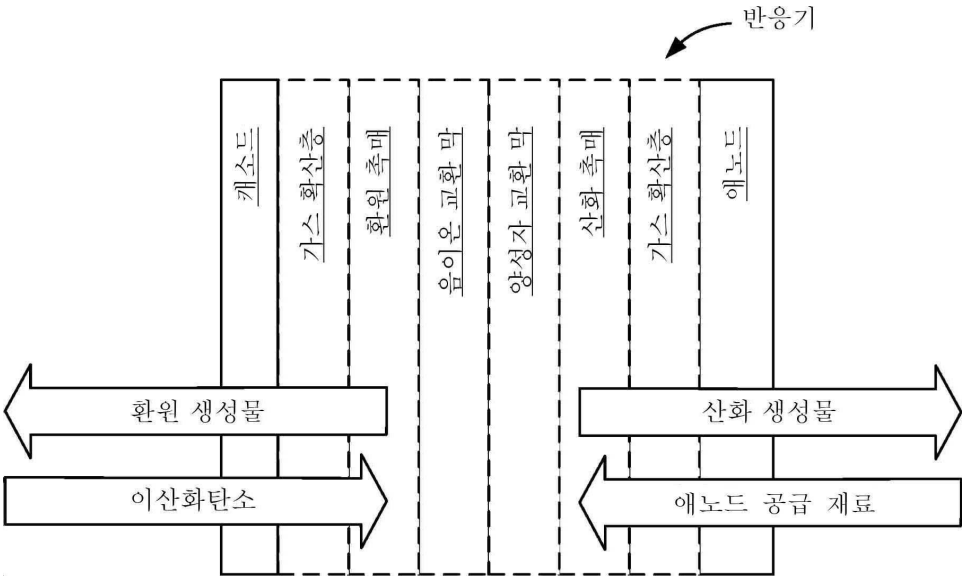
도면2b



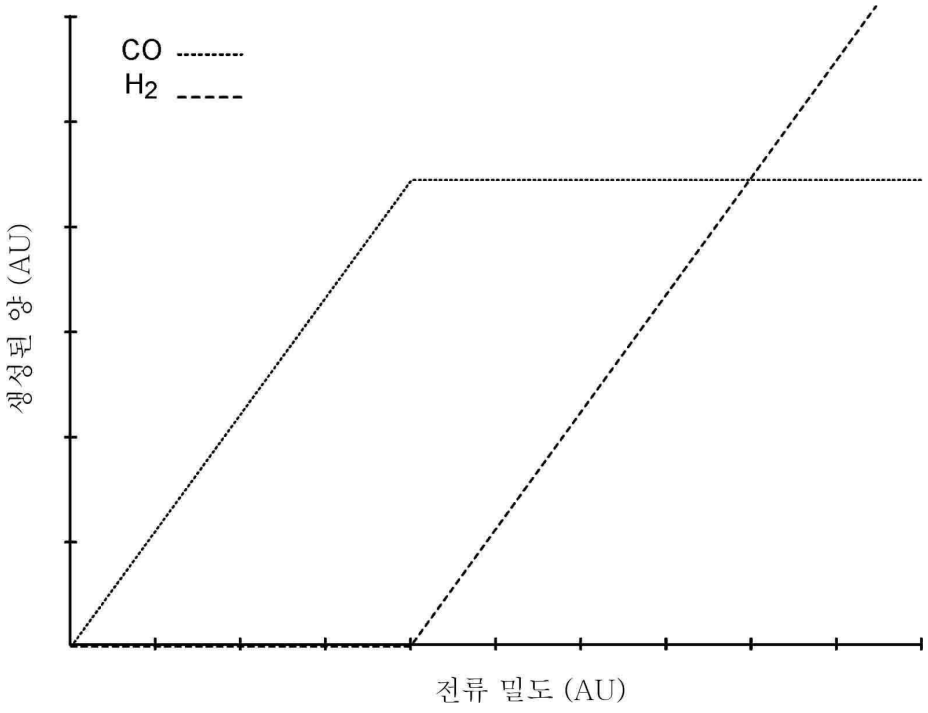
도면2c


반응기
캐소드
가스 확산층
환원 촉매
음이온 교환 막
폴리머 전해질 막
애노드
환원 생성물
이산화탄소

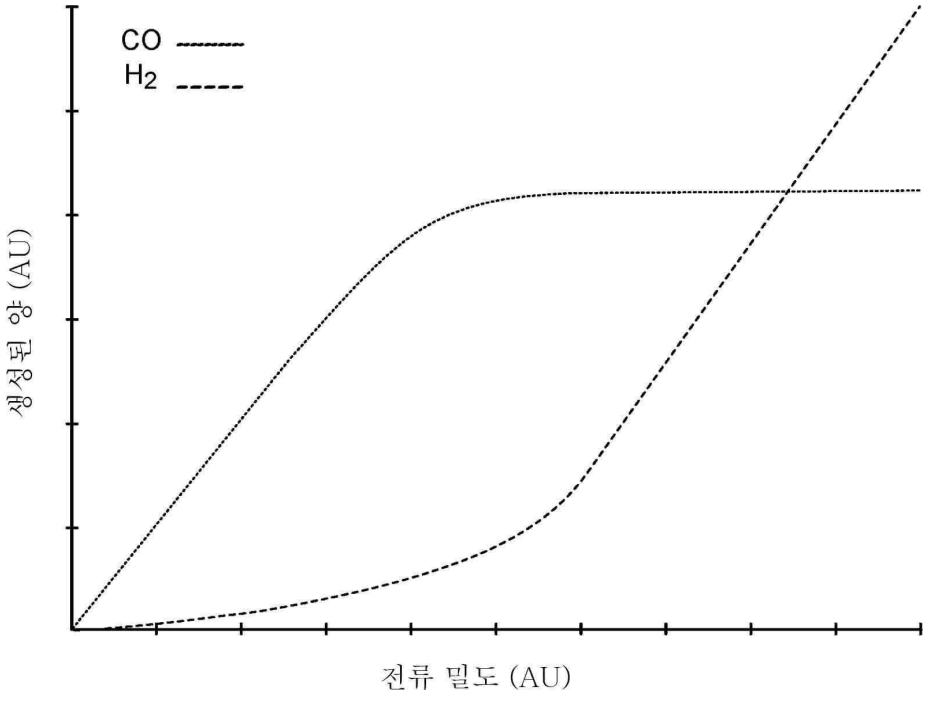
도면2d


반응기
캐소드
가스 확산층
환원 촉매
음이온 교환 막
양성자 교환 막
산화 촉매
가스 확산층
애노드
환원 생성물
이산화탄소
산화 생성물
애노드 공급 재료

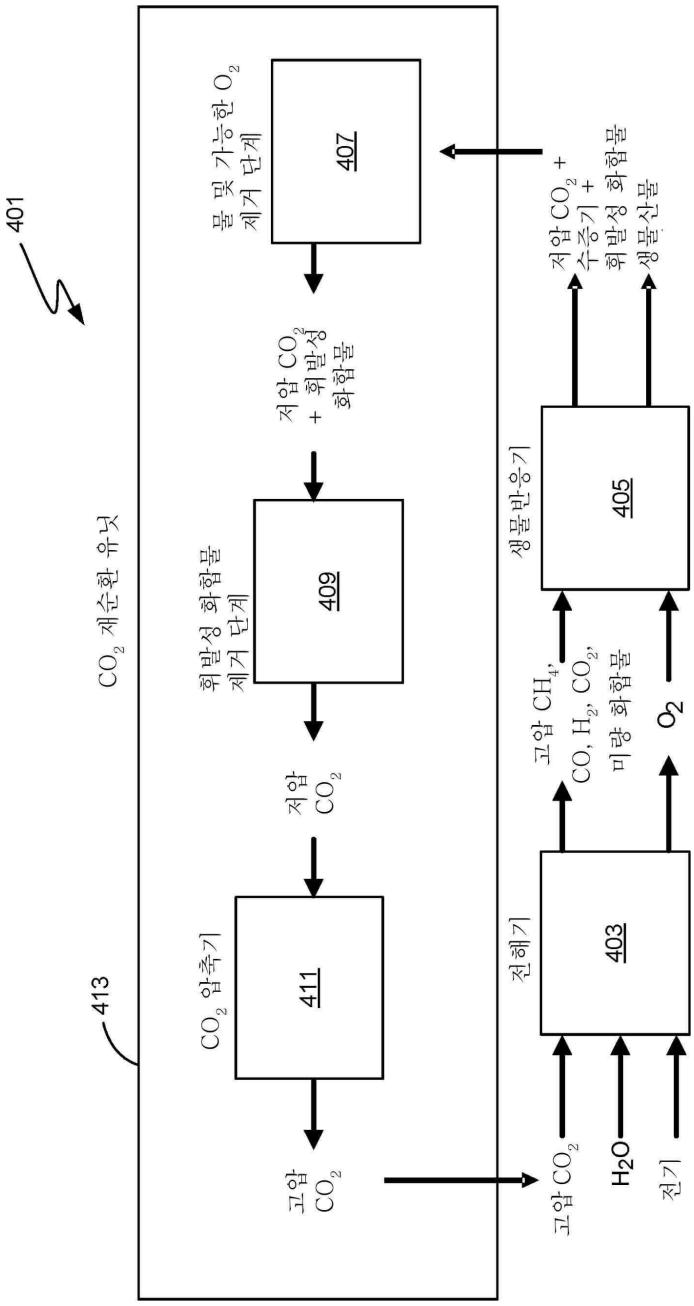
도면3a



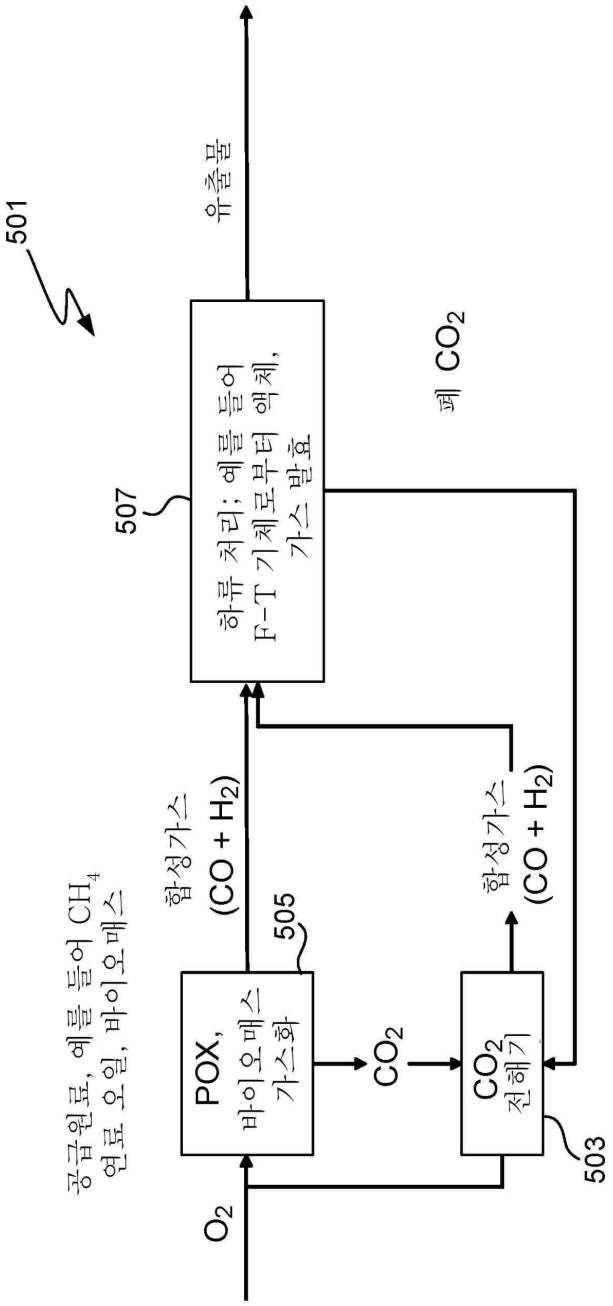
도면3b



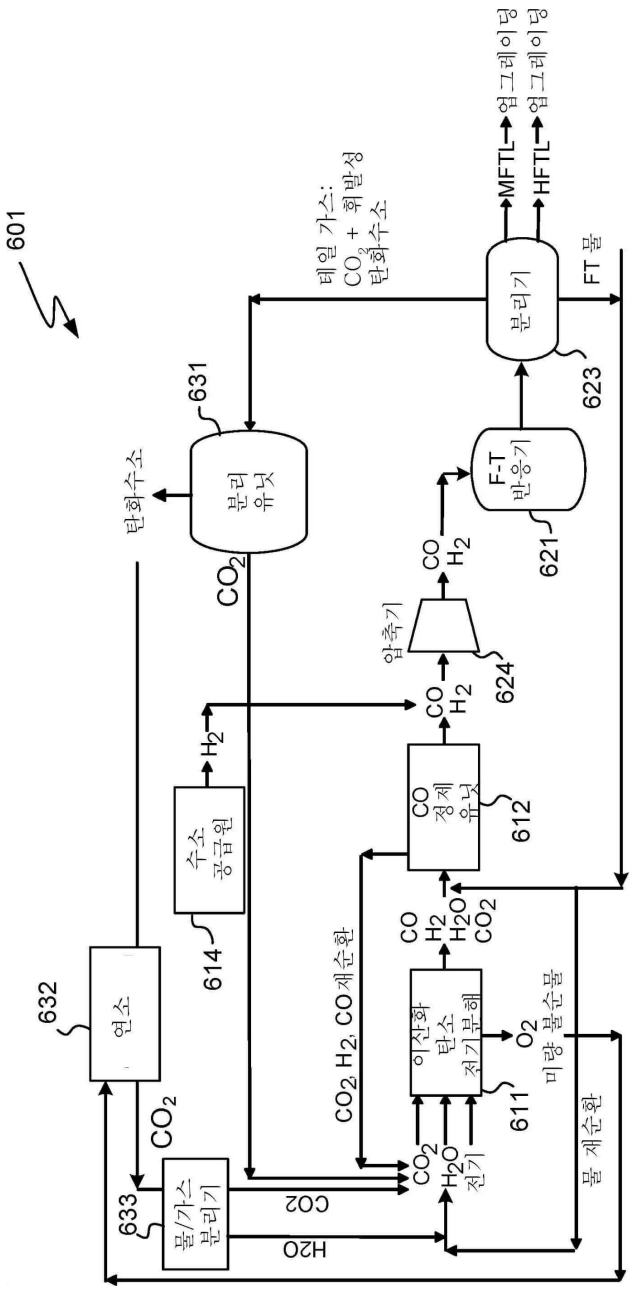
도면4


401
413
CO_2 재순환 유닛
407
물 및 가능한 O_2 제거 단계
저압 CO_2 + 휘발성 화합물
409
휘발성 화합물 제거 단계
저압 CO_2
411
CO_2 압축기
고압 CO_2
전해기
403
고압 CO_2
H_2O
전기
생물반응기
405
고압 CH_4, CO, H_2, CO_2, 미량 화합물
O_2
저압 CO_2 + 수증기 + 휘발성 화합물
생물산물

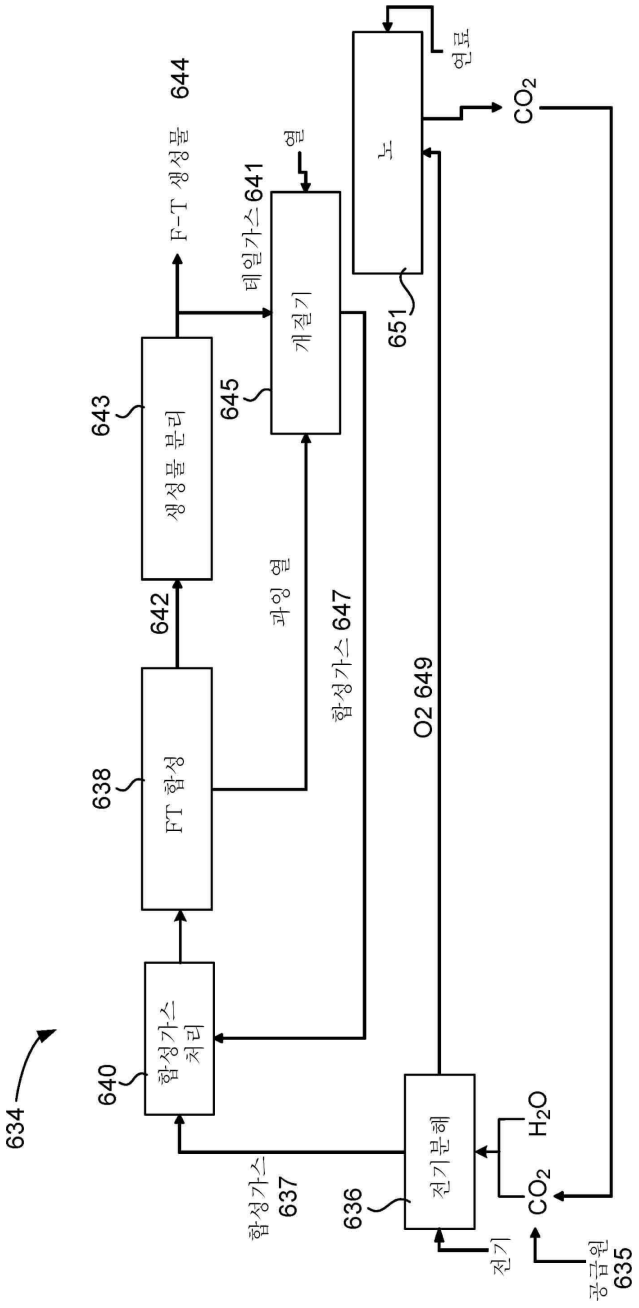
도면5


501
유출물
507
하류 처리; 예를 들어
F-T 기체로부터 액체,
가스 발효
폐 CO_2
합성가스
$(CO + H_2)$
505
POX,
바이오매스
가스화
CO_2
CO_2
전해기
합성가스
$(CO + H_2)$
503
O_2
공급원료, 예를 들어 CH_4
연료 오일, 바이오매스

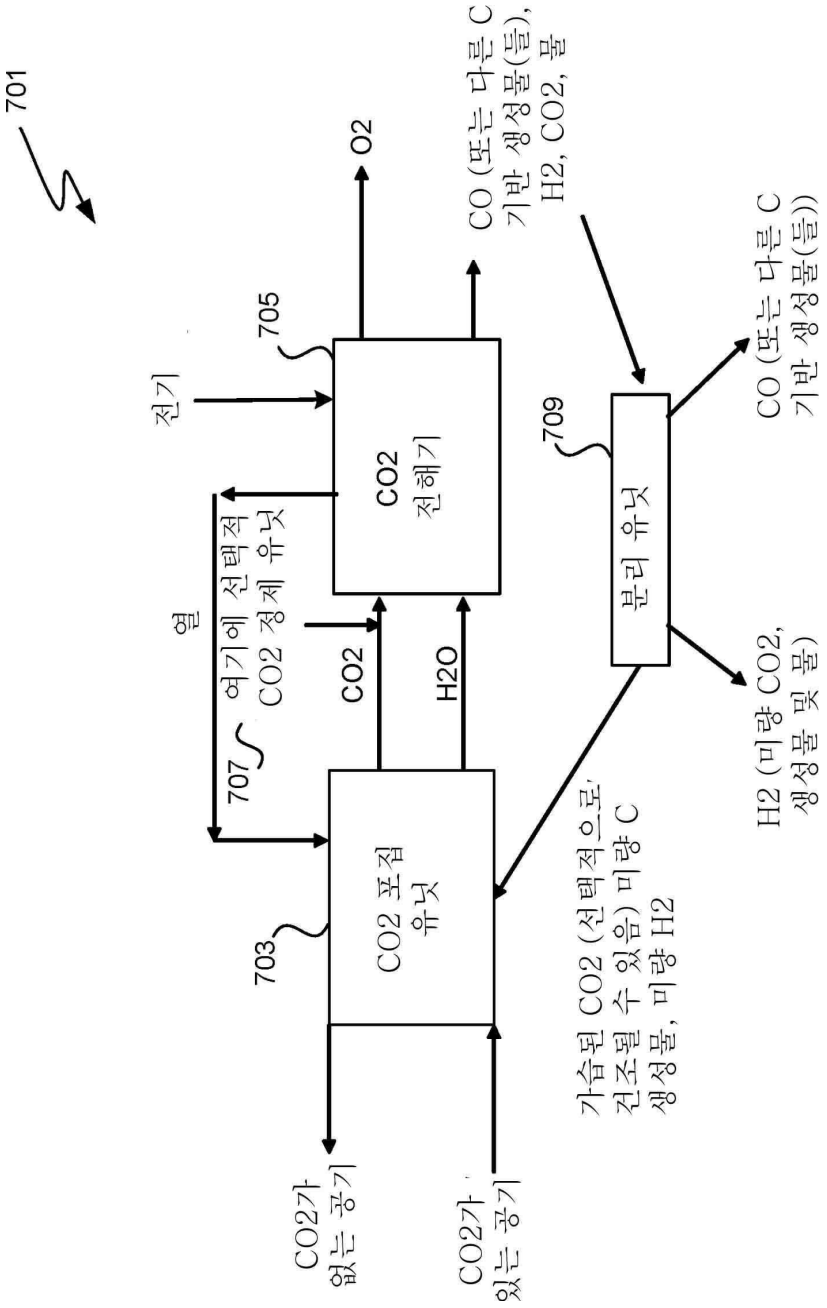
도면6a


601
테일 가스:
CO_2 + 휘발성
탄화수소
MFTL→업그레이딩
HFTL→업그레이딩
분리기
623
FT 물
631
분리
유닛
탄화수소
CO_2
F-T
반응기
621
CO
H_2
압축기
624
CO
H_2
H_2
수소
공급원
614
CO
정제
유닛
612
CO
H_2
H_2O
CO_2
CO_2, H_2, CO 재순환
이산화
탄소
전기분해
611
O_2
미량 불순물
632
연소
CO_2
물/가스
분리기
633
CO2
H2O
CO_2
H_2O
전기
물 재순환

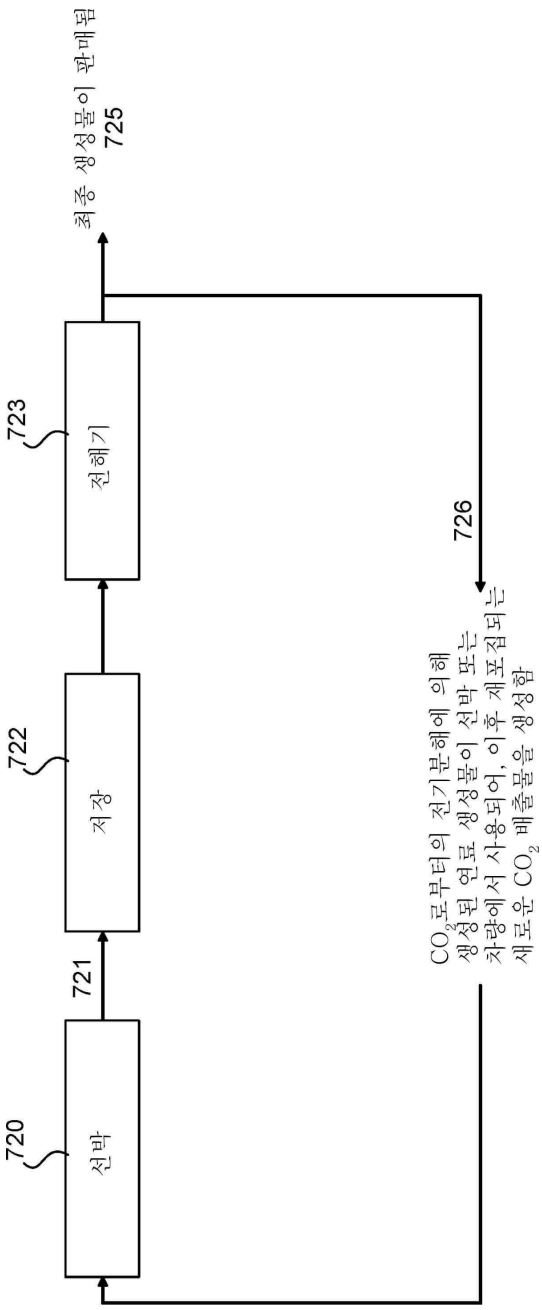
도면6b


634
합성가스 처리
640
FT 합성
638
642
생성물 분리
643
F-T 생성물 644
테일가스 641
개질기
645
열
과잉 열
합성가스 647
노
651
연료
CO_2
O2 649
합성가스 637
636
전기분해
H_2O
CO_2
전기
공급원 635

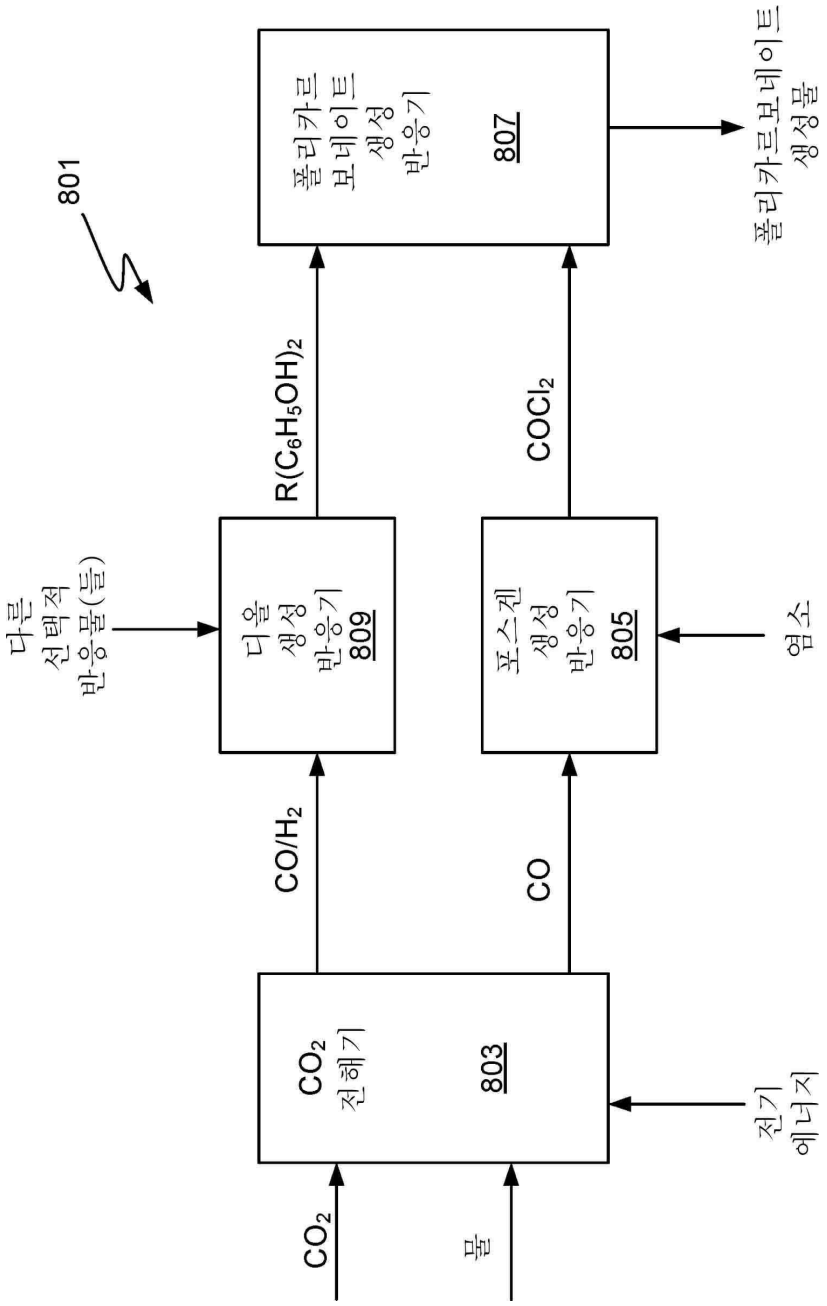
도면7a


701
705
CO2
전해기
전기
열
707
여기에 선택적
CO2 정제 유닛
CO2
H2O
703
CO2 포집
유닛
CO2가
없는 공기
CO2가
있는 공기
O2
CO (또는 다른 C
기반 생성물(들),
H2, CO2, 물
709
분리 유닛
CO (또는 다른 C
기반 생성물(들))
H2 (미량 CO2,
생성물 및 물)
가습된 CO2 (선택적으로,
건조될 수 있음) 미량 C
생성물, 미량 H2

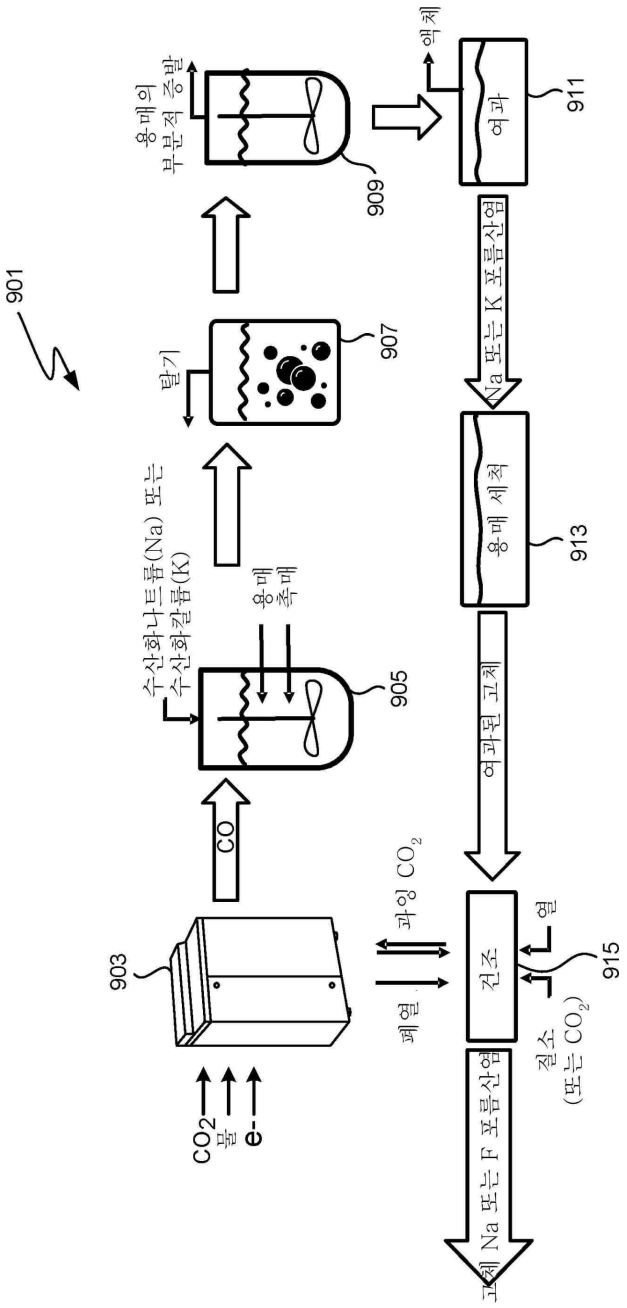
도면7b


720
선박
721
722
저장
723
전해기
725
최종 생성물이 판매됨
726
CO_2로부터의 전기분해에 의해
생성된 연료 생성물이 선박 또는
차량에서 사용되어, 이후 재포집되는
새로운 CO_2 배출물을 생성함

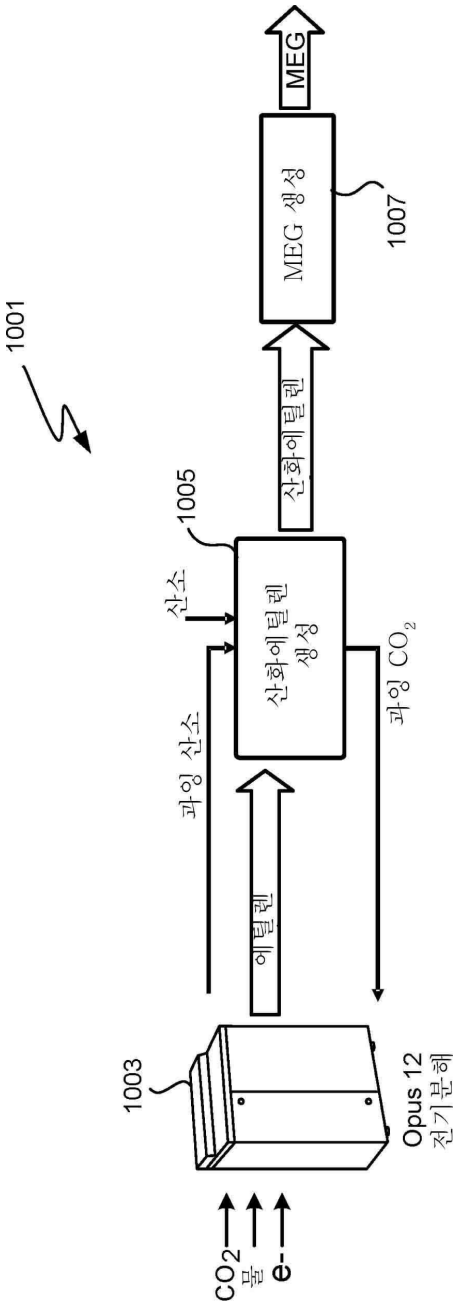
도면8


801
폴리카르보네이트 생성 반응기 807
폴리카르보네이트 생성물
$R(C_6H_5OH)_2$
$COCl_2$
다른 선택적 반응물(들)
디올 생성 반응기 809
포스겐 생성 반응기 805
염소
CO/H_2
CO
CO_2 전해기 803
전기 에너지
CO_2
물

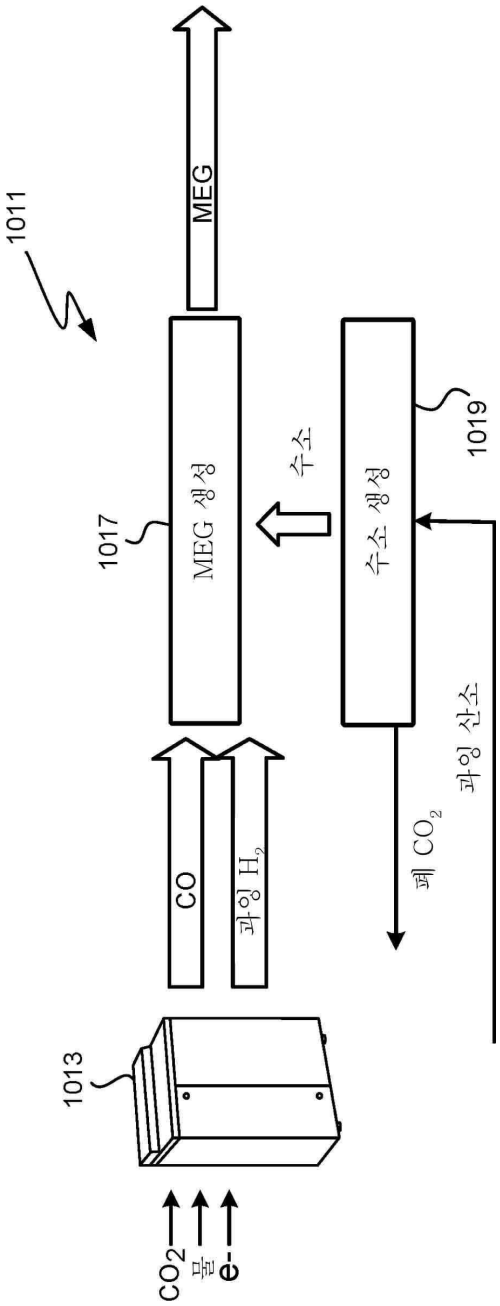
도면9


901
903
CO_2
물
e-
CO
수산화나트륨(Na) 또는
수산화칼륨(K)
용매
촉매
905
탈기
907
용매의
부분적 증발
909
액체
여과
911
Na 또는 K 포름산염
용매 세척
913
여과된 고체
과잉 CO_2
폐열
건조
열
915
질소
(또는 CO_2)
고체 Na 또는 F 포름산염

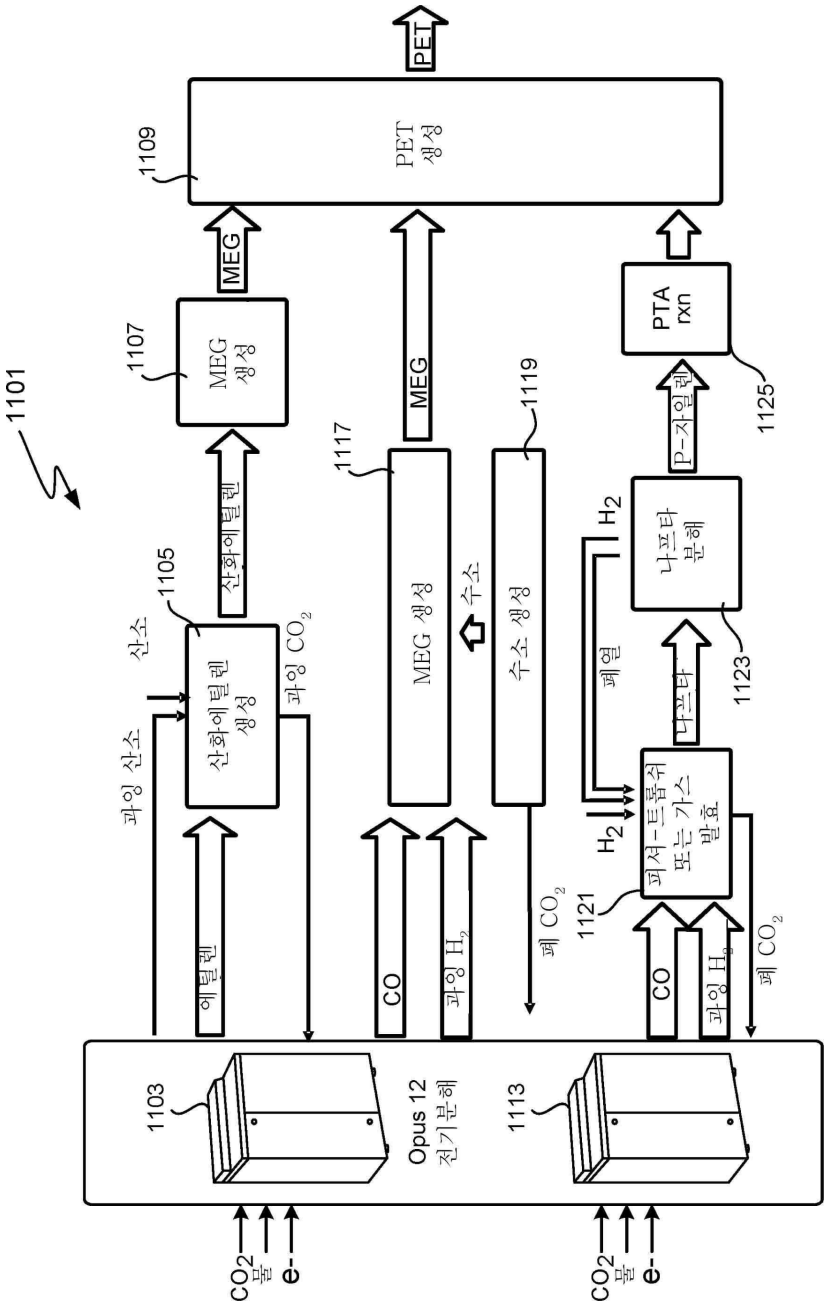
도면10a


1001
MEG
MEG 생성
1007
산화에틸렌
1005
산소
산화에틸렌
생성
과잉 CO_2
과잉 산소
에틸렌
1003
Opus 12
전기분해
CO_2
물
e-

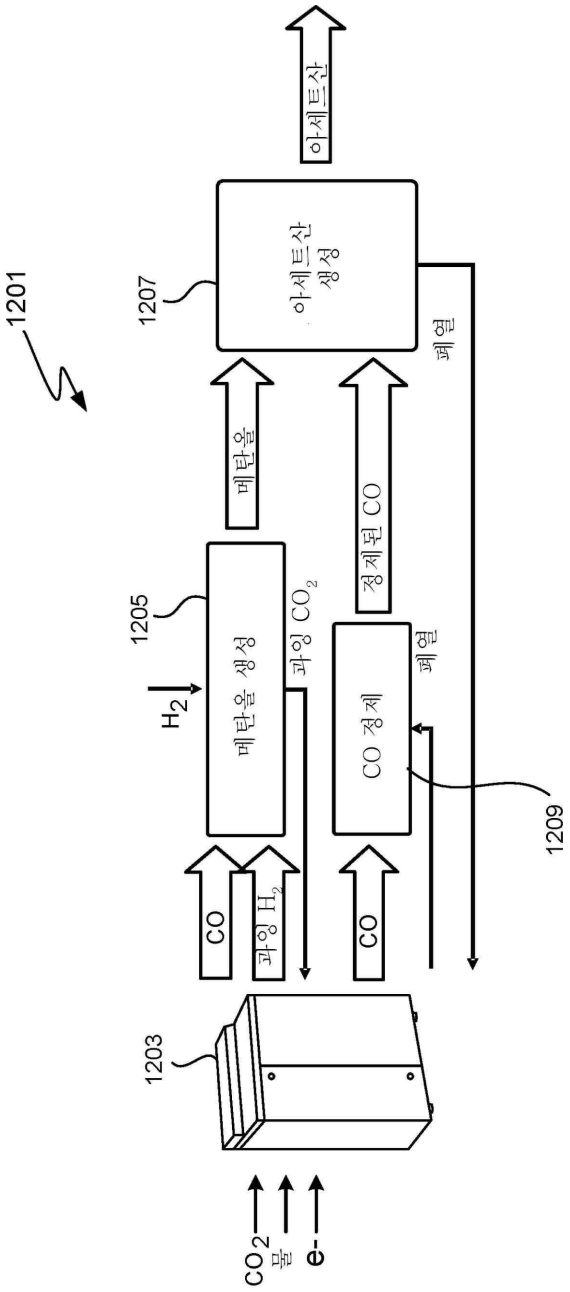
도면10b



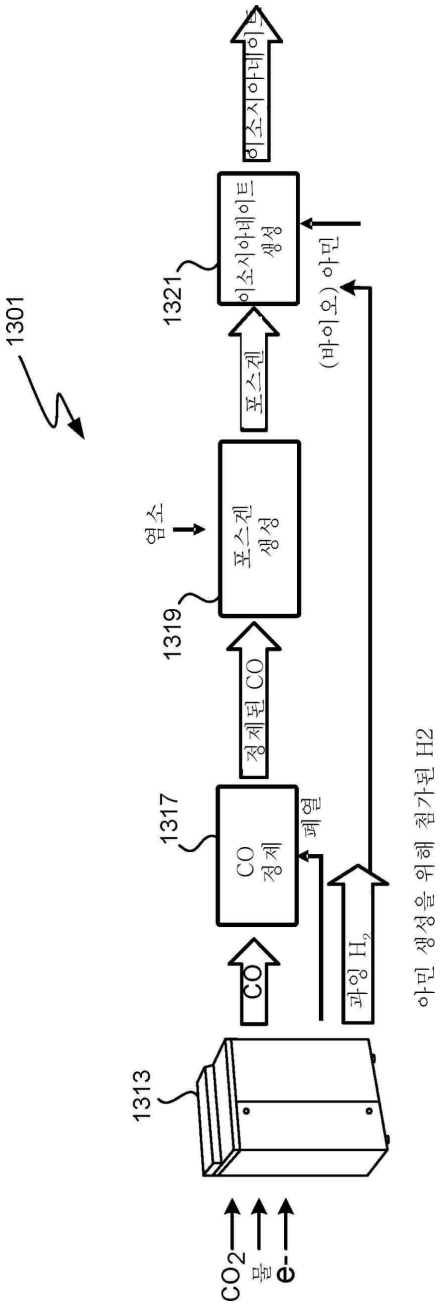
도면11


1101
PET
1109
PET 생성
MEG
1107
MEG 생성
산화에틸렌
1105
산소
산화에틸렌 생성
과잉 CO_2
과잉 산소
에틸렌
MEG
1117
MEG 생성
수소
1119
수소 생성
폐 CO_2
CO
과잉 H_2
PTA rxn
P-자일렌
1125
나프타 분해
H_2
폐열
나프타
1123
피셔-트롭쉬 또는 가스 발효
1121
CO
과잉 H_2
폐 CO_2
1103
Opus 12 전기분해
1113
CO_2
물
e-
CO_2
물
e-

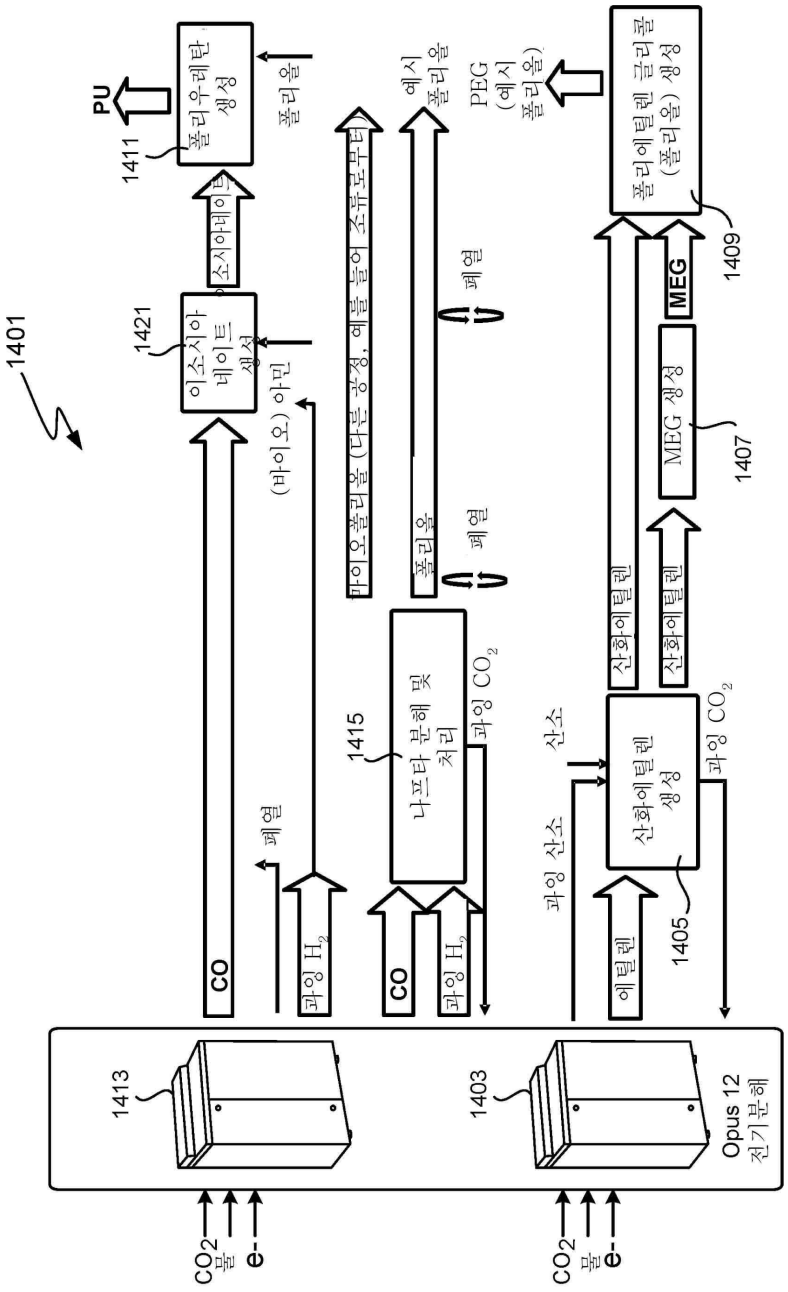
도면12


1201
1207
아세트산 생성
아세트산
메탄올
폐열
정제된 CO
1205
메탄올 생성
과잉 CO_2
H_2
CO 정제
폐열
1209
CO
과잉 H_2
CO
1203
CO_2
물
e-

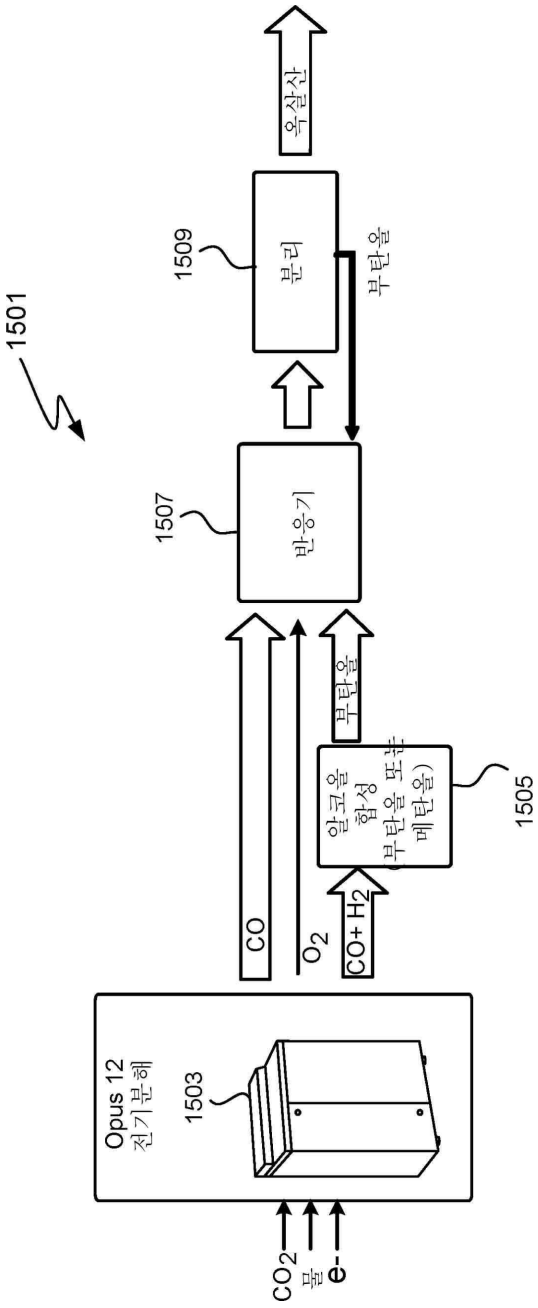
도면13


1301
1313
CO2
물
e-
CO
과잉 H2
1317
CO 정제
폐열
정제된 CO
1319
염소
포스겐 생성
포스겐
1321
이소시아네이트 생성
(바이오) 아민
이소시아네이트
아민 생성을 위해 첨가된 H2

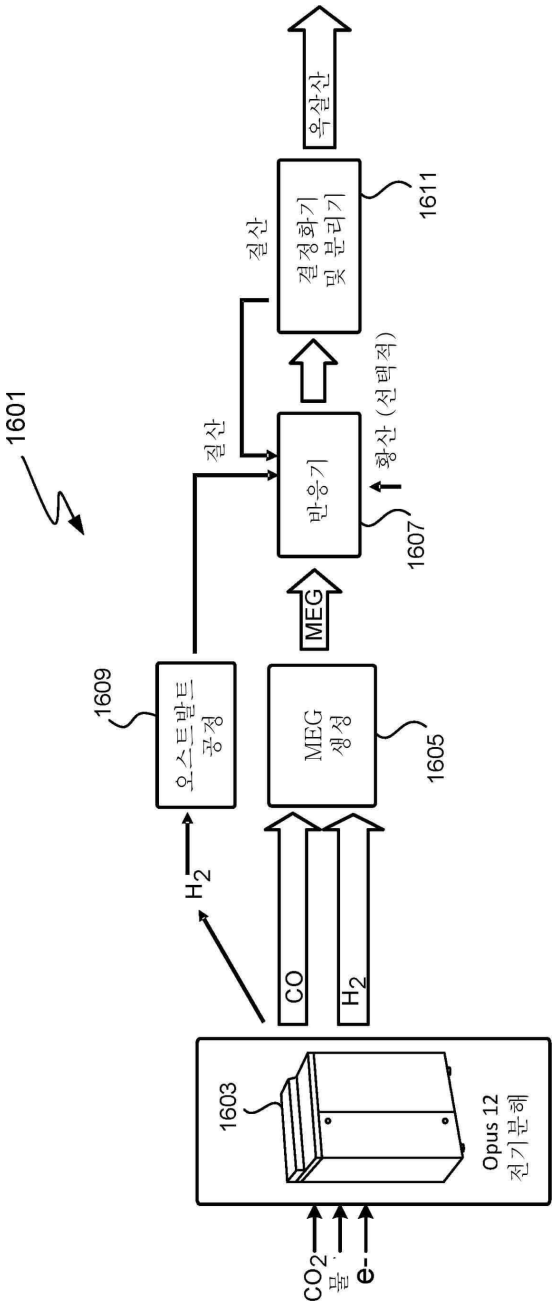
도면14


1401
PU
1411
폴리우레탄 생성
폴리올
1421
이소시아네이트 생성
이소시아네이트
(바이오) 아민
CO
폐열
과잉 H_2
1415
나프타 분해 및 처리
과잉 CO_2
바이오폴리올 (다른 공정, 예를 들어 조류로부터)
폴리올
폐열
예시 폴리올
PEG (예시 폴리올)
과잉 산소
산소
에틸렌
산화에틸렌 생성
1405
산화에틸렌
산화에틸렌
MEG 생성
MEG
1407
폴리에틸렌 글리콜 (폴리올) 생성
1409
1413
1403
Opus 12 전기분해
CO_2
물
e-

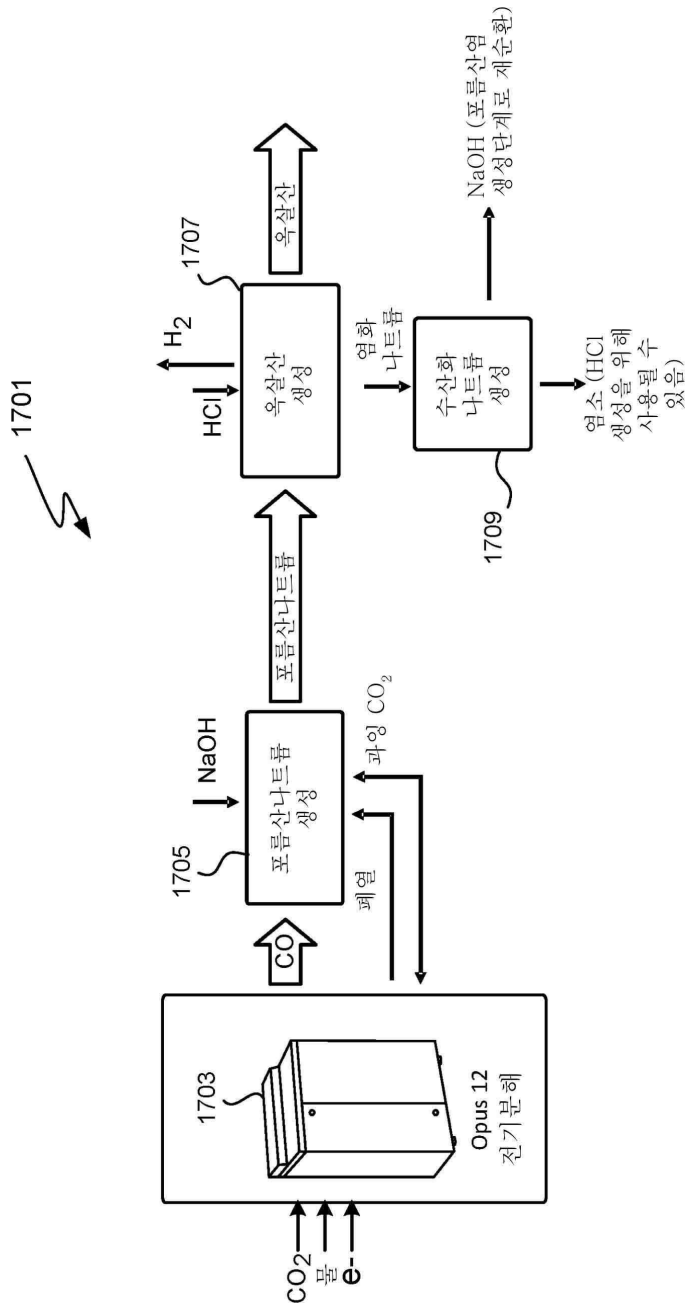
도면15


1501
옥살산
1509
분리
부탄올
1507
반응기
부탄올
CO
O_2
$CO+H_2$
알코올 합성 (부탄올 또는 메탄올)
1505
Opus 12 전기분해
1503
CO_2
물
e-

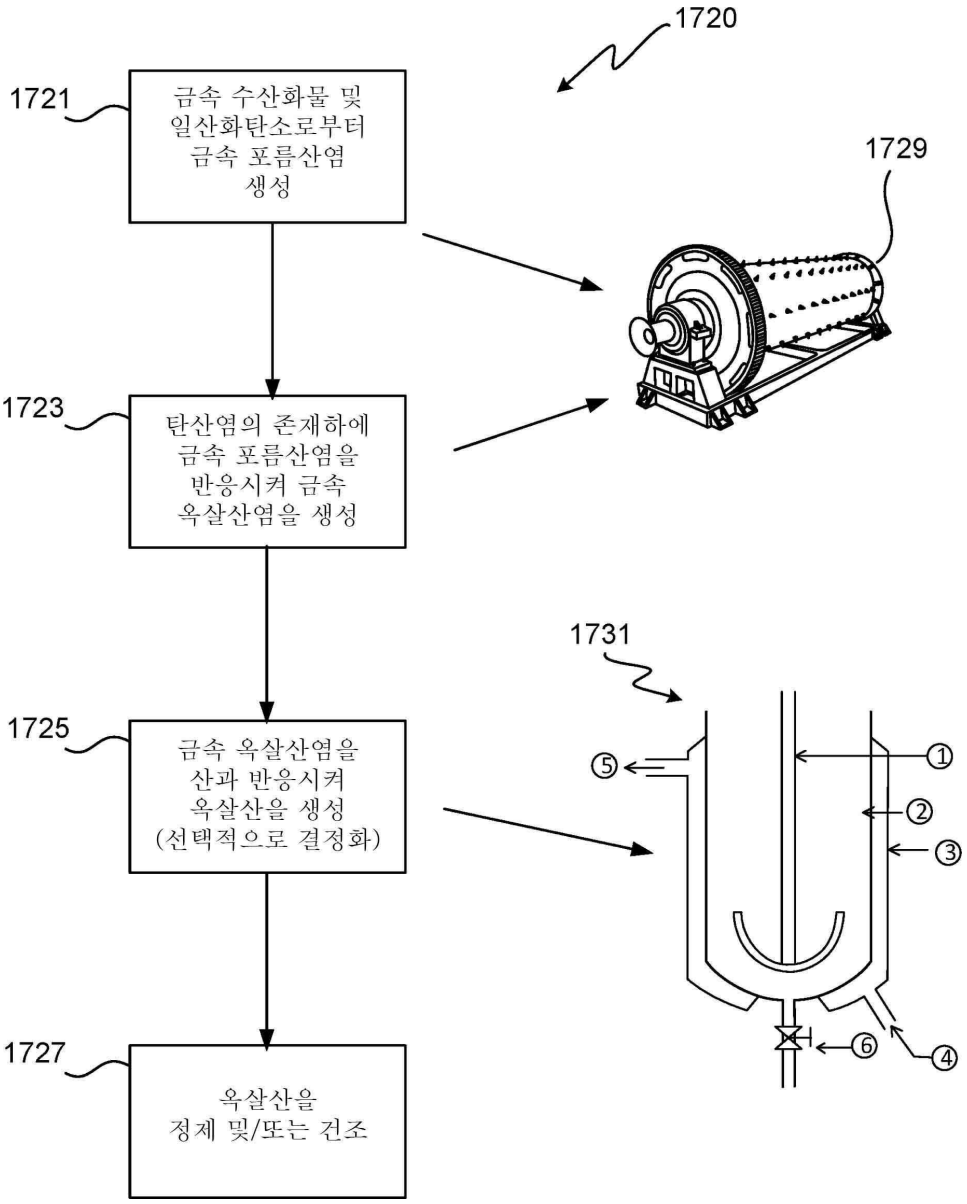
도면16


1601
CO_2
물
e-
1603
Opus 12
전기분해
CO
H_2
H_2
1605
MEG
생성
1609
오스트발트
공정
MEG
질산
반응기
황산 (선택적)
1607
질산
결정화기
및 분리기
1611
옥살산

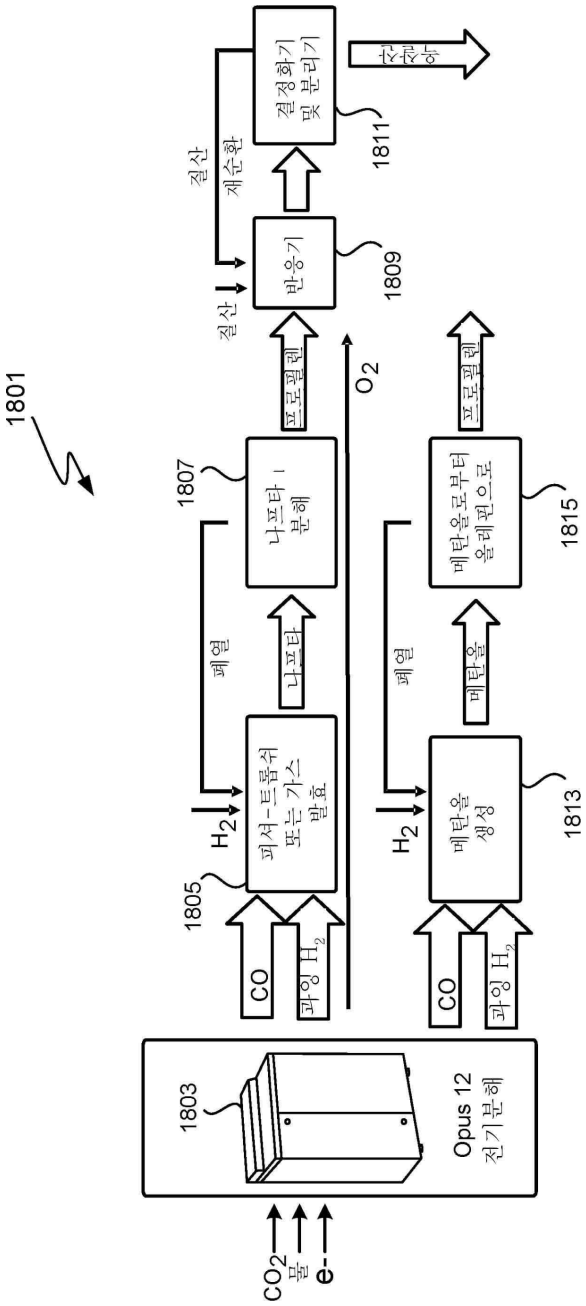
도면17a


1701
1703
Opus 12
전기분해
CO
폐열
과잉 CO_2
1705
포름산나트륨
생성
NaOH
포름산나트륨
H_2
HCl
옥살산
생성
1707
옥살산
염화
나트륨
수산화
나트륨
생성
1709
NaOH (포름산염
생성단계로 재순환)
염소 (HCl
생성을 위해
사용될 수
있음)
CO_2
물
e-

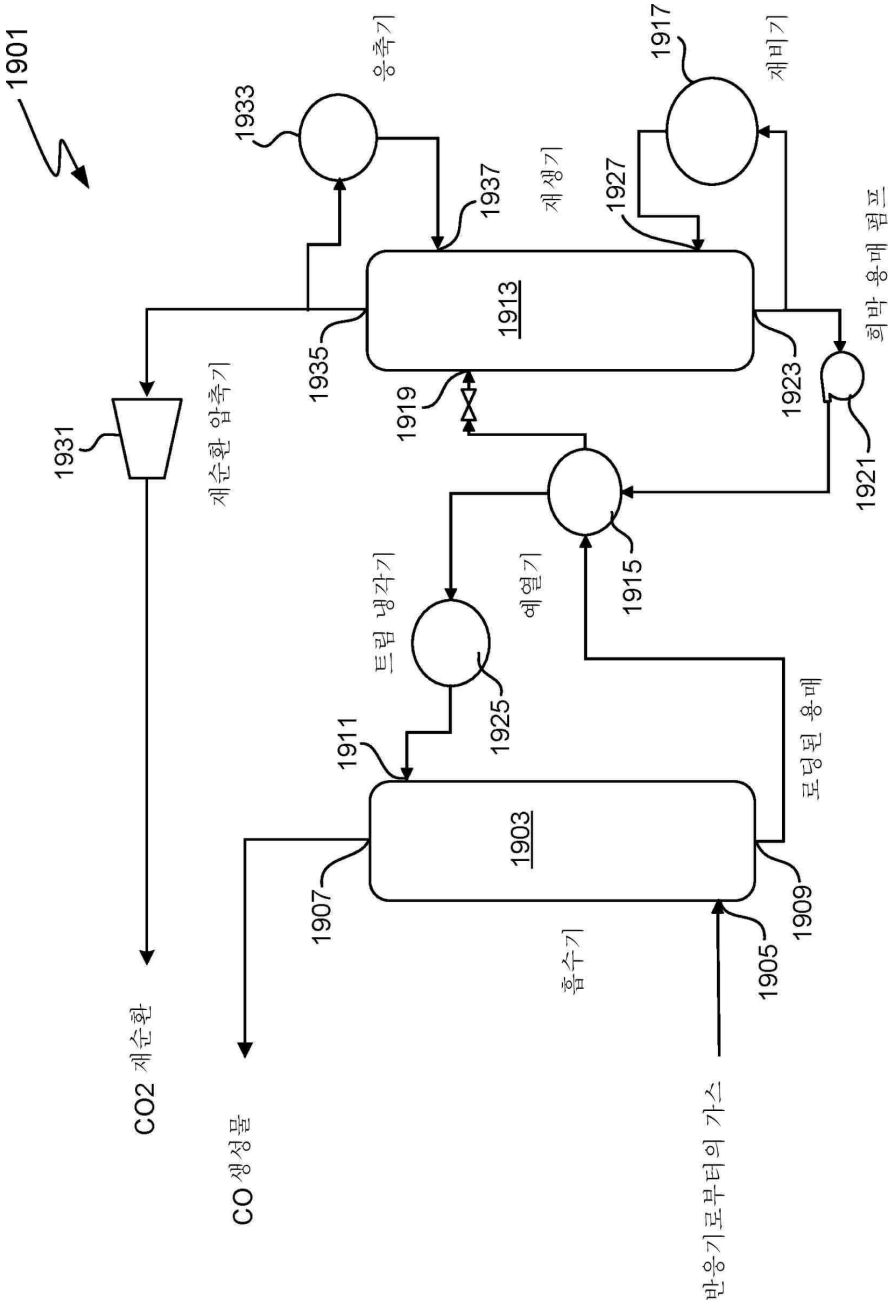
도면17b


1720
1721
금속 수산화물 및 일산화탄소로부터 금속 포름산염 생성
1729
1723
탄산염의 존재하에 금속 포름산염을 반응시켜 금속 옥살산염을 생성
1731
1725
금속 옥살산염을 산과 반응시켜 옥살산을 생성 (선택적으로 결정화)
①
②
③
④
⑤
⑥
1727
옥살산을 정제 및/또는 건조

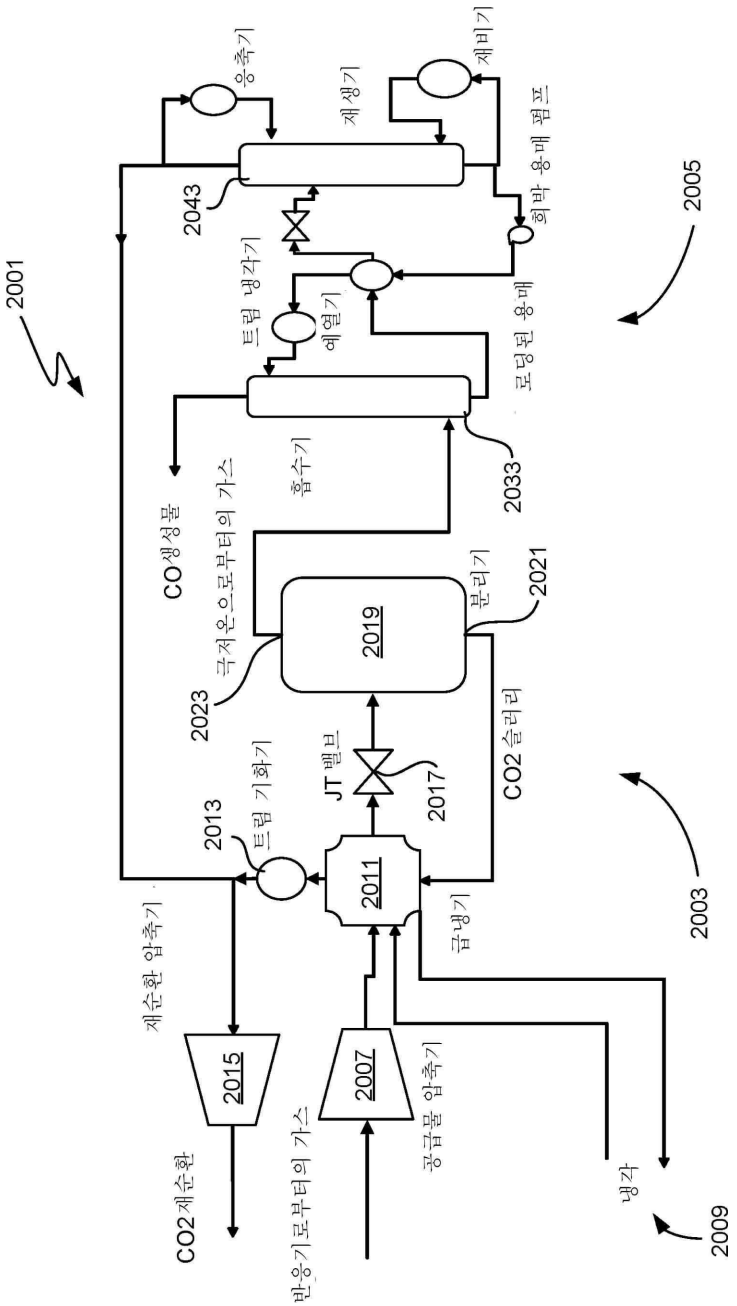
도면18


1801
1803
Opus 12
전기분해
CO2
물
e-
CO
과잉 H2
1805
피셔-트롭쉬
또는 가스
발효
H2
폐열
나프타
1807
나프타 I
분해
프로필렌
O2
1809
반응기
질산
재순환
질산
1811
결정화기
및 분리기
CO
과잉 H2
1813
메탄올
생성
H2
폐열
메탄올
1815
메탄올로부터
올레핀으로
프로필렌

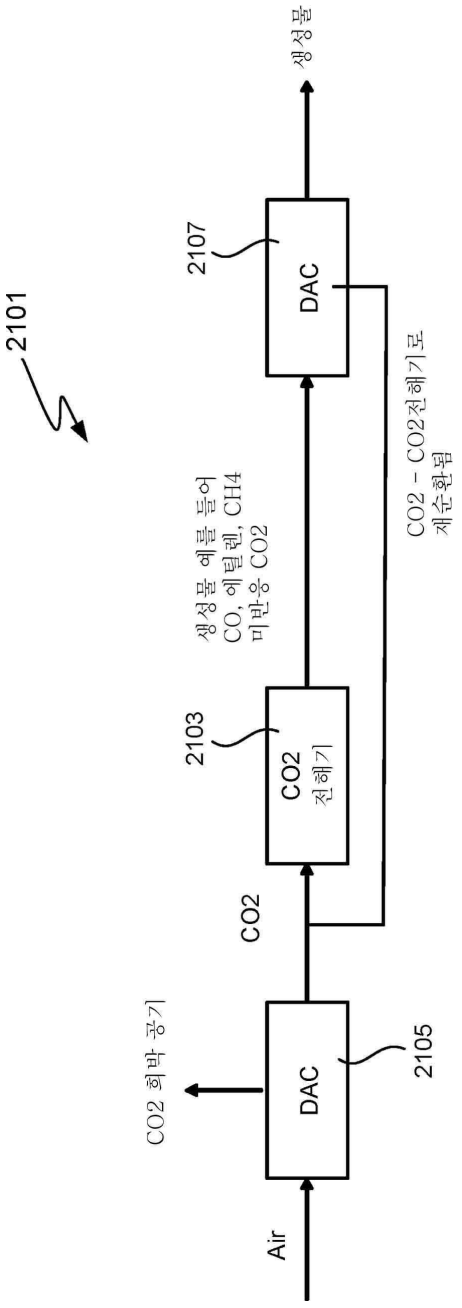
도면19


1901
응축기
1933
재생기
1937
재비기
1917
1927
1913
1935
재순환 압축기
1931
1919
1923
희박 용매 펌프
1921
트림 냉각기
예열기
1915
1925
1911
로딩된 용매
1903
1907
1909
흡수기
1905
CO2 재순환
CO 생성물
반응기로부터의 가스

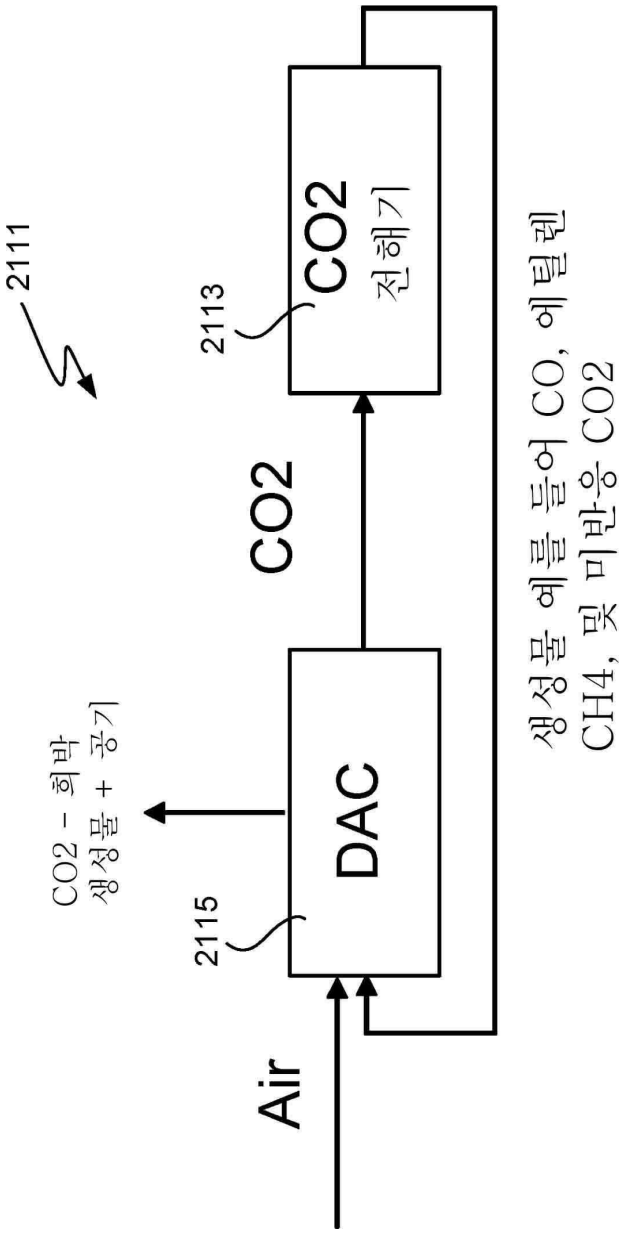
도면20


2001
2043
응축기
재생기
재비기
회박 용매 펌프
2005
트림 냉각기
예열기
로딩된 용매
2033
흡수기
CO 생성물
극저온으로부터의 가스
2023
2019
분리기
2021
CO2 슬러리
JT 밸브
2017
2013
트림 가화기
2011
재순환 압축기
2015
CO2 재순환
2007
반응기로부터의 가스
공급물 압축기
급냉기
2003
냉각
2009

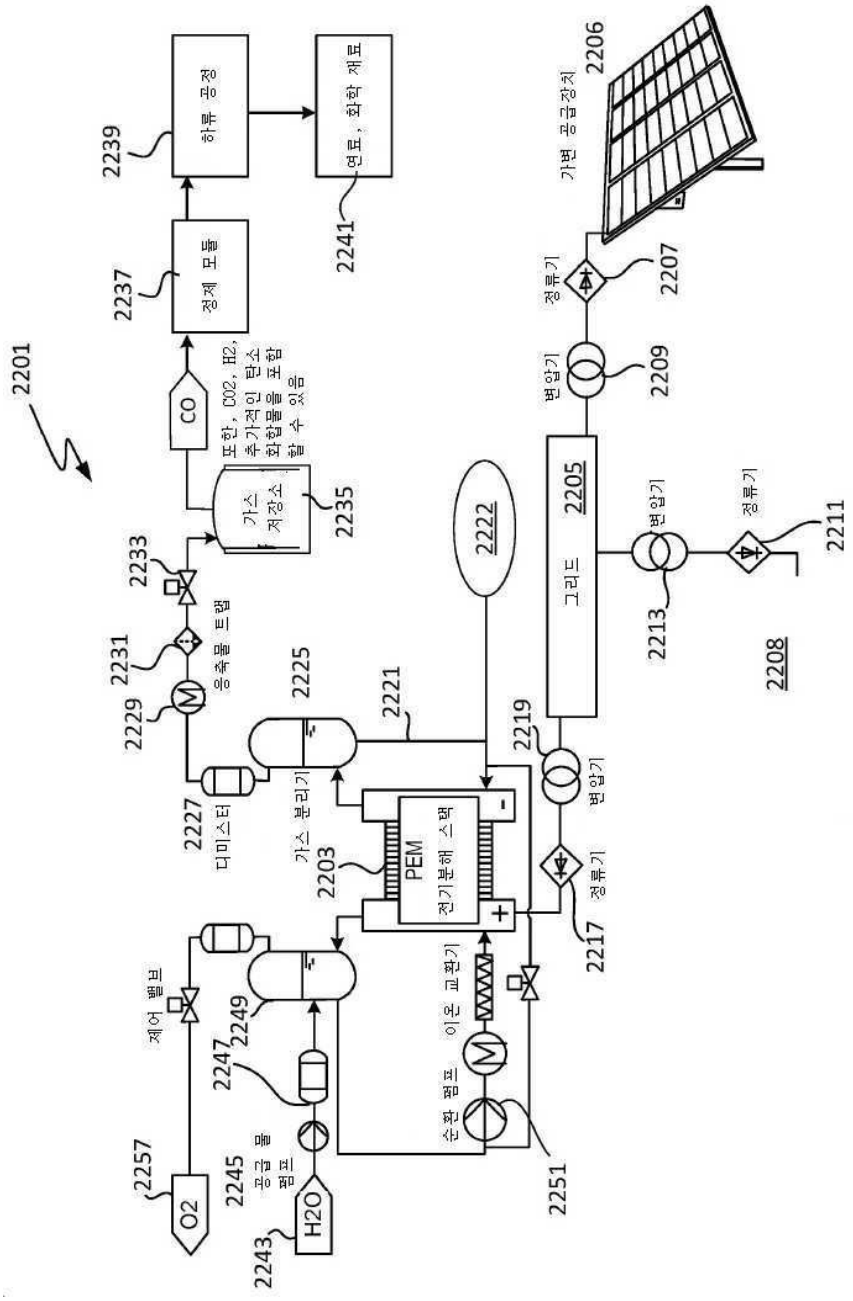
도면21a


2101
Air
DAC
2105
CO2 희박 공기
CO2
CO2
전해기
2103
생성물 예를 들어
CO, 에틸렌, CH4
미반응 CO2
DAC
2107
생성물
CO2 – CO2전해기로
재순환됨

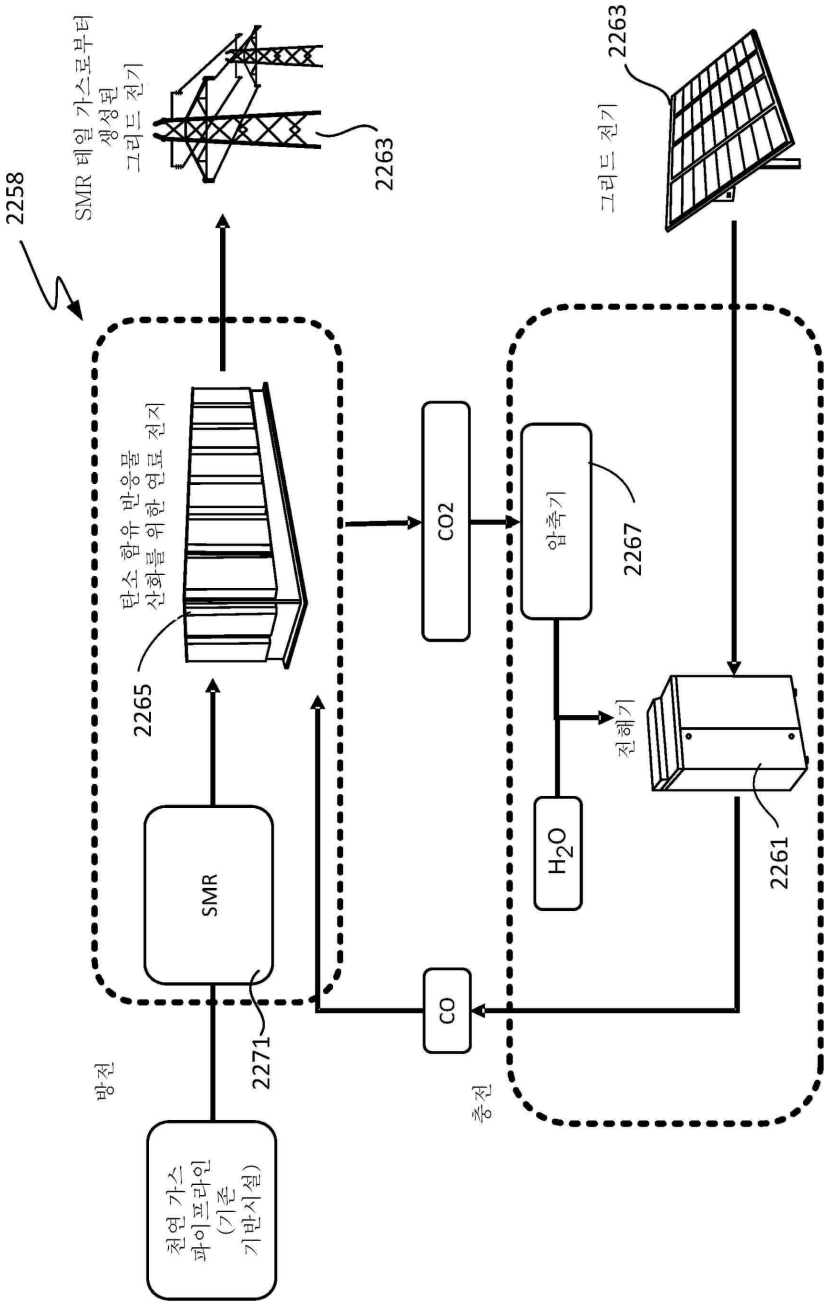
도면21b


2111
2113
CO2
전해기
CO2
DAC
2115
CO2 - 희박
생성물 + 공기
Air
생성물 예를 들어 CO, 에틸렌
CH4, 및 미반응 CO2

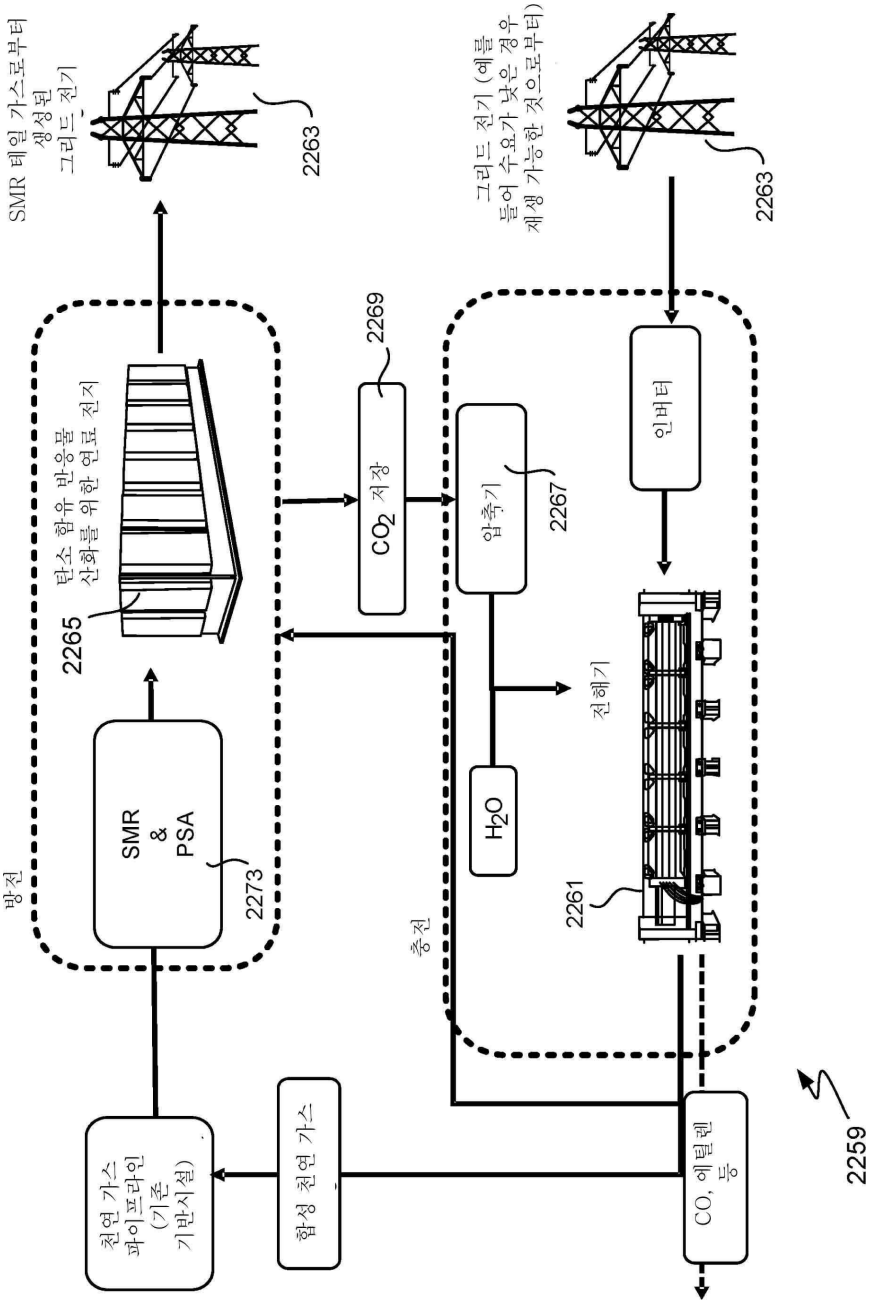
도면22a


2201
2239
하류 공정
연료, 화학 제료
2241
2237
정제 모듈
CO
포함, CO2, H2, 추가적인 탄소 화합물을 포함할 수 있음
가스 저장소
2235
2233
응축물 트랩
2231
2229
2225
2221
2222
2219
2227
디미스터
가스 분리기
2203
PEM 전기분해 스택
2217
정류기
변압기
2205
그리드
변압기
정류기
2211
2213
2208
2209
변압기
정류기
2207
가변 공급장치
2206
제어 밸브
2249
2247
이온 교환기
순환 펌프
2251
2257
O2
2245
공급 물 펌프
H2O
2243

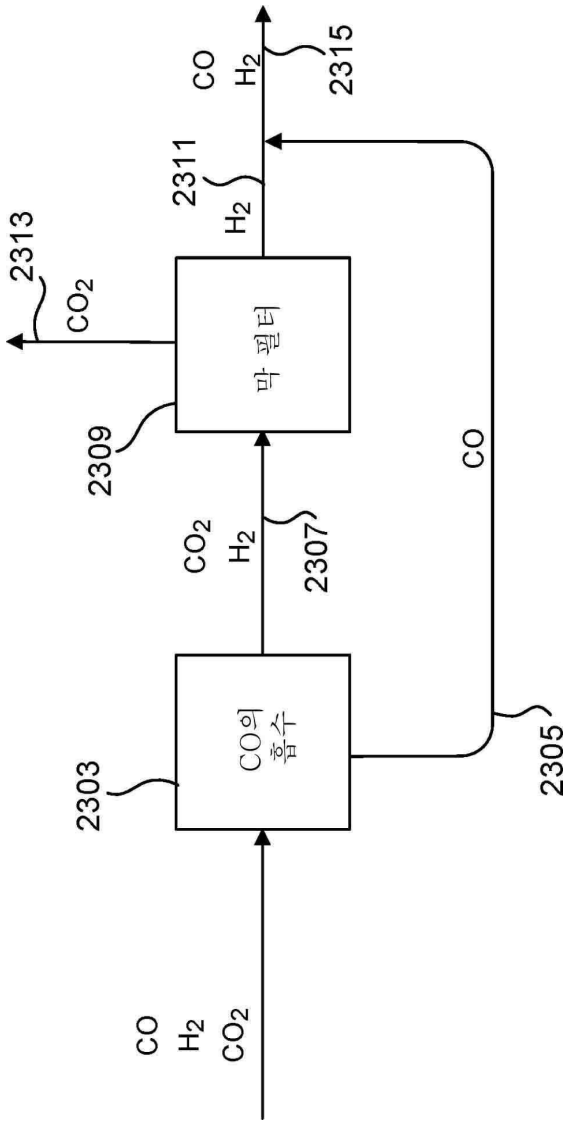
도면22b


2258
SMR 테일 가스로부터
생성된
그리드 전기
2263
2263
그리드 전기
탄소 함유 반응물
산화를 위한 연료 전지
2265
CO2
압축기
2267
전해기
SMR
H2O
2261
CO
2271
방전
충전
천연 가스
파이프라인
(기존
기반시설)

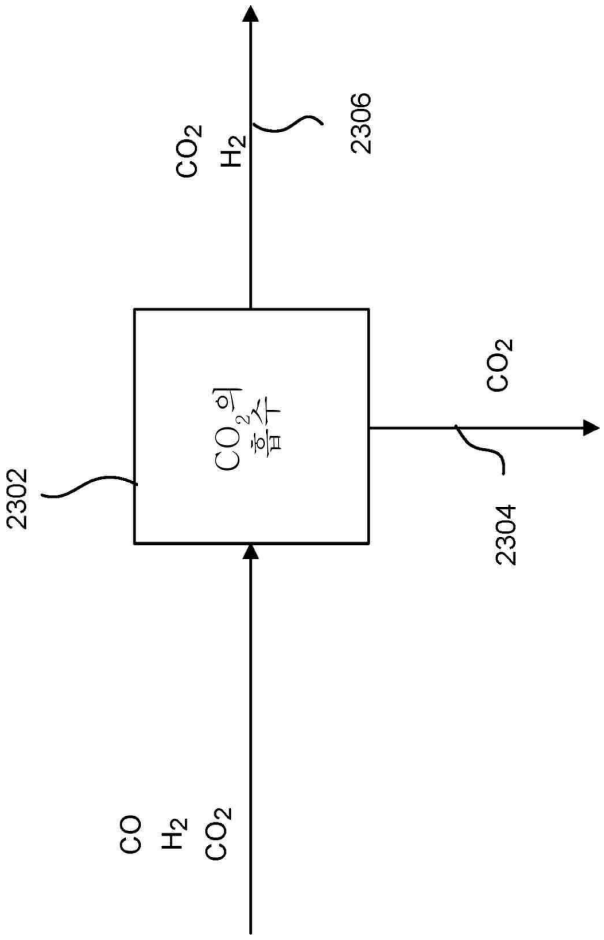
도면22c


SMR 테일 가스로부터 생성된 그리드 전기
2263
그리드 전기 (예를 들어 수요가 낮은 경우 재생 가능한 것으로부터)
2263
탄소 함유 반응물 산화를 위한 연료 전지
2265
2269
CO_2 저장
압축기
2267
인버터
SMR & PSA
2273
전해기
H_2O
2261
방전
충전
천연 가스 파이프라인 (기존 기반시설)
합성 천연 가스
CO, 에틸렌 등
2259

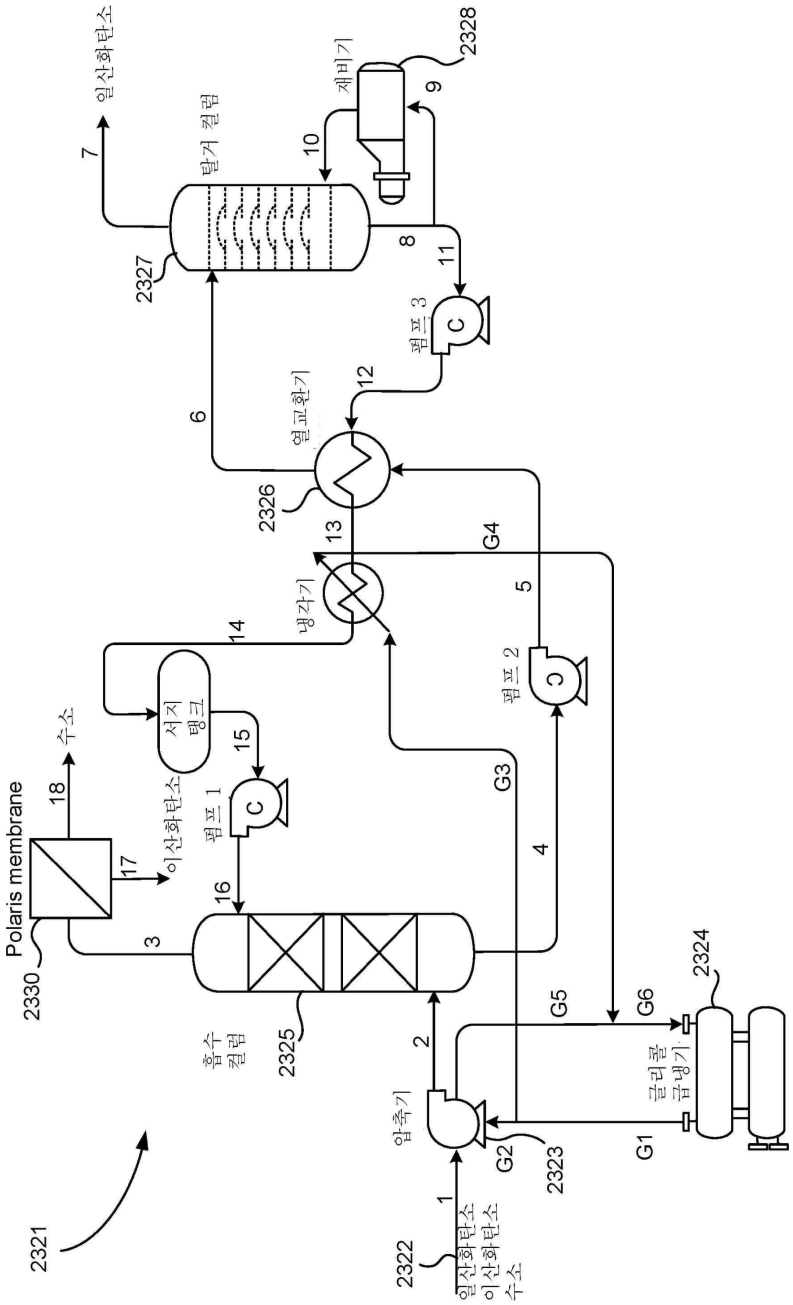
도면23a


CO
H2
CO2
2303
CO의 흡수
CO2
H2
2307
2309
막 필터
2313
CO2
2311
H2
CO
H2
2315
CO
2305

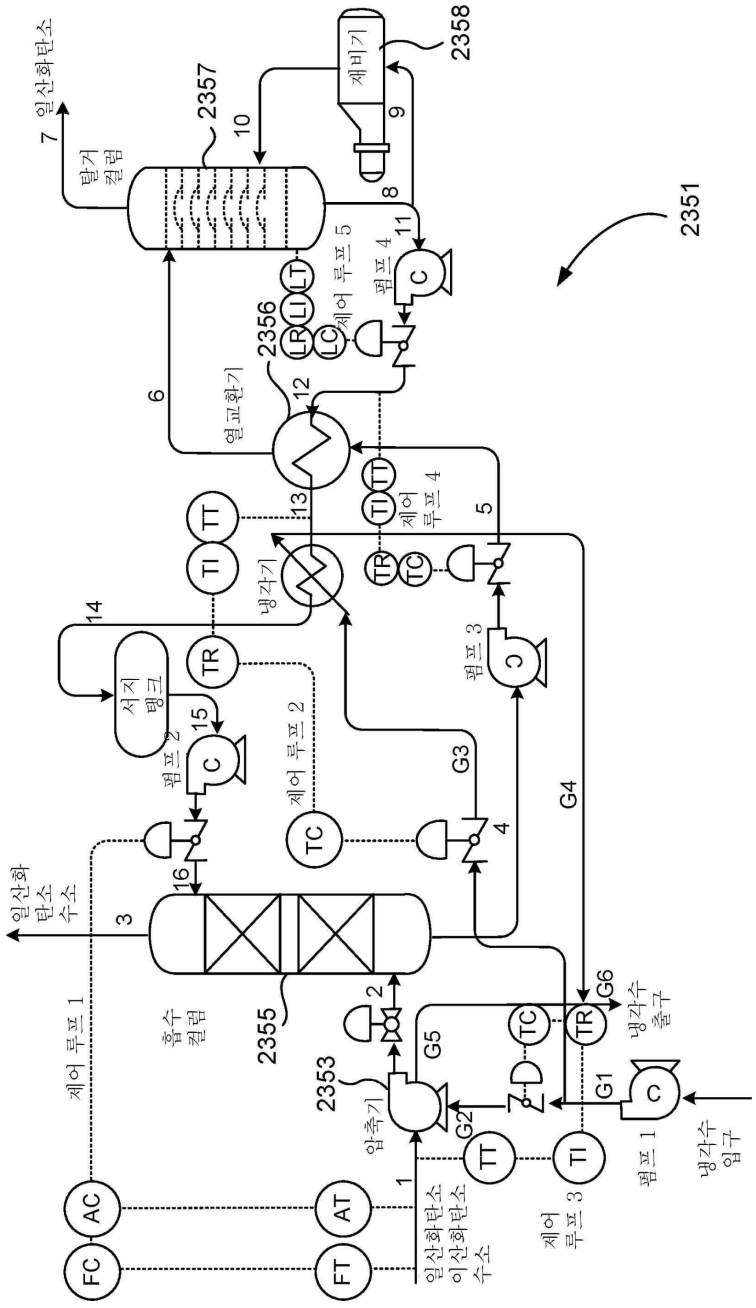
도면23b



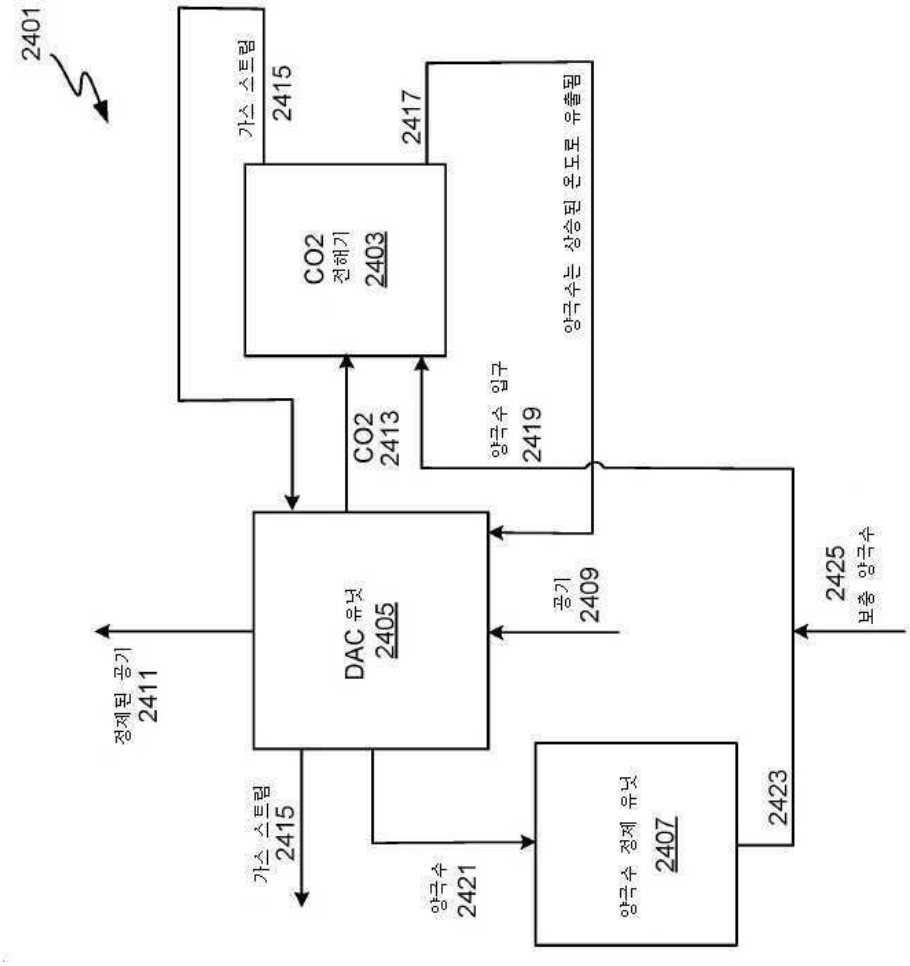
도면23c


이산화탄소
탈거 컬럼
재비기
2328
9
10
7
2327
8
11
펌프 3
12
6
열교환기
2326
13
G4
냉각기
14
5
펌프 2
서지 탱크
15
이산화탄소
펌프 1
수소
18
Polaris membrane
17
16
3
4
G3
2330
흡수 컬럼
2325
2
G5
G6
2324
압축기
글리콜 냉각기
G2
2323
G1
1
2322
이산화탄소
이산화탄소
수소
2321

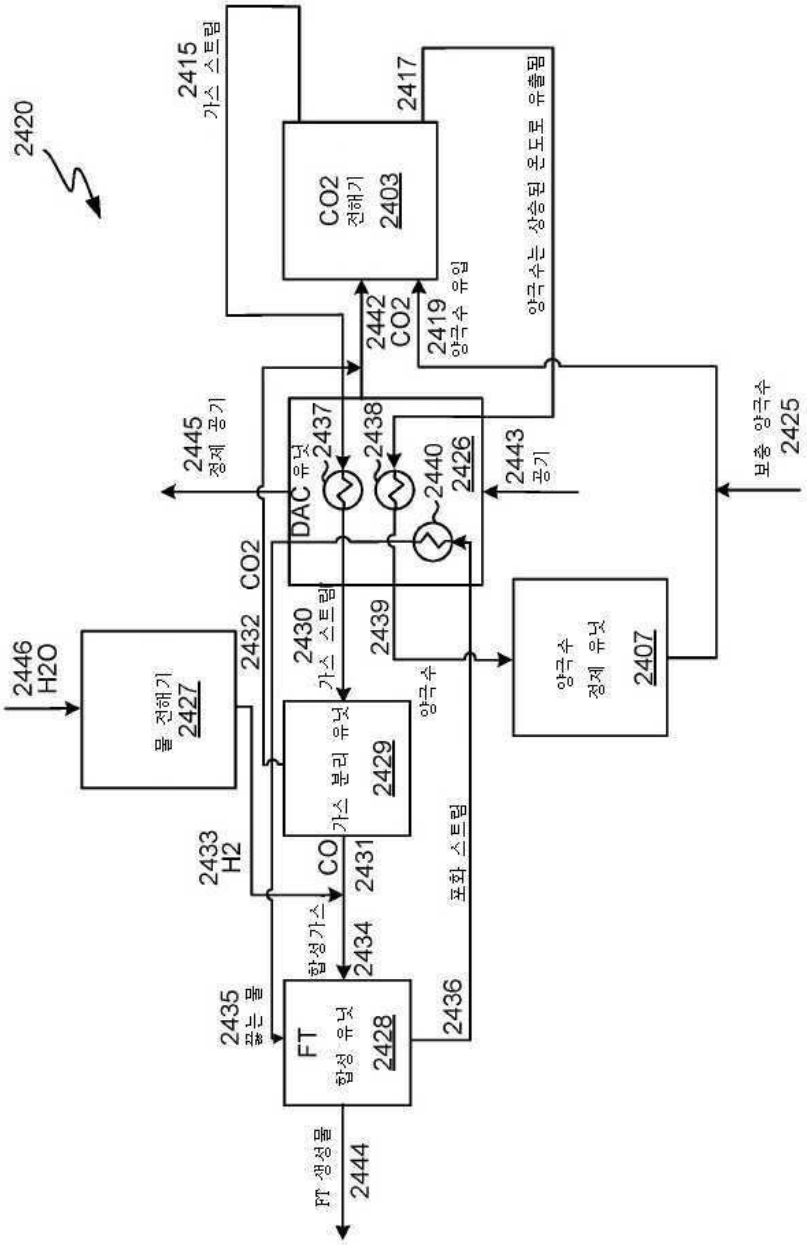
도면23d


2351
2358
제비기
9
8
2357
10
탈거 컬럼
7 일산화탄소
11
펌프 4
제어 루프 5
2356
LR
LI
LT
LC
6
열교환기
12
TI
TT
제어 루프 4
5
13
냉각기
TR
TC
14
서지 탱크
펌프 3
TR
TI
TT
15
펌프 2
제어 루프 2
TC
G3
G4
16
4
일산화 탄소 수소
3
흡수 컬럼
2355
2
G5
2353
압축기
G2
TC
TR
G6
냉각수 출구
G1
펌프 1
냉각수 입구
제어 루프 3
TT
TI
1
일산화탄소 이산화탄소 수소
AT
FT
AC
FC
제어 루프 1

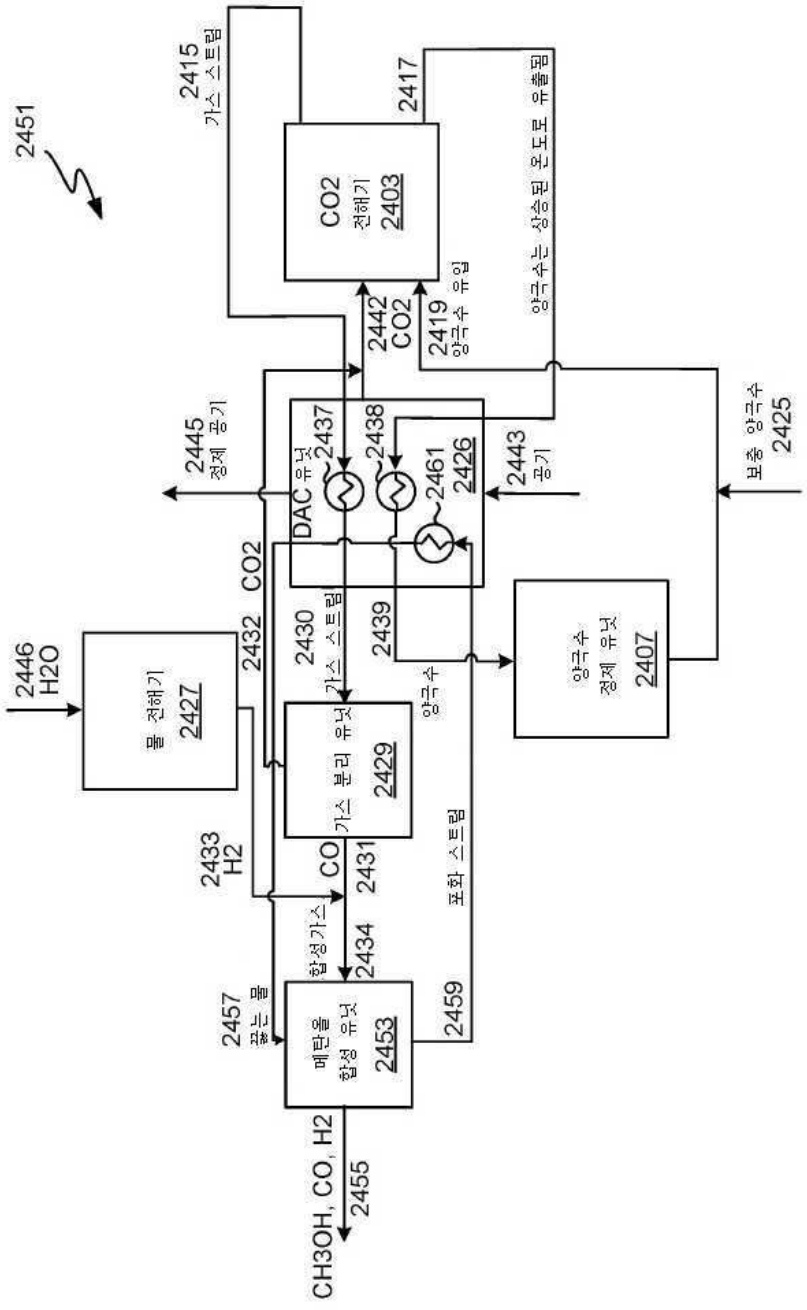
도면24a


2401
가스 스트림
2415
2417
CO2 전해기 2403
양극수는 상승된 온도로 유출됨
양극수 입구
2419
CO2
2413
DAC 유닛
2405
공기
2409
2425
보충 양극수
정제된 공기
2411
가스 스트림
2415
양극수
2421
양극수 정제 유닛
2407
2423

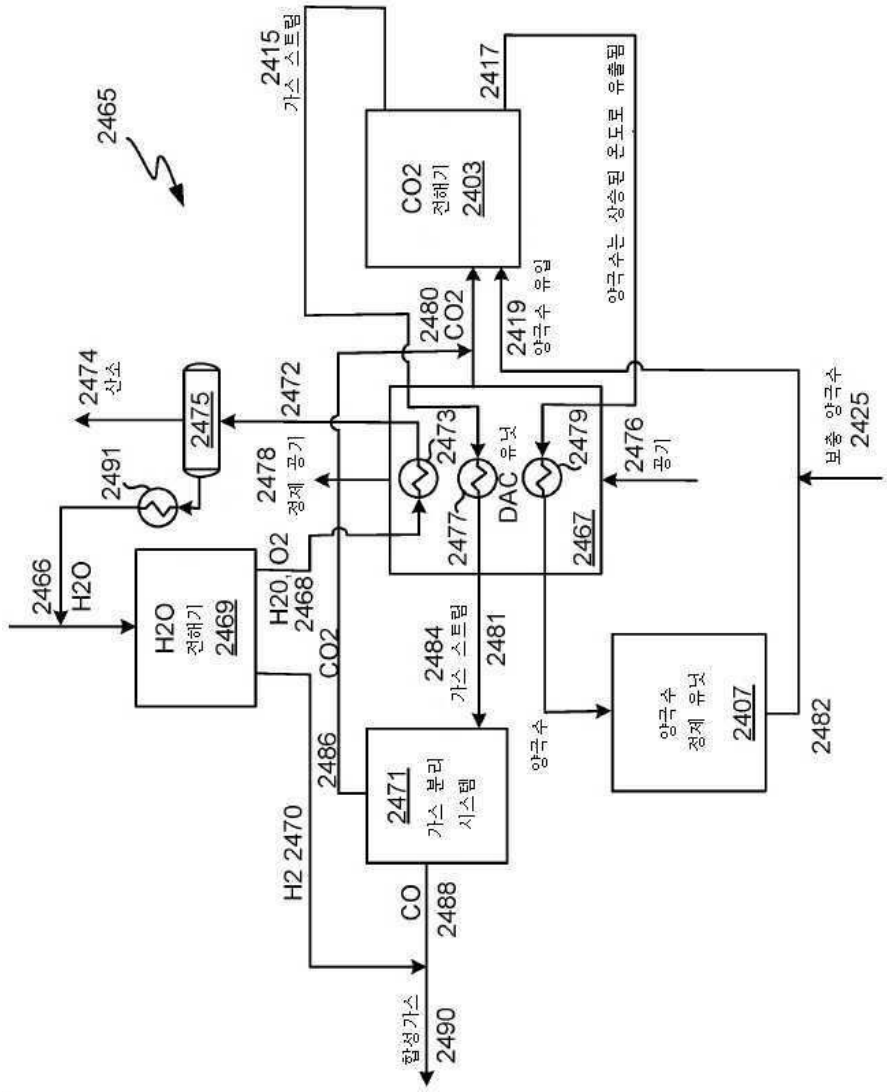
도면24b


2420
2415
가스 스트림
CO2
전해기
2403
2417
양극수는 상승된 온도로 유출됨
2442
CO2
2419
양극수 유입
2445
정제 공기
DAC 유닛
2437
2438
2440
2426
2443
공기
보충 양극수
2425
2446
H2O
물 전해기
2427
2432
CO2
2430
가스 스트림
2439
양극수
양극수
정제 유닛
2407
가스 분리 유닛
2429
2433
H2
CO
2431
합성가스
2434
포화 스트림
2435
끓는 물
FT
합성 유닛
2428
2436
FT 생성물
2444

도면24c


2451
2415
가스 스트림
CO2
전해기
2403
2417
양극수는 상승된 온도로 유출됨
2442
CO2
2419
양극수 유입
2445
정제 공기
DAC 유닛
2437
2438
2461
2426
2443
공기
보충 양극수
2425
CO2
2432
2430
가스 스트림
2439
2446
H2O
물 전해기
2427
양극수
양극수
정제 유닛
2407
가스 분리 유닛
2429
2433
H2
CO
2431
포화 스트림
합성가스
2434
2457
끓는 물
메탄올
합성 유닛
2453
2459
CH3OH, CO, H2
2455

도면24d


2465
2415
가스 스트림
CO2
전해기
2403
2417
양극수는 상승된 온도로 유출됨
2480
CO2
2419
양극수 유입
2474
산소
2475
2472
2473
DAC 유닛
2479
2476
공기
보충 양극수
2425
2491
2478
정제 공기
2477
2467
2466
H2O
H2O
전해기
2469
H20, O2
2468
CO2
2484
가스 스트림
2481
양극수
양극수
정제 유닛
2407
2482
2486
2471
가스 분리
시스템
H2 2470
CO
2488
합성가스
2490