



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0134435
(43) 공개일자 2022년10월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C02F 1/467 (2006.01) C02F 1/461 (2006.01)
C02F 1/66 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C02F 1/467 (2013.01)
C02F 1/46109 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0024891
(22) 출원일자 2022년02월25일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
17/214,404 2021년03월26일 미국(US)

(71) 출원인
팔로 알토 리서치 센터 인코포레이티드
미국 캘리포니아주 94304 팔로 알토 코요테 힐 로드 3333
(72) 발명자
유진 에스. 배
미국 94304 캘리포니아, 팔로 알토 코요테 힐 로드 3333
마하티 친타팔리
미국 94304 캘리포니아, 팔로 알토 코요테 힐 로드 3333
스테판 매튜 메클러
미국 94304 캘리포니아, 팔로 알토 코요테 힐 로드 3333
(74) 대리인
장훈

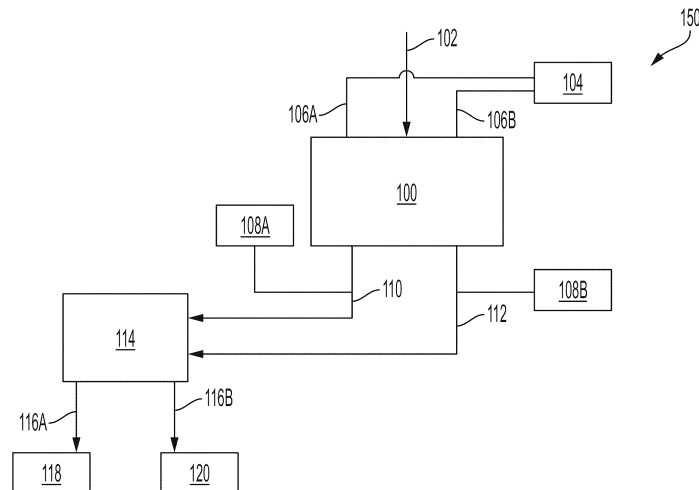
전체 청구항 수 : 총 26 항

(54) 발명의 명칭 pH 구배의 생성을 위한 전기화학 장치

(57) 요약

무막(membraneless) 전기화학 장치는 무막 전기화학 전지에 유입되는 유체 공급물 스트림, 제1 전극, 및 제2 전극을 포함한다. 제1 전극은 유체 공급물 스트림의 제1 부분과 양성자-커플링된 산화 반응을 갖도록 구성된 제1 산화환원-활성 재료를 포함하고, 제2 전극은 유체 공급물 스트림의 제2 부분과 양성자-커플링된 환원 반응을 갖도록 구성된 제2 산화환원-활성 재료를 포함한다. 유체 공급물 스트림의 제1 부분과 제2 부분은 분리된다. 제1 유출물 스트림은 제1 부분을 포함하며 제1 pH를 갖고, 제2 유출물 스트림은 제2 부분을 포함하며 제1 pH와는 상이한 제2 pH를 갖는다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C02F 1/66 (2013.01)

C02F 2001/46133 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

무막(membraneless) 전기화학 장치로서,

상기 무막 전기화학 장치에 유입되는 유체 공급물 스트림;

상기 유체 공급물 스트림의 제1 부분과 양성자-커플링된 산화 반응을 갖도록 구성된 제1 산화환원-활성 재료를 포함하는 제1 전극;

상기 유체 공급물 스트림의 제2 부분과 양성자-커플링된 환원 반응을 갖도록 구성된 제2 산화환원-활성 재료를 포함하는 제2 전극으로서, 상기 제1 부분과 상기 제2 부분은 분리되는, 상기 제2 전극;

상기 제1 부분을 포함하고 제1 pH를 갖는 제1 유출물 스트림; 및

상기 제2 부분을 포함하고 상기 제1 pH와는 상이한 제2 pH를 갖는 제2 유출물 스트림을 포함하는, 무막 전기화학 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 산화환원-활성 재료 및 상기 제2 산화환원-활성 재료 중 적어도 하나는 상기 제1 전극 또는 상기 제2 전극 중 적어도 하나 상에 코팅되는, 무막 전기화학 장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제1 산화환원-활성 재료 및 상기 제2 산화환원-활성 재료 중 적어도 하나는 상기 제1 전극 또는 상기 제2 전극 중 적어도 하나 상에 그래프팅된 유기 분자인, 무막 전기화학 장치.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 제1 산화환원-활성 재료 및 상기 제2 산화환원-활성 재료는 동일한, 무막 전기화학 장치.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 제1 산화환원-활성 재료 및 상기 제2 산화환원-활성 재료 중 적어도 하나는 퀴논, 페나진, 피라진, 퀴녹살린 및 이들의 유도체 중 적어도 하나이거나, 또는 상기 산화환원-활성 재료는 이오노머 및 중합체 중 적어도 하나이고, 상기 이오노머 및 중합체 중 적어도 하나는 퀴논, 페나진, 피라진, 퀴녹살린 및 이들의 유도체 중 적어도 하나를 포함하는, 무막 전기화학 장치.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극의 각각은 전도성 재료, 결합제, 및 전도성 결합제 중 적어도 하나를 포함하는, 무막 전기화학 장치.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 유체 공급물 스트림은 상기 제1 전극의 제1 표면 및 상기 제2 전극의 제1 표면에 평행하게 유동하고, 상기 제1 표면들은 서로 대면하며 미리 결정된 거리의 갭(gap)에 의해 분리되는, 무막 전기화학 장치.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극은 다공성이며 서로 대향하여 위치되고, 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제1 부분은 상기 제1 전극을 통해 유동하고 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제2 부분은 상기 제2 전극을 통해 유동하는, 무막 전기화학 장치.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 제1 전극 및 제2 전극은 다공성인, 무막 전기화학 장치.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극은, 상기 제1 전극 및 제2 전극을 가로질러 전위가 인가될 때 상기 제1 산화환원-활성 재료와의 양성자-커플링된 산화 반응 및 상기 제2 산화환원-활성 재료와의 양성자-커플링된 환원 반응을 유도하도록 구성되고, 상기 제1 유출물 스트림이 상기 제2 pH를 갖고 상기 제2 유출물 스트림이 상기 제1 pH를 갖도록 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극을 가로질러 인가된 상기 전위가 역전될 때 상기 제1 산화환원-활성 재료와의 양성자-커플링된 환원 반응 및 상기 제2 산화환원-활성 재료와의 양성자-커플링된 산화 반응을 유도하도록 구성된 에너지원에 커플링되는, 무막 전기화학 장치.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 유체 공급물 스트림은 목표 성분을 포함하는, 무막 전기화학 장치.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 목표 성분은 이산화탄소인, 무막 전기화학 장치.

청구항 13

제11항에 있어서, 상기 목표 성분은 염인, 무막 전기화학 장치.

청구항 14

유체 공급물 스트림;

무막 전기화학 장치로서,

제1 전위에 반응하여 상기 유체 공급물 스트림의 제1 부분과 양성자-커플링된 산화 반응을 갖도록 구성된 제1 산화환원-활성 재료를 포함하는 제1 전극;

제1 전위에 반응하여 상기 유체 공급물 스트림의 제2 부분과 양성자-커플링된 환원 반응을 갖도록 구성된 제2 산화환원-활성 재료를 포함하는 제2 전극으로서, 상기 제1 부분과 상기 제2 부분은 분리되는, 상기 제2 전극;

상기 제1 부분을 포함하고 제1 pH를 갖는 제1 유출물 스트림; 및

상기 제2 부분을 포함하고 상기 제1 pH와는 상이한 제2 pH를 갖는 제2 유출물 스트림을 포함하는, 상기 무막 전기화학 장치;

상기 제1 전극 및 상기 제2 전극을 가로질러 제1 전위 및 제2 역방향 전위를 인가하도록 구성된 에너지원;

상기 제1 pH를 갖는 유출물 스트림을 수용하도록 구성된 제1 리셉터클(receptacle);

상기 제2 pH를 갖는 유출물 스트림을 수용하도록 구성된 제2 리셉터클; 및

상기 제1 유출물 스트림 및 상기 제2 유출물 스트림과 상기 제1 리셉터클 및 상기 제2 리셉터클에 커플링된 스위칭 밸브를 포함하는, 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 제1 리셉터클은 상기 제1 pH를 갖는 상기 유출물 스트림이 배출되기 전에 상기 유출물 스트림과 반응하여 상기 유출물 스트림의 pH를 제3 pH로 증가시키도록 구성된 염기 재료를 포함하는, 시스템.

청구항 16

제14항에 있어서, 상기 유체 공급물 스트림은 목표 분자 또는 용질을 포함하고, 상기 제1 리셉터클은 상기 제1 pH를 갖는 상기 유출물 스트림이 배출되기 전에 상기 유출물 스트림과 반응하여 상기 목표 분자 또는 용질을 분리하도록 구성된 염기 재료를 포함하는, 시스템.

청구항 17

제14항에 있어서, 상기 제2 유출물 스트림은 이산화탄소를 흡수하도록 가공되는, 시스템.

청구항 18

제14항에 있어서, 상기 스위칭 밸브는 상기 에너지원이 상기 제1 전극 및 제2 전극을 가로질러 상기 제1 전위를 인가할 때 상기 제1 유출물 스트림을 상기 제1 리셉터클로 그리고 상기 제2 유출물 스트림을 상기 제2 리셉터클로 지향시키도록 구성되고, 상기 에너지원이 상기 제1 전극 및 제2 전극을 가로질러 상기 제2 역방향 전위를 인가할 때 상기 제2 유출물 스트림을 상기 제1 리셉터클로 그리고 상기 제1 유출물 스트림을 상기 제2 리셉터클로 지향시키도록 구성되는, 시스템.

청구항 19

제14항에 있어서, 상기 유체 공급물 스트림은 상기 무막 전기화학 장치 내의 상기 제1 전극의 제1 표면에 평행하게 그리고 상기 무막 전기화학 장치 내의 상기 제2 전극의 제1 표면에 평행하게 유동하고, 상기 제1 표면들은 서로 대면하며 미리 결정된 거리의 갭에 의해 분리되는, 시스템,

청구항 20

제14항에 있어서, 상기 무막 전기화학 장치의 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극은 다공성이고, 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제1 부분은 상기 제1 전극을 통해 유동하고 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제2 부분은 상기 제2 전극을 통해 유동하는, 시스템.

청구항 21

무막 전기화학 장치 내로 유체 공급물 스트림을 유동시키는 단계로서, 상기 무막 전기화학 장치는, 제1 산화환원-활성 재료를 포함하고 상기 유체 공급물 스트림의 제1 부분과 접촉 시에 양성자-커플링된 산화 반응을 갖도록 구성된 제1 전극 및 제2 산화환원-활성 재료를 포함하고 상기 유체 공급물 스트림의 제2 부분과 접촉 시에 양성자-커플링된 환원 반응을 갖도록 구성된 제2 전극을 포함하는, 상기 단계;

상기 제1 전극과 접촉하도록 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제1 부분을 지향시키는 단계;

상기 제2 전극과 접촉하도록 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제2 부분을 지향시키는 단계;

상기 제1 전극 및 상기 제2 전극에 전위를 인가하는 단계;

상기 전위를 인가하는 것에 반응하여, 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제1 부분과 접촉하는 상기 제1 전극 상의 상기 제1 산화환원-활성 재료를 산화시키는 단계;

상기 전위를 인가하는 것에 반응하여, 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제2 부분과 접촉하는 상기 제2 전극 상의 상기 제2 산화환원-활성 재료를 환원시키는 단계;

제1 pH를 갖는 제1 유출물 스트림으로 상기 전기화학 장치로부터 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제1 부분을 제거하는 단계; 및

상기 제1 pH와는 상이한 제2 pH를 갖는 제2 유출물 스트림으로 상기 전기화학 장치로부터 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제2 부분을 제거하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 22

제21항에 있어서, 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제1 부분을 지향시키는 단계는 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제1 부분을 상기 제1 전극에 평행하게 유동시키는 단계를 포함하고 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제2 부분을 지향시키는 단계는 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제2 부분을 상기 제2 전극에 평행하게 유동시키는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 23

제21항에 있어서, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극은 다공성이고, 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제1 부분을 지향시키는 단계는 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제1 부분을 상기 제1 전극을 통해 유동시키는 단계를 포함

하고 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제2 부분을 지향시키는 단계는 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제2 부분을 상기 제2 전극을 통해 이동시키는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 24

제21항에 있어서, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극에 인가된 상기 전위를 역전시켜 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제1 부분과 접촉하는 상기 제1 산화환원-활성 재료에서 양성자-커플링된 환원 반응을 유도하고 상기 유체 공급물 스트림의 상기 제2 부분과 접촉하는 상기 제2 산화환원-활성 재료에서 양성자-커플링된 산화 반응을 유도하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 25

제21항에 있어서, 상기 제1 pH를 갖는 상기 제1 유출물 스트림이 배출되기 전에 상기 제1 유출물 스트림을 카르보네이트-풍부 광물과 반응시켜 상기 제1 유출물 스트림으로부터 목표 분자 또는 용질을 방출하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 26

제21항에 있어서, 상기 제2 유출물 스트림을 기체 스트림에 노출시켜 이산화탄소를 흡수하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 유체 스트림 내에서 pH 구배를 형성하기 위한 시스템 및 이를 작동시키는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 세계의 해양은 탄소 순환의 일부로서 대기로부터 이산화탄소(CO₂)를 흡수한다. 대기 중 이산화탄소 수준이 증가함에 따라, 해양에 의해 흡수되는 CO₂의 양도 증가하였다. 이산화탄소가 해수에 용해될 때, 이것은 반응하여 탄산을 생성한다. 탄산은 결국 수소 이온(H⁺)을 방출하여, 카르보네이트(CO₃⁻²) 및 바이카르보네이트(HCO₃⁻) 이온을 형성한다. 용존 이산화탄소, 카르보네이트, 및 바이카르보네이트의 상대적 분율을 결정하는 해수의 pH는 전형적으로 약 8.3이다. 이는 해수에 용해된 총 탄소의 대부분이 바이카르보네이트의 형태임을 의미한다. 시간 경과에 따른 이러한 반응의 축적은 해양 해수의 산도를 증가시켜, 해양 동식물의 삶에 부정적인 영향을 미친다. 해양에서 이산화탄소를 제거하는 것은, 해양이 대기로부터 추가의 이산화탄소를 제거할 뿐만 아니라 해양 해수의 pH 균형을 복원하는 데 도움을 주는 능력을 제공할 것이다. 더욱이, 제거된 이산화탄소는 격리될 수 있고/있거나, 그렇지 않으면 건축 자재(예를 들어, 콘크리트), 상품용 화학 물질(예를 들어, 중합체, 포타쉬(potash)), 연료(예를 들어, 액체 탄화수소), 탄소 재료(예를 들어, 그래핀, 나노튜브 등), 및 양식업(aquaculture)과 같은 다양한 산업에서 사용될 수 있다.

[0003] 해양수로부터 이산화탄소 포집을 달성하는 한 가지 방법은 먼저 물의 산도를 증가시켜 용존 바이카르보네이트와 카르보네이트 이온을 이산화탄소로서 방출하고, 이어서 알칼리도를 증가시켜 pH를 복원함으로써 이루어진다. 해양수의 알칼리도를 증가시키는 다른 방법은 산성화된 물을, 예를 들어, 탄산칼슘의 미세한 현탁액과 혼합하는 것인데, 이는 탄산칼슘을 중탄산칼슘으로 변환하는 한편, 염기성화된 물은 해양으로 방출된다. 다양한 등급의 탄산칼슘 대신에, 석회석 또는 다른 카르보네이트-풍부 광물이 대신 첨가될 수 있다. 이러한 반응에서 양이온은 칼슘일 필요가 없으며; 탄산마그네슘이 풍부한 광물이 또한 사용될 수 있다. 어느 방법이든 산성화된 스트림 및 알칼리성 스트림을 생성할 수 있는 양극성 막 전기투석을 사용하여 달성될 수 있다. 그러나, 양극성 막의 내부에서 고농도의 하이드록사이드 이온에 매우 근접한 고농도의 하이드로늄 이온("양성자")의 생성은 벌크(bulk) 해수에서 pH 구배의 형성에 필요한 최소 에너지를 생성하며, 이는 이산화탄소 추출에 비효율적이다. 해수로부터의 효율적인 이산화탄소 추출 또는 해수 내의 저장을 용이하게 하는, 낮은 에너지 소비로 벌크 액체 공급물 스트림에서 pH 구배를 생성하는 것에 관한 실시 형태가 개시되어 있다.

발명의 내용

[0004] 본 명세서에 기재된 실시 형태는 무막(membraneless) 전기화학 장치에 관한 것이다. 본 장치는 무막 전기화학 장치에 유입되는 유체 공급물 스트림, 제1 전극, 및 제2 전극을 포함한다. 제1 전극은 유체 공급물 스트림의 제1 부분과 양성자-커플링된 산화 반응을 갖도록 구성된 제1 산화환원-활성 재료를 포함하고, 제2 전극은 유체 공급물 스트림의 제2 부분과 양성자-커플링된 환원 반응을 갖도록 구성된 제2 산화환원-활성 재료를 포함한다. 공급물 스트림의 제1 부분과 제2 부분은 분리된다. 본 장치는, 제1 부분을 포함하며 제1 pH를 갖는 제1 유출물 스트림, 및 제2 부분을 포함하며 제2 pH를 갖는 제2 유출물 스트림을 추가로 포함한다. 제2 pH는 제1 pH와 상이하다.

[0005] 다른 실시 형태는 시스템에 관한 것이다. 시스템은 유체 공급물 스트림, 무막 전기화학 장치, 에너지원, 제1 리셉터클(receptacle), 및 제2 리셉터클, 및 스위칭 밸브를 포함한다. 무막 전기화학 장치는 제1 전극, 제2 전극, 제1 유출물 스트림, 및 제2 유출물 스트림을 포함한다. 제1 전극은 제1 전위에 반응하여 유체 공급물 스트림의 제1 부분과 양성자-커플링된 산화 반응을 갖도록 구성된 제1 산화환원-활성 재료를 포함하고, 제2 전극은 제1 전위에 반응하여 유체 공급물 스트림의 제2 부분과 양성자-커플링된 환원 반응을 갖도록 구성된 제2 산화환원-활성 재료를 포함한다. 제1 부분과 제2 부분은 서로 분리된다. 제1 유출물 스트림은 제1 부분을 포함하며 제1 pH를 갖고, 제2 유출물 스트림은 제2 부분을 포함하며 제1 pH와는 상이한 제2 pH를 갖는다. 에너지원은 제1 전극 및 제2 전극을 가로질러 제1 전위 및 제2 역방향 전위를 인가하도록 구성된다. 제1 리셉터클은 제1 pH를 갖는 유출물 스트림을 수용하도록 구성되고, 제2 리셉터클은 제2 pH를 갖는 유출물 스트림을 수용하도록 구성된다. 스위칭 밸브는 제1 유출물 스트림 및 제2 유출물 스트림과 제1 리셉터클 및 제2 리셉터클에 커플링된다.

[0006] 추가의 실시 형태는 방법에 관한 것이다. 본 방법은 유체 공급물 스트림을 무막 전기화학 장치로 유동시키는 단계를 포함한다. 본 장치는 유체 공급물 스트림의 제1 부분과 접촉할 때 양성자-커플링된 산화 반응을 갖도록 구성된 제1 산화환원-활성 재료를 포함하는 제1 전극을 포함한다. 본 장치는 유체 공급물 스트림의 제2 부분과 접촉할 때 양성자-커플링된 환원 반응을 갖도록 구성된 제2 산화환원-활성 재료를 포함하는 제2 전극을 포함한다. 본 방법은 제1 전극과 접촉하도록 유체 공급물 스트림의 제1 부분을 지향시키는 단계, 제2 전극과 접촉하도록 유체 공급물 스트림의 제2 부분을 지향시키는 단계, 및 제1 전극 및 제2 전극에 전위를 인가하는 단계를 포함한다. 전위를 인가하는 것에 반응하여, 유체 공급물 스트림의 제1 부분과 접촉하는 제1 전극 상의 제1 산화환원-활성 재료가 산화되고, 유체 공급물 스트림의 제2 부분과 접촉하는 제2 전극 상의 제2 산화환원-활성 재료가 환원된다. 유체 공급물 스트림의 제1 부분은 제1 pH를 갖는 제1 유출물 스트림으로 전기화학 장치로부터 제거되고, 유체 공급물 스트림의 제2 부분은 제1 pH와는 상이한 제2 pH를 갖는 제2 유출물 스트림으로 전기화학 장치로부터 제거된다.

[0007] 상기의 개요는 본 발명의 각각의 개시된 실시 형태 또는 모든 구현 형태를 기술하고자 하는 것은 아니다. 아래의 도면 및 상세한 설명은 예시적인 실시 형태를 더 구체적으로 예시한다.

도면의 간단한 설명

[0008] 이하의 논의는 다음의 도면을 참조하며, 여기서 동일한 참조 번호는 다수의 도면에서 유사한/동일한 구성요소를 식별하는 데 사용될 수 있다. 그러나, 주어진 도면에서 소정 구성 요소를 지시하기 위한 도면 부호의 사용은 동일한 도면 부호로 표시된 다른 도면 내의 그 구성 요소를 제한하도록 의도되지 않는다. 도면들은 반드시 일정한 축척으로 작성된 것은 아니다.

도 1은 특정 실시 형태에 따른 pH 구배를 사용하여 목표 분자 또는 용질을 포집하기 위한 무막 전기화학 장치를 포함하는 시스템의 블록도이고;

도 2는 특정 실시 형태에 따른 층상 무막 전기화학 전지의 개략도이고;

도 3은 특정 실시 형태에 따른 관류형(flow-through) 무막 전기화학 전지를 포함하는 시스템의 블록도이고;

도 4는 특정 실시 형태에 따른 관류형 무막 전기화학 전지의 개략도이고;

도 5 내지 도 6은 특정 실시 형태에 따른 방법의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 유체 유동 제어는 막과 같은 물리적 장벽을 사용하지 않고서 유체 스트림의 상이한 부분들을 지향시키는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 유체 유동은 유체 스트림의 상이한 부분들 사이의 혼합을 방지하거나 최소화하도록

제어될 수 있다. 이는 유체의 층류를 제어함으로써, 및/또는 미리 결정된 방향을 따라 스트림의 상이한 부분들을 지향시킴으로써 달성될 수 있다. 유체 스트림(예를 들어, 수성 스트림)의 개별 부분들을 두 부분의 혼합 없이 제어하는 것은 전기분해와 조합될 때 유체 스트림 내의 재료의 분리 및 포집을 가능하게 한다. 예를 들어, 유체 스트림 내의 분자 또는 용질과 같은 목표 성분은 유체 스트림의 일부를 산성화하여 목표 분자 또는 용질을 방출함으로써 포집될 수 있다.

[0010] 양극성 막 내의 경계에서보다는 2개의 별개의 전극에서 유체 스트림의 pH 구배를 생성하고 스트림의 산성화된 부분의 분리를 독립적으로 유지하면, 즉 막 또는 물리적 장벽이 부재하게 하면, 분리를 수행하고 유지하는 데 필요한 에너지 및 비용이 감소된다. 막이 없으면, 전기화학 장치 또는 전지는 더 적은 수의 부품을 가지므로 제조 비용이 감소된다. 막의 결여되면, 전기화학 전지가 또한 더 광범위한 pH 값을 갖는 유체(즉, 전해질)와 함께 사용될 수 있으며, 또한 더 다양한(예를 들어, 덜 비싼) 재료를 갖는 구성이 가능하다. 예를 들어, 매우 높거나 낮은 pH를 갖는 유입 유체 스트림(즉, 전해질)을 갖는 전기화학 장치는 부식에 저항하도록 설계된 재료가 필요하지 않을 수 있다. 더욱이, 전기화학 분리 전지로부터 막이 제거되면, 전해질 내의 성분들에 대한 내구성, 오염(fouling), 및 복원력과 관련된 문제가 제거된다. 무막 시스템은 또한 전기화학 전지의 구성요소들 중 적어도 일부가 저렴하고/하거나 일회용이거나, 또는 그렇지 않으면 주기적 또는 미리 결정된 간격으로 교체 가능하도록 설계되는 설계 패러다임(paradigm)을 연다. pH 구배를 생성하는 무막 전기화학 전지를 포함하는 다양한 시스템이 본 명세서에 추가로 기재되어 있다.

[0011] 도 1을 참조하면, 유체 스트림에서 pH 구배를 생성함으로써 유입 유체 스트림(102)으로부터 성분들을 분리하기 위해 무막 전기화학 전지(100)를 이용하는 시스템(150)이 예시되어 있다. 유체 스트림(예를 들어, 수성 스트림)은 2개의 전극을 포함하는 무막 전기화학 전지에 유입되며, 이들 각각은 산화환원-활성 재료를 포함한다. 유입 스트림(102)은 무막 전기화학 전지의 작동 결과로서 포집될 수 있는 적어도 하나의 목표 분자 또는 용질을 포함한다. 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 용어 "무막 전기화학 전지"는 2개의 전극 사이에 위치된, 막, 또는 다른 비-다공성 또는 이온-선택적 장벽을 포함하지 않는 전기화학 전지를 지칭한다. 예를 들어, 특정 실시 형태에서, 무막 전기화학 전지는 전극들 사이에 끼워진 메시 또는 다공성 세퍼레이터(separator)를 포함할 수 있다. 전기화학 전지(100)의 전극은, 커플링(106A)을 통해 제1 전극에 그리고 커플링(106B)을 통해 제2 전극에 전압을 공급하여 전극들을 가로질러 전위를 인가하는 에너지원(104)에 커플링된다.

[0012] 전극을 가로질러 전위가 인가될 때, 제1 전극의 산화환원-활성 재료는 전해질(예를 들어, 물)과의 제1 양성자-커플링된 패러데이 반응을 겪고, 제2 전극의 산화환원-활성 재료는 전해질(예를 들어, 물)과의 제2 양성자-커플링된 패러데이 반응을 겪어, 제1 전극에 근접하여 하이드록사이드 이온이 흡수되고, 제2 전극에 근접하여 하이드록시 이온이 생성되거나 하이드록사이드 이온이 흡수된다. 또한, 제1 산화환원-커플링된 반응 및 제2 산화환원-커플링된 반응은 또한 하이드록사이드 이온 또는 하이드록시 이온, 예컨대 나트륨 이온 또는 칼로라이드 이온이 아닌 이온을(예를 들어, 동시에) 이동시킬 수 있다. 그 결과, 제1 전극에 근접한 유입 스트림의 제1 부분은 제2 전극에 근접한 유입 스트림의 제2 부분과는 상이한 pH 값을 갖는데, 이는 무막 전기화학 전지 내에서 pH 구배를 생성한다. pH 구배는 공급물 스트림(102)의 유입 pH에 상대적이지만, 예시적인 구배 값은 약 1 내지 2 pH 단위, 또는 약 2 내지 4 pH 단위, 또는 약 4 내지 6 pH 단위의 범위를 포함할 수 있다. pH 구배는 공급물 스트림의 유입 pH가 중앙에 오지 않아도 된다. 예를 들어, pH가 8인 공급물 스트림을 사용하여 pH 5 및 pH 9에서의 2개의 유출 스트림이 가능하다.

[0013] 혼합 및 pH 구배의 무효화를 방지하기 위해, 제1 부분 및 제2 부분은 하기에 추가로 기재된 바와 같은 제어된 및/또는 지향된 유체 유동을 통해 무막 전기화학 전지에서 분리되어 유지된다. 유입 스트림의 제1 산성 부분은 스트림(110)으로서 무막 전기화학 전지로부터 제거되고, 유입 스트림의 제2 알칼리 부분은 스트림(112)으로서 무막 전기화학 전지로부터 제거된다. 본 명세서에 사용되는 바와 같이 용어 "산성" 및 "알칼리성"은 유입 스트림(102)의 초기 유입 pH에 대해 정의된다. 제1 pH 측정 장치(108A)는 스트림(110)에 커플링되고, 제2 pH 측정 장치(108B)는 스트림(112)에 커플링된다. 특정 실시 형태에서, 단일 pH 측정 장치가 유출물 스트림(110, 112) 각각의 pH를 측정하도록 구성된다.

[0014] 유출물 스트림(110, 112)은 스트림이 중화되는 것을 방지하기 위해 개별 저장 리셉터클로 배출된다. 특정 실시 형태에서, 제1 유출물 스트림(110)은 리셉터클(118)로 방향전환되고, 제2 유출물 스트림(112)은 리셉터클(120)로 방향전환된다. 리셉터클(118, 120)은 저장 리셉터클로 지칭되지만, 이들은 또한 시스템 또는 후속 가공 단계로부터의 배출을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 특정 실시 형태에서, 리셉터클 중 적어도 하나(예를 들어, 산성 유출물을 포함하는 118)는, 산성 유출물과 추가로 반응하고 유출물 스트림(110)으로부터 목표 분자 또는 용

질을 분리하도록 반응물을 포함한다.

- [0015] 전해질이 각각의 전극과 패러데이 반응을 갖기 때문에, 전기화학 전지는 또한 때때로 전극을 가로질러 역방향 전위를 인가함으로써 작동된다. 역방향 전위는 필요에 따라 또는 미리 결정된 일정에 따라 인가될 수 있다. 역방향 전위는 제1 전극 및 제2 전극 상의 산화환원-활성 재료를 순환시키는 효과를 가져서, 순방향 전위가 인가되기 전의 상태로 이들이 복원된다. 역방향 전위가 인가될 때, 전극들은 전해질과의 반응을 교환하여, 제1 전극에 근접하여 하이드록사이드 이온이 흡수되거나 하이드로늄 이온이 생성되고 제2 전극에 근접하여 하이드로늄 이온이 생성된다.
- [0016] 유입 스트림의 제1 부분 및 제2 부분이 여전히 pH 구배를 생성하고 무막 전기화학 전지에서 분리되어 유지되지만, pH 구배는 역전된다. 따라서, 제1 전위가 인가될 때 유출물 스트림(110)이 더 낮은 pH 값을 갖는 경우, 역방향 전위가 인가될 때에는 유출물 스트림(110)이 더 높은 pH 값을 가질 것이다. 마찬가지로, 제1 전위가 인가될 때 유출물 스트림(112)이 더 높은 pH 값을 갖는 경우, 역방향 전위가 인가될 때에는 유출물 스트림(112)이 더 낮은 pH 값을 가질 것이다.
- [0017] 각각의 유출물 스트림의 pH 값은 인가된 전위에 기초하여 변하기 때문에, 스위칭 밸브(114)가 유출물 스트림(110, 112) 둘 모두에 커플링된다. 예를 들어, 제1 전위가 인가되고 유출물 스트림(110)이 더 낮은 pH를 갖는 경우, 스트림(110)은 경로(116A)를 통해 리셉터클(118)로 방향전환되지만, 역방향 전위가 인가될 때에는 유출물 스트림(110)이 더 높은 pH를 가질 것이고 스위칭 밸브는 경로(116B)를 통해 유출물 스트림(110)을 리셉터클(120)로 방향전환시키도록 활성화될 것이다. 마찬가지로, 제1 전위가 인가되고 유출물 스트림(112)이 더 높은 pH를 갖는 경우, 스트림(112)은 경로(116B)를 통해 리셉터클(120)로 방향전환되지만, 역방향 전위가 인가될 때에는 유출물 스트림(112)이 더 낮은 pH를 가질 것이고 스위칭 밸브는 리셉터클(118, 120)에서 유출물이 중화되는 것을 방지하기 위해 경로(116A)를 통해 유출물 스트림(112)을 리셉터클(118)로 방향전환시키도록 활성화될 것이다. 무막 전기화학 전지에서 pH 구배를 생성 및 유지하기 위해, 유입 스트림의 제1 부분 및 제2 부분은 아래에서 더 상세히 논의되는 바와 같이 별도로 유지된다.
- [0018] 특정 실시 형태에서, 시스템(150)은 해수로부터 이산화탄소를 분리하는 데 사용될 수 있다. 그러한 실시 형태에서, 유입 스트림(102)은, 다른 용해된 전해질 중에서도, 바이카르보네이트 이온 및 카르보네이트 이온을 포함하는 해수이다. 전지(100)를 빠져나가고 저장 리셉터클(118)로 지향되는 산성화된 해수는 탄산/바이카르보네이트/카르보네이트 평형에 따라 더 높은 농도의 탄산을 함유한다. 이산화탄소는 진공 또는 열 증발을 포함하는 다수의 방법을 통해 이러한 산성화된 해수로부터 스트리핑될 수 있다. 다른 실시 형태에서, 산성화된 해수는 선택적으로 교반 메커니즘이 장착된 혼합 탱크(예를 들어, 리셉터클(118) 또는 다른 선택적인 리셉터클)로 지향되며, 여기에 탄소-함유 염기 재료(예를 들어, NaHCO₃ 및 탄산과 같은 바이카르보네이트 포함하는, 탄산칼슘과 같은 카르보네이트-풍부 재료)가 첨가된다. 반응물은 해수와 반응하여 기체 CO₂를 생성하고 산도를 감소시킨다. 일부 실시 형태에서, 탄소-함유 염기 재료는 외부 해수와 더 높은 pH의 스트림(112)의 반응에 의해 형성된다.
- [0019] 대안적인 실시 형태에서, 염기 재료는 산성화된 스트림과 반응하여 산을 중화시켜, 중화된 유출물이 배출될 수 있고(예를 들어, 해양으로 복귀됨), 다른 알칼리성 유출물 스트림은 탄소 포집에 사용된다. 이들 실시 형태에서, 카르보네이트/바이카르보네이트, 실리케이트, 하이드록사이드, 및 옥사이드, 또는 이들 성분이 풍부한 광물을 포함하는 매우 다양한 염기 재료가 사용될 수 있다. 염기성 용액/유출물은 해양으로 배출될 수 있으며, 알칼리도를 증가시켜, 해양이 대기로부터 CO₂를 흡수하게 한다. 다른 실시 형태에서, 염기성 유출물 스트림은 더 농축된 CO₂ 스트림, 예를 들어, 선박의 배기가스 또는 발전으로부터의 연도 가스, 또는 직접 공기 포집을 통해 공기로부터 포집된 CO₂에 노출되거나 그와 접촉함으로써 CO₂를 흡수할 수 있다.
- [0020] 분리된 목표 분자 또는 용질(여기서, 예를 들어 이산화탄소)은 유출물 스트림으로부터 물리적으로 분리될 필요가 없다. 목표 성분을 화학 시약과 반응시켜 목표 분자 또는 용질을 상이한 더 호의적인(benign) 형태로 전환시킬 수 있다. 예를 들어, 목표 분자가 이산화탄소이고 탄산칼슘이 산성화된 스트림 내로 도입되어 그와 반응하는 경우, 탄산칼슘은 화학식 CaCO₃ + H₂CO₃ → Ca(HCO₃)₂에 따라 용존 이산화탄소와 반응할 것이다. 따라서, 목표 분자 또는 용질의 분리는 하나 이상의 유출물 스트림으로부터 해당 성분을 목표 분자 또는 용질 형태로 제거하는 것으로서 간주될 수 있다.
- [0021] 특정 다른 실시 형태에서, 시스템(150)은 해수 또는 다른 전해질 용액을 탈염시키는 데 사용될 수 있다. 이는 비스무트/비스무트 옥시클로라이드(Bi/BiOCl)와 같은 산화환원 쌍을 선택함으로써 달성되며, 여기서 산화환원

순환은 양성자(또는 하이드록사이드)와 염 이온을 함께(예를 들어, 동시에) 이동시킨다. 이 경우, 하나의 유출물 스트림은 탈염되는 반면, 다른 유출물 스트림은 염이 농축된다. 탈염된 스트림은 더 낮은 pH를 갖는 스트림일 수 있거나, 더 높은 pH를 갖는 스트림일 수 있다. 반대로, 농축된 스트림은 또한 더 높은 pH를 갖는 스트림일 수 있거나, 더 낮은 pH를 갖는 스트림일 수 있다.

[0022] 도 2는 본 명세서에서 층상 무막 전기화학 전지(200)로 지칭되는, 무막 전기화학 전지의 특정 실시 형태를 예시한다. 층상 전지(200)는 제1 산화환원-활성 재료(206)를 포함하는 제1 전극(202) 및 제1 전극의 맞은편에 위치한 제2 산화환원-활성 재료(208)를 포함하는 제2 전극(204)을 포함한다. 제1 전극(202) 및 제2 전극(204)은 또한 각각의 산화환원-활성 재료(206, 208)로 전적으로 구성될 수 있다. 이 경우, 도면 부호(206, 208)는 층상 무막 전기화학 전지(200)를 위한 전극으로서 이해되어야 한다. 특정 실시 형태에서, 제1 및 제2 산화환원-활성 재료(206, 208)는 Bi/BiOCl 또는 벤조퀴논/하이드로퀴논과 같은 동일한 산화환원 쌍을 구성하는 재료이다. 다른 실시 형태에서, 제1 및 제2 산화환원-활성 재료(206, 208)는 동일하거나 상이할 수 있다. 산화환원-활성 재료(206, 208)는 또한 퀴논, 페나진, 피라진, 퀴녹살린 또는 이들의 유도체 중 적어도 하나일 수 있다. 산화환원-활성 재료는 또한 이오노머 및 중합체 중 적어도 하나일 수 있으며, 여기서 이오노머 및 중합체 중 적어도 하나는 퀴논, 페나진, 피라진, 퀴녹살린 및 이들의 유도체 중 적어도 하나를 포함한다. 산화환원-활성 재료(206, 208)는 생성의 용이성, 상대적 풍부도 및 이용가능성, 비용 가격, 산화환원 동력학, 산화환원 상태에서의 산소 안정성, 산화환원 상태에서의 물 안정성, 및 유입 스트림(210) 또는 그에 용해된 임의의 용질의 pH와의 화학적 상용성을 포함하는 몇몇 요인에 기초하여 선택된다.

[0023] 특정 실시 형태에서, 산화환원-활성 재료(206, 208)는 도 2에 도시된 바와 같이 전극(202, 204) 상에 코팅된다. 그러나, 대안적인 실시 형태에서, 산화환원-활성 재료(206, 208)는 전극(202, 204) 상에 및/또는 내에 그래프팅된 유기 분자이다. 예를 들어, 전극(202, 204) 중 하나 또는 둘 모두는 산화환원-활성 재료(206, 208)와, 전도성 재료, 결합체, 및 전도성 결합체 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 전극(202, 204)은 그들 사이에 갭(gap)을 두고 서로 대향하여 위치된다. 갭은 층상 전지(200) 내의 액체의 층류 특성, 유입 및 유출 유량, 전극 동력학, 및 개재 다공성 세퍼레이터(222)의 존재 또는 부재 중 하나 이상에 의해 결정된다. 개재 다공성 세퍼레이터(222)가 존재하는 경우, 이것은 편평할 수 있거나 통합된 유동 채널을 가질 수 있다. 층상 전지(200)에 대한 외부 압축으로부터 개재 다공성 세퍼레이터(222)에 가해지는 압력 및 제1 및 제2 전극(202, 204)을 통해 지향되는 압력이 있을 수 있다. 전극(202, 204) 자체가 또한 편평할 수 있거나 통합된 유동 채널을 가질 수 있다.

[0024] 층상 무막 전기화학 전지(200)에서, 화살표(210)로 표시된 유입 유체 스트림은, 도 2에 도시된 바와 같이, 유입 유체 스트림(210)이 각각의 전극(202, 204)의 대향하는 주 표면들과 접촉하도록, 제1 및 제2 전극(202, 204)에 실질적으로 평행하게 전지(200) 내로 유동한다. 따라서, 유입 스트림(210)의 층류는 화살표(210)로 표시된 동일한 방향으로 유동하는 층 또는 부분으로 간주될 수 있다. 예를 들어, 제1 부분(212) 또는 층류는 제1 전극(202)에 근접할 수 있고 제2 부분(214) 또는 층류는 제2 전극(206)에 근접할 수 있다. 전극(202, 204)에 걸쳐 전위가 인가될 때, 전극의 산화환원-활성 재료(206, 208)는 전극(202, 204)에 근접한 전해질과의 양성자-커플링된 패러데이 반응을 갖는다. 예를 들어, 제1 전극(202)에 근접하여 하이드록사이드 이온이 흡수되거나 하이드로늄 이온이 생성되어, 제1 부분(212)의 산도를 증가시키고, 제2 전극(204)에 근접하여 하이드로늄 이온이 흡수되거나 하이드록사이드 이온이 생성되어 제2 부분(214)의 알칼리도를 증가시킨다.

[0025] 제1 및 제2 부분 둘 모두의 층류는, 제1 전극(202)에 근접한 산성 제1 부분(212) 및 제2 전극(204)에 근접한 알칼리성 제2 부분(214)이 각각 전지(200)를 통해 유동할 때, 제1 부분(212) 및 제2 부분(214)을 유지하고 그들 사이의 혼합을 최소화하거나 감소시키도록 제어된다. 예를 들어, 유동은 층상 무막 전기화학 전지(200)의 유입 또는 유출에 위치된 하나 이상의 펌프에 의해 제어될 수 있다. 또한, 존재하는 경우, 전극(202, 204) 중 하나 또는 둘 모두에서의 통합된 유동 채널은 제1 및 제2 부분(212, 214)의 층류를 지향시키는 데 도움이 될 뿐만 아니라 산화환원 반응을 위한 전극 표면적을 증가시킨다.

[0026] 제1 및 제2 부분(212, 214)이 층상 무막 전기화학 전지(200)를 빠져나감에 따라, 이들은 상이한 pH 스트림의 분리를 유지하기 위해 물리적 장벽(220)(예를 들어, 비투과성 벽)에 의해 분리된다. 도시된 바와 같이, 제1 유출물 스트림(216)은 더 낮은 pH를 갖고 제2 유출물 스트림(218)은 더 높은 pH를 갖는다. 이어서, 유출물 스트림은 시스템(150)과 관련하여 상기에서 논의된 바와 같이 방향전환될 수 있다.

[0027] 도 3은 본 명세서에서 관류형 무막 전기화학 전지(300)로 지칭되는, 무막 전기화학 전지를 이용하는 시스템(350)의 다양한 실시 형태를 예시한다. 관류형 전지(300)는 제1 산화환원-활성 재료를 포함하는 제1 투과성 전

극(302) 및 제1 전극(302)에 대향하여 위치된 제2 산화환원-활성 재료를 포함하는 제2 투과성 전극(304)을 포함하며, 여기서 유입 공급물 스트림은 각각의 전극(302, 304)을 통해 유동한다. 전술한 바와 같이, 전극(302, 304)은 전도성 재료, 결합제 및 전도성 결합제 중 하나 이상과 동일한 산화환원-활성 재료를 포함할 수 있다. 또한 상기와 같이, 산화환원-활성 재료는 전극 상에 코팅되거나 전극 상에 또는 내에 그래프팅될 수 있다.

[0028] 관류형 무막 전기화학 전지(300)에서, 도 3에 도시된 바와 같이, 화살표(310)로 표시된 유입 유체 스트림은 제1 방향으로 전지(300) 내로 유동하고 이어서 대향하는 전극(302, 304)을 통해 직교 방향으로 방향전환된다. 유입이 2개의 대향 스트림으로 도시되어 있지만, 단일 유입 스트림이 또한 사용될 수 있다. 상기에 논의된 층상 무막 전기화학 전지와 마찬가지로, 전극을 가로질러 전위가 인가될 때, 전극(302, 304)의 산화환원-활성 재료는 전극(302, 304)에 근접한 전해질과의 양성자-커플링된 패러데이 반응을 갖는다. 예를 들어, 제1 전극(302)에 근접하여 하이드록사이드 이온이 흡수되거나 하이드로늄 이온이 생성되어, 제1 부분(312)의 산도를 증가시키고, 제2 전극(304)에 근접하여 하이드로늄 이온이 흡수되거나 하이드록사이드 이온이 생성되어 제2 부분(314)의 알칼리도를 증가시킨다.

[0029] 제1 및 제2 전극(302, 304)의 각각을 통한 유동은, 제1 전극(302)에 근접한 산성 제1 부분(312)과 제2 전극(304)에 근접한 알칼리 제2 부분(314)이 각각 대향 경로(316, 318)를 통해 전지(300)를 빠져나갈 때, 산성 제1 부분(312)을 알칼리 제2 부분(314)으로부터 분리된 채로 유지하도록 제어된다. 유동은, 예를 들어, 관류형 무막 전기화학 전지(300)의 하나 이상의 유입 또는 유출에 위치된 하나 이상의 펌프에 의해 제어될 수 있다. 개별 경로(316, 318)는, 예를 들어, 상이한 pH 스트림들의 분리를 유지하는데, 제1 유출물 스트림(316)이 더 낮은 pH를 가질 수 있고 제2 유출물 스트림(318)이 더 높은 pH를 가질 수 있다. 상기에 논의된 바와 같이, 관류형 전지(300)는 또한 유동 채널 및/또는 개재 다공성 세퍼레이터를 포함할 수 있다. 관류형 전기화학 전지(300)는 분리 시스템(350)의 일부로서 도시되어 있다.

[0030] 분리 시스템(350)은, 제1 전극(306A) 및 제2 전극(306B)에 전압을 공급하여 전극(302, 304)을 가로질러 전위를 인가하는 에너지원(306)에 제1 및 제2 전극(302, 304)을 커플링한다. 상기에 논의된 바와 같이, 에너지원(306)은 제1 전위뿐만 아니라 역방향 전위를 전지(300)에 인가하도록 구성된다. 제1 pH 측정 장치(308A)는 유출물 스트림(316)에 커플링되고, 제2 pH 측정 장치(308B)는 유출물 스트림(318)에 커플링된다. 특정 실시 형태에서, 단일 pH 측정 장치가 유출물 스트림(316, 318) 각각의 pH를 측정하도록 구성된다.

[0031] 유출물 스트림(316, 318)은 스트림이 중화되는 것을 방지하기 위해 개별 저장 리셉터클로 배출된다. 특정 실시 형태에서, 제1 유출물 스트림(316)은 경로(326)를 통해 리셉터클(322)로 방향전환되고, 제2 유출물 스트림(318)은 경로(328)를 통해 리셉터클(324)로 방향전환된다. 리셉터클(322, 324)은 저장 리셉터클로 지칭되지만, 이들은 또한 시스템 또는 후속 가공 단계로부터의 배출을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 특정 실시 형태에서, 리셉터클 중 적어도 하나(예를 들어, 산성 유출물을 포함하는 322)는, 산성 유출물과 추가로 반응하고 유출물 스트림(316)으로부터 목표 분자 또는 용질을 분리하도록 반응물을 포함한다. 전술한 바와 같이, 스위칭 밸브(320)는 경로(326, 328)에 의해 운반되는 유출물 스트림을 스위칭하기 위해, 전극을 가로질러 인가되는 전위에 기초하여 유출물 스트림(316, 318)의 유출을 제어한다. 다른 실시 형태에서, 산성화된 해수는 선택적으로 교반 메커니즘이 장착된 혼합 탱크로 지향되며, 여기에 하나 이상의 반응물(예를 들어, 탄산칼슘)을 첨가하고 해수와 반응하게 하여 유출물의 산도를 감소시킨다.

[0032] 도 4는 관류형 무막 전기화학 전지(400)의 대안적인 실시 형태를 예시한다. 셀(400)은 제1 및 제2 투과성 또는 다공성 전극의 위치를 제외하고는 도 3의 셀과 유사하다. 다공성 전극은 다양한 구성으로 위치될 수 있지만, 관류형 전지(400)에서, 전극(402, 404)은 서로를 향해 수렴하는 - 대향하는 것이 아닌 - 각도로 위치된다. 제1 전극(402)은 전지(400)의 제1 벽(422)으로부터 내부의 불투과성 벽(420)을 향해 연장되는 반면, 제2 전극(404)은 전지(400)의 제2 벽(424)으로부터 벽(420)을 향해 연장된다. 제1 및 제2 전극(402, 404)에 전위가 인가될 때, 양성자-커플링된 산화 반응이 일어나는 전극에 근접하여 하이드록사이드 이온이 흡수되거나 하이드로늄 이온이 생성되고, 양성자-커플링된 환원 반응이 일어나는 전극에 근접하여 하이드로늄 이온이 흡수되거나 하이드록사이드 이온이 생성된다.

[0033] 공급물 스트림의 입구에는 비-다공성 막 또는 물리적 장벽이 없다. 그러나, 상기에 논의된 바와 같이, 관류형 전지(400)의 벽(422, 424)은 전지(400)를 통한 유동을 지향시키는 데 도움을 주기 위해 입구 및/또는 전극(402, 404)에 근접한 유동 채널 및/또는 개재 다공성 세퍼레이터를 또한 포함할 수 있다. 공급물 스트림(410)의 제1 부분(412)은 제1 전극(402)을 통과한 후에, 벽(420)에 의해 제2 전극(404)을 통과하는 제2 부분(414)으로부터 분리된다. 유출물 스트림(416, 418)은 상기 논의된 바와 같이 저장, 가공, 및/또는 배출될 수 있다.

- [0034] 전술한 무막 전기화학 전지를 사용하여 pH 구배를 생성하는 방법이 도 5 및 도 6에 기재되어 있다. 도 5는 무막 전기화학 전지의 제1 반사이클(half cycle) 작동을 예시한다. 본 방법은 공급물 스트림을 무막 전기화학 전지에 제공하는 단계(502)를 포함한다. 공급물 스트림은 수성일 수 있으며 스트림으로부터 분리될 적어도 하나의 목표 분자 또는 용질을 포함한다. 제1 및 제2 전극을 가로질러 전위가 인가된다(504). 예를 들어, 제1 전극은 애노드로서 하전되고 제2 전극은 캐소드로서 하전된다. 공급물 스트림의 제1 부분은, 공급물 스트림의 제1 부분에서 제1 전극의 산화환원-활성 재료와의 양성자-커플링된 산화 반응을 유도하기 위해 (다양한 무막 전기화학 전지 실시 형태에서 전술한 바와 같이) 제1 전극과 접촉하도록 지향된다(506). 산화 반응은 공급물 스트림의 제1 부분의 산도를 증가시켜 제1 전극에 근접한 제1 부분의 pH 값을 낮춘다. 공급물 스트림의 제2 부분은, 제2 전극의 산화환원-활성 재료와의 양성자-커플링된 환원 반응을 유도하기 위해, (다양한 무막 전기화학 전지 실시 형태에서 상기에 기재된 바와 같은) 제2 전극과 접촉하도록 지향된다(508). 환원 반응은 공급물 스트림의 제2 부분의 알칼리도를 증가시켜, 제2 전극에 근접한 제2 부분의 pH 값을 상승시킨다. 따라서, 전극을 가로질러 인가된 전위는 전기화학 전지에서 공급물 스트림 내에 pH 구배를 생성한다.
- [0035] 이어서, 대향하는 전극에서의 공급물 스트림의 산성 부분 및 알칼리 부분은 무막 전기화학 전지로부터 개별적으로 제거된다. 공급물 스트림의 제1 부분은 제1 pH를 갖는 제1 유출물 스트림으로 제거되고(510), 공급물 스트림의 제2 부분은 제2 pH를 갖는 제2 유출물 스트림으로 제거된다(512). 전술한 바와 같이, 제1 pH 값과 제2 pH 값은 상이하다. 예를 들어, 제1 pH는 공급물 스트림 및 제2 pH보다 더 낮고(즉, 더 산성이고), 마찬가지로, 제2 pH는 공급물 스트림 및 제1 pH보다 더 높다(즉, 더 알칼리성이다). 상기에 더 상세히 기재된 바와 같이, 제1 및 제2 유출물 스트림은 개별적으로 저장될 수 있고/있거나 목표 성분을 포집하거나 이용하기 위해 추가로 가공될 수 있다.
- [0036] 전극의 산화환원-활성 재료에 전하 용량 한계를 부여하는, 무막 전기화학 전지의 전극에서의 패러데이 반응으로 인해, 전극을 가로질러 인가되는 전위는 주기적으로 역전된다. 여기서, "주기적으로"란, 필요에 따라 가끔 전위를 역전시키거나, 또는 설정된 일정에 따라 전위를 역전시키는 것을 지칭할 수 있다. 역전의 지속시간 및 전위는 역전되지 않은 순방향 작동 동안과 동일하지 않아도 된다. 도 6은 도 5에 예시된 반사이클을 보완하는 제2 반사이클 작동을 예시한다.
- [0037] 도 6의 방법은 도 5에서 전술한 바와 같은 무막 전기화학 전지를 작동시켜 공급물 스트림에서 pH 구배를 생성하는 단계(602)를 포함한다. 그러나, 제1 및 제2 전극을 가로질러 인가되는 전위가 역전되어, 이제 제1 전극은 캐소드로 하전되고 제2 전극은 애노드로 하전된다(604). 공급물 스트림의 제1 부분은 여전히 (다양한 실시 형태에서 전술한 바와 같이) 제1 전극과 접촉하도록 지향되지만, 이러한 반사이클의 경우, 이는 제1 전극의 산화환원-활성 재료와의 양성자-커플링된 환원 반응을 유도하여, 제1 전극에 근접한 공급물 스트림의 제1 부분의 pH 및 알칼리도를 도 5와 관련하여 상기에 논의된 대략 제2 pH 값으로 상승시킨다(606). 공급물 스트림의 제2 부분은 (다양한 실시 형태에서 전술한 바와 같이) 제2 전극과 접촉하도록 지향되어 제2 전극의 산화환원-활성 재료와의 양성자-커플링된 산화 반응을 유도하여, 제2 전극에 근접한 공급물 스트림의 제2 부분의 산도를 증가시키고 제2 부분의 pH 값을 도 5와 관련하여 상기에 논의된 대략 제1 pH 값으로 낮춘다(608). 따라서, 전극을 가로질러 인가된 전위는 무막 전기화학 전지에서 공급물 스트림 내에 도 5의 방법의 것과 반대인 pH 구배를 생성한다.
- [0038] 이어서, 대향하는 전극에서 분리된 산성 부분 및 알칼리 부분은 무막 전기화학 전지로부터 개별적으로 제거된다. 그러나, 역방향 반사이클에서, 공급물 스트림의 제1 부분은 제2 pH를 갖는 제1 유출물 스트림으로 제거되고, 공급물 스트림의 제2 부분은 제1 pH를 갖는 제2 유출물 스트림으로 제거된다. pH 값이 상이한 유출물 스트림의 분리를 유지하기 위해, 스위칭 밸브가 무막 전기화학 전지로부터 하류에서 유출물 스트림에 커플링된다. 전기화학 전지의 역방향 반사이클 작동 동안, 스위칭 밸브는 스트림을 동일하거나 대략 동일한 pH를 갖는 저장 리셉터클로 전달하도록 유출물 스트림을 스위칭하도록 활성화된다(610). 예를 들어, 제1 유출물 스트림이 도 5의 반사이클 동안 제1 저장 탱크에 저장되는 경우, 유사한 pH 값을 갖는 스트림들을 함께 유지하기 위해 제2 유출물 스트림은 도 6의 역방향 반사이클 동안 제1 저장 탱크에 저장되도록 방향전환된다. 특정 실시 형태에서, 저장된 유출물 스트림 중 하나 또는 둘 모두는 스트림을 추가로 반응시켜 목표 분자 또는 용질(612)을 포집함으로써 추가로 가공된다. 예를 들어, 낮은 pH의 유출물을 상기에 논의된 바와 같이 카르보네이트-풍부 광물과 반응시켜 유출물로부터 이산화탄소를 포집할 수 있다.
- [0039] 전술한 바와 같이, 무막 전기화학 전지에 관한 다양한 실시 형태는 목표 분자 또는 용질의 성분을 분리 및/또는 포집하는 데 사용될 수 있는 pH 구배를 생성하는 데 사용될 수 있다. 막이 없으면, 전기화학 전지는 증가된 내구성을 갖고 적은 양의 에너지를 소비하면서 pH 구배를 생성할 수 있다. 이러한 무막 전기화학 전지는, 예를

들어 해수로부터 이산화탄소를 제거하기 위해 또는 탈염화를 위해 사용될 수 있다.

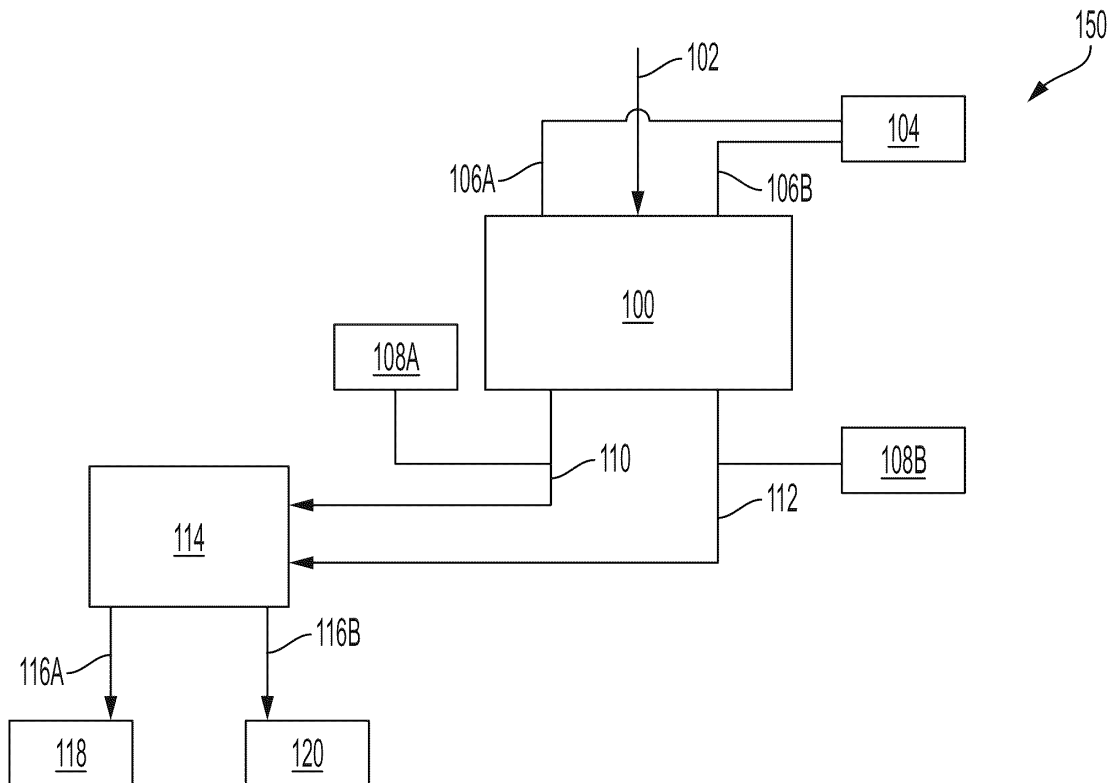
[0040] 본 명세서에 기재된 모든 경우에, 전극 상의 산화환원-활성 재료는 완전히 환원되거나 완전히 산화된 하나의 산화 상태뿐만 아니라 산화환원 쌍의 임의의 중간 하전 상태도 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 예를 들어, 1:1 몰비의 비스무트 및 비스무트 옥시클로라이드로 코팅된 전극은 50% 하전 상태인 것으로 간주되며, 본 발명의 목적상, 한 종류의 산화환원-활성 재료로 코팅되는 것으로 간주되어야 한다. 다른 예로서, 산화환원-활성 쿼는 모이어티(moiety)를 함유하는 중합체로 코팅된 전극은 중합체 상의 모든 쿼는 모이어티가 그의 환원된 상태로 존재하든, 산화된 상태로 존재하든, 또는 이들의 임의의 조합으로 존재하든 하나의 유형의 산화환원-활성 재료를 포함하는 것으로 간주될 것이다. 상이한 하전 상태의 동일한 산화환원 쌍을 갖는 상이한 2개의 전극은 동일한 산화환원 활성 재료를 포함하는 것으로 이해된다.

[0041] 달리 지시되지 않는 한, 본 명세서 및 청구범위에 사용되는 특징부 크기, 양 및 물리적 특성을 표현하는 모든 수는 모든 경우에 용어 "약"에 의해 수식되는 것으로서 이해되어야 한다. 따라서, 반대로 지시되지 않는 한, 전술한 명세서 및 첨부된 청구범위에 기재된 수치 파라미터는 본 명세서에 개시된 교시 내용을 이용하여 당업자가 얻고자 하는 원하는 특성에 따라 달라질 수 있는 근사치이다. 종점(endpoint)에 의한 수치 범위의 사용은 그 범위 내의 모든 수(예를 들어, 1 내지 5는 1, 1.5, 2, 2.75, 3, 3.80, 4, 및 5를 포함함) 및 그 범위 내의 임의의 범위를 포함한다.

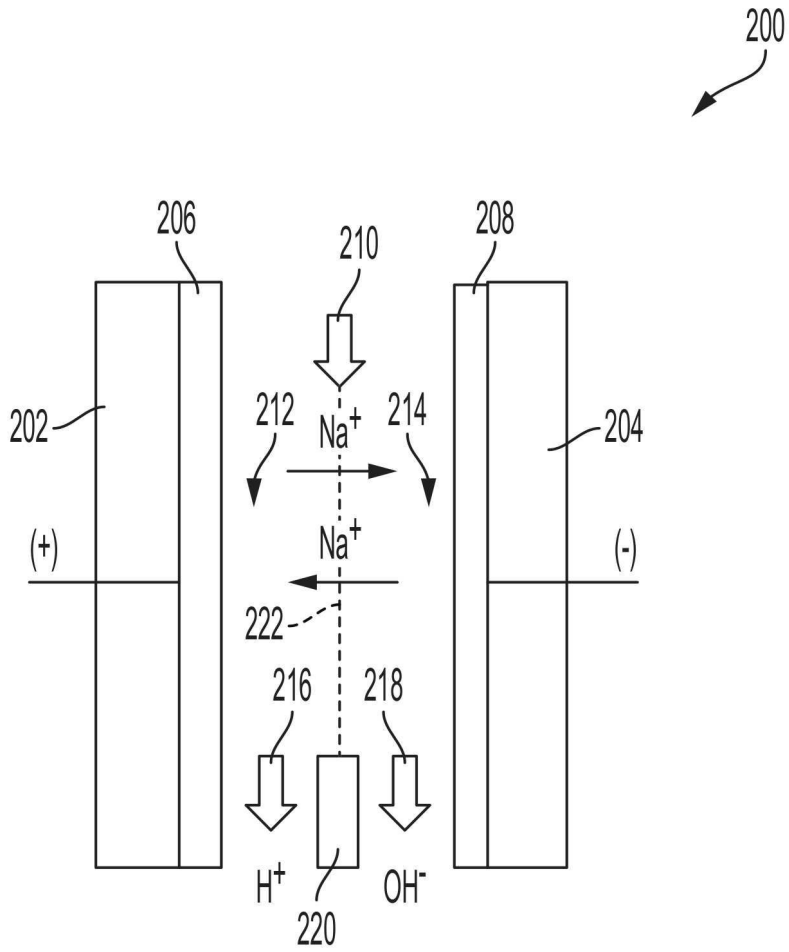
[0042] 전술한 설명은 예시 및 설명의 목적으로 제시되었다. 이는 실시 형태가 개시된 정확한 형태로 철저하게 구현되거나 그것으로 제한하고자 하는 것은 아니다. 또한, 물을 함유하는 잉크 또는 수성 잉크로 실시 형태를 제한하고자 하는 것은 아니다. 상기의 교시 내용에 비추어 많은 수정 및 변형이 가능하다. 개시된 실시 형태의 임의의 또는 모든 특징부는 개별적으로 또는 임의의 조합으로 적용될 수 있고, 제한적인 것으로 의도되지 않고, 순전히 예시적인 것이다. 본 발명의 범주는 이러한 상세한 설명으로 제한되는 것이 아니라, 오히려 본 명세서에 첨부된 청구범위에 의해 결정되는 것으로 의도된다.

도면

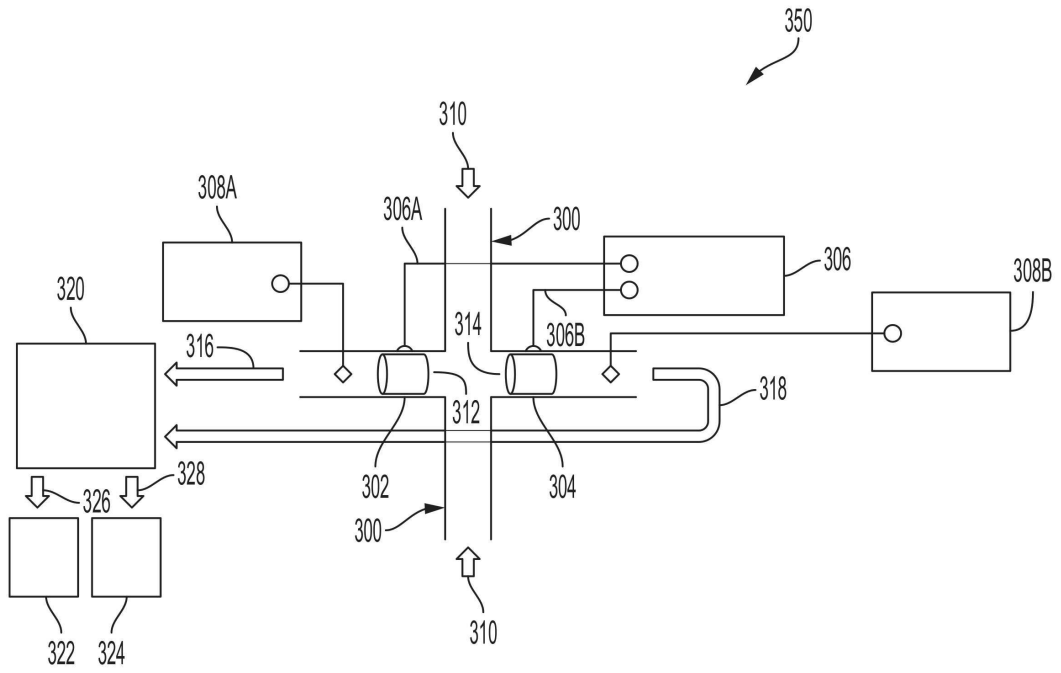
도면1



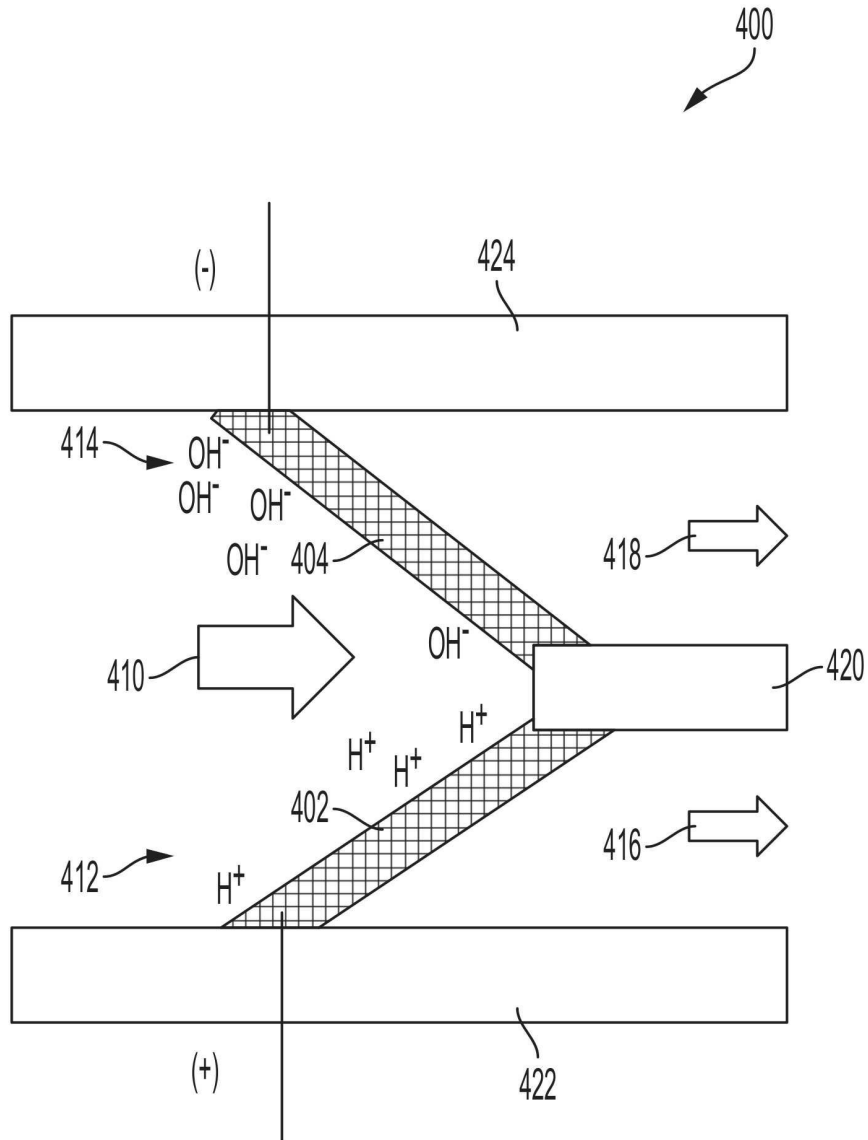
도면2



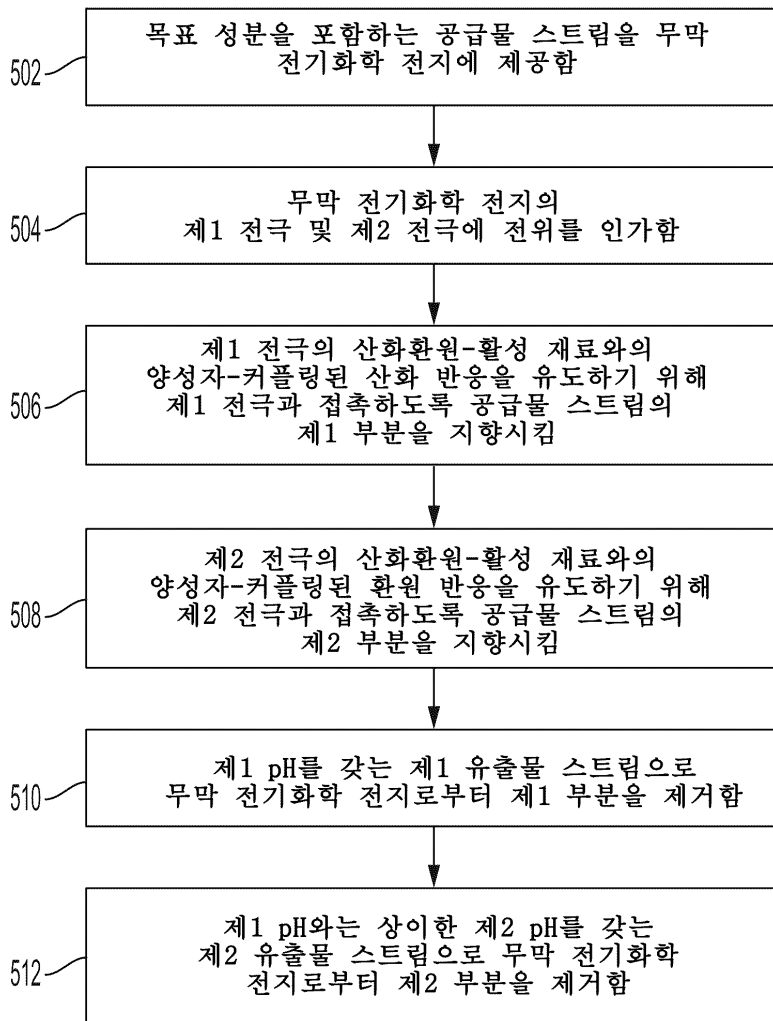
도면3



도면4



도면5



도면6

