



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년06월28일
(11) 등록번호 10-2679756
(24) 등록일자 2024년06월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C25B 1/02 (2021.01) C25B 1/04 (2022.01)
C25B 15/02 (2021.01) C25B 9/70 (2021.01)
(52) CPC특허분류
C25B 1/02 (2021.01)
C25B 1/04 (2022.01)
(21) 출원번호 10-2020-7027890
(22) 출원일자(국제) 2019년03월20일
심사청구일자 2022년02월10일
(85) 번역문제출일자 2020년09월25일
(65) 공개번호 10-2020-0133228
(43) 공개일자 2020년11월26일
(86) 국제출원번호 PCT/IL2019/050314
(87) 국제공개번호 WO 2019/180717
국제공개일자 2019년09월26일
(30) 우선권주장
258252 2018년03월20일 이스라엘(IL)
(56) 선행기술조사문헌
JP2003096586 A*
JP2017534764 A*
KR1020130030847 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
테크니온 리서치 앤드 디벨로프먼트 화운데이션
엘티디.
이스라엘 3200003 하이파 테크니온 시티 세네이트
하우스
(72) 발명자
그레이더 기드온
이스라엘 3440219 하이파 34/3 라헬 스트리트
셰더 제내디
이스라엘 3680302 네셔 3 두치팻 스트리트
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인아주김장리

전체 청구항 수 : 총 18 항

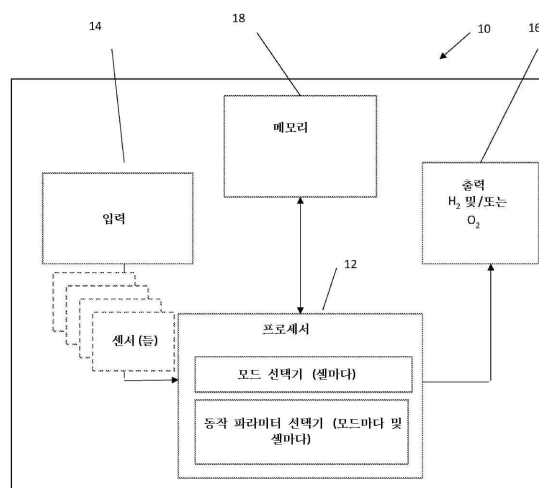
심사관 : 김대영

(54) 발명의 명칭 가스를 생성하기 위한 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 일반적으로 수소 가스와 산소 가스를 생성하기 위한 전기화학 셀 및 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류
C25B 15/02 (2022.01)
C25B 9/70 (2022.01)

랜드맨 아비가일

이스라엘 3269705 하이파 119/33 아바 힐렐 실버
스트리트

(72) 발명자

도탄 헨

이스라엘 3787000 리찬 70 리찬

로스차일드 아브너

이스라엘 3475202 하이파 4 브네이 브릿 스트리트

명세서

청구범위

청구항 1

수소 가스 및/또는 산소 가스를 생성하기 위한 전기화학 시스템으로서,

2개 이상의 전기화학적 열활성화 화학(electrochemical thermally activated chemical: ETAC) 셀(cell)로서, 각 셀은 수용액을 보유하도록 구성되고 적어도 하나의 전극 조립체를 포함하고, 각 전극 조립체는 캐소드 전극 및 애노드 전극을 구비하고,

상기 2개 이상의 ETAC 셀은 전기 바이어스가 존재하는 상태에서 수소 가스를 생성하고, 바이어스가 없는 상태에서 산소 가스를 생성하도록 구성된, 상기 2개 이상의 전기화학적 열활성화 화학(ETAC) 셀, 및

미리 결정된 동작 패턴에 따라 상기 2개 이상의 셀을 동작시키고, 일부 셀에서 수소 가스를 생성하는 것과 동시에 다른 셀에서 산소 가스를 생성하도록 구성된 제어 유닛을 포함하는, 전기화학 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 시스템은,

2개 이상의 ETAC 셀로서, 각 셀은 수용액을 보유하도록 구성되고 적어도 하나의 전극 조립체를 포함하고, 각 전극 조립체는 캐소드 전극 및 애노드 전극을 구비하고,

상기 캐소드 전극은 인가된 전기 바이어스에 응답하여 상기 수용액에서 물을 환원시켜 수소 가스 및 수산화 이온을 생성하도록 구성되고,

상기 애노드 전극은 수산화 이온이 존재하는 상태에서 가역적으로 산화되고 바이어스가 없는 상태에서 환원되어 산소 가스를 생성할 수 있는, 상기 2개 이상의 ETAC 셀, 및

미리 결정된 동작 패턴에 따라 상기 2개 이상의 셀을 동작시키도록 구성된 제어 유닛을 포함하는, 전기화학 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, 열원 또는 열 교환기를 포함하는, 전기화학 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 미리 결정된 동작 패턴은 상기 시스템의 하나 이상의 동작 사이클을 허용하는, 전기화학 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 동작 패턴은 상기 2개 이상의 셀의 각 셀에 대해 모드 선택기와 동작 파라미터 선택기 중 적어도 하나의 선택기의 형태로 출력을 제공하는, 전기화학 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 동작 패턴은 상기 2개 이상의 셀 각각의 (i) 인가된 바이어스, (ii) 동작 타이밍, 및 (iii) 동작 지속 시간 중 적어도 하나를 포함하는 출력을 제공하는, 전기화학 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 동작 패턴은 상기 2개 이상의 셀 각각에 대한 온도 값을 추가로 제공하는, 전기화학 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서, 수소 가스 생성 모드 또는 산소 가스 생성 모드에서 또는 연속 수소 가스 생성 모드에서 동작 가능한, 전기화학 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 연속 수소 가스 생성 모드는, 제1 동작 사이클에서, 상기 2개 이상의 셀 중 적어도 하나의 셀에서 수소 가스를 생성하는 것과 병행하여 상기 2개 이상의 셀 중 적어도 하나의 상이한 셀에서 산소 가스를 생성하고, 제2 동작 사이클에서, 상기 2개 이상의 셀 중 상기 적어도 하나의 셀에서 산소 가스를 생성하는 것과 병행하여 상기 2개 이상의 셀 중 상기 적어도 하나의 상이한 셀에서 수소 가스를 생성하는 것을 포함하는, 전기화학 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 동작 패턴은, (i) 동일한 바이어스에서, (ii) 동일한 동작 타이밍 또는 상이한 동작 타이밍에서, (iii) 동일하거나 상이한 지속 시간에서 그리고 선택적으로 (iv) 동일하거나 상이한 온도에서 상기 셀들 중 2개 이상의 셀의 동작을 허용하는, 전기화학 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 2개 이상의 셀은 분리되어 유체 또는 가스 연통이 없는, 전기화학 시스템.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 시스템에서 수용액 및 가스를 순환시키도록 구성된 적어도 하나의 입구 및 적어도 하나의 출구를 추가로 포함하는, 전기화학 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 적어도 하나의 입구는 상기 2개 이상의 셀로 수용액을 수용하기 위한 것이고, 적어도 하나의 출구는 상기 2개 이상의 셀로부터 수용액 및/또는 가스를 배출하기 위한 것인, 전기화학 시스템.

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 2개 이상의 셀 중 적어도 2개의 셀은 격벽으로 분할되지 않은 셀인, 전기화학 시스템.

청구항 15

제1항에 있어서, 상기 전극 조립체는 단극 조립체(mono-polar assembly), 양극 조립체(bi-polar assembly), 플랫 조립체(flat assembly) 및 롤링식 조립체(rolled assembly)로부터 선택되는, 전기화학 시스템.

청구항 16

제1항에 있어서, 적어도 하나의 저장소를 포함하는, 전기화학 시스템.

청구항 17

제1항에 있어서, 상기 적어도 하나의 전극 조립체 각각에서 상기 캐소드 전극과 상기 애노드 전극 사이에 인가된 전기 바이어스는 25°C에서 측정 시 적어도 1.23V인, 전기화학 시스템.

청구항 18

수소 가스 및/또는 산소 가스를 생성하는 방법으로서,

2개 이상의 전기화학적 열활성화 화학(E-TAC) 셀을 포함하는 시스템에서, 각 셀은 수용액을 함유하고 각 셀은 캐소드 전극 및 애노드 전극을 갖는 전극 조립체를 포함하고,

- 상기 2개 이상의 셀 중 적어도 2개의 셀에 전기 바이어스를 인가하여 내부에서 수소 가스를 생성하는 단계; 및
- 상기 적어도 2개의 셀 중 하나 이상의 셀에서 바이어스를 중단하여 산소 가스의 생성을 유도하는 단계를 포함하고,

상기 방법은 미리 결정된 동작 패턴에 따라 동작 가능하고, 일부 셀에서 수소 가스를 생성하는 것과 동시에 다른 셀에서 산소 가스를 생성하는, 수소 가스 및/또는 산소 가스를 생성하는 방법.

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 수소 가스 및 산소 가스를 생성하기 위한 전기화학 셀(electrochemical cell) 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 삶의 질을 향상시키기 위해 재생 에너지와 청정 연료로 전이하는 것이 필요하다. 석유, 석탄 및 천연 가스와 같은 현재 에너지원은 세계 인구가 증가함에 따라 점점 고갈되는 유한 자원으로 고려된다. 물을 전기 분해하는 것이 에너지를 저장하는 데 유망한 기술을 나타내지만 이것은 현재 산소 발생 반응(oxygen evolution reaction: OER)의 과전압으로 인한 큰 전력 손실, 수소 구획과 산소 구획의 다양한 구성 요소와 관련된 비용과 같은 다양한 요인에 의해 제한된다. 더욱이, 전기 분해 기술의 현재 상태는 수소 생산 압력으로 제한된다.

[0003] 국제 특허 출원 공개 WO 2016/079746은 수용액으로부터 수소 가스를 생성하기 위한 시스템 및 방법을 설명한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) W02016/079746 A

발명의 내용

[0005] 본 발명은 시스템의 극성을 변경함이 없이, 공간적 및/또는 시간적으로 분리된 단계에서 수소 가스 및/또는 산소 가스를 생성할 수 있도록 구성된 복수의 전기화학 셀 또는 구획을 포함하는 전기화학적 열활성화 화학 셀 (electrochemical thermally activated chemical cell: E-TAC 셀) 또는 시스템을 개발하는 것에 기초한다. 본 발명의 셀 및/또는 시스템 및 이들 셀 및/또는 시스템을 동작시키기 위한 본 명세서에 설명된 방법은 생산될 가스의 유형, 즉, 수소 가스 또는 산소 가스를 제어할 수 있을 뿐만 아니라, 또한 연속적이고 중단 없이 이들 가스 중 하나 또는 이 둘 모두를 생산할 수 있는 능력을 제어할 수 있다.

[0006] 본 발명에 따르면, 복수의 셀 내 각각의 셀은 전극 조립체를 포함하고, 따라서 수소 gas와 산소 가스를 모두 생성할 수 있는 별도의 독립 유닛으로 작용한다. 본 명세서에 설명된 바와 같이, 수소 가스는 바이어스가 인가된 상태(여기서는 "수소 생성 모드")에서는 캐소드 전극 상의 전기화학 단계에서, 선택적으로 물을 환원시키는 것에 의해 생성되는 반면, 산소 가스는 바이어스가 없는 상태에서는 자발적인 화학 단계(여기서는 "산소 생성 모드")에서 선택적으로 시스템, 예를 들어, 전극 조립체(일부 실시형태에서, 애노드) 온도를 증가시키는 것에 의해 생성되고, 이에 의해 애노드 전극이 재생되고 프로세스가 반복될 수 있다.

[0007] 각각의 셀의 동작을 서로 독립적으로 조작하고 제어함으로써 일부 셀에서는 수소 가스가 생성될 수 있음과 동시에 다른 셀에서는 산소 가스가 생성될 수 있는 한편, 각각의 가스를 생산하는 것이 이후 변경되어 수소 가스를 생산한 셀에서 산소 가스가 생산될 수 있고 그 반대로도 동작 가능할 수 있다. 이를 통해 일부 셀에서 수소를 생성하는 것과 동시에 다른 셀에서 산소 가스를 생성하는 것이 가능하고, 이에 의해 연속적인 수소 가스 생산 또는 이산적인 수소 가스 생산이 가능하다. 이 생산 시퀀스는 전력(수소 가스 생산에 필요한 전력)을 신뢰성 있고 저렴하게 이용 가능한 경우에 수행되거나 또는 전력을 주기적으로(산소 가스 생산에는 전력이 필요하지 않음) 이용 가능하지 않거나 이용 가능한 기간 동안 수행될 수 있다.

[0008] 또한, 시스템은 서로 독립적으로 각 셀의 동작 타이밍 및 동작 지속 시간을 조정하는 능력을 제공한다.

[0009] 따라서, 본 발명의 제1 양태에 따르면, 본 발명은 수소 가스 및/또는 산소 가스를 생성하기 위한 시스템을 제공하고, 상기 시스템은, 2개 이상의 전기화학적 열활성화 화학 셀(여기서는 'E-TAC 셀')로서, 상기 2개 이상의 셀 각각은 수용액을 보유하도록 구성되고, 캐소드 전극과 애노드 전극을 갖는 전극 조립체를 포함하고, 상기 2개 이상의 셀은 전기 바이어스가 존재하는 상태에서 수소 가스를 생성하고 바이어스가 없는 상태에서 산소 가스를 생성하도록 구성된, 상기 2개 이상의 전기화학적 열활성화 화학 셀; 및 동작 패턴에 따라 상기 2개 이상의 셀을 동작시키도록 구성된 제어 유닛을 포함한다.

[0010] 본 발명의 시스템은 다수의 셀, 예를 들어, 복수의 셀 또는 적어도 2개의 셀 또는 2개 이상의 이러한 셀을 포함하고, 각각의 셀은 적어도 하나의 전극 조립체를 포함하고 수용액을 보유하도록 구성된 구획/용기의 형태이다. 본 발명의 시스템에서 셀의 수는 특히 의도된 동작, 동작 패턴 등에 기초하여 달라질 수 있다.

[0011] 본 명세서에 상세히 설명된 바와 같이, 각 셀은 셀에 전기 바이어스를 인가하는 동안(바이어스 ON) 수소 가스가 생성될 수 있고 바이어스가 인가되지 않은 상태(바이어스 OFF)에서 산소 가스가 자발적으로 생성될 수 있는 이중 기능을 갖도록 구성된다. 일부 실시형태에서, 2개 이상의 셀 중 적어도 하나의 셀은 격벽(partition)으로 분할되지 않거나, 적어도 하나의 셀은 격벽으로 분할된다. 다른 실시형태에서, 2개 이상의 셀 중 적어도 2개의 셀은 격벽으로 분할된다. 격벽이 하나 이상의 셀에 존재하는 경우 격벽은 이온을 자유로이 전달할 수 있는 형태이다. 따라서 격벽은 이온 교환막과 같은 막일 수 있다.

[0012] 일부 실시형태에서, 본 발명에 따른 2개 이상의 셀은 분리되어 본질적으로 이들 셀 사이에 유체 또는 가스 연통이 없다.

[0013] 본 명세서에 상세히 설명된 바와 같이, 2개 이상의 셀 각각은 애노드 및 캐소드를 포함하는 전극 조립체를 포함하고, 따라서 수소 gas와 산소 가스를 모두 생성하도록 구성된 단일 독립 유닛으로 작용할 수 있다. 2개 이상의 셀 각각은 전극과 전해질을 포함하는 반쪽 셀이 아님에 유의해야 한다. 일부 실시형태에서, 전극 조립체는 단극 조립체(mono-polar assembly), 양극 조립체(bi-polar assembly), 플랫 조립체(flat assembly) 및 롤링식 조립체(rolled assembly)로부터 선택된다.

[0014] 전극 조립체는 바이어스가 존재하는 상태에서 선택적으로 물을 환원시켜 수소 가스를 생성하고 추가로 수산화 이온을 생성하는 캐소드를 포함한다. 수소 가스를 생성하는 것은 염기성 pH, 산성 pH 또는 중성 pH 하에서 일어날 수 있다. 따라서, 물 매질은 산성, 중성 또는 염기성일 수 있으며 수돗물, 해수, 탄산염/중탄산염 완충액 또는 용액, 전해질이 풍부한 물 등에서 선택될 수 있다. 일부 실시형태에서, 캐소드는 물 분자를 환원시켜 수소 가스 및 선택적으로 수산화 이온을 생성하도록 구성된다. 일부 다른 실시형태에서, 캐소드는 수용액에서 수소 이온을 환원시켜 수소 가스를 생성한다. 캐소드는 현장에서 사용되는 금속 및 전극 재료로부터 선택된 재료일 수 있다. 전극 재료는 예를 들어 니켈, 레이니 니켈, 구리, 흑연, 백금, 팔라듐, 로듐, 코발트, MoS₂ 및 이들의 화합물로부터 선택될 수 있다. 일부 실시형태에서, 전극 재료는 카드뮴(Cd)도 아니고 카드뮴을 포함하지도 않는다. 일부 실시형태에서, 캐소드는 레이니 니켈, 구리, 흑연 또는 백금으로 구성된다.

[0015] 애노드는 캐소드와 동일한 전극 물질을 포함하거나 이로 구성될 수 있지만, 애노드의 재료는 본 발명에 따라 적어도 하나의 산화 환원 사이클(반응), 즉, 산화, 환원이 가능해야 한다. 다시 말해, 본 발명에 따른 애노드는 본 명세서에 설명된 조건 하에서 바이어스가 인가된 상태(애노드 충전)에서 산화 단계를 가역적으로 수행할 수 있고, 바이어스가 없는 상태에서 후속 환원 단계(애노드 재생)를 수행하여 산소 가스를 생성할 수 있다. 이에 후속하여 선택적으로 추가 산화 환원 사이클이 뒤따를 수 있다. "가역적으로" 또는 "가역성"이라는 용어는 전극과 관련하여 사용될 때 시스템의 극성을 반전시키지 않고 전극이 화학적으로 환원/산화되는 능력을 의미한다. 바이어스를 턴온/턴오프하는 것은 이 기술 분야에 알려진 바와 같은 극성의 반전을 구성하지 않는다. 따라서 애노드의 가역성은 전극 재료에 고유한 것이라고 말할 수 있다.

[0016] 산화 환원 반응은 양성자 교환을 포함해야 하기 때문에, 애노드 물질은 본 명세서에 추가로 개시된 바와 같이 수소 가역 전극(RHE)에 비해 1.23V 초과 및 1.8V 미만의 산화 환원 전위를 허용해야 한다. 바이어스 전압은 아래에 언급된 바와 같이 25°C에서 측정된다.

[0017] 따라서, 일부 실시형태에 따르면, 본 명세서에서 설명된 시스템은, 2개 이상의 셀로서, 각각의 셀은 수용액을 보유하도록 구성되고 적어도 하나의 전극 조립체를 포함하고, 각각의 전극 조립체는 캐소드 전극 및 애노드 전극을 갖고, 캐소드는 전기 바이어스의 인가에 반응하여 수용액에서 물을 환원시켜 수소 가스와 수산화 이온을 생성하도록 구성되고, 애노드는 수산화 이온이 존재하는 상태에서 가역적으로 산화되고 바이어스가 없는 상태에서 환원되어 산소 가스를 생성할 수 있는, 상기 2개 이상의 셀, 및 미리 결정된 동작 패턴에 따라 2개 이상의 셀을 동작시키도록 구성된 제어 유닛을 포함한다.

[0018] 본 명세서에 설명된 바와 같이, 애노드의 물질은 비-산화 또는 환원 상태, 산화 상태, 환원 상태 또는 임의의 중간 상태(예를 들어, 부분적으로 산화, 부분적으로 환원)에서 본 발명의 임의의 하나 이상의 셀에 제공될 수 있다. 산화된 상태 또는 부분적으로 산화된 상태에 있을 때 애노드 전극은 바이어스가 없는 상태에서 환원되어 산소 가스를 생성할 수 있다.

[0019] 이론에 얽매이기를 원함이 없이, 본 발명의 시스템에서 수소 가스 및 산소 가스를 생성하는 프로세스는 다음과 같이 광범위하게 설명될 수 있다:

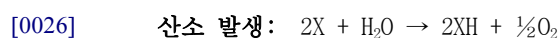
[0020] - 전기 분해에 의해 물을 환원시켜 수소 가스와 수산화 이온을 생성한다;

[0021] - 수산화 이온을 산화시켜 애노드 충전을 통해 산소 가스와 물을 생성한다; 그리고

[0022] - 물을 소비하고 산소를 생성하는 것에 의해 애노드를 재생한다.

[0023] 일반적으로 말하면, 애노드에 대한 반응 시퀀스는 다음 방식으로 표현될 수 있으며, 여기서 X는 본 명세서에 개시된 바와 같이 금속 또는 임의의 전극 물질을 나타낸다:

[0024] **염기성 환경에서:**



[0027] **산성 환경에서:**



- [0029] 산소 발생: $2X + H_2O \rightarrow 2XH + \frac{1}{2}O_2$
- [0030] 또는
- [0031] 염기성 환경에서:
- [0032] 애노드: $X + 2OH^- \rightarrow XO + H_2O + 2e^-$
- [0033] 산소 발생: $XO \rightarrow X + \frac{1}{2}O_2$
- [0034] 산성 환경에서:
- [0035] 애노드: $X + H_2O \rightarrow XO + 2H^+ + 2e^-$
- [0036] 산소 발생: $XO \rightarrow X + \frac{1}{2}O_2$
- [0037] 염기성 용액, 즉, pH>7인 용액에서 반응의 전체 시퀀스는 다음 방식으로 나타낼 수 있으며, 여기서 X는 Ni와 같은 금속을 나타낸다:
- [0038] 캐소드: $H_2O + e^- \rightarrow \frac{1}{2}H_2 + OH^-$
- [0039] 애노드: $X(OH)_2 + OH^- \rightarrow XOOH + H_2O + e^-$
- [0040] 산소 발생: $2XOOH + H_2O \rightarrow 2X(OH)_2 + \frac{1}{2}O_2$
- [0041] 산성 용액, 즉, pH<7인 용액에서 반응의 전체 시퀀스는 다음 방식으로 나타낼 수 있고, 여기서 X는 Ni와 같은 금속을 나타낸다:
- [0042] 캐소드: $H^+ + e^- \rightarrow \frac{1}{2}H_2$
- [0043] 애노드: $X(OH)_2 \rightarrow XOOH + H^+ + e^-$
- [0044] 산소 발생: $2XOOH + H_2O \rightarrow 2X(OH)_2 + \frac{1}{2}O_2$
- [0045] 예를 들어, 애노드의 재료는 칼슘, 스트론튬, 바륨, 코발트, 니켈, 팔라듐, 비스무트, 로듐 등의 산화물 및 수산화물로부터 유사한 방식으로 선택될 수 있다. 일부 실시형태에서, 캐소드의 재료와 애노드의 재료는 상이하다. 일부 실시형태에서, 임의의 전극의 재료는 Cd도 아니고 Cd를 포함하지도 않는다.
- [0046] 일부 실시형태에서, 애노드는 수산화니켈(Ni(OH)₂)을 포함하거나 이로 구성된다. 일부 실시형태에서, 수산화니켈 전극은 수산화 이온이 존재하는 상태(및 인가된 바이어스가 존재하는 상태)에서 옥시수산화니켈(NiOOH)로 가역적으로 산화될 수 있다.
- [0047] 일부 실시형태에서, 애노드 전극은 비-산화 상태(Ni(OH)₂), 산화 상태(NiOOH) 또는 임의의 중간 상태(예를 들어, 부분적으로 산화된 상태)에서 본 발명의 2개 이상의 셀에 존재할 수 있다.
- [0048] 산화된 애노드(즉, 옥시수산화니켈)는 전기 바이어스가 없는 상태에서 수산화니켈로 환원(애노드 재생)되어 산소 가스를 생성하고, 전기 바이어스가 존재하는 상태에서 산화(애노드 충전)되어 물을 생성하도록 구성된다.
- [0049] 일부 실시형태에서, 본 발명의 시스템은 수소 가스를 생성하도록 적응되거나 사용될 수 있다.
- [0050] 일부 실시형태에서, 시스템은 수소 가스 및 산소 가스를 생성하도록 적응되거나 사용될 수 있다.
- [0051] 일부 실시형태에서, 시스템은 산소 가스를 생성하도록 적응되거나 사용될 수 있다.
- [0052] 본 명세서에 개시된 바와 같이, 산소 가스는 수소 가스를 생성한 후 생성될 수 있고, 여기서 수용액은 애노드를 산화시킬 수 있는 적어도 하나의 활성 종, 예를 들어, 수산화 이온을 포함하고, 또는 시스템에서 적어도 하나의 셀이 이미 산화된 애노드 또는 부분적으로 산화된 애노드를 이용하는 경우 직접 생성될 수 있다. 따라서, 이러한 실시형태에 따르면, 시스템은, 2개 이상의 셀로서, 각각의 셀은 수용액을 보유하도록 구성되고 캐소드 및 산

화된 애노드 또는 부분적으로 산화된 애노드를 갖는 전극 조립체를 포함하며, 산화된 애노드는 전기 바이어스가 없는 상태에서 환원되어 산소 가스를 생성하도록 구성된, 상기 2개 이상의 셀, 및 미리 결정된 동작 패턴에 따라 상기 2개 이상의 셀을 동작시키도록 구성된 제어 유닛을 포함할 수 있다.

- [0053] 산화되지 않은 애노드 전극이 사용되는 경우나 전극이 완전히 산화되지 않은 경우, 수용액은 애노드를 산화시킬 수 있는 하나 이상의 활성 중, 예를 들어, 수산화 이온을 추가로 함유할 수 있다.
- [0054] 전기 바이어스, 인가된 바이어스 또는 시스템 바이어스는 본 발명의 시스템 내 2개 이상의 셀의 각 셀에서 각 전극 조립체에 수립된 인가된 전압 또는 직류 전류 또는 교류 전류를 지칭한다. 전기 바이어스는 시스템 동작에 필요하며 캐소드와 애노드 사이의 셀 내 전극 조립체에서 측정된다.
- [0055] 이해될 수 있는 바와 같이, 각 셀에는 적어도 하나의 전극 조립체가 장착되고, 각 조립체는 애노드와 캐소드를 포함한다. 각 전극 조립체에서 전기 바이어스는 1.23V 내지 2.2V이다. 시스템 바이어스 또는 셀 바이어스는 셀/시스템의 구성에 따라 달라진다. 셀이 단일 전극 조립체를 포함하는 단극 셀로 배열된 경우 바이어스는 1.23V 내지 2.2V일 수 있다. 셀이 적층된 배열, 즉, 2개 이상의 전극 조립체를 포함하는 양극 배열을 갖는 경우, 적층체에서 각 조립체는 1.23V 내지 2.2V의 바이어스를 가질 수 있고, 셀 바이어스는 셀 내 전극 조립체의 수에 따라 달라질 수 있다.
- [0056] 일부 실시형태에서, 인가된 전기 바이어스는 단일 전극 조립체의 경우 25℃에서 측정 시 적어도 1.23V이다. 일부 실시형태에서, 인가되는 바이어스는 단일 전극 조립체의 경우, 25℃에서 측정 시, 1.23V 내지 2.2V, 1.23V 내지 2V, 1.23V 내지 1.8V, 1.23V 내지 1.6V 또는 1.23V 내지 1.5V일 수 있다.
- [0057] 일부 실시형태에서, 전기 바이어스는 예를 들어 선택적으로 전압을 모니터링하도록 구성된 기준 전극인 추가 전극을 기준으로 측정된다. 기준 전극의 비 제한적인 예로는 표준 수소 전극(SHE), 일반 수소 전극(NHE), 가역 수소 전극(RHE), 포화 칼로멜 전극(SCE), 구리-황산구리(II) 전극(CSE), 염화은 전극, 팔라듐-수소 전극, 동적 수소 전극(DHE), 수은-황산수은 전극(MSE) 및 수은-산화수은(Hg/HgO)을 포함한다.
- [0058] 전기 바이어스가 없는 상태에서 산소 가스가 생성되면 E-TAC 셀이 턴오프되거나, 또는 전압 또는 전류 검출 장치의 검출 한계보다 더 낮은 전압 또는 직류 전류 하에서 동작된다. 일부 실시형태에서, 전기 바이어스가 없다는 것은 (단극 배열을 참조하여 언급된 바와 같이 그리고 이에 대응하여 양극 배열에 대해 앞서 규정된 바와 같이) 1.23V 미만의 임의의 바이어스이거나 또는 최대 1.23V의 임의의 값이다.
- [0059] 일부 실시형태에서, 시스템은 열원 또는 열 교환기를 추가로 포함한다. 열원 및/또는 열 교환기는 시스템의 적어도 하나의 구성 요소에서 측정된 시스템 온도, 예를 들어, 시스템 온도, 셀 온도, 전극 온도 또는 용액 온도를 설정하는 데 사용된다. 이론에 얽매이지 않을 수 있음이, 애노드 및/또는 수용액의 온도를 상승시킴으로써 산소 가스의 생성을 유도하거나 증가시키는 것이 제안된다. 따라서, 애노드 및/또는 수용액의 온도를 증가시키는 것은 산소 생성 모드 하에서 산소 가스의 발생을 제어하거나 조절하는 데 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 시스템 온도는 실온이다. 일부 다른 실시형태에서, 시스템 온도는 적어도 50℃, 때때로 적어도 60℃, 때때로 적어도 70℃, 때때로 적어도 80℃에서, 때때로 적어도 95℃, 때때로 50℃ 내지 95℃, 또는 때때로 60℃ 내지 95℃이다.
- [0060] 본 명세서에 설명된 시스템은 필요한 기능(예를 들어, 연속적인 수소 수요 또는 일시적인 수소 수요)에 따라 시스템의 동기화를 허용하는 제어 유닛을 포함한다. 제어 유닛은 입력 정보를 수신하고/하거나 출력 정보를 제공하기 위한 처리 유닛을 포함하는 시스템의 구성 요소이다. 제어 유닛은 물리적으로 또는 원격으로(예를 들어, 무선으로) 2개 이상의 셀 각각에 연결되고/되거나 전체 시스템에 연결될 수 있다. 제어 유닛은 컴퓨터 판독 가능 명령을 포함하는 컴퓨터와 같은 유형적인 매체에 연결될 수 있으며, 본 명세서에 상세히 설명된 바와 같이, 선택적으로 미리 결정된 알고리즘에 따라 입력을 삽입/수신하고/하거나 출력을 제시/제공하는 데 사용될 수 있는 제어 인터페이스(예를 들어, 패널)를 더 포함할 수 있다.
- [0061] 예시적인 제어 유닛의 개략적 표현이 도 1에 도시되어 있다. 제어 유닛(10)은 데이터 입력 구성 요소(14)로부터 데이터를 수신하는 프로세서(12); 데이터 출력 구성 요소(16); 및 하나 이상의 메모리 구성 요소(18)를 포함한다. 시스템 메모리는 프로세서에 결합될 수 있다. 제어 유닛은 시스템의 각 셀 및/또는 전체 시스템에 대해 제공된 입력 데이터에 기초하여 시스템의 동작을 허용한다는 점에 유의해야 한다. 예를 들어, 입력 데이터는 (i) 동작 전에 제어 유닛에 제공되거나 또는 (ii) 시스템 동작 동안 변할 수 있는 동적 입력 정보뿐만 아니라 셀/시스템 특징부 자체와 관련된 정적 입력 정보일 수 있다. 하나 이상의 센서 유닛이 더 포함될 수 있고, 센서 유닛은 각각의 셀 내에 분포되거나 또는 전체 시스템의 셀의 기능 또는 셀 그룹을 모니터링할 수 있다.

- [0062] 제어 유닛에 의해 삽입/수신되는 데이터 입력 정보는 시스템 센서로부터 직접 수신되거나 수동으로 삽입될 수 있는 시스템 입력 정보 중 적어도 하나이다. 이러한 정보는 2개 이상의 셀 각각과 관련될 수 있는데, 예를 들어, 2개 이상의 셀 각각의 부피, 전극 관련 정보, 예를 들어, 애노드 유형, 애노드 크기, 애노드 최대 용량, 애노드 최대 전압, 애노드 재생률, 캐소드 유형, 캐소드 크기, 캐소드 최대 용량, 캐소드 최대 전압, 캐소드 충전 속도, 애노드 및 캐소드 수명, 수용액 관련 정보, 예를 들어, 용액 pH, 용액 조성(선택적으로 내부에 존재하는 전해질), 수질, 저장 탱크 용량 등에 관한 것일 수 있다.
- [0063] 대안적으로 또는 추가적으로 제어 유닛에 의해 삽입/수신될 수 있는 입력 정보는 시스템 동작 동안 변경될 수 있는 임의의 입력 정보(동적 정보)이며, 이 정보는 셀/시스템의 동작과 관련이 있거나 또는 소비자 요인, 전기 사용 비용, 수소 또는 산소 소비율과 관련이 있는 외부 파라미터와 관련이 있을 수 있고; 이 정보는 인가된 바이어스, 수소 농도, 수소 흐름률, 산소 농도, 온도, 압력, pH, 수용액의 흐름률, 수소 순도, 산소 순도, 특정 가스에 대한 수요에 관한 정보를 추가로 포함할 수 있다. 각각의 동적 입력 정보는 2개 이상의 셀의 각 셀에서 측정되거나, 본 명세서에 상세히 설명된 시스템의 임의의 셀 그룹(2개 이상의 셀을 포함하는 각 그룹) 및/또는 임의의 구성 요소에 대해 측정되고/되거나 전체 시스템에 대해 측정될 수 있다는 점에 유의해야 한다.
- [0064] 본 명세서에 상세히 설명된 바와 같이, 입력 정보는 본 명세서에서 동작 패턴으로 지칭되는 시스템의 동작을 위한 출력 파라미터를 제공하는 데 사용된다. 동작 패턴은 2개 이상의 셀 내 각 셀에 대해, 임의의 셀 그룹(2개 이상의 셀을 포함하는 각 그룹)에 대해 그리고/또는 전체 시스템에 대해 독립적으로 선택된 임의의 결정론적인 일련의 출력 파라미터를 지칭한다. 동작 패턴에서 출력 파라미터는 시스템의 전체 동작을 결정한다. 일부 실시 형태에서, 동작 패턴은 시스템의 하나 이상의 동작 사이클을 허용한다.
- [0065] 동작 패턴은 시스템의 각 셀에 대한 모드 선택기와, 각 셀 및 특정 셀에서 선택된 각 모드에 대한 동작 파라미터 선택기 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 동작 파라미터 선택기의 비 제한적인 예는 각 셀의 동작 타이밍(동작 시작 시간), 각 셀의 동작 지속 시간(임의의 시간 단위로 동작 시작 시간으로부터 측정된 동작 기간의 길이) 또는 각 셀의 온도를 포함한다. 일부 실시 형태에서, 동작 패턴은 각 셀 또는 셀 그룹에 대해 (i) 시스템의 2개 이상의 셀 각각에 대한 모드 선택기(즉, 수소 가스 생성 모드 또는 산소 가스 생성 모드), (ii) 각 셀의 동작 타이밍(동작 시작 시간)(본 명세서에서 "t"로 표시), 및 (iii) 각 셀에서의 동작 지속 시간(임의의 시간 단위로 동작 시작 시간으로부터 측정된 동작 기간의 길이)(본 명세서에서 "q"로 표시) 중 적어도 하나를 포함한다. 이해되는 바와 같이, 시스템에서 2개 이상의 셀 각각에 대한 셀 바이어스 및 선택적으로 온도는 수소 생성 모드 및/또는 산소 생성 모드를 결정할 수 있다. 각 셀에 대한 모드 선택기는 시스템에서 2개 이상의 셀 각각의 동작 모드를 결정한다. 모드 선택기는 이진 모드로 주어질 수 있는데, 예를 들어, 수소 생성(바이어스 인가)의 경우 1로 주어지고, 산소 생성(바이어스 없음)의 경우 0으로 주어지거나 또는 그 반대로 주어질 수 있다.
- [0066] 일부 실시 형태에서, 동작 패턴은 각 셀 또는 셀 그룹에 대해 (i) 시스템에서 2개 이상의 셀 각각에 대한 셀 바이어스 또는 인가된 전류(본 명세서에서 "v"(또는 "i")로 표시), (ii) 시스템에서 2개 이상의 셀 각각의 동작 타이밍(t)(동작 시작 시간), 및 (iii) 시스템에서 2개 이상의 셀 각각에서 동작 지속 시간(q)(임의의 시간 단위로 측정된 동작 기간의 길이) 중 적어도 하나를 포함한다. 이해되는 바와 같이, 시스템에서 2개 이상의 셀 각각에 대한 셀 바이어스는 수소 생성 모드 및/또는 산소 생성 모드를 결정할 수 있다.
- [0067] 위에서 언급한 3개의 파라미터((i) 내지 (iii))의 조합을 통해 시스템은 여러 모드, 즉, (i) 산소 가스가 셀에서 생산되는지 여부와 독립적으로 동작 패턴이 수소 가스를 생성하는 수단을 포함하는 수소 동작 모드; (ii) 수소 가스가 셀에서 생산되는지 여부와 독립적으로 동작 패턴이 산소 가스를 생성하는 수단을 포함하는 산소 동작 모드; 및 (iii) 수소 가스와 산소 가스가 상이한 셀에서 병렬로 생산되거나 또는 상이한 셀에서 그리고 동일한 셀에서 순차적으로 생산되는 혼합 또는 결합 모드 중 하나의 모드에서 동작될 수 있다. 수소 생성 모드에서 동작하는 셀의 수와 산소 생성 모드에서 동작하는 셀의 수는 시스템의 전체 동작 모드, 예를 들어, (i) 수소 동작 모드, (ii) 산소 동작 모드 및 (iii) 혼합 또는 결합 모드 중 임의의 모드를 결정할 수 있다.
- [0068] 제어 유닛은 예를 들어, 동작 시작 전(미리 결정된 동작 패턴), 동작 동안(적용 가능한 동작 패턴), 또는 임의의 시점에, 예를 들어, 수요 변화 시 또는 오동작 또는 시스템 동작에 문제가 발생했을 때 제공되는 동작 패턴에 따라 시스템을 동작시키도록 구성된다.
- [0069] 예시적인 동작 패턴은 임의의 수의 셀, 예를 들어, j개의 셀을 고려할 수 있으며, 따라서 j개의 행을 갖는 수(셀의 수), 및 j개의 셀 내 각 셀이 동작되는 횟수(본 명세서에서 "동작 사이클"이라고 함)를 나타내는 i개의 열을 갖는 다중 파라미터 행렬로 표시될 수 있다. 이해되는 바와 같이, 본 명세서에 설명된 시스템은 2개 이상

의 셀을 포함하고 그리하여 최소값으로 j 는 2개의 셀을 나타내는 2로 설정된다.

- [0070] 파라미터(j, i)의 조합을 갖는 행렬(X)의 각 원소(member)는 셀 바이어스, 동작 타이밍 및 동작 지속 시간을 포함하는 변수의 조합에 의해 규정될 수 있다. 행렬의 각 원소 내 추가 파라미터는 온도, 압력, 전해질 농도, 전해질 흐름, 순환 단계, 플러싱(flushing) 단계 등을 포함할 수 있다.
- [0071] 따라서, 각각의 X_{ji} 는 (v, t, q)로 규정될 수 있으며, 여기서 v 는 셀 바이어스를 나타내고, t 는 (미리 정해진 시간 "0"으로부터) 동작의 타이밍을 규정하고, q 는 동작의 지속 시간("t"에 설정된 시간으로부터 측정된 시간 길이)을 규정한다.
- [0072] 일부 실시형태에서, 각각의 X_{ji} 는 (v, t, q, T)에 의해 규정될 수 있으며, 여기서 v 는 셀 바이어스를 나타내고, t 는 동작 타이밍을 규정하고, q 는 동작 지속 시간을 규정하고, T 는 온도를 규정한다. 시스템에서 2개 이상의 셀 각각의 셀 바이어스(v)는 각 셀의 동작 모드를 결정한다. 예를 들어, 임계값 바이어스를 초과하는, 예를 들어, 1.23V를 초과하는 셀 바이어스에서는 수소 가스가 생성되고(수소 생성 모드), 임계값 미만, 예를 들어 1.23V 미만인 셀 바이어스에서는 산소 가스가 생성된다(산소 생성 모드). 이해되는 바와 같이, 임계값 바이어스는 시스템 특성 및 배열에 의존하고 그에 따라 조절될 수 있다.
- [0073] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 동일한 바이어스에서, 동일한 동작 타이밍 또는 상이한 동작 타이밍에서 그리고 동일하거나 상이한 지속 시간 동안 그리고 선택적으로 동일하거나 상이한 온도에서 2개 이상의 셀의 동작을 허용한다.
- [0074] 일부 실시형태에서, 셀 바이어스는 이진 모드로 주어질 수 있는, 예를 들어, 수소를 생성하는 경우(바이어스 인가) 1로 주어지고, 산소를 생성하는 경우(바이어스 없음) 0으로 주어지거나 그 반대로 주어질 수 있는 동작 모드(w)로 대체되거나 이와 조합하여 사용될 수 있다.
- [0075] 동작 시간 " t " 및 동작 지속 시간 " q "는 선택적으로 미리 정해진 설정에 따라 시간 단위에 의해 각각 제공된다. 예를 들어, t 및 q 는 초, 분 및 시(hour) 단위로 독립적으로 선택될 수 있다.
- [0076] 따라서, j 개의 셀의 단일 동작의 경우 동작 패턴은 $j \times 1$ 행렬(즉, 단일 (하나의) 동작에 대해 하나의 열을 갖는 행렬)로 표현될 수 있으며, 각 행은 2개 이상의 셀 각각에 대한 셀 바이어스, 동작 타이밍 및 동작 지속 시간을 나타내는 적어도 3개의 숫자 항목으로 표현될 수 있다. 본 명세서에 언급된 셀 바이어스는 셀 각각의 동작 모드를 결정한다. 동작 타이밍 및 동작 지속 시간은 각 동작 모드에 대해 동일하거나 상이하게 규정될 수 있다. 유사하게, 셀 바이어스(v) 또는 대응하는 이진 모드 정보(w)는 2개 이상의 셀 각각에 대해 동일하거나 상이할 수 있다. 다중 파라미터 행렬에서 동작 타이밍(t) 및 지속 시간(q)은 동작 모드(즉, 수소 생성 또는 산소 생성)에 관계없이 값으로 제공되지만, 명확성을 위해 수소 생성 모드에서 동작하는 셀에 대해서는 본 설명에 따라 동작 타이밍 및 동작 지속 시간은 (t_n, q_n)으로 표시되는 반면, 산소 생성 모드에서 동작하는 셀에 대해서는 동작 타이밍과 동작 지속 시간은 (t_m, q_m)으로 표시된다. 따라서 각 동작 패턴은 j 개의 셀 또는 셀 그룹의 각 셀에 대해 또는 전체 시스템에 대해 시점(t 및 q)을 조합하는 것에 의해 규정될 수 있다.
- [0077] j 개의 셀을 포함하는 예시적인 시스템에서, t_n 은 각각의 셀(예를 들어, 임계값을 초과하는 셀 바이어스)에서 수소 생성으로 동작하는 셀의 동작 타이밍을 특성화하는 시점의 어레이를 규정하여, $t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$ 각각은 본질적으로 동일하거나 상이하도록 독립적으로 선택된다. 산소 생성 모드에서 동작하는 시스템의 셀의 경우 산소 생성 셀에 대한 각각의 t_n 값은 0으로 제공되고 그 반대로도 가능한 것으로 이해된다. 본 명세서에서 사용된 "본질적으로 동일한"이라는 용어는 1% 내지 50%의 값의 변동을 포함한다.
- [0078] 본 명세서에 설명된 시스템은, 산소 가스가 시스템에서 생성되는지 여부와는 독립적으로, 수소 가스를 생성하도록, 즉, 수소 동작 모드에서 동작 가능할 수 있다.
- [0079] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점($t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$) 중 적어도 1%, 3%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 40%, 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 수소 가스가 생성됨) 본질적으로 동일하도록 동작하게 한다. 일부 다른 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점($t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$) 중 적어도 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 수소 가스가 생성됨) 본질적으로 동일하도록 동작하게 한다. 각각의 동작 지속 시간(q_n)은 서로 독립적으로 선택되고 각각에 대해 서로 동일하거나 상이할 수 있다.

[0080] 상기 파라미터 각각을 조합함으로써, 시스템은 수소 가스 생성 또는 산소 가스 생성의 이산적인 모드에서 또는 수소 가스 생성의 연속 모드에서 동작하도록 조정될 수 있다. 수소 가스 생성의 이산적인 모드는 2개 이상의 셀 중 50%를 초과하는 셀이 수소 생성 모드에서 동작하는 조건에서 달성될 수 있다. 예를 들어, 4개의 셀이 한번 동작하는 시스템(즉, 4×1의 차원을 가진 행렬(X))의 경우, 동작 패턴은 다음과 같은 표현을 가질 수 있다:

1.48, 3, 100
 1.48, 3, 100
 1.48, 3, 100
 1.48, 3, 100

[0081]

[0082] V=1.23V의 임계값에 대해 이러한 동작 패턴은 시간 "0"으로부터 t=3초(또는 분 또는 시)에서 시작하여 수소 모드(v가 임계값을 초과함)에서 모두 4개의 셀을 동시에 동작시키도록 시스템을 조정하고, 각 셀은 q=100초(또는 분 또는 시) 동안 동작한다.

[0083] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점(t_{n1}, t_{n2}...t_{nj}) 중 적어도 1%, 3%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 40%, 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 수소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 한다. 일부 다른 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점(t_{n1}, t_{n2}...t_{nj}) 중 적어도 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 수소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 한다. 각각의 동작 지속 시간(q_n)은 서로 독립적으로 선택되고 서로 동일하거나 상이할 수 있다.

[0084] t_{n1}, t_{n2}...t_{nj} 및 q_{n1}, q_{n2}...q_{nj}는 다음 동작들 중 적어도 하나의 동작을 허용하도록 (미리 결정되거나 또는 동작 동안) 결정된다는 것이 주목된다.

[0085] - 수소 가스 생성은 수소 생성 모드에서 동작하는 2개 이상의 셀에서 동일한 타이밍(유사한 t_n)에서 시작되고, 2개 이상의 셀 각각에서 동일하거나 상이한 지속 시간 동안 있고, 또는

[0086] - 수소 가스의 생성은 수소 생성 모드에서 동작하는 2개 이상의 셀에서 상이한 시간(상이한 t_n)에 시작되고, 2개 이상의 셀 각각에서 동일하거나 상이한 기간 동안 있다.

[0087] 따라서, 예를 들어, 2개 이상의 셀은 본질적으로 동일한 t_n에서 시작하고, 상이한 지속 기간(즉, 상이한 q_{ns}) 동안 동작한다.

[0088] 대안적으로, 2개 이상의 셀은 상이한 t_n에서 시작하고, 동일하거나 상이한 지속 시간(즉, 상이한 q_{ns}) 동안 동작한다. 이 옵션을 사용하면 수소 생성 모드에서 동작하는 셀이 상이한 타이밍에 수소 생성을 시작함에도 불구하고 동시에 수소 생성을 중지할 수 있다.

[0089] 예를 들어, 3개의 셀이 한번 동작하는 시스템(즉, 3×1의 차원을 가진 행렬(X))의 경우, 동작 패턴은 수소 가스의 이산적인 생성을 가능하게 하는 다음 표현을 가질 수 있다.

1.48, 3, 100
 1.48, 7, 96
 1.48, 1, 90

[0090]

[0091] 본 명세서에 설명된 시스템은 수소 가스가 시스템에서 생성되는지 여부와 독립적으로 산소 가스를 생성하도록, 즉, 산소 동작 모드에서 동작 가능할 수 있다. 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점(t_{m1}, t_{m2}...t_{mj}) 중 적어도 1%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 산소 가스가 생성됨) 본질적으로 동일하도록 동작하게 한다. 일부 다른 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점(t_{n1}, t_{n2}...t_{nj}) 중 적어도 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 산소 가스가 생성됨) 본질적으로 동일하도록 동작하게 한다.

- [0092] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점($t_{m1}, t_{m2} \dots t_{mj}$) 중 적어도 1%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 산소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 한다. 일부 다른 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점($t_{n1}, t_{n2} \dots t_{nj}$) 중 적어도 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 산소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 한다.
- [0093] 각각의 동작 지속 시간(q_m)은 서로 독립적으로 선택되고, 각각의 t_m 마다 동일하거나 상이할 수 있다.
- [0094] 본 명세서에 설명된 시스템은 수소 가스 및 산소 가스를 모두 동시에 생성하도록, 즉, 수소 동작 모드 및 산소 동작 모드에서 동작 가능할 수 있다. 명확성을 위해, 각각의 동작 모드는 시스템의 2개 이상의 셀로부터 상이한 셀(들)에서 동시에 동작된다는 점에 유의해야 한다.
- [0095] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점($t_{n1}, t_{n2} \dots t_{nj}$) 중 적어도 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 수소 가스가 생성됨) 본질적으로 동일하도록 동작하게 하는 한편, 나머지 셀, 즉, 시점($t_{m1}, t_{m2} \dots t_{mj}$) 중 기껏 95%, 90%, 85%, 80%, 75%, 70%, 65%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10%가 존재하거나 전혀 존재하지 않고(예를 들어, 산소 가스가 생성됨) 본질적으로 동일하도록 동작하게 한다. 각각의 동작 지속 시간(q_n)은 서로 독립적으로 선택되고 각각의 t_n 마다 동일하거나 상이할 수 있다. 각각의 동작 지속 시간(q_m)은 서로 독립적으로 선택되고 각각의 t_m 마다 동일하거나 상이할 수 있다.
- [0096] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점($t_{n1}, t_{n2} \dots t_{nj}$) 중 적어도 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 수소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 하는 한편, 나머지 셀, 즉, 시점($t_{m1}, t_{m2} \dots t_{mj}$) 중 기껏 95%, 90%, 85%, 80%, 75%, 70%, 65%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10%가 존재하거나 전혀 존재하지 않고(예를 들어, 산소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 한다. 각각의 동작 지속 시간(q_n)은 서로 독립적으로 선택되고 각각의 t_n 마다 동일하거나 상이할 수 있다. 각각의 동작 지속 시간(q_m)은 서로 독립적으로 선택되고 각각의 t_m 마다 동일하거나 상이할 수 있다.
- [0097] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점($t_{n1}, t_{n2} \dots t_{nj}$) 중 적어도 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 수소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 하는 한편, 나머지 셀, 즉, 시점($t_{m1}, t_{m2} \dots t_{mj}$) 중 기껏 95%, 90%, 85%, 80%, 75%, 70%, 65%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10%가 존재하거나 전혀 존재하지 않고(예를 들어, 산소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 한다. 각각의 동작 지속 시간(q_n)은 각각의 t_n 마다 동일하도록 선택된다. 각각의 동작 지속 시간(q_m)은 각각의 t_m 마다 동일하도록 선택된다.
- [0098] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점($t_{n1}, t_{n2} \dots t_{nj}$) 중 적어도 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 수소 가스가 생성됨) 본질적으로 동일하도록 동작하게 하는 한편, 나머지 셀, 즉, 시점($t_{m1}, t_{m2} \dots t_{mj}$) 중 기껏 50%, 40%, 30%, 20%, 10%가 존재하거나 전혀 존재하지 않고(예를 들어, 산소 가스가 생성됨) 본질적으로 동일하도록 동작하게 한다. 각각의 동작 지속 시간(q_n)은 서로 독립적으로 선택되고 각각의 t_n 마다 동일하거나 상이할 수 있다. 각각의 동작 지속 시간(q_m)은 서로 독립적으로 선택되고 각각의 t_m 마다 동일하거나 상이할 수 있다.
- [0099] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점($t_{n1}, t_{n2} \dots t_{nj}$) 중 적어도 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 수소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 하는 한편, 나머지 셀, 즉, 시점($t_{m1}, t_{m2} \dots t_{mj}$) 중 기껏 50%, 40%, 30%, 20%, 10%가 존재하거나 전혀 존재하지 않고(예를 들어, 산소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 한다. 각각의 동작 지속 시간(q_n)은 서로 독립적으로 선택되고 각각의 t_n 마다 동일하거나 상이할 수 있다. 각각의 동작 지속 시간(q_m)은 서로 독립적으로 선택되고 각각의 t_m 마다 동일하거나 상이할 수 있다.
- [0100] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점($t_{n1}, t_{n2} \dots t_{nj}$) 중 적어도 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 존재하고(예를 들어, 수소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 하는 한편, 나머지 셀, 즉, 시점($t_{m1},$

$t_{m2} \dots t_{mj}$) 중 기껏 50%, 40%, 30%, 20%, 10%가 존재하거나 전혀 존재하지 않고(예를 들어, 산소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 한다. 각각의 동작 지속 시간(q_n)은 각각의 t_n 마다 동일하도록 선택된다. 각각의 동작 지속 시간(q_m)은 각각의 t_m 마다 동일하도록 선택된다.

[0101] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점($t_{n1}, t_{n2} \dots t_{nj}$) 중 적어도 50%, 60%, 70%, 80% 또는 90%가 존재하고(예를 들어, 수소 가스가 생성됨) 본질적으로 동일하도록 동작하게 하는 한편, 나머지 셀, 즉, 시점($t_{m1}, t_{m2} \dots t_{mj}$) 중 기껏 50%, 40%, 30%, 20% 또는 10%가 존재하고(예를 들어, 산소 가스가 생성됨) 본질적으로 동일하도록 동작하게 한다. 각각의 동작 지속 시간(q_n)은 서로 독립적으로 선택되고 각각의 t_n 마다 동일하거나 상이할 수 있다. 각각의 동작 지속 시간(q_m)은 서로 독립적으로 선택되고 각각의 t_m 마다 동일하거나 상이할 수 있다.

[0102] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점($t_{n1}, t_{n2} \dots t_{nj}$) 중 적어도 50%, 60%, 70%, 80% 또는 90%가 존재하고(예를 들어, 수소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 하는 한편, 나머지 셀, 즉, 시점($t_{m1}, t_{m2} \dots t_{mj}$) 중 기껏 50%, 40%, 30%, 20% 또는 10%가 존재하고(예를 들어, 산소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 한다. 각각의 동작 지속 시간(q_n)은 서로 독립적으로 선택되고 각각의 t_n 마다 동일하거나 상이할 수 있다. 각각의 동작 지속 시간(q_m)은 서로 독립적으로 선택되고 각각의 t_m 마다 동일하거나 상이할 수 있다.

[0103] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 시스템이 시점($t_{n1}, t_{n2} \dots t_{nj}$) 중 적어도 50%, 60%, 70%, 80% 또는 90%가 존재하고(예를 들어, 수소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 하는 한편, 나머지 셀, 즉, 시점($t_{m1}, t_{m2} \dots t_{mj}$) 중 기껏 50%, 40%, 30%, 20% 또는 10%가 존재하고(예를 들어, 산소 가스가 생성됨) 상이하도록 동작하게 한다. 각각의 동작 지속 시간(q_n)은 각각의 t_n 마다 동일하도록 선택된다. 각각의 동작 지속 시간(q_m)은 각각의 t_m 마다 동일하도록 선택된다.

[0104] 시점($t_{n1}, t_{n2} \dots t_{nj}$ 또는 $t_{m1}, t_{m2} \dots t_{mj}$)이 본질적으로 동일하다고 언급할 때, 가장 늦은 시점은 시간 지속 시간의 짧은 값 내에 시작되어야 하는 것으로 이해된다.

[0105] 예를 들어, 4개의 셀이 한번 동작하는 시스템(즉, 행렬(X)은 4×1 차원을 갖는 1열 행렬임)의 경우 동작 패턴은 다음 표현을 가질 수 있다:

1.48, 3, 100
 1.48, 4, 100
 0.5, 4, 96
 0.5, 3, 100

- [0106]
- [0107] $v=1.23V$ 의 임계값에 대해 이러한 동작 패턴은 다음과 같이 동작하도록 시스템을 조정한다:
- [0108] 셀 1: 시간 "0"으로부터 $t=3$ 초(또는 분 또는 시)에서 시작하여 100초(또는 분 또는 시)의 지속 시간 동안 수소 가스(v 가 임계값을 초과함)를 생성한다;
- [0109] 셀 2: 시간 "0"으로부터 $t=4$ 초(또는 분 또는 시)에서 시작하여 100초(또는 분 또는 시)의 지속 시간 동안 수소 가스(v 가 임계값을 초과함)를 생성한다;
- [0110] 셀 3: 시간 "0"으로부터 $t=4$ 초(또는 분 또는 시)에서 시작하여 96초(또는 분 또는 시)의 지속 시간 동안 산소 가스(v 가 임계값 미만)를 생성한다;
- [0111] 셀 4: 시간 "0"으로부터 $t=3$ 초(또는 분 또는 시)에서 시작하여 100초(또는 분 또는 시)의 지속 시간 동안 산소 가스(v 가 임계값 미만)를 생성한다.
- [0112] 시점(t_n) 및/또는 시점(t_m)이 반복되는 횟수, 즉, 수소 생성 및/또는 산소 가스의 공정이 개시되는 횟수는 본 명세서에서 동작 사이클(i)로 지칭된다. 이 용어는 시스템에서 가스가 생성되는 횟수를 규정하는 정수로 표시될 수 있다.

[0113] 단순화를 위해 수소 가스와 산소 가스를 동시에 생성하는 시스템에서 동작 사이클(i)은 시점(t_n)이 반복되는 횟수를 지칭한다. 다시 말해, 동작 사이클(i)은 바이어스가 인가되어 수소 가스를 생성할 수 있는 횟수를 나타낸다. 동작 패턴은 시점(t_n)이 i번 반복되도록 하는 데, 즉, 시스템이 i개의 동작 사이클을 갖게 한다.

[0114] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 동작 타이밍(t_{m1}, \dots, t_{mj}) 각각이 시간 지속 시간(q_m) 동안 있도록 할 수 있다. 지속 시간은 2개의 연속 동작 사이클 사이의 임의의 시간 기간과 같거나 상이할 수 있는 지속 시간($q_1 \dots q_j$)의 어레이로 표시될 수 있다. 동작 패턴은 동작 지속 시간($q_1 \dots q_j$) 각각이 독립적으로 선택될 수 있게 한다.

[0115] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 동작 지속 시간($q_1 \dots q_j$) 중 적어도 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)이 동일하도록 하는 수단을 포함한다.

[0116] 일부 실시형태에서, 동작 패턴은 유사한 방식으로 동작 타이밍(t_{m1}, \dots, t_{mj}) 각각이 시간 지속 시간(q_m) 동안 있도록 한다.

[0117] 연속적인 동작 사이클에서 동일한 셀에서 수소 가스와 산소 가스를 번갈아 생성하는 것을 통해 수소 가스를 연속적으로 생성하는 것이 가능하다. 예를 들어, 4개의 셀($j=4$)이 두 번($i=2$) 동작하는 시스템의 경우 동작 패턴은 다음과 같은 4×2 행렬 표현을 가질 수 있다:

1.48, 3, 100	0.5, 105, 100
1.48, 4, 100	0.6, 105, 120
0.5, 4, 96	1.5, 104, 150
0.5, 3, 100	1.5, 104, 100

[0118]

[0119] 상기 예시적인 옵션에서 $v=1.23V$ 의 임계값에 대한 동작 패턴은 다음과 같이 동작하도록 시스템을 조정한다:

[0120] 제1 동작 사이클($i=1$):

[0121] 셀 1: 시간 "0"으로부터 $t=3$ 초(또는 분 또는 시)에서 시작하여 100초(또는 분 또는 시)의 지속 시간 동안 수소 가스(v 가 임계값을 초과함)를 생성한다;

[0122] 셀 2: 시간 "0"으로부터 $t=4$ 초(또는 분 또는 시)에서 시작하여 100초(또는 분 또는 시)의 지속 시간 동안 수소 가스(v 가 임계값을 초과함)를 생성한다;

[0123] 셀 3: 시간 "0"으로부터 $t=4$ 초(또는 분 또는 시)에서 시작하여 96초(또는 분 또는 시)의 지속 시간 동안 산소 가스(v 가 임계값 미만)를 생성한다;

[0124] 셀 4: 시간 "0"으로부터 $t=3$ 초(또는 분 또는 시)에서 시작하여 100초(또는 분 또는 시)의 지속 시간 동안 산소 가스(v 가 임계값 미만)를 생성한다;

[0125] 제2 동작 사이클($i=2$):

[0126] 셀 1: 시간 "0"으로부터 $t=105$ 초(또는 분 또는 시)에서 시작하여 100초(또는 분 또는 시)의 지속 시간 동안 산소 가스(v 가 임계값 미만)를 생성한다; - 이 생성 동안 애노드가 재생된다;

[0127] 셀 2: 시간 "0"으로부터 $t=105$ 초(또는 분 또는 시)에서 시작하여 120초(또는 분 또는 시)의 지속 시간 동안 산소 가스(v 가 임계값 미만)를 생성한다; - 이 생성 동안 애노드가 재생된다;

[0128] 셀 3: 시간 "0"으로부터 $t=104$ 초(또는 분 또는 시)에서 시작하여 150초(또는 분 또는 시)의 지속 시간 동안 수소 가스(v 가 임계값을 초과함)를 생성한다;

[0129] 셀 4: 시간 "0"으로부터 $t=104$ 초(또는 분 또는 시)에서 시작하여 100초(또는 분 또는 시)의 지속 시간 동안 수소 가스(v 가 임계값을 초과함)를 생성한다.

[0130] 이해되는 바와 같이, 이러한 동작 패턴은 임의의 변경이 허용되는 상태에서 여러 번 반복될 수 있다.

[0131] 동작이 동일한 방식으로 다시 반복되는 경우 이러한 동작은 1번 반복될 수 있다.

[0132] 수소 가스를 연속적으로 생성하는 동안, $i=1$ 에서 수소 생성 모드에서 동작하는 셀 중 적어도 일부의 셀은 $i=2$ 에

서 재생되고 i=3에서 수소 가스를 생성하는 것은 i=4에서 재생되는 등 이와 같이 계속된다.

- [0133] 일부 실시형태에서, i=3에서의 동작은 i=1에서의 동작과 동일하고 i=4에서의 동작은 i=2, I=2에서의 동작과 동일하다.
- [0134] 이와 같이 그리고 일부 실시형태에 따르면, 수소 가스를 연속적으로 생성하는 동안, 수소 생성 셀의 수가 적어도 산소 생성 셀의 수와 같을 경우 시스템의 최적 동작이 얻어진다.
- [0135] 일부 실시형태에서, 연속 모드는 제1 동작 사이클에서 적어도 2개의 셀 중 적어도 하나의 셀에서 수소를 생성하는 것과 병행하여 적어도 2개의 셀 중 적어도 다른 셀에서 산소 가스를 생성하고, 제2 동작 사이클에서, 제1 동작 사이클에서 수소 가스가 생성된 적어도 2개의 셀 중 적어도 하나의 셀에서 산소 가스를 생성하는 것과 병행하여 제1 동작 사이클에서 산소 가스가 생성된 적어도 2개의 셀 중 적어도 하나의 셀에서 수소를 생성하는 것을 포함한다.
- [0136] 본 명세서에 설명된 시스템의 일 실시형태가 도 2에 도시되어 있다. 시스템(20)은 이 특정 실시형태에서 2개의 E-TAC 셀(30, 40)을 포함하지만, 2개를 초과하는 이러한 셀을 포함할 수 있다. 시스템은 파이프 조립체(50), 수용액을 보유하기 위한 적어도 하나의 액체 저장소(60)를 추가로 포함하고, 이 액체 저장소는 전체 시스템에 공통될 수 있으며 액체-가스 분리기((70) 및 (80))에 용액을 공급할 수 있다. 액체-가스 분리기((70) 및 (80))는 수소 가스 또는 산소 가스를 포함하는 별개의 전해질 저장소를 제공한다. 액체-가스 분리기((70) 및 (80))는 동작 모드에 따라 셀로부터 용액을 공급하거나 수용한다. 액체-가스 분리기((70) 및 (80))는 발생된 가스가 수성 매질로부터 분리되어 가스 저장소(도시되지 않음)로 전달되도록 제공한다. 시스템과 관련된 제어 유닛(10)은 도 1에 예시적으로 설명되어 있다. 2개의 셀(30, 40) 각각은 적어도 하나의 입구(32, 34 및 42, 44)와 적어도 하나의 출구(각각 36, 38 및 46, 48)를 포함한다.
- [0137] 또한 액체-가스 분리기((70) 및 (80))에 더하여, 본 명세서에 설명된 시스템은 추가적인 분리를 포함할 수 있다. 도 2b는 추가적인 탈 혼합(de-mixing) 분리기(190)를 포함하는 본 명세서에 설명된 시스템의 일례를 도시한다. 시스템(120)은 이 특정 실시형태에서 2개의 E-TAC 셀(130, 140)을 포함하지만, 2개를 초과하는 이러한 셀, 도 2a와 관련하여 설명된 바와 같은 파이프 조립체(500) 및 액체-가스 분리기((170) 및 (180))를 포함할 수 있다. 파이프 조립체(500, 도 2b에 도시됨)는 액체-가스 분리기(170, 180, 190)에 각각 연결된 3개의 별개의 파이프 하위 조립체(501, 502, 503)를 포함한다. 이 실시형태에 따른 시스템은 탈 혼합 분리기(190)를 포함한다. 액체-가스 분리기(170, 180, 190)는 산소(170), 수소(180) 또는 이 둘 다(190)의 작은 잔류물을 포함하는 별개의 전해질 저장소를 제공한다. 전해질 온도는 수소 액체-가스 분리기(180)의 경우 60°C 미만으로 유지되고, 산소 액체-가스 분리기의 경우 60°C를 초과하여 유지된다. 탈 혼합 분리기(190)는 40°C 내지 70°C의 온도로 유지된다. 이러한 온도는 상대적으로 저온이어서, (i) 수소 가스 생성과 산소 가스 생성 사이에 2개 이상의 셀을 플래싱(flushing)함으로써 수소와 산소가 혼합되는 것을 방지하는 것, (ii) 수소 가스 생성에 필요한 전해질이 셀로 전달되기 전에 산소 가스의 생성을 종료하는 것, 및 (iii) 전환 열 손실을 줄이는 열 저장을 제공하는 것 중 적어도 하나가 가능한 것이 제안된다.
- [0138] 시스템과 관련된 제어 유닛(10)은 도 1에 예시적으로 설명되어 있다. 2개의 셀(130, 140) 각각은 각각 적어도 하나의 입구(132 및 142) 및 적어도 하나의 출구(각각 136 및 146)를 포함한다.
- [0139] 본 명세서에 설명된 바와 같이, 2개 이상의 셀 각각은, 임의의 형상을 가지거나 특정 형상 및 구조로 구성될 수 있는 애노드 전극 및 캐소드 전극을 포함하는 전극 조립체를 포함한다.
- [0140] 본 명세서에 설명된 바와 같이, 2개 이상의 셀 각각은 수소를 생성하기 위한 바이어스(전압, 전력)를 제공하고 가스를 생성하는 데 필요한 전해질이 전극 조립체로 흐를 수 있도록 설계될 수 있다. 일부 실시형태에서, 전압은 셀의 양측/단부에서 연결을 통해 전극 조립체로 전달될 수 있다. 도 2c는 상단부 또는 하단부에 애노드 전극(220)과 캐소드 전극(240) 연결을 포함하는 ETAC 셀(200)의 일례를 도시한다.
- [0141] 일부 실시형태에서, 애노드 전극 또는 캐소드 전극 중 적어도 하나는 편평한 형상을 갖고 함께 조립된다. 도 2d 및 도 2e는 애노드 전극이 상부 접점에 연결되고 캐소드 전극이 하부 접점에 연결되거나 또는 그 반대로 연결된 전극 조립체의 일례를 도시한다.
- [0142] 일부 실시형태에서, 애노드 전극 또는 캐소드 전극 중 적어도 하나는 롤링식 전극으로 조립되고, 전극 조립체는 애노드 전극, 캐소드 전극 및 선택적으로 적어도 하나의 비-전도성 분리가 함께 롤링된 것을 포함한다. 도 2f는 셀 내 롤링식 전극 조립체의 일례를 도시한다.

- [0143] 본 발명의 실시형태에 따른 시스템은 2개 이상의 E-TAC 셀을 포함하고, 각각의 셀은 수용액을 보유하도록 구성되고, 적어도 하나의 입구, 적어도 하나의 출구, 및 파이프 조립체를 포함하고, 상기 파이프 조립체는 고온 전해질을 보유하도록 구성된 산소 액체 가스 분리기/액체 저장소로부터 수용액이 E-TAC 셀 각각으로 흐를 수 있도록 구성된 액체 연통 채널, 파이프; 및 저온 전해질을 보유하도록 구성된 수소 액체 가스 분리기/액체 저장소로부터 수용액이 E-TAC 셀로 흐를 수 있도록 구성된 액체 연통 채널, 파이프를 포함한다. 또한, 수소 액체 가스 분리기 및/또는 E-TAC 셀 각각으로부터 수소 가스를 수소 가스를 보유하기 위한 가스 저장소로 흐를 수 있도록 구성된 가스 연통 채널, 파이프, 및 산소 액체 가스 분리기 및/또는 E-TAC 셀 각각으로부터 산소 가스를 산소 가스를 보유하기 위한 가스 저장소로 흐를 수 있도록 구성된 가스 연통 채널, 파이프가 더 포함될 수 있다.
- [0144] * 2개 이상의 셀 각각으로 들어가고 이로부터 나가는 흐름(예를 들어, 흐름 방향 및 흐름률(속도)을 포함함)은 본 명세서에서 집합적으로 순환 패턴으로 지칭된다.
- [0145] 적어도 하나의 입구 및 적어도 하나의 출구는 시스템에서 수용액 및 가스를 순환하도록 구성된다. 2개 이상의 셀 각각으로 들어가고 이로부터 나가는 흐름(예를 들어, 흐름 방향 및 흐름률(속도)을 포함함)은 본 명세서에서 집합적으로 순환 패턴으로 지칭된다.
- [0146] 일부 실시형태에서, 적어도 하나의 입구는 수용액을 2개 이상의 셀에 수용하기 위한 것이고, 적어도 하나의 출구는 2개 이상의 셀로부터 수용액 및/또는 가스를 배출하기 위한 것이다.
- [0147] 수용액은 물을 전기 분해하는 데 사용하기에 적합한 임의의 수용액이다. 일부 실시형태에서, 전해질 용액인 수용액은 금속 전해질을 포함한다. 일부 실시형태에서, 전해질은 Li, Na, K, Rb, Cs, Ca, Sr 또는 Ba, 또는 그의 염 또는 수산화물로부터 선택된다. 일부 실시형태에서, 금속은 알칼리 금속이다. 일부 실시형태에서, 전해질은 금속 수산화물을 포함한다. 일부 실시형태에서, 금속 수산화물은 NaOH 또는 KOH이다. 일부 실시형태에서, 금속 수산화물 전해질은 KOH이다. 일부 실시형태에서, 수용액은 탄산염-중탄산염 완충 전해질이다. 일부 실시형태에서, 수용액은 pH 7 초과, 선택적으로 적어도 8, 선택적으로 적어도 9, 선택적으로 적어도 10, 선택적으로 적어도 11, 선택적으로 적어도 12, 선택적으로 적어도 13, 선택적으로 적어도 14를 특징으로 한다. 일부 실시형태에서, 수용액은 산성 용액이다.
- [0148] 일부 실시형태에서, 순환 패턴은 2개 이상의 구획 각각으로 수용액이 흐르는 것일 수 있다. 일부 실시형태에서, 순환 패턴은 2개 이상의 구획 각각으로부터 가스가 흐르는 것일 수 있다. 이해되는 바와 같이, 순환 패턴은 2개 이상의 셀에서 각각의 셀에 대해 독립적으로 규정된다. 일부 실시형태에서, 순환 패턴은 산소 생성을 증가시키기 위해 고온 전해질이 2개 이상의 셀 중 적어도 하나의 셀로 순환하는 것을 허용한다.
- [0149] 일부 양태에 따르면, 본 발명은 수소 가스를 생성하는 방법을 제공하고, 상기 방법은,
- [0150] 2개 이상의 전기화학적 열활성화 셀(E-TAC 셀)을 포함하는 시스템에서, 각각의 셀은 수용액을 포함하고 각각의 셀은 캐소드 전극 및 애노드 전극을 구비하는 전극 조립체를 포함하고,
- [0151] 제1 시점에서 상기 2개 이상의 셀 중 적어도 2개의 셀에 전기 바이어스를 인가하여 물을 환원시켜 수소 가스를 생성하는 단계; 및
- [0152] 상이한 시점에서 상기 2개 이상의 셀 중 적어도 다른 셀에 전기 바이어스를 인가하여 물을 환원시켜 수소 가스를 생성하는 단계를 포함하고,
- [0153] 상기 방법은 미리 결정된 동작 패턴에 따라 동작 가능하다.
- [0154] 일부 실시형태에 따르면, 상이한 시점은 제1 시점보다 빠르거나, 늦거나 또는 동일하다.
- [0155] 일부 실시형태에서, 방법은 수소를 연속적으로 생성하는 단계를 포함한다.
- [0156] 일부 다른 양태에 따르면, 본 발명은 수소 가스 및/또는 산소 가스를 생성하는 방법을 제공하고, 상기 방법은,
- [0157] 2개 이상의 전기화학적 열활성화 셀(E-TAC 셀)을 포함하는 시스템에서, 각 셀은 수용액을 포함하고 각 셀은 캐소드 전극 및 애노드 전극을 갖는 전극 조립체를 포함하고,
- [0158] - 2개 이상의 셀 중 적어도 2개의 셀에 전기 바이어스를 인가하여 내부에서 수소 가스를 생성하는 단계; 및
- [0159] - 2개 이상의 셀 중 하나 이상의 셀에서 바이어스를 중단하여 산소 가스의 생성을 유도하는 단계를 포함하고, 상기 방법은 미리 결정된 동작 패턴에 따라 동작 가능하다.

- [0160] 일부 실시형태에서, 방법은,
- [0161] - 제1 시점에서 상기 2개 이상의 셀 중 적어도 하나의 셀에 전기 바이어스를 인가하여 물을 환원시켜 수소 가스를 생성하는 단계; 및
- [0162] - 제2 시점에서 상기 2개 이상의 셀 중 상기 하나의 셀에서 바이어스를 중단하여 애노드 전극을 가역적으로 산화시켜 산소 가스를 생성하면서, 상기 제2 시점에서 상기 2개 이상의 셀 중 적어도 다른 셀에 전기 바이어스를 인가하여 물을 환원시켜 수소 가스를 생성하는 단계를 포함하고, 여기서 제2 시점은 제1 시점보다 더 늦다.
- [0163] 일부 실시형태에서, 방법은 적어도 2개의 동작 사이클을 포함하고, 각각의 동작 사이클은 수소 가스 및 산소 가스를 생성하는 것을 포함하고, 각각의 가스는 상이한 셀에서 생성된다.
- [0164] 일부 실시형태에서, 상기 방법은 제3 시점에서 상기 2개 이상의 셀 중 상기 하나의 셀에 전기 바이어스를 인가하여 물을 환원시켜 수소 가스를 생성하면서, 상기 제3 시점에서 상기 2개 이상의 셀 중 상기 적어도 다른 셀에서 바이어스를 중단하여 애노드 전극을 가역적으로 산화시켜 산소 가스를 생성하는 단계를 추가로 포함하고, 여기서 제3 시점은 제2 시점보다 더 늦고, 각각의 셀은 수소 가스 및/또는 산소 가스의 생성을 허용하기 위해 미리 결정된 동작 패턴에 따라 동작하도록 구성된다.
- [0165] 일부 다른 양태에 따르면, 본 발명은 수소 가스 및/또는 산소 가스를 생성하는 방법을 제공하고, 상기 방법은,
- [0166] - j개의 E-TAC 셀을 포함하는 시스템에서, 각 셀은 수용액을 포함하고 각 셀은 캐소드 전극 및 애노드 전극을 갖는 전극 조립체를 포함하고,
- [0167] - j개의 셀 중 적어도 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 40%, 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 100%의 셀에 전기 바이어스를 인가하여 내부에서 수소 가스를 생성하는 단계를 포함하고, 상기 방법은 미리 결정된 동작 패턴에 따라 동작 가능하다.
- [0168] 일부 실시형태에 따르면, 방법은 본질적으로 동일한 시점(동작 타이밍)($t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$)에서 j개의 셀 중 적어도 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 40%, 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 100%의 셀에 전기 바이어스(셀 바이어스)를 인가하여 시간 지속 시간($q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{nj}$) 동안 물을 환원시켜 수소 가스를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0169] 일부 실시형태에 따르면, 방법은 상이한 시점(동작 타이밍)($t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$)에서 j개의 셀 중 적어도 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 40%, 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 100%의 셀에 전기 바이어스(셀 바이어스)를 인가하여 시간 지속 시간($q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{nj}$) 동안 물을 환원시켜 수소 가스를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0170] 이러한 실시형태에 따르면, 방법은, 본질적으로 동일한 시점(동작 타이밍) $t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$ 에서 j개의 셀 중 적어도 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)의 셀에 바이어스를 인가하여 물을 환원시켜 수소 가스를 생성하여 시간 지속 시간($q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{nj}$) 동안 수소 가스를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0171] 이러한 실시형태에 따르면, 방법은 상이한 시점(동작 타이밍) $t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$ 에서 j개의 셀 중 적어도 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)의 셀에 바이어스를 인가하여 물을 환원시켜 수소 가스를 생성하여 유사하거나 상이한 시간 지속 시간($q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{nj}$) 동안 수소 가스를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0172] 이러한 실시형태에 따르면, 방법은 본질적으로 동일한 시점(동작 타이밍) $t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$ 에서 j개의 셀 중 적어도 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)의 셀에 바이어스를 인가하여 물을 환원시켜 수소 가스를 생성하여 시간 지속 시간($q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{nj}$) 동안 수소 가스를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0173] 이러한 실시형태에 따르면, 방법은 상이한 시점(동작 타이밍) $t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$ 에서 j개의 셀 중 적어도 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 각각(100%)의 셀에 바이어스를 인가하여 물을 환원시켜 수소 가스를 생성하여 시간 지속 시간($q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{nj}$) 동안 수소 가스를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0174] 일부 실시형태에서, 시간 지속 시간은 $q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{nj}$ 각각에 대해 동일할 수 있다. 일부 다른 실시형태에서, 시간 지속 시간은 $q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{nj}$ 각각에 대해 상이하도록 독립적으로 선택될 수 있다.
- [0175] 일부 실시형태에서, 방법은 시점(동작 타이밍) $t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mj}$ 에서 j개의 셀 중 적어도 5%, 10%, 15%, 20%, 25%,

40% 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 100%의 셀에서 전기 바이어스를 중단하거나 미리 결정된 임계값 미만의 전기 바이어스를 인가하여 시간 지속 시간($q_{m1}, q_{m2}, \dots, q_{mj}$) 동안 산소를 생성하는 단계를 포함한다.

[0176] 일부 실시형태에서, 동작 타이밍($t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mj}$)은 각각의 t_m 마다 동일하거나 상이할 수 있다. 일부 실시형태에서, 시간 지속 시간($q_{m1}, q_{m2}, \dots, q_{mj}$)은 각각의 q_m 마다 동일하거나 상이할 수 있다.

[0177] 일부 실시형태에서, 방법은 본질적으로 동일한 시점(동작 타이밍) $t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$ 에서 j 개의 셀 중 50%의 셀에 바이어스를 인가하여 물을 환원시켜 수소 가스를 생성하여 시간 지속 시간 동안($q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{nj}$) 동안 수소 가스를 생성함과 동시에, 시점(동작 타이밍) $t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mj}$ 에서 j 개의 셀 중 50%의 셀에서 전기 바이어스를 중단하거나 또는 미리 정해진 임계값 미만의 전기 바이어스를 인가하여 시간 지속 시간($q_{m1}, q_{m2}, \dots, q_{mj}$) 동안 산소를 생성하는 단계를 포함하고, 여기서 존재하는 경우 시점($t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$)과 존재하는 경우 시점($t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mj}$)은 본질적으로 동일하다.

[0178] 일부 실시형태에서, 방법은 산소 가스의 생성을 허용하기 위해 시점($t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mj}$)에서 임계값 미만의 바이어스가 인가되는 j 개의 셀 중 적어도 50%의 셀에 열을 가하는 단계를 포함한다.

[0179] 일부 실시형태에서, 방법은 i 개의 동작 사이클 동안 시스템을 동작시키는 단계를 포함하고; 동작 사이클 1 동안 시점($t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$)에서 j 개의 셀 중 적어도 50%의 셀에 임계값을 초과하는 바이어스를 인가하여 지속 시간($q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{nj}$) 동안 수소 가스를 생성하는 단계; 및 시점($t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mj}$)에서 j 개의 셀 중 적어도 50%의 셀에서 바이어스를 중단하거나 임계값 미만의 바이어스를 인가하여 지속 시간($q_{m1}, q_{m2}, \dots, q_{mj}$) 동안 산소 가스를 생성하는 단계를 포함하고, 여기서 존재하는 경우 시점($t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$)과 존재하는 경우 시점($t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mj}$)은 본질적으로 동일하다. 일부 실시형태에서, 방법은 동작 사이클 2 동안 시점($t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$)에서 j 개의 셀 중 적어도 50%의 셀에 임계값을 초과하는 바이어스를 인가하여 지속 시간($q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{nj}$) 동안 수소 가스를 생성하는 단계; 및 시점($t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mj}$)에서 j 개의 셀 중 적어도 50%의 셀에 임계값 미만의 바이어스를 인가하여 지속 시간($q_{m1}, q_{m2}, \dots, q_{mj}$) 동안 산소 가스를 생성하는 단계를 포함하고, 여기서 존재하는 경우 시점($t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nj}$)과 존재하는 경우 시점($t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mj}$)은 본질적으로 동일하고, 사이클 1에서 임계값 미만의 바이어스가 인가된 셀에 사이클 2에서 임계값을 초과하는 바이어스가 인가되도록 한다.

[0180] 일부 실시형태에서, 방법은 산소 가스의 생성을 허용하기 위해 임의의 시점($t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mj}$)에서 임계값 미만의 바이어스가 인가되는 j 개의 셀 중 적어도 50%의 셀을 가열하는 단계를 포함한다.

[0181] 일부 실시형태에서, 방법은 중단 없이 연속적으로 시퀀스를 여러 번 반복하는 단계를 포함한다.

[0182] 일부 실시형태에서, 수소 가스를 생성하는 방법은,

- [0183] • 저온 전해질 용액을 순환시키는 단계,
- [0184] • 2개 이상의 셀 중 적어도 하나의 셀에 전기 바이어스를 인가하여 수소를 생성하는 단계,
- [0185] • 인가된 바이어스를 닫고 바이어스 없이 저온 전해질을 순환시키는 단계, 및
- [0186] • 저온 전해질의 순환을 중지시키는 단계를 포함한다.

[0187] 일부 실시형태에서, 산소 가스를 생성하는 방법은,

- [0188] • 바이어스가 인가된 상태에서 고온 전해질 용액을 순환시키는 단계, 및
- [0189] • 고온 전해질의 순환을 중지시키는 단계를 포함한다.

[0190] 일부 실시형태에 따르면, 방법은 바이어스를 중단한 후에 수행되는 탈 혼합 단계를 추가로 포함한다.

[0191] 일부 실시형태에서, 탈 혼합 단계는 전해질 용액 또는 물을 2개 이상의 셀 중 하나의 셀로 흐르게 하는 단계를 포함한다. 일부 실시형태에서, 방법은 고온 및/또는 저온 전해질 용액을 2개 이상의 셀 중 하나의 셀로 흐르게

한 다음 불활성 가스(예를 들어, 질소)를 흐르게 하는 단계를 포함한다.

- [0192] 일부 실시형태에서, 탈 혼합 단계는 전기 분해 셀을 플러싱하기 위해 물을 흐르게 하는 단계를 포함한다.
- [0193] 일부 실시형태에서, 탈 혼합 단계는 수소 가스를 생성하는 것에 이어서,
- [0194]
 - 전해액을 저온 저장소로 순환시키는 단계,
- [0195]
 - 선택적으로 질소의 배기를 허용하는 단계, 및
- [0196]
 - 고온 저장소로부터 고온 전해질을 순환시키는 단계를 포함한다.
- [0197] 일부 실시형태에서, 탈 혼합 단계는 산소 가스를 생성하는 것에 이어서,
- [0198]
 - 전해질을 고온 저장소로 순환시키는 단계,
- [0199]
 - 선택적으로 질소의 배기를 허용하는 단계, 및
- [0200]
 - 저온 저장소로부터 저온 전해질을 순환시키는 단계를 포함한다.

도면의 간단한 설명

- [0201] 본 명세서에 개시된 주제를 더 잘 이해하고 본 주제를 실제로 수행할 수 있는 방법을 예시하기 위해, 이제 실시 형태가 첨부된 도면을 참조하여 단지 비 제한적인 예로서 설명된다.
 도 1은 입력 데이터, 출력 데이터, 메모리 및 프로세서를 포함하는 본 명세서에 설명된 시스템의 제어 유닛의 개략도;
 도 2a 내지 도 2f는 본 명세서에 설명된 시스템(도 2a 및 도 2b) 및 이 시스템의 다양한 구성 요소; E-TAC(도 2c) 및 전극 조립체(도 2d 내지 도 2f)의 예시적인 실시형태의 개략도; 및
 도 3은 본 명세서에 개시된 E-TAC 시스템의 낮은 에너지 소비량을 보여주는 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0202] **비-제한적인 실시예**
- [0203] **실시예 1 - 전기 전력 소비량**
- [0204] 이 실험은 E-TAC 시스템의 에너지 소비량을 측정하는 것을 목표로 한다.
- [0205] 실험은 4개의 E-TAC 사이클의 시퀀스를 포함하였다. 각 사이클 동안 수소는 도 3에 제시된 바와 같이 전위차계에 의해 공급되는 전기 에너지를 소비하면서 전기화학적으로 생산된다.
- [0206] 4개의 E-TAC 사이클 동안 43.4 ml의 순수 수소가 생산되었으며 154.3 mWh(39.5 kWh/kg(3.55 kWh/Nm³)에 해당)만을 소비했다. 전기 전력 소비량은 인가된 전압과 전류의 곱이다. 생산된 수소는 각 사이클 동안 전달된 전하와 수소 전기화학 반응(HER)에 따라 계산된다:
- [0207] $4H_2O + 4e^- \rightarrow 2H_2 + 4OH^-$
- [0208] 이 실험은 E-TAC 기반 전기 분해 시스템의 (전기 전력에 의한) 낮은 에너지 소비량을 보여준다.
- [0209] **실시예 2 - E-TAC 프로세스의 열 평형:**
- [0210] 아래 표는 E-TAC 공정(Macdonald & Challingsworth, n.d.; Silverman, 1981)의 열역학적 특성을 요약한 것이다:

	반응	ΔG (kJ/mol 수소) [전압 (V)]	ΔH (kJ/mol 수소) [전압 (V)]
단계 1: 전기 화학적 수소 발생	$2Ni(OH)_2 \rightarrow 2NiOOH + H_2$	274.7 [1.42]	301.1 [1.56]
단계 2: 화학적 산소 발생	$2NiOOH + H_2O \rightarrow 2Ni(OH)_2 + \frac{1}{2}O_2$	-37.6	-15.3
총: 물 분리	$H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2}O_2$	237.2 [1.23]	285.8 [1.48]

[0211]

[0212]

표에 제시된 열역학적 데이터에 따르면, 전기화학적 수소 발생 반응은 비-자발적이고, 1.56V 미만의 셀 전압의 경우 환경으로부터 열을 흡수한다. 한편 화학적 산소 발생 반응은 자발적이고 발열적이며 환경으로 열을 방출한다. 따라서 (반응 열역학만을 고려하면) 저온 수소 발생 단계의 경우, 셀 전압이 1.56V를 초과하지 않으면 셀 온도는 동작과 함께 감소하고, 고온 산소 발생 단계의 경우 발열 반응으로 인해 셀 온도가 상승한다.

[0213]

단계 1: 전기화학적 수소 생산

[0214]

수소 생성 단계에 필요한 총 에너지는 $\Delta H = \Delta G + T\Delta S$ 로 주어지고, 여기서 ΔH 는 반응 엔탈피이고, ΔG 는 깁스(Gibbs)의 자유 에너지 또는 전기 요구 사항이며, $T\Delta S = \Delta Q_{in}$ 은 일정한 온도(T)에서 열 요구 사항이다. $T\Delta S$ 와 동일한 열 요구 사항은 전기적으로 공급될 수 있으며, 이 경우 셀 동작은 단열 상태이다. 따라서, 수소 생성 단계에서 단열 조건은 $V_{셀}=1.56V$ 에서 달성된다. 1.56V 미만에서 시스템은 흡열성이며 환경으로부터 열을 흡수하고, 시스템을 효과적으로 냉각시킨다. 셀을 실온에 유지하려면 다음 수식에 따라 열을 공급해야 한다:

$$\Delta Q = \Delta H - P_{전기} =$$

$$(1.56 - V_{셀})(V) \times 2 \left(\frac{mol e^-}{mol H_2} \right) \times 96485 \left(\frac{C}{mol} \right) \times 1 \left(\frac{J}{C \times V} \right) \times 10^{-3} \left(\frac{kJ}{J} \right)$$

$$\Delta Q = (1.56 - V_{셀})(V) \times 192.97 \left(\frac{kJ}{mol \text{ 수소}} \right)$$

[0215]

$$\Delta Q@1.48V = (1.56 - 1.48) \times 192.97 \left(\frac{kJ}{mol \text{ 수소}} \right) = 15.4 \left(\frac{kJ}{mol \text{ 수소}} \right)$$

[0216]

단계 2: 화학적 산소 생산

[0217]

산소 생성 단계는 발열성이며 환경으로 열을 방출한다.

[0218]

$$\Delta Q = \Delta H = -15.3 \left(\frac{kJ}{mol \text{ 수소}} \right)$$

[0219]

물과 옥시수산화니켈은 실온으로부터 공정 온도(최소 60°C)로 가열해야 하지만 방출되는 열은 25°C에서 계산된 것과 같다.

[0220]

재생 반응 후 산소가 셀로부터 방출되어 셀은 실온으로 다시 냉각되고 수산화니켈은 수소 생산을 위해 저온 전해질에 다시 놓인다. 따라서, 엔탈피 변화의 합은 25°C, $\Delta H^\circ_{rxn} = -15.3 \text{ kJ/mol } H_2$ 에서 재생 반응 엔탈피 변화와 같다.

[0221]

발열 산소 생성에 의해 방출되는 열은 $V_{셀}=1.48V$ 에서 흡열 수소 생산에 필요한 열과 같다. 이 결과 1.48V가 물 분리를 위한 열 중립 전압이 된다.

[0222]

화학 반응 가열에 더하여 물 공급을 가열하는 것도 고려해야 한다(산소 생산 동안 물이 소비됨). 물 공급을 (산

소 생성의 촉진을 위해) 90℃로 가열하는 데 필요한 열을 추정하기 위해 다음 조치를 취했다:

[0223] 1. 물을 실온(25C)으로부터 90C로 가열했다.

[0224] 2. E-TAC 셀을 격리했다 - 단열 과정.

[0225] 반응에 의해 소비된 물에 저장된 모든 열은 O₂와 함께 물이 빠져나가면서 손실되는 것으로 가정했다. 이 손실된 열은 빠져나가는 산소 가스로부터 열을 포획하기 위해 열 교환기를 추가함으로써 재사용될 수 있다.

[0226] 1몰의 수소를 생산하기 위해 1몰의 물을 25C로부터 90℃로 가열한다.

$$C_p(\text{물}, K) = 52.928 + 47.614 \cdot 10^{-3} \cdot T - 7.238 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 \left(\frac{J}{mol} \right)$$

$$Q = m \int_{298}^{373} C_p dT = 4.03 \left(\frac{kJ}{mol \text{ 수소}} \right)$$

[0227] 이 계산에 사용된 모든 C_p 데이터는 문헌[Macdonald, Digby D(1993). Macdonald, Digby D., and Mark L. Challingsworth. "Thermodynamics of Nickel-Cadmium and Nickel-Hydrogen Batteries". Journal of the Electrochemical Society 140.3(1993): 606-609]에 설명되어 있다.

[0229] 산소와 수소 생산 단계 사이의 전환

[0230] 화학 반응에 의해 소비되고 방출되는 열에 더하여 E-TAC 셀을 가열하고 냉각시키는 것도 고려해야 한다.

[0231] 수소와 산소 생산 단계를 전환하는 동안 E-TAC 셀의 가열 및 냉각을 추정하기 위해 다음 조치를 취했다:

[0232] 1. 셀을 실온(25℃)으로부터 90℃로 냉각 또는 가열했다.

[0233] 2. E-TAC 셀을 격리했다 - 단열 과정. 따라서 전극만이 온도를 변경한다.

[0234] 3. 애노드 및 캐소드 기판은 니켈 폼이었다.

[0235] 4. 애노드는 1:2 몰 비율의 니켈 폼 대 Ni(OH)₂이다. 지금까지 제조된 전극은 1:1 비율이지만 1:2 비율이 선호되고 도달 범위 내에 있다.

[0236] 1몰의 수소를 생산하기 위해서는 2몰의 Ni(OH)₂가 필요하다. 따라서 애노드와 캐소드에서 2몰의 니켈과 2몰의 Ni(OH)₂가 전환 동안 함께 가열되고 냉각되었다.

$$C_p(\text{Ni}, K) = 26.07 \left(\frac{J}{mol} \right); C_p(\text{Ni(OH)}_2, K) = 92.33 \left(\frac{J}{mol} \right)$$

$$Q = m \int_{298}^{373} C_p dT = 2 \cdot 26.07 \cdot 65 + 2 \cdot 92.33 \cdot 65 = 15.4 \left(\frac{kJ}{mol \text{ 수소}} \right)$$

[0237] 이 계산에 사용된 모든 C_p 데이터는 문헌[Macdonald, Digby D(1993)]에 설명되어 있다.

[0239] 전체 E-TAC 사이클

[0240] 반응 열역학과 물과 전극의 가열 및 냉각을 모두 고려하면 다음과 같은 사실이 밝혀졌다:

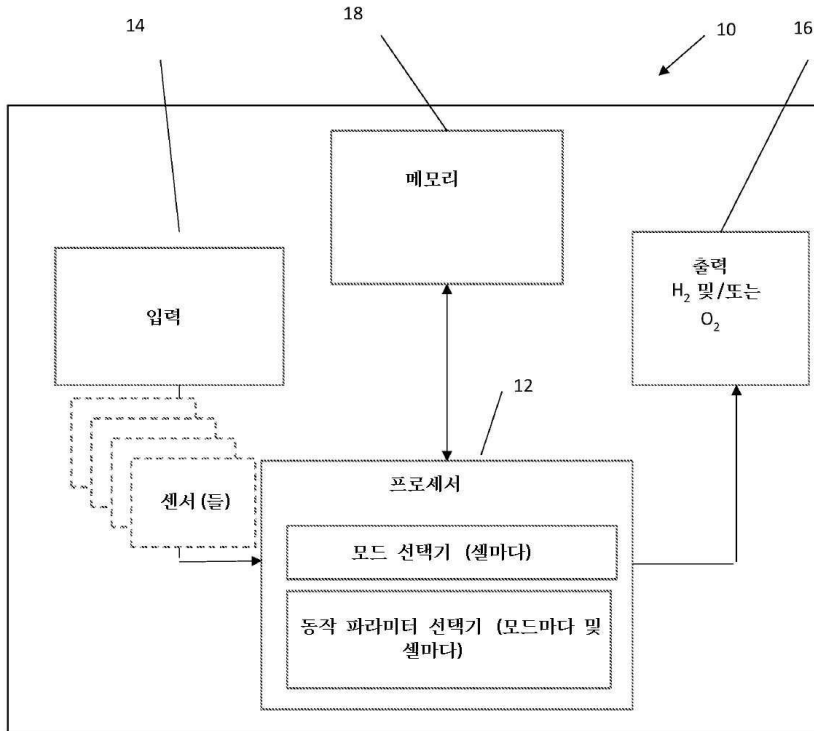
[0241] 수소 생산 동안 반응은 15.4 $\left(\frac{kJ}{mol \text{ 수소}} \right)$ 를 소비하고, 전극을 90℃로부터 25℃로 냉각시키면 약 15.4 $\left(\frac{kJ}{mol \text{ 수소}} \right)$ 가 방출된다. 따라서, 수소 생산은 열 중립적인 것으로 예상된다. 그럼에도 불구하고, 실제 조건에서 이 단계는 약간의 가열 또는 냉각이 필요할 수 있으며, 이는 동작 전압 또는 일부 공기 냉각의 약간의 변화로 쉽게 달성될 수 있다.

[0242] 산소 생산 동안 반응은 15.3 $\left(\frac{kJ}{mol \text{ 수소}} \right)$ 을 방출하고, 전극 및 물 공급을 90℃로부터 25℃로 가열하면 19.4

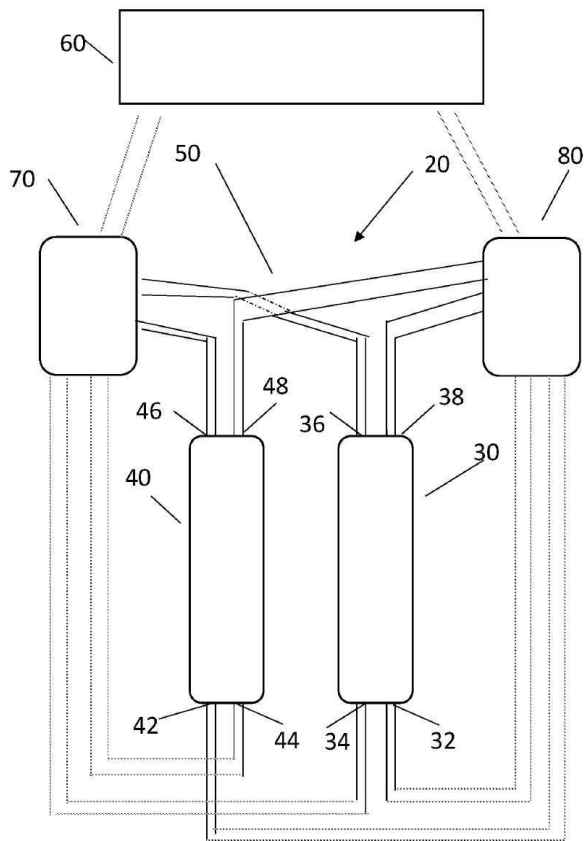
$\left(\frac{kJ}{mol \text{ 수소}}\right)$ 가 소비된다. 따라서, 생산된 물 수소에 저장된 284 kJ의 1.4%에 불과한 과잉 4.1 $\left(\frac{kJ}{mol \text{ 수소}}\right)$ 을 제 공하려면 약간의 가열이 필요하다.

도면

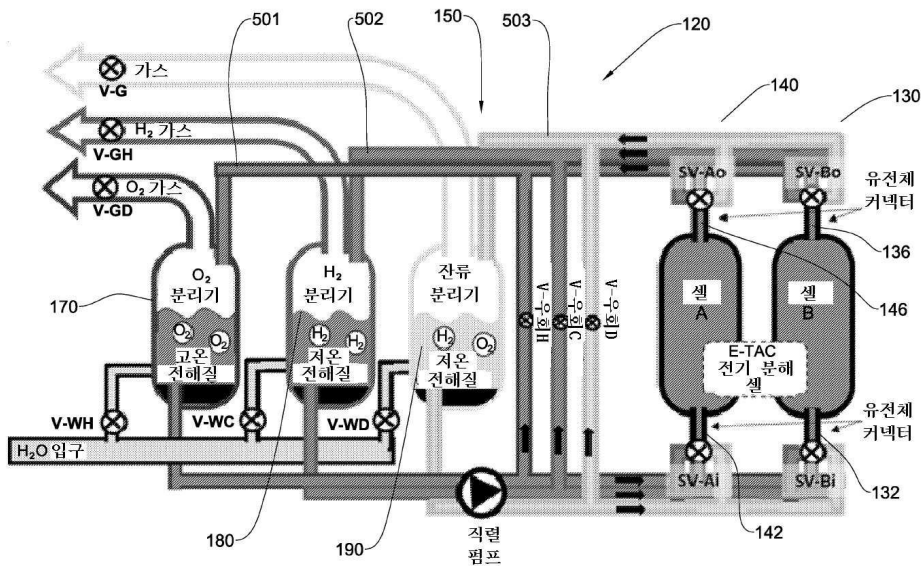
도면1



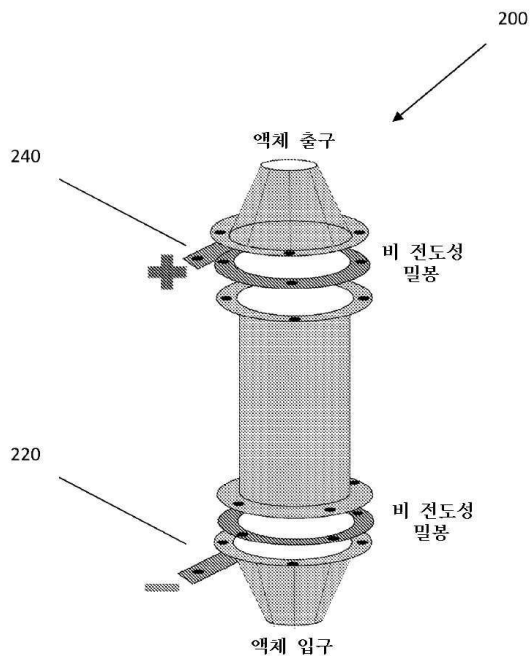
도면2a



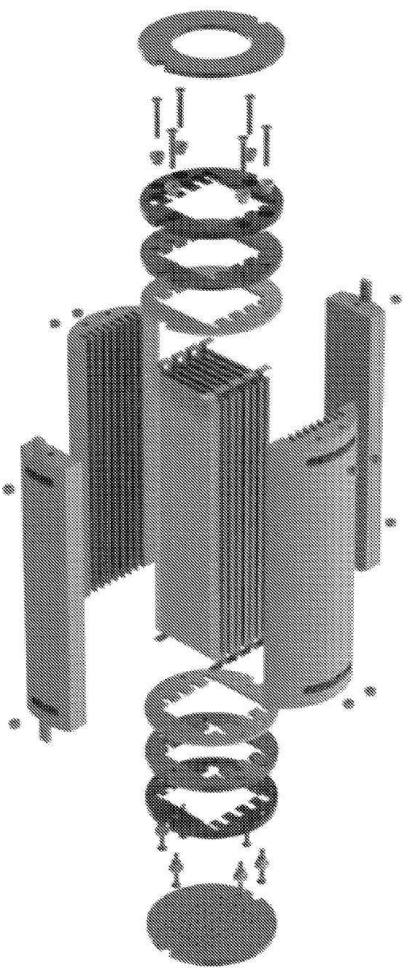
도면2b



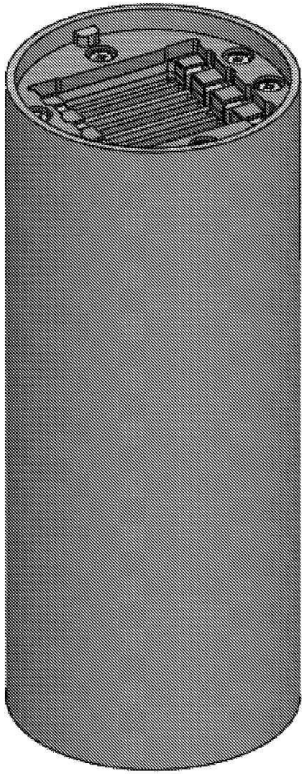
도면2c



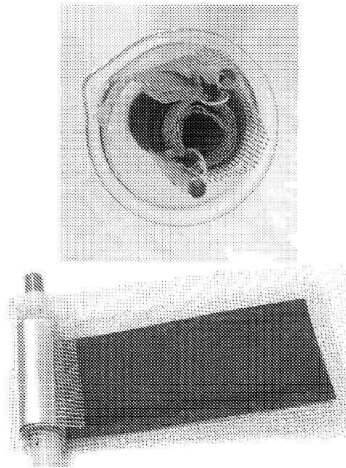
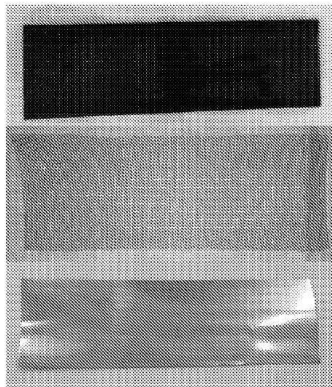
도면2d



도면2e



도면2f



도면3

