



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년12월07일
 (11) 등록번호 10-1926774
 (24) 등록일자 2018년12월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H01M 8/18 (2015.01) H01M 4/86 (2006.01)
 H01M 8/02 (2016.01)
 (21) 출원번호 10-2014-7003654
 (22) 출원일자(국제) 2012년07월13일
 심사청구일자 2017년04월06일
 (85) 번역문제출일자 2014년02월12일
 (65) 공개번호 10-2014-0053187
 (43) 공개일자 2014년05월07일
 (86) 국제출원번호 PCT/EP2012/063784
 (87) 국제공개번호 WO 2013/007817
 국제공개일자 2013년01월17일
 (30) 우선권주장
 10 2011 107 185.0 2011년07월13일 독일(DE)
 (56) 선행기술조사문헌
 US5304432 A
 US20050202290 A1
 US20080274385 A1

(73) 특허권자
 프라운호퍼 게젤샤프트 쭈르 뫼르데룽 데어 안겐
 반텐 포르슈 에. 베.
 독일 80686 뮌헨 한자슈트라쎄 27 체
 (72) 발명자
 노아크, 옌스
 독일 핀츠탈 76327, 리쓰베그 14
 베르헤르, 토마스
 독일 핀츠탈 76327, 칼스루허스트라쎄, 97
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 특허법인세림

전체 청구항 수 : 총 12 항

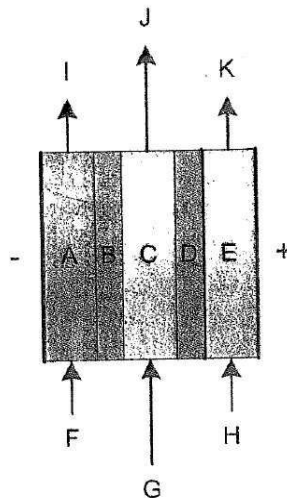
심사관 : 강연무

(54) 발명의 명칭 산소를 이용하여 이온을 산화시키는 공기 호흡형 연료 전지 및 전지 스택

(57) 요약

본 발명은 양극 반전지(half cell) 및 음극 반전지를 가지는, 공기 또는 산소로 이온을 산화시키는 공기 호흡형 연료 전지를 기술한다. 제 1 이온 전도성 막(ion conducting membrane) 및 제 2 이온 전도성 막은 반전지 사이에 삽입되며, 제 2 이온 전도성 막은 적어도 산소를 환원시키는 촉매로 음극 반전지 쪽에 배향된 측면의 영역에서 코팅된다. 본 발명에 따라, 공기 호흡형 연료 전지(air breathing fuel cell)는 음성 표준 전극 전위(negative standard electrode potential)로 이온을 산화시키는 산화 지역이 이온 전도성 막 사이에 제공되는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자
튀브케, 옌스
독일 발트브룬 76337, 뤼헤슈타인베그 17

핀크마르트, 카스텐
독일 핀즈탈 76327, 타우벤스트라쎄. 17

명세서

청구범위

청구항 1

공기 또는 산소로 이온을 산화시키는 공기 호흡형 연료 전지에 있어서,

양극 반전지(A) 및 음극 반전지(E)를 포함하며,

제 1 이온 전도성 막(ion-conducting membrane, B) 및 제 2 이온 전도성 막(D)은 상기 반전지(A, E) 사이에 삽입되며,

상기 제 2 이온 전도성 막은 산소를 환원시키는 촉매로 적어도 상기 음극 반전지(E) 쪽으로 배향된 층의 영역에서 코팅되고,

음성 표준 전극 전위를 가지는 이온을 산화시키는 산화 대역(C)은 상기 이온 전도성 막(B,D) 사이에 제공되는 것을 특징으로 하는, 공기 호흡형 연료 전지.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 이온은 양극 반전지(A)에 포함되는 것을 특징으로 하는, 공기 호흡형 연료 전지.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

산화제는 상기 음극 반전지(E) 및/또는 상기 산화 대역(C)에 포함되는 것을 특징으로 하는, 공기 호흡형 연료 전지.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 양극 반전지(A)는 탄소판 및 다공성 탄소 물질을 포함하며,

상기 다공성 탄소 물질은 상기 탄소판 및 상기 제 1 이온 전도성 막(B)에 접촉하는 것을 특징으로 하는, 공기 호흡형 연료 전지.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 음극 반전지(E)는 탄소판 및 탄소로 이루어진 기체 확산층을 포함하며,

상기 탄소로 이루어진 기체 확산층은 상기 탄소판 및 상기 제 2 이온 전도성 막에 접촉하는 것을 특징으로 하는, 공기 호흡형 연료 전지.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 산화 대역(C)은

a) 산성 용액; 또는

b) 염기성 용액; 또는

c) 중성 염용액을 포함하는 것을 특징으로 하는, 공기 호흡형 연료 전지.

청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 산화 대역(C)은 이온을 산화시킬 수 있는 표준 전극 전위를 가지는 다공성 보조 전극(porous auxiliary electrode)을 포함하는 것을 특징으로 하는, 공기 호흡형 연료 전지.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 촉매는 귀금속으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는, 공기 호흡형 연료 전지.

청구항 9

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 산화 대역(C)은 공급선(G) 및 배출선(J)을 통해 검출기(M)에 연결되고 및/또는 검출기(M)를 포함하며,

상기 검출기(M)는 상기 산화 대역(C)에서 환원제의 타입 및 농도를 검출하는데 적합한 것을 특징으로 하는, 공기 호흡형 연료 전지.

청구항 10

제1항 또는 제2항에 따른 하나 이상의 공기 호흡형 연료 전지로 이루어진 전지 스택(cell stack).

청구항 11

제1항 또는 제2항에 따른 공기 호흡형 연료 전지가 배터리로서 사용되는 방법.

청구항 12

청구항 제10항에 따른 연료 스택이 배터리로서 사용되는 방법.

발명의 설명

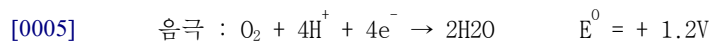
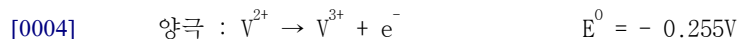
기술 분야

[0001] 본 발명은 양극 반전지(half cell) 및 음극 반전지를 가지는, 공기 또는 산소로 이온을 산화시키는 공기 호흡형 연료 전지를 기술한다. 제 1 이온 전도성 막(ion conducting membrane) 및 제 2 이온 전도성 막은 반전지 사이에 삽입되며, 제 2 이온 전도성 막은 적어도 산소를 환원시키는 촉매로 음극 반전지 쪽에 배향된 측면의 영역에서 코팅된다. 본 발명에 따라, 공기 호흡형 연료 전지(air breathing fuel cell)는 음성 표준 전극 전위(negative standard electrode potential)로 이온을 산화시키는 산화 지역이 이온 전도성 막 사이에 제공되는 것을 특징으로 한다.

배경 기술

[0002] 최신 기술에서 공기 호흡형 연료 전지의 일반적인 예는 레독스형 전지(redox battery)라 불리는 바나듐/공기 연료 전지(vanadium/air fuel cell)(DE 692 17 725 T2)이다. 특정 구체예의 경우, 2가 바나듐(bivalent vanadium)은 양극에서 3가 바나듐을 형성하기 위해 산화되고, 산소는 음극에서 환원되며 물을 형성하기 위해 양성자(protons)와 반응한다.

[0003] 화학 반응은 다음과 같다:

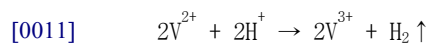
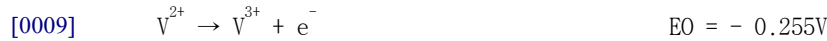


[0006] 이 경우, 전기화학적 전지(electrochemical cell)는 이온 전도성(여기에서: 양성자 전도성) 막에 의해 분리된

두 개의 반전지로 이루어진다. 음극에서 산소 환원은 탄소 전극의 촉매를 이용하여 이루어진다. 촉매/탄소 혼합물은 막(막 전극 유닛(membrane electrode unit))의 음극측에 적용되며, 탄소로 구성되고 탄소판과 교대로 접촉하는 기체 확산층(gas diffusion layer)과 접촉한다. 양극 반전지는 다공성 탄소 물질과 접촉하는 탄소판으로 이루어진다. 다공성 탄소 물질은 표면을 확장해서 전력 밀도를 증가시킨다. 다공성 탄소 물질, 일반적으로 그래파이트 펠트(graphite felt)는 양극측에 촉매가 코팅되지 않은 막과 접촉한다.

[0007] 또한, 최신 기술의 예에서, 2가 바나듐 이온의 산성 용액은 양극 반전지를 통해 펌핑되며, 공기는 음극 반전지를 통해 전도된다. 단자 전압(terminal voltage)은 두 개의 반 전지의 탄소 전극 사이에서 설정된다. 순환이 끝나는 경우, 전자는 소비자(consumer)를 통해 양극에서 음극으로 흐른다.

[0008] 2가 바나듐 이온의 산성 용액이 적용된 촉매층의 막을 통과하도록 이온 전도성 막은 매질(media)에 대하여 100% 통과시킨다. 부분 반응의 전위 차이 때문에, 다음의 반응이 귀금속 입자로 이루어진다:



[0012] 촉매층에서 기체 수소(gaseous hydrogen)의 생성 때문에, 촉매층에서 변화는 예를 들어 각각의 입자의 탈착으로 이루어지며, 빠르게 감소하는 산소 환원 반응 속도 및 전지의 전체 전력을 유도한다. 또한, 이러한 효과는 전지를 통하여 전류 전도로 가속화되며 음극으로 바나듐의 전자이동(electromigration)에 의해 가속화된다.

[0013] 이러한 문제점은 청구항 제 1항에 따른 공기 호흡형 연료 전지 및 청구항 제 10항에 따른 전지 스택의 공급 및 청구항 제 11항에 따른 공기 호흡형 연료 전지의 이용으로 해결된다. 청구항 제 2항 내지 9항은 공기 호흡형 연료 전지의 바람직한 구체예를 기술한다.

[0014] 일반적으로, 음성 표준 전극 전위를 가지는 이온은 촉매층에 도달하는 것을 방지해야 한다. 바나듐 이온의 예에서, 2가 바나듐 이온은 귀금속 촉매층에 도달하는 것을 방지해야 한다. 3가 바나듐 이온은 표준 전위가 양성이기 때문에 백금으로 수소를 변형시키지 않는다.

발명의 내용

[0015] 본 발명은 양극 반전지 및 음극 반전지를 가지는, 공기 또는 산소로 이온을 산화시키는 본 발명에 따른 공기 호흡형 연료 전지에 의해 이루어지며, 제 1 이온 전도성 막 및 제 2 이온 전도성 막은 반전지 사이에 삽입되며, 제 2 전도성 막은 적어도 산소를 환원시키는 촉매로 음극 반전지 쪽으로 배향된 층의 영역에서 코팅되며, 음성 표준 전극 전위를 가지는 이온을 산화시키는 산화 지역이 이온 전도성 막 사이에 제공되는 것을 특징으로 한다. 이온 전도성 막은 양성자 전도성 막으로 설계될 수 있다. 산화 지역에 의하여, 음성 표준 전극 전위를 가지는 이온은 성공적으로 촉매층에 도달하는 것이 방지된다.

[0016] 바람직한 구체예에서, 공기 호흡형 연료 전지는 이온이 바람직하게 V^{2+} , U^{3+} , Ti^{3+} , Ti^{2+} , In^{2+} , In^{+} , Cr^{2+} , Eu^{2+} , $S_2O_6^{2-}$, $S_2O_4^{2-}$, $S_2O_3^{-}$, $H_2PO_2^{-}$, HPO_3^{2-} , SO_3^{2-} , BH_4^{-} , Sn^{2+} , $HSnO_2^{-}$, AsO_2^{-} , SbO_2^{-} 로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 양극 반전지에 포함되는 것을 특징으로 한다.

[0017] 공기 호흡형 연료 전지는 음극 반전지에서 산소 및/또는 공기를 포함할 수 있다.

[0018] 공기 호흡형 연료 전지의 산화 대역(oxidation zone)은 용액, 바람직하게 산성 용액, 염기성 용액 또는 중성염 용액, 특히 바람직하게 황산(sulphuric acid) 및/또는 인산(phosphoric acid) 또는 수산화나트륨(sodium hydroxide) 용액 또는 수산화칼륨(potassium hydroxide) 용액 및/또는 염화나트륨(sodium chloride) 및/또는 염화칼륨(sodium chloride)의 염 용액을 포함할 수 있다.

[0019] 본 발명에 따라, 산화 대역은 공급선 및 저장 용기에 연결될 수 있는 배출선(discharge line)을 포함할 수 있다. 또한, 순환에서 펌프는 순환을 보장할 수 있다.

[0020] 작동 시간의 증가로, 양극 반전지에서 이온(예를 들어, 바나듐 이온)은 산화 대역에 축적될 것이며 이온의 농도를 증가시킬 것이다. 용액은 이온의 용해도 제한에 도달하기 전 늦어도 더 적은 이온 없이 또는 더 적은 이온으

로 용액에 의해 대체될 수 있다. 추가 가능성은 용액에서 이온의 침전을 방지하기 위하여 용액으로부터 이온의 연속 분리에 있다. 이온의 타입 및 이온의 농도 검출은 바람직하게 이온 용액에 대한 산화 대역 및 저장 용기 사이의 순환 내 포인트에서 이루어질 수 있다.

[0021] 본 발명에 따른 구체예에서, 산화 대역은 산화제(oxidant), 바람직하게 산소 및/또는 공기를 포함한다. 이온 전도성 막이 이온(예를 들어, V^{2+} 이온)의 확산을 완전히 방지하지 못하기 때문에, 이온은 양극 반전지에서 음극 반전지로 및 촉매로 전달될 수 있다. 산화 대역에 적합한 산화제는 이온(예를 들어, V^{2+} 이온을 V^{3+} 로) 산화시킬 수 있으며, 따라서 음극 반전지의 촉매 도달로부터 이온의 환원을 방지할 수 있다. 즉, 예를 들어 산화제로서 공기 산소(air oxygen)로 소거하여 이루어질 수 있다.

[0022] 본 발명에 따라, 산화 대역은 또한 이온을 산화시킬 수 있는 표준 전극 전위를 가지는 다공성 보조 전극(porous auxiliary electrode)을 포함할 수 있다.

[0023] 바람직한 구체예에서, 산화 대역은 공급선 및 배출선을 통해 검출기에 연결되며 및/또는 검출기를 포함한다. 이로써, 검출기는 산화 대역에서 환원제의 타입 및 농도를 측정하는데 적합하다. 이온의 농도 및 타입 검출에 의해, 산화제(예를 들어, 공기 산소)의 공급이 조절될 수 있다. 산화 대역에서 이온의 검출은 예를 들어 UV-VIS 분광기에 의해 또는 기준 전극(reference electrode) 및 탄소 전극 사이의 전위를 측정하여 용액에서 이루어질 수 있다. 특히 바람직한 구체예에서, 검출기는 UV/VIS 분광기 및/또는 전압 측정 장치이다.

[0024] 공기 호흡형 연료 전지의 양극 반전지는 탄소판 및 다공성 탄소 물질, 바람직하게 그래파이트 펠트, 탄소판 및 제 1 이온 전도성 막에 접촉하는 다공성 탄소 물질을 포함할 수 있다.

[0025] 바람직하게 음극 반전지는 탄소판 및 탄소를 이루어진 기체 확산층을 포함하며, 기체 확산층은 탄소판 및 제 2 이온 전도성 막에 접촉하는 탄소를 이루어진다.

[0026] 공기 호흡형 연료 전지의 촉매는 귀금속의 그룹, 바람직하게 백금(platinum), 루테늄(ruthenium), 팔라듐(palladium) 및 로듐(rhodium) 및 또한 이들의 합금으로부터 선택될 수 있다.

[0027] 음이온 반전지(anion half cell)의 이온 용액은 공급선 및 배출선(즉, 유입구 및 배출구)에 의해 저장 용기에 연결될 수 있다. 이온 용액의 순환을 위하여, 순환은 펌프를 포함할 수 있다.

[0028] 본 발명에 따른 구체예에서, 음극 반전지는 공기 또는 산소의 공급선 및 배출선(즉, 유입구 및 배출구)을 포함한다. 공기 또는 산소는 밸브를 통해 및 유입구를 통해 공기 또는 산소 소스로부터 음극 반전지로 이동할 수 있다. 전지의 작동 시간의 증가 및 산화 대역에서 이온 농도의 증가로, 이온은 점점 더 음극 반전지에 도달할 것이다. 생성된 물의 결과로, 이온은 배출구를 통해 공기 또는 산소 흐름으로 분리 탱크에 전도된다.

[0029] 또한, 공기 또는 산소는 소비된 산화제(산소의 산화)를 재생하기 위하여 산화제를 분리 탱크에서 저장 탱크로 전도할 수 있다. 과잉 공기/산소는 산화제를 위해 저장 탱크의 공기 배출구를 통해 나올 수 있다.

[0030] 본 발명에 따른 공기 호흡형 연료 전지는 복수의 개별 전지의 적층(stack)에 의해 전지 스택을 형성하도록 결합될 수 있다. 전지 스택은 병렬 또는 직렬로 연결될 수 있다. 각각의 전지는 전지 스택 전압이 각각의 전지의 전지 전압의 합이도록 전기적으로 연결될 수 있다.

[0031] 본 발명에 있어서, 공기 호흡형 전지 또는 전지 스택은 배터리로서 이용될 수 있다.

[0032] 본 발명에 따른 주제는 여기에 나타난 특정 구체예로 상기 주제를 제한하지 않고 아래의 도면 및 예시를 참조하여 더 자세히 설명될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0033] 본 발명에 따른 주제는 여기에 나타난 특정 구체예로 상기 주제를 제한하지 않고 아래의 도면 및 예시를 참조하여 더 자세히 설명될 것이다.

도 1은 공기 호흡형 연료 전지의 본 발명에 따른 구체예의 구조를 서술한다.

도 2는 공기 호흡형 연료 전지의 바람직한 설계로 작동을 위한 바람직한 시스템을 서술한다.

도 3은 본 발명에 따른 공기 호흡형 연료 전지의 배출 검사 결과를 나타낸다.

도 4는 본 발명에 따른 연료 전지의 공동에서 실험적으로 측정된 전지 전압 및 측정된 네른스트 전위(Nernst

potential)의 결과를 요약한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 도 1은 본 발명에 따른 공기 호흡형 연료 전지의 구조를 나타낸다. 연료 전지는 양극 반전지(A) 및 음극 반전지(E)를 포함한다. 제 1 이온 전도성 막(B) 및 제 2 이온 전도성 막(D)은 두 개의 반전지(A, E) 사이에 삽입된다. 제 1 이온 전도성 막(B)은 음극 반전지(E) 쪽으로 배향된 양극 반전지(A)의 측에 배치되며, 제 2 이온 전도성 막(D)은 양극 반전지(A) 쪽으로 배향된 음극 반전지(E)의 측면에 배치된다. 음극측에서, 이온 전도성 막(D)은 산소를 환원시키는 촉매를 갖는 코팅체를 포함한다. 음성 표준 전극 전위를 가지는 이온을 산화시키는 산화 대역(C)이 이온 전도성 막(B, D)사이에 배치된다. 또한, 양극 반전지(A)는 이온 용액의 유입구(F) 및 배출구(I)를 포함하며, 음극 반전지(E)는 공기/산소의 유입구(H) 및 배출구(K)를 포함하며, 산화 대역(C)은 산화 용액(oxidising solution)(예를 들어, 공기 산소를 포함하는 산성 또는 염기성 용액)의 유입구(G) 및 배출구(J)를 포함한다.
- [0035] 도 2는 본 발명에 따른 공기 호흡형 연료 전지의 작동을 위한 바람직한 시스템을 기술한다. 연료 전지는 도 1에 기술된대로 구성된다. 작동 동안, 이온 용액은 양극 반전지(A)의 유입구(F)를 통하는 펌프(P1)를 통해 이온 용액의 저장 탱크(L)의 밖으로 펌핑되며, 다시 배출구(I)의 밖으로 저장 탱크(L)에 펌핑된다. 산성 또는 염기성 용액을 위한 저장 탱크(N)에서, 용액은 산화 대역(C)의 유입구(G)를 통하는 측정점(M)(예를 들어, UV/VIS 분광기) 사이의 펌프(P2)를 통하여 펌핑되며, 다시 배출구(J)의 밖으로 저장 탱크(N)에 펌핑된다. 공기/산소원(Q)를 통하여, 공기/산소는 유입구(H)를 통하는 밸브(V)를 통하여 음극 반전지(E)에 전도되며, 배출구(K)를 통하여 전도되며, 물/금속 이온/공기의 분리를 위해 탱크(O)에 전도된다. 탱크(O)는 공기/산소가 공기/산소로 용액을 분리시키기 위하여 산성 또는 염기성 용액의 저장 탱크(N)에 선택적으로 가이드 될 수 있는 공기/산소 배출구를 포함한다. 이 경우, 저장 탱크(N)는 과잉 공기/산소를 배출하는 공기 배출구(S)를 포함하며, 기체 통류(gas throughflow)를 보장한다.
- [0036] 도 3은 두 개의 막 및 중간 공간(intermediate space)을 가지는 공기 호흡형 바나듐/산소 전지의 전지 전압 및 전위를 기술한다. 측정 및 전류 전도의 초반에, 전지 전압은 1.35V에서 0.85V로 떨어진다. 8시간 후, 0V의 배출 폐쇄 전압(discharge closing voltage)에 도달된다. 추출 공동은 약 8Ah이며, 93%의 이론 값을 나타낸다. 공동에서 측정된 네른스트 전위는 추가 과정에서 다시 마지막막으로 상승시키기 위하여 약 70mV의 값으로 빠르게 떨어져, 처음에 약 +0.25V의 값을 가진다.
- [0037] 도 4는 공동(C)의 액체 순환으로 바나듐 이온의 산화제로서 공기의 용적 유량(volume flow)의 변화로 공기 호흡형 바나듐/산소 연료 전지의 공동에서의 전지 전압 및 네른스트 전위를 기술한다. 공동(C)의 공기 소거부는 배출 후 약 7분 후 꺼지며, 약 14분 후 다시 켜진다. 공기 소거부가 꺼진 후, 전위는 공기 소거부가 다시 켜진 후 상승시키기 위하여 0으로 극도로 빠르게 떨어진다.
- [0038] 예시 1
- [0039] 기하학적으로 51cm²의 활성막을 가지는 전지는 도 1의 다이어그램을 따라 구성된다. 막 전극 유닛(membrane electrode unit)은 백금 및 탄소의 혼합물로 이루어진 단일 측 코팅을 가지는 NAFION[®] 117(DuPont, USA)로 구성된다. 백금 로딩(platinum loading)은 2mg/cm²에 대응한다. 양극 반전지 및 공동 사이의 막은 백금 및 탄소의 혼합물로 이루어진 단일 측 코팅체를 포함하지 않는 NAFION[®] 117(DuPont, USA)로 구성된다. 기체 확산 전극(25BC, SGL-Carbon, Germany)은 막 전극 유닛의 코팅된 측면과 통류 채널(throughflow channel)을 갖는 그래파이트 복합판(graphite composite plate)(PPG 86, Eisenhuth, Germany) 사이에 배치된다. 통류 채널이 없는 동일한 타입의 그래파이트 복합판은 양극 반전지의 전극으로 이용된다. 5mm의 얇은 그래파이트 펠트(GFA5, SGL-Carbon, Germany)는 그래파이트 복합판 및 막 사이에 배치된다. 양극 반전지 및 음극 반전지 사이의 공동은 30mm의 두께를 가지며, 각각 하나의 유리 탄소 전극 및 하나의 Hg/Hg₂SO₄ 기준 전극의 배치를 허용한다. 두 개의 반전지 및 공동은 액체 매질(liquid media)의 공급선 및 배출선을 가진다. 저장 용기에서 2M H₂SO₄ 및 0.05M H₃PO₄ 중 200ml 용액의 1.6M VSO₄로 용액 양극 반전지를 연속적으로 제거하였다. 이론적 공동은 8.6 Ah이다. 저장 용기에서 수성 2M H₂SO₄로 공동을 연속적으로 제거하였다. 저장 용기에서 공기로 황산 용액을 제거하였다. 질량 통류 조절기(mass through regulator)를 이용하여, 60ml/min의 용적 유량을 가지는 공기가 음극 반전지를 통

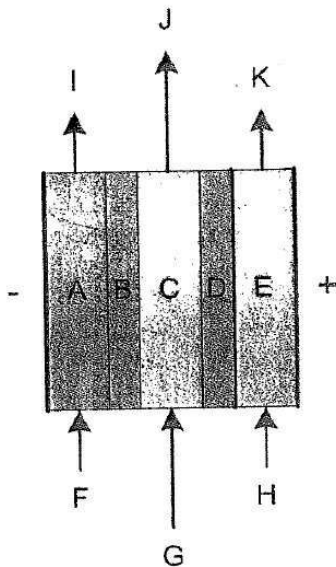
하여 저장 용기로 전도된다. 생성되는 물을 수집하기 위해 저장 용기가 제공된다. 배출 검사는 1A의 배출 전류 (discharge current)를 가지는 이후에 연결된 증폭기(Boost 12V/20A, Solartron, USA)와 분압 장치 (potentiostat)로 이루어진다. 측정(도 3에 도시)이 시작될 때 네른스트 전위의 급락은 전류 전도로 전자 이주 (electromigration)때문에 공동에서 2가 바나듐 이온의 증가에 의해 설명될 수 있다. 2가 바나듐의 농도는 공기 중의 산소로 용액을 제거함으로써, 3가 바나듐을 형성하는 산화가 평형을 이룰 때까지 증가하였다. 전위의 추가 증가 및 2가 바나듐 농도의 감소는 양극액(anolyte)에서 2가 바나듐 이온의 감소에 의해 이루어진다.

[0040] 예시 2

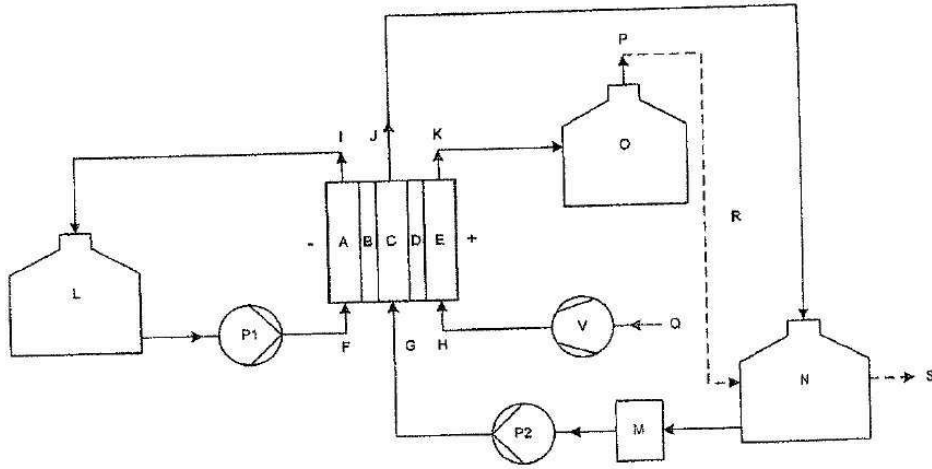
[0041] 추가 구체예에서, 예시 1에 따라 생성된 연료 전지의 공기 소거는 약 7분의 방출 시간 후 스위치 오프(turned off)된다. 상기 시간으로부터, 전위는 약 -0.05V의 임계 값으로 떨어진다. 공기 소거의 재시작은 2가 바나듐 (V^{2+})을 산화시킬 수 있으며 전위를 다시 상승시킬 수 있다(도 4에 도시). 검사는 즉시 반복되나, 공기 공급은 완전히 스위치 오프되지 않고 용적 유량은 감소되며 마지막으로 다시 증가된다.

도면

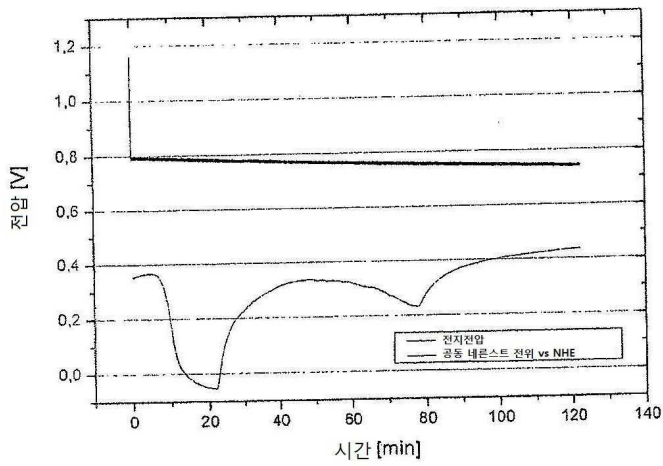
도면1



도면2



도면3



도면4

