



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0009626
(43) 공개일자 2024년01월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 8/18 (2015.01) H01M 8/04082 (2016.01)
H01M 8/04276 (2016.01) H01M 8/04298 (2016.01)
H01M 8/04537 (2016.01)
(52) CPC특허분류
H01M 8/188 (2013.01)
H01M 8/04201 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0086729
(22) 출원일자 2022년07월14일
심사청구일자 2022년07월14일

(71) 출원인
국립창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20(퇴촌동)
(72) 발명자
박희성
경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20, 53호관 302(퇴촌동)
김정명
경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20, 51호관 211-1호(퇴촌동)
김덕형
경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20, 51호관 211-1호(퇴촌동)
(74) 대리인
김연권

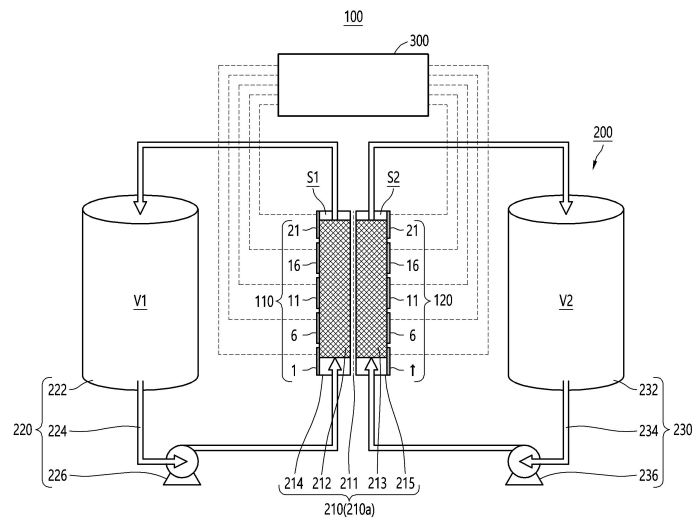
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템

(57) 요약

본 발명의 일실시예에 따른 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템은, 실제 사용되는 레독스 유동전지를 모사한 구조로 형성되되 복수개로 분할된 분리형 전극을 포함하는 레독스 유동전지, 및 상기 레독스 유동전지의 성능 시험시 상기 분리형 전극의 전압을 측정하도록 상기 분리형 전극에 연결되고 상기 분리형 전극의 위치별 전압의 측정 결과를 이용하여 상기 레독스 유동전지에 포함된 다공체 전극의 위치에 따른 성능을 분석하는 전압 측정기를 포함할 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

H01M 8/04276 (2013.01)

H01M 8/04305 (2013.01)

H01M 8/04559 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711168022
과제번호	2019R1A2C1002212
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	(유형1-1)중견연구
연구과제명	신개념 나노유체전극 기술개발 및 이를 응용한 에너지저장시스템 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	창원대학교 산학협력단
연구기간	2019.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

실제 사용되는 레독스 유동전지를 모사한 구조로 형성되되, 복수개로 분할된 분리형 전극을 포함하는 레독스 유동전지; 및

상기 레독스 유동전지의 성능 시험시 상기 분리형 전극의 전압을 측정하도록 상기 분리형 전극에 연결되고, 상기 분리형 전극의 위치별 전압의 측정 결과를 이용하여 상기 레독스 유동전지에 포함된 다공체 전극의 위치에 따른 성능을 분석하는 전압 측정기;

를 포함하는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 레독스 유동전지는,

제1 전해액과 제2 전해액을 각각 유동시키기 위한 제1 공간과 제2 공간이 구비된 적어도 하나의 단위전지셀을 적층한 구조로 마련된 스택부;

상기 제1 공간에 상기 제1 전해액을 공급하도록 상기 스택부의 일측에 연결된 제1 전해액 공급부; 및

상기 제2 공간에 상기 제2 전해액을 공급하도록 상기 스택부의 타측에 연결된 제2 전해액 공급부;를 포함하며,

상기 분리형 전극은 상기 제1 공간과 상기 제2 공간에 각각 대응하도록 상기 단위전지셀에 마련된 것을 특징으로 하는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 분리형 전극은 서로 이웃하게 배치된 복수개의 단위 전극을 포함하고,

상기 제1 전해액과 상기 제2 전해액은 상기 제1 공간과 상기 제2 공간을 유동하는 과정에서 전기화학적으로 반응하며,

상기 전압 측정기는, 상기 제1 전해액과 상기 제2 전해액의 전기화학적 반응에 따른 상기 다공체 전극의 물질전달 특성을 전압 형태로 측정하도록 상기 단위 전극들의 전압을 실시간으로 측정하고, 상기 단위 전극들의 위치별 전압 편차를 도출 및 시각화함으로써 상기 레독스 유동전지의 설계 가이드 라인 및 관리 기법을 설정하는데 활용하는 것을 특징으로 하는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 분리형 전극은, 상기 제1 공간에 대응되게 형성된 제1 분리형 전극, 및 상기 제2 공간에 대응되게 형성된 제2 분리형 전극으로 제공되며,

상기 제1 분리형 전극과 상기 제2 분리형 전극에는 상기 단위 전극들이 서로 마주보는 대칭 구조로 배치되는 것을 특징으로 하는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 단위 전극들은, 동일한 형상으로 형성되어 일정 간격으로 서로 이웃하게 배치되며, 상기 제1 공간 또는 상기 제2 공간에 대응하는 판 형상의 패턴으로 배열되는 것을 특징으로 하는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템.

청구항 6

제2항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 스택부의 단위전지셀은,

상기 제1 전해액과 상기 제2 전해액 간의 이온 교환막 역할을 수행하는 멤브레인;

상기 멤브레인의 일측면에 배치되고, 상기 제1 전해액이 유동되기 위한 제1 유동홀부가 구비된 제1 유동 프레임;

상기 멤브레인의 타측면에 배치되고, 상기 제1 유동홀부와 대응되도록 상기 제2 전해액이 유동되기 위한 제2 유동홀부가 구비된 제2 유동 프레임;

상기 제1 유동홀부를 차폐시켜 상기 제1 공간을 형성하도록 상기 제1 유동 프레임의 외측면에 배치되는 제1 엔드플레이트;

상기 제2 유동홀부를 차폐시켜 상기 제2 공간을 형성하도록 상기 제2 유동 프레임의 외측면에 배치되는 제2 엔드플레이트;

상기 제1 유동홀부의 내부에 배치되고, 상기 제1 전해액이 통과되는 제1 다공체 전극; 및

상기 제2 유동홀부의 내부에 배치되고, 상기 제2 전해액이 통과되는 제2 다공체 전극;

을 포함하며,

상기 분리형 전극은, 상기 제1 엔드플레이트 중 상기 제1 유동홀부와 대응되는 제1 설치부에 배치되는 제1 분리형 전극, 및 상기 제2 엔드플레이트 중 상기 제2 유동홀부와 대응되는 제2 설치부에 배치되는 제2 분리형 전극으로 제공되는 것을 특징으로 하는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제1 분리형 전극은 상기 제1 다공체 전극과의 접촉성 향상을 위해 상기 제1 엔드플레이트의 표면보다 더 돌출시킨 형상으로 배치되고,

상기 제2 분리형 전극은 상기 제2 다공체 전극과의 접촉성 향상을 위해 상기 제2 엔드플레이트의 표면보다 더 돌출시킨 형상으로 배치되는 것을 특징으로 하는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1 설치부에는 상기 제1 분리형 전극의 단위 전극들을 각각 삽입 방식으로 설치하기 위한 복수개의 제1 설치홈이 형성되고, 상기 제2 설치부에는 상기 제2 분리형 전극의 단위 전극들을 각각 삽입 방식으로 설치하기 위한 복수개의 제2 설치홈이 형성되며,

상기 제1 분리형 전극의 단위 전극들 및 상기 제2 분리형 전극의 단위 전극들은 공용으로 사용 가능하도록 서로 동일한 형상으로 마련되고,

상기 제1 설치홈들과 상기 제2 설치홈들은, 상기 단위 전극에 대응하는 동일 형상으로 마련되되, 서로 마주보는 대칭 패턴으로 배열된 것을 특징으로 하는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 제1 설치홈들과 상기 제2 설치홈들의 내부에는 상기 전압 측정기와 전기적으로 연결된 설치홈 단자부가 마련되고,

상기 단위 전극에는 상기 제1 설치홈 또는 상기 제2 설치홈에 삽입 방식으로 설치될 때 상기 설치홈 단자부와 연결되는 전극 단자부가 마련된 것을 특징으로 하는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템.

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 스택부의 단위전지셀은,

상기 제1 엔드플레이트와 상기 제1 유동 프레임 사이에 상기 제1 분리형 전극을 덮는 형상으로 배치되고, 상기 제1 분리형 전극이 상기 제1 전해액에 의해 부식되는 것을 방지하는 제1 바이폴러 플레이트; 및

상기 제2 엔드플레이트와 상기 제2 유동 프레임 사이에 상기 제2 분리형 전극을 덮는 형상으로 배치되고, 상기 제2 분리형 전극이 상기 제2 전해액에 의해 부식되는 것을 방지하는 제2 바이폴러 플레이트;

를 더 포함하는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템.

청구항 11

제6항에 있어서,

상기 스택부의 단위전지셀은,

상기 제1 전해액과 상기 제2 전해액의 누출을 방지하도록 상기 제1 유동 프레임 및 상기 제2 유동 프레임의 양 측면에 각각 배치되는 가스켓 시트;를 더 포함하며,

상기 가스켓 시트는 상기 제1 유동홀부 또는 상기 제2 유동홀부를 둘러싸는 형상으로 마련된 것을 특징으로 하는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템에 관한 것으로서, 더 상세하게는 실제 사용되는 레독스 유동전지를 모사하여 레독스 유동전지의 성능을 간편하게 시험할 수 있고, 특히 레독스 유동전지에 구비된 다공체 전극의 위치에 따른 성능을 정확하게 확인함으로써 레독스 유동전지의 설계 가이드 라인을 설정하여 관리 기법에 활용할 수 있는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0003]

최근에 각광받고 있는 신재생에너지 시장의 성장과 함께 에너지 저장 시스템(energy storage system)(이하, 'ESS'라고 함)의 필요성이 증가되고 있다. 즉, ESS를 사용하게 되면, 원하는 시간에 전력을 생산하기 어려운 태양광과 풍력 등의 신재생에너지를 미리 저장했다가 필요한 시간대에 사용할 수 있는 이점이 있다. 뿐만 아니라, ESS는 전자제품뿐만 아니라 요즘 떠오르는 전기자동차에도 매우 유용한 기술로 각광받고 있다.

- [0004] 최근에 ESS에서 화재사건사고가 빈번하게 벌어지면서 사회적 이슈가 되고 있다. ESS에 사용되는 리튬이온전지가 화재 원인으로 꼽고 있다. 상기와 같은 리튬이온전지는 특정온도 이상에서 발열반응이 발생하기 때문이다.
- [0005] 그로 인하여, 화재 걱정이 없는 유동전지를 이용한 ESS가 주목을 받고 있다. 통상의 유동전지는 리튬이온전지와 마찬가지로 전기에너지를 화학 에너지의 형태로 바꿔 저장하는 이차전지이다. ESS에 적용 가능한 유동전지로는 바나듐 레독스 유동전지(VRFB)가 대표적이다.
- [0006] 상기와 같은 바나듐 레독스 유동전지는, 리튬이온전지와 비교하여 인체 유해성, 인화성, 화학 반응성의 위험도가 낮아 안정성이 매우 높고, 물 성분의 수계 전해액을 사용해 화재 위험성이 전혀 없는 차세대 배터리이다. 그에 따라, 바나듐 레독스 유동전지는, 인화성 전해액을 품은 리튬이온 이차전지보다 안전성이 훨씬 높고, 평균 20년 이상 사용할 수 있으며, 전해액을 교체할 경우에 반영구적으로 사용할 수 있다. 뿐만 아니라, 바나듐 레독스 유동전지는, 에너지 저장부인 전해액의 저장탱크를 따로 설계하여 용량 설계의 유연화 및 대용량화에도 매우 용이한 이점이 있다.
- [0007] 반면에, 기존의 레독스 유동전지는 충전과 방전의 출력 및 효율성이 낮은 단점을 구비하고 있다. 일례로, 리튬이온전지는 90% 정도의 에너지 효율을 가지지만, 바나듐 레독스 유동전지(VRFB)는 70% 정도로 나타나고 있다. 또한, 기존의 레독스 유동전지는 리튬이온전지보다 비교적 에너지 밀도가 낮아서 저장탱크 등의 설치 공간이 많이 필요한 단점이 있다.
- [0008] 따라서, 최근에는 레독스 유동전지의 성능을 정확하게 파악하여 레독스 유동전지의 설계를 최적화하기 위한 기술 개발이 절실하게 요구되고 있다.
- [0009] 참고로, 관련 선행기술문헌으로는 한국등록특허 제10-2056990호 (발명의 명칭: 전압 제한 장치를 갖는 유동 배터리, 등록일: 2019.12.11) 및 한국공개특허 제10-2019-0086552호 (발명의 명칭: 조정 가능한 순환 속도를 갖는 유동 배터리들과 그와 연관된 방법들, 공개일: 2019.07.22)가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-2056990호 (2019.12.11 등록)
- (특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2019-0086552호 (2019.07.22 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명의 실시예는, 실제 사용되는 레독스 유동전지를 모사하여 레독스 유동전지의 성능을 간편하게 시험할 수 있는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템을 제공한다.
- [0013] 또한, 본 발명의 실시예는, 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능을 정확하게 측정하여 레독스 유동전지의 설계 가이드 라인 및 관리 기법을 설정하는데 활용할 수 있는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0015] 본 발명의 일실시예에 따르면, 실제 사용되는 레독스 유동전지를 모사한 구조로 형성되며 복수개로 분할된 분리형 전극을 포함하는 레독스 유동전지, 및 상기 레독스 유동전지의 성능 시험시 상기 분리형 전극의 전압을 측정하도록 상기 분리형 전극에 연결되고 상기 분리형 전극의 위치별 전압의 측정 결과를 이용하여 상기 레독스 유동전지에 포함된 다공체 전극의 위치에 따른 성능을 분석하는 전압 측정기를 포함하는 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템을 제공한다.
- [0016] 바람직하게, 상기 레독스 유동전지는, 제1 전해액과 제2 전해액을 각각 유동시키기 위한 제1 공간과 제2 공간이

구비된 적어도 하나의 단위전지셀을 적층한 구조로 마련된 스택부, 상기 제1 공간에 상기 제1 전해액을 공급하도록 상기 스택부의 일측에 연결된 제1 전해액 공급부, 및 상기 제2 공간에 상기 제2 전해액을 공급하도록 상기 스택부의 타측에 연결된 제2 전해액 공급부를 포함할 수 있다.

[0017] 상기 분리형 전극은 상기 제1 공간과 상기 제2 공간에 각각 대응하도록 상기 단위전지셀에 마련될 수 있다.

[0018] 바람직하게, 상기 분리형 전극은 서로 이웃하게 배치된 복수개의 단위 전극을 포함할 수 있다. 상기 제1 전해액과 상기 제2 전해액은 상기 제1 공간과 상기 제2 공간을 유동하는 과정에서 전기화학적으로 반응할 수 있다. 여기서, 상기 전압 측정기는, 상기 제1 전해액과 상기 제2 전해액의 전기화학적 반응에 따른 상기 다공체 전극의 물질전달 특성을 전압 형태로 측정하도록 상기 단위 전극들의 전압을 실시간으로 측정하고, 상기 단위 전극들의 위치별 전압 편차를 도출 및 시각화함으로써 상기 레독스 유동전지의 설계 가이드 라인 및 관리 기법을 설정하는데 활용할 수 있다.

[0019] 바람직하게, 상기 분리형 전극은, 상기 제1 공간에 대응되게 형성된 제1 분리형 전극, 및 상기 제2 공간에 대응되게 형성된 제2 분리형 전극으로 제공될 수 있다. 이때, 상기 제1 분리형 전극과 상기 제2 분리형 전극에는 상기 단위 전극들이 서로 마주보는 대칭 구조로 배치될 수 있다.

[0020] 상기 단위 전극들은, 동일한 형상으로 형성되어 일정 간격으로 서로 이웃하게 배치되되, 상기 제1 공간 또는 상기 제2 공간에 대응하는 판 형상의 패턴으로 배열될 수 있다.

[0021] 바람직하게, 상기 스택부의 단위전지셀은, 상기 제1 전해액과 상기 제2 전해액 간의 이온 교환막 역할을 수행하는 멤브레인, 상기 멤브레인의 일측면에 배치되고 상기 제1 전해액이 유동되기 위한 제1 유동홀부가 구비된 제1 유동 프레임, 상기 멤브레인의 타측면에 배치되고 상기 제1 유동홀부와 대응되도록 상기 제2 전해액이 유동되기 위한 제2 유동홀부가 구비된 제2 유동 프레임, 상기 제1 유동홀부를 차폐시켜 상기 제1 공간을 형성하도록 상기 제1 유동 프레임의 외측면에 배치되는 제1 엔드플레이트, 상기 제2 유동홀부를 차폐시켜 상기 제2 공간을 형성하도록 상기 제2 유동 프레임의 외측면에 배치되는 제2 엔드플레이트, 상기 제1 유동홀부의 내부에 배치되고 상기 제1 전해액이 통과되는 제1 다공체 전극, 및 상기 제2 유동홀부의 내부에 배치되고, 상기 제2 전해액이 통과되는 제2 다공체 전극을 포함할 수 있다.

[0022] 여기서, 상기 분리형 전극은, 상기 제1 엔드플레이트 중 상기 제1 유동홀부와 대응되는 제1 설치부에 배치되는 제1 분리형 전극, 및 상기 제2 엔드플레이트 중 상기 제2 유동홀부와 대응되는 제2 설치부에 배치되는 제2 분리형 전극으로 제공될 수 있다.

[0023] 상기 제1 분리형 전극은 상기 제1 다공체 전극과의 접촉성 향상을 위해 상기 제1 엔드플레이트의 표면보다 더 돌출시킨 형상으로 배치될 수 있고, 상기 제2 분리형 전극은 상기 제2 다공체 전극과의 접촉성 향상을 위해 상기 제2 엔드플레이트의 표면보다 더 돌출시킨 형상으로 배치될 수 있다.

[0024] 그리고, 상기 제1 설치부에는 상기 제1 분리형 전극의 단위 전극들을 각각 삽입 방식으로 설치하기 위한 복수개의 제1 설치홈이 형성될 수 있고, 상기 제2 설치부에는 상기 제2 분리형 전극의 단위 전극들을 각각 삽입 방식으로 설치하기 위한 복수개의 제2 설치홈이 형성될 수 있다.

[0025] 상기 제1 분리형 전극의 단위 전극들 및 상기 제2 분리형 전극의 단위 전극들은 공용으로 사용 가능하도록 서로 동일한 형상으로 마련될 수 있다. 상기 제1 설치홈들과 상기 제2 설치홈들은, 상기 단위 전극에 대응하는 동일 형상으로 마련되되, 서로 마주보는 대칭 패턴으로 배열될 수 있다.

[0026] 또한, 상기 제1 설치홈들과 상기 제2 설치홈들의 내부에는 상기 전압 측정기와 전기적으로 연결된 설치홈 단자부가 마련될 수 있다. 상기 단위 전극에는 상기 제1 설치홈 또는 상기 제2 설치홈에 삽입 방식으로 설치될 때 상기 설치홈 단자부와 연결되는 전극 단자부가 마련될 수 있다.

[0027] 바람직하게, 상기 스택부의 단위전지셀은, 상기 제1 엔드플레이트와 상기 제1 유동 프레임 사이에 상기 제1 분리형 전극을 덮는 형상으로 배치되고 상기 제1 분리형 전극이 상기 제1 전해액에 의해 부식되는 것을 방지하는 제1 바이폴러 플레이트, 및 상기 제2 엔드플레이트와 상기 제2 유동 프레임 사이에 상기 제2 분리형 전극을 덮는 형상으로 배치되고 상기 제2 분리형 전극이 상기 제2 전해액에 의해 부식되는 것을 방지하는 제2 바이폴러 플레이트를 더 포함할 수 있다.

[0028] 바람직하게, 상기 스택부의 단위전지셀은, 상기 제1 전해액과 상기 제2 전해액의 누출을 방지하도록 상기 제1 유동 프레임 및 상기 제2 유동 프레임의 양측면에 각각 배치되는 가스켓 시트를 더 포함할 수 있다. 상기 가스

켓 시트는 상기 제1 유동홀부 또는 상기 제2 유동홀부를 둘러싸는 형상으로 마련될 수 있다.

발명의 효과

- [0030] 본 발명의 실시예에 따른 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템은, 실제 사용되는 레독스 유동전지를 모사한 구조의 레독스 유동전지를 이용하되, 전압 측정기를 통해 복수개로 분할된 레독스 유동전지의 분리형 전극의 전압을 측정하여 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능을 시험하는 구조이므로, 레독스 유동전지의 성능 시험을 매우 간편하게 실시할 수 있고, 레독스 유동전지의 성능 시험시 분리형 전극의 위치별로 측정되는 전압 측정 결과를 이용하여 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능을 정확하게 분석할 수 있다.
- [0031] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템은, 스택부의 단위전지 셀에 단위 전극들로 구성된 분리형 전극을 배치한 구조이므로, 분리형 전극의 단위 전극들의 전압을 측정하는 간단한 방법으로 분리형 전극의 위치별 전압 편차를 도출 및 시각화할 수 있고, 이를 통하여 분리형 전극과 접촉된 다공체 전극의 위치에 따른 전기화학반응의 불균형을 정확하게 측정하여 레독스 유동전지의 설계 가이드라인 및 관리기법을 설정하는데 활용할 수 있다.
- [0032] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템은, 스택부를 구성하는 단위전지셀의 제1,2 분리형 전극을 제1,2 엔드플레이트에 형성된 제1,2 설치홈들에 단위 전극을 각각 배치시킨 구조로 마련하므로, 제1,2 설치홈들이 형성된 제1,2 엔드플레이트 및 단위 전극들을 제작하는 간단한 방법만으로 제1,2 분리형 전극을 레독스 유동전지에 설치할 수 있고, 제1,2 설치홈들이 형성된 제1,2 엔드플레이트 및 단위 전극들을 다양한 구조로 쉽게 변경할 수 있기 때문에 다양한 종류의 레독스 유동전지에 원활하게 대응할 수 있다.
- [0033] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템은, 제1,2 분리형 전극이 제1,2 엔드플레이트의 표면보다 설정 높이로 더 돌출되게 배치된 구조이므로, 레독스 유동전지의 조립 과정에서 제1,2 분리형 전극을 제1,2 공간에 배치된 제1,2 다공체 전극에 더 밀착시킬 수 있고, 그에 따라 제1,2 분리형 전극과 제1,2 다공체 전극 간의 접촉성을 향상시켜 제1,2 분리형 전극의 전압 측정 성능에 대한 안정성을 증가시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0035] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템이 개략적으로 도시된 도면이다.
- 도 2는 도 1에 도시된 레독스 유동전지를 나타낸 분해 사시도이다.
- 도 3은 도 2에 도시된 레독스 유동전지의 분리형 전극을 나타낸 도면이다.
- 도 4와 도 5는 도 1 내지 도 3에 도시된 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템을 이용하여 충전 모드와 방전 모드에서 측정된 분리형 전극의 전압 편차를 나타낸 도면이다.
- 도 6 내지 도 8은 도 1 내지 도 3에 도시된 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템에 대한 실험 결과를 그래프로 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] 이하에서, 본 발명에 따른 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0038] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 유동전지용 다공체 전극(212, 213)의 위치에 따른 성능 평가 시스템(100)이 개략적으로 도시된 도면이고, 도 2는 도 1에 도시된 레독스 유동전지(200)를 나타낸 분해 사시도이며, 도 3은 도 2에 도시된 레독스 유동전지(200)의 분리형 전극(110, 120)을 나타낸 도면이다.
- [0039] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 유동전지용 다공체 전극(212, 213)의 위치에 따른 성능

평가 시스템(100)은, 레독스 유동전지(200) 및 전압 측정기(300)를 포함할 수 있다.

- [0040] 본 실시예의 레독스 유동전지(200)는, 실제 사용되는 레독스 유동전지를 모사한 구조로 형성될 수 있다. 즉, 레독스 유동전지(200)는 성능 시험용으로 제작된 것으로서, 실제 사용되는 레독스 유동전지와 동일한 성능을 제공할 수 있다.
- [0041] 실제 사용되는 레독스 유동전지는, 에너지가 저장되는 전해액을 유동전지 내의 저장탱크에 보관하고, 전기 출력을 담당하는 스택(stack)부로 이동 및 순환하면서 산화/환원 반응이 일어나며, 그 과정에서 전기에너지가 화학 에너지로 변환하면서 충전과 방전을 수행한다. 즉, 레독스 유동전지(RFB: redox flow battery)는 스택부의 내부로 순환하는 전해액이 전극의 계면에서 발생시키는 산화/환원 반응(redox reaction)을 통해 전기에너지를 저장할 수 있다. 상기와 같은 레독스 유동전지의 활물질 역할을 하는 전해액으로는 Zn/Br, Fe/Cr 등 여러 산화/환원 커플이 존재한다. 이하, 본 실시예의 레독스 유동전지는, 양극과 음극의 전해액으로 모두 바나듐을 이용하고 있고 가장 상용화가 활발한 바나듐 레독스 유동전지(VRFB)를 모사한 것으로 설명한다.
- [0042] 또한, 본 실시예의 레독스 유동전지(200)는, 실제 사용되는 레독스 유동전지의 스택부에 설치된 단수개의 전극판을 복수개로 분할된 분리형 전극(110, 120)으로 구조 변경시킨 구조로 제공될 수 있다. 도 3에 도시된 바와 같이, 분리형 전극(110, 120)은 복수개의 단위 전극(130)들을 서로 이웃하게 일정 간격으로 이격되게 배치시켜 실제 사용되는 레독스 유동전지(200)의 전극판과 같이 형성할 수 있다. 상기와 같은 분리형 전극(110, 120)에 대한 상세한 구조는 아래에서 다시 상세하게 설명하기로 한다.
- [0043] 또한, 본 실시예의 레독스 유동전지(200)는, 분리형 전극(110, 120)이 단위 전극(130)들에 감지되는 전압을 전압 측정기(300)로 실시간 측정하는 구조로서, 전압 측정기(300)에 측정된 전압 측정 결과는 단위 전극(130)들의 위치별로 저장하여 위치에 따른 전압 편차를 도출하는데 사용할 수 있고, 이를 다양한 그래프와 도표 등으로 시각화하여 레독스 유동전지(200)의 성능을 분석하는데 활용할 수 있다.
- [0044] 도 1를 참조하면, 본 실시예의 레독스 유동전지(200)는 스택부(210), 제1 전해액 공급부(220) 및 제2 전해액 공급부(230)를 포함할 수 있다.
- [0045] 스택부(210)는 제1 전해액(V1)과 제2 전해액(V2)을 각각 유동시키기 위한 제1 공간(S1)과 제2 공간(S2)이 구비된 적어도 하나의 단위전지셀(210a)을 적층한 구조로 마련될 수 있다. 이하, 본 실시예에서는 설명의 편의를 위하여 스택부(210)가 단수개의 단위전지셀(210a)로 구성된 것으로 설명하지만, 이에 한정되는 것은 아니며 복수개의 단위전지셀(210a)을 적층시킨 구조로 구성될 수 있다.
- [0046] 예를 들면, 스택부(210)의 단위전지셀(210a)은, 제1 공간(S1)을 형성하는 제1 셀 하우징(214), 제2 공간(S2)을 형성하는 제2 셀 하우징(215), 제1 셀 하우징(214)의 제1 공간(S1)에 수용된 제1 다공체 전극(212), 제2 셀 하우징(215)의 제2 공간(S2)에 수용된 제2 다공체 전극(213), 및 제1 공간(S1)과 제2 공간(S2)을 구획하는 멤브레인(211)을 포함할 수 있다.
- [0047] 여기서, 제1 전해액(V1)과 제2 전해액(V2)은, 제1 공간(S1)과 제2 공간(S2)을 유동하는 과정에서 제1 다공체 전극(212)과 제2 다공체 전극(213)을 통과할 수 있고, 멤브레인(211)을 통한 이온 교환에 의해 전기화학적으로 반응하면서 제1 다공체 전극(212)과 제2 다공체 전극(213)에 전위차를 발생시킬 수 있다. 이때, 제1 다공체 전극(212) 또는 제2 다공체 전극(213) 중 어느 하나에서는 양극 전압이 측정되고, 제1 다공체 전극(212) 또는 제2 다공체 전극(213) 중 다른 하나에서는 음극 전압이 측정될 수 있다.
- [0048] 그리고, 복수개로 분할된 분리형 전극(110, 120)은 제1 공간(S1)과 제2 공간(S2)에 대응하도록 제1 셀 하우징(214)과 제2 셀 하우징(215)에 각각 마련될 수 있다. 즉, 분리형 전극(110, 120)은 레독스 유동전지(200)의 성능 시험시 제1 다공체 전극(212)과 제2 다공체 전극(213)에서 발생하는 전압을 독립적으로 각각 측정할 수 있다.
- [0049] 상기와 같은 분리형 전극(110, 120)은 서로 이웃하게 배치된 복수개의 단위 전극(130)을 포함할 수 있다. 특히, 제1 셀 하우징(214)과 제2 셀 하우징(215)에 배치된 분리형 전극(110, 120)은 멤브레인(211)을 기준으로 단위 전극(130)들을 서로 대칭되는 패턴 구조로 마련될 수 있다.
- [0050] 제1 전해액 공급부(220)는, 제1 공간(S1)에 제1 전해액(V1)을 공급하도록 스택부(210)의 제1 셀 하우징에 연결될 수 있다. 일례로, 제1 전해액 공급부(220)는, 제1 전해액(V1)을 저장하는 제1 저장탱크(222), 제1 저장탱크(222) 및 제1 셀 하우징(214)의 제1 공간(S1)을 연통되게 연결한 제1 순환 라인(224), 및 제1 순환 라인(224)를 따라 유동되는 제1 전해액(V1)을 펌핑하는 제1 펌프(226)를 포함할 수 있다.

- [0051] 제2 전해액 공급부(230)는, 제2 공간(S2)에 제2 전해액(V2)을 공급하도록 스택부(210)의 제2 셀 하우징에 연결될 수 있다. 일례로, 제2 전해액 공급부(230)는, 제2 전해액(V2)을 저장하는 제2 저장탱크(232), 제2 저장탱크(232) 및 제2 셀 하우징(215)의 제2 공간(S2)을 연통되게 연결한 제2 순환 라인(234), 및 제2 순환 라인(234)를 따라 유동되는 제2 전해액(V2)을 펌핑하는 제2 펌프(236)를 포함할 수 있다.
- [0052] 도 1를 참조하면, 본 실시예의 전압 측정기(300)는 레독스 유동전지(200)의 성능 시험시 분리형 전극(110, 120)의 단위 전극(130)들의 전압을 측정할 수 있다. 이를 위하여, 전압 측정기(300)는 분리형 전극(110, 120)의 단위 전극(130)들에 각각 전기적으로 연결될 수 있다.
- [0053] 따라서, 전압 측정기(300)는, 복수개의 단위 전극(130)에서 측정되는 전압을 단위 전극(130)들의 위치에 따라 분류할 수 있고, 분리형 전극(110, 120)의 위치별 전압의 측정 결과를 이용하여 제1 다공체 전극(212)과 제2 다공체 전극(213)의 위치에 따른 성능을 분석할 수 있다.
- [0054] 레독스 유동전지(200)가 제1 전해액(V1)과 제2 전해액(V2)의 전기화학적 반응에 따른 제1 다공체 전극(212)과 제2 다공체 전극(213)의 물질전달 특성을 전압 형태로 발생하므로, 전압 측정기(300)는 분리형 전극(110, 120)의 단위 전극(130)들의 위치에 따른 전압을 감지하고, 이를 분석하여 제1 다공체 전극(212)과 제2 다공체 전극(213)의 위치에 따른 전압 편차를 도출 및 시각화할 수 있다. 그로 인하여, 전압 측정기(300)의 측정 결과를 통해서 분리형 전극(110, 120)의 분할된 복수의 위치에 따라 제1 다공체 전극(212)과 제2 다공체 전극(213)에 나타나는 전기화학반응의 불균일 특성을 정확하게 측정할 수 있고, 이를 이용하여 레독스 유동전지(200)의 설계 가이드 라인 및 관리 기법을 설정하는데 유용하게 활용할 수 있다.
- [0055] 상기와 같이 구성된 본 발명의 일실시예에 따른 유동전지용 다공체 전극(212, 213)의 위치에 따른 성능 평가 시스템(100)의 작동 및 작용효과를 살펴보면 다음과 같다.
- [0056] 먼저, 제1 다공체 전극(212)과 제1 전해액의 계면 및 제2 다공체 전극(213)과 제2 전해액(V2)의 계면에서 발생하는 물질전달은 레독스 유동전지(200)의 전기화학적 성능과 밀접하기 때문에 매우 중요한 특성이다.
- [0057] 일반적으로, 제1,2 다공체 전극(212, 213)에 사용되는 소재는, 마이크로 규모의 공극이 불규칙적으로 연결되어 있는 구조이기 때문에 제1,2 전해액(V1, V2)이 입구와 출구 사이에 형성된 투과 경로를 예측하는 다양한 방법이 사용되고 있다.
- [0058] 하지만, 그런 수치해석적 성능 예측 모델로 투과 경로를 예측하는 방법은 매우 어렵고 복잡하며 예상치 못한 오류가 발생할 위험이 높습니다. 즉, 대부분의 수치해석적 성능 예측 모델은 다공체 전극에서 발생하는 활성 이온의 수송 현상을 균질한 형태로 가정하여 계산하기 때문에 실제 다공체 전극의 구조적 특징에 따른 실제 현상을 반영하지 못한다. 뿐만 아니라, 실제 사용되는 레독스 유동전지(200)는 양극과 음극 측에 하나의 통합된 레이어로 구성된 전극판을 통해 전자 이송이 이루어지기 때문에 특정 위치에서 발생하는 활성 이온의 농도 부족을 측정하기 어려운 문제가 있다.
- [0059] 상기와 같이 무작위 배열된 공극을 갖는 제1,2 다공체 전극(212, 213)에 의한 전기화학성능의 불확실성 또는 비균일한 물질전달 특성은, 레독스 유동전지(200)의 성능 예측을 어렵게 한다. 즉, 제1,2 다공체 전극(212, 213)에 형성된 마이크로 규모의 공극은 불규칙적인 배치로 인해 전해액 투과 경로가 복잡하며, 이를 예측하기 위한 실험법과 전산해석 기법은 복잡하고 높은 비용이 필요로 한다.
- [0060] 본 일실시예에 따른 유동전지용 다공체 전극(212, 213)의 위치에 따른 성능 평가 시스템(100)은, 제1,2 다공체 전극(212, 213)에서 전기화학반응 중 발생하는 물질 전달 특성을 실험적으로 시각화하기 위해 세그먼트된 분리형 전극(110, 120)을 사용하여 제1,2 다공체 전극(212, 213)의 물질 전달 특성을 간편하게 조사할 수 있다.
- [0061] 이를 위하여, 본 실시예에서는 복수개로 분할된 분리형 전극(110, 120)의 단위 전극(130)들에 대하여 개별적으로 측정된 전압을 분리형 전극(110, 120)의 위치별 전압 편차로 정량 비교한다.
- [0062] 예를 들어, 본 일실시예에 따른 유동전지용 다공체 전극(212, 213)의 위치에 따른 성능 평가 시스템(100)을 이용하여 분리형 전극(110, 120)의 단위 전극(130)들을 통해 충전과 방전 과정에서 전압과 OCV를 1초 간격으로 수집하고, 단위 전극(130)들의 위치에 따른 바나듐 활성 이온의 농도 분포를 분리형 전극(110, 120)의 단위 전극(130)들에 측정되는 전압으로 비교한다. 그런 다음에, 10초 동안 수집된 전압의 산술평균값으로 제1,2 다공체 전극(212, 213)에서 바나듐 활성 이온의 물질전달특성 및 과전압의 영향을 분석한다.
- [0063] 그 결과, 충전 과정에서는, 분리형 전극(110, 120)의 위치별 물질 전달 특성이 유량의 영향을 거의 받지 않으면서 전류 밀도의 영향도 상대적으로 낮은 것으로 확인되고 있다. 방전 과정에서는, 분리형 전극(110, 120)의 위

치별 물질 전달 특성이 제한적인 조건에서 유량의 영향에 따라 유의미한 경향성을 보이고 전류 밀도의 영향도 상대적으로 높은 것으로 확인되고 있다.

- [0064] 따라서, 본 실시예에서는, 레독스 유동전지(200)의 제1,2 다공체 전극(212, 213)의 위치별 전압을 측정하는 시험 방식을 이용하여 충전이나 방전 과정에서 안정적인 작동을 보장하는 레독스 유동전지(200)의 가이드 라인을 제시할 수 있다. 즉, 레독스 유동전지(200)의 설비 운용 전반에 적용 가능한 작동 조건에 대한 비교를 통해 최적 작동 조건 선정을 위한 가이드라인을 제시한다. 상기와 같은 레독스 유동전지(200)의 작동 조건으로는 전해액의 유량, 전류밀도, SoC(state of charge)(충전상태), DoD(depth of discharge)(방전심도) 등이 있다.
- [0065] 실제로, 전해액의 물리적/전기화학적 특성에 의해 발생하는 충/방전 과정 각각에 대한 전기화학반응은 상대적으로 충전 과정에서 균일한 반응성을 보이고, 충전 과정에서 물질전달 특성은 모든 전류밀도 조건과 SoC 상태에 대하여 상대적으로 균일하게 나타난다. 또한 충전 과정에서 유량에 따른 전극 전압 편차는 유량과 상관 관계가 없으며, 유량 변화에 따른 변동폭 또한 다른 조건에 비해 무시할 수 있을 정도로 작게 나타난다.
- [0066] 또한, 전류 밀도가 100% 향상되었을 때 발생하는 단위 전극(130)들의 위치별 전압 편차 증가율은, 충전 과정에서 70%였으며, 방전과정에서는 140%로 나타난다. 뿐만 아니라, 레독스 유동전지(200)의 전압 기준으로 DoD 100% 방전 단계에서는 SoC 0%~100% 및 DoD 0%~90% 단계의 평균 전압 편차에 비해 약6.3배 높은 전압 차이를 보이고 있다.
- [0067] 레독스 유동전지(200)의 에너지 밀도 향상을 위해 수행되는 방전 과정에서 높은 수준의 전류 인가는 안정성 관점에서 얻는 이점이 상당히 제한적이다. 한편, 안정적인 전기화학적 반응을 위한 충전 조건과 방전 조건은 높은 유량과 낮은 전류인 것으로 생각되어져 왔으나, 본 실시예에 따른 유동전지용 다공체 전극(212, 213)의 위치에 따른 성능 평가 시스템(100)으로 시험한 전극 위치별 전압 편차 결과는 수계 전해액(예컨대, 마나듐)을 사용하는 레독스 유동전지(200)의 안정적 작동에 아래와 같은 새로운 가이드 라인을 제시할 수 있다.
- [0068] <충전과정>
- [0069] - 유량: (과정 초기) 상대적으로 낮게, (초기 이후) 시스템 효율을 고려한 최적 유량
- [0070] - 전류밀도: (과정 초기) 상대적으로 낮게, (초기 이후) 목표하는 충전 용량을 달성할 수 있는 최적 전류밀도
- [0071] <방전과정>
- [0072] - 유량: 시스템 효율을 고려한 최적 유량
- [0073] - 전류밀도: 상대적으로 낮게
- [0074] - 전압 한계: 농도 과전위 방지를 위한 레독스 유동전지의 한계 전압 기준 +0.4 V 또는 DoD 기준 90% 이하
- [0076] 한편, 도 2와 도 3을 기준으로 하여 본 발명의 일실시예에 따른 레독스 유동전지(200)의 스택부(210)를 구성하는 단위전지셀(210a)에 대해 더 구체적으로 설명한다.
- [0077] 도 2와 도 3를 참조하면, 본 실시예의 단위전지셀(210a)은, 멤브레인(211), 제1 셀 하우징(214), 제2 셀 하우징(215), 제1 다공체 전극(212), 제2 다공체 전극(213), 제1 분리형 전극(110) 및 제2 분리형 전극(120)을 포함할 수 있다.
- [0078] 본 실시예의 멤브레인(211)은, 제1 전해액(V1)과 제2 전해액(V2) 간의 이온 교환막 역할을 수행하는 박막 부재이다. 멤브레인(211)은 제1 공간(S1)과 제2 공간(S2)을 구획하도록 제1 셀 하우징(214)과 제2 셀 하우징(215)의 사이에 배치될 수 있다.
- [0079] 본 실시예의 제1 셀 하우징(214)은, 제1 전해액(V1)이 유동됨과 아울러 제1 다공체 전극(212)이 수용되기 위한 제1 공간(S1)을 형성할 수 있다. 일례로, 제1 셀 하우징(214)은, 멤브레인(211)의 일측면에 배치되고 제1 전해액(V1)이 유동되기 위한 제1 유동홀부가 구비된 제1 유동 프레임(214b) 및 제1 유동홀부를 차폐시켜 제1 공간(S1)을 형성하도록 제1 유동 프레임(214b)의 외측면에 배치되는 제1 엔드플레이트(214a)를 포함할 수 있다.
- [0080] 제1 유동 프레임(214b)은 전체적으로 소정 두께를 갖는 '口' 형상의 판재로 형성될 수 있다. 제1 유동홀부는 제1 전해액(V1)이 유동되는 부분으로써 제1 다공체 전극(212)이 내부에 배치될 수 있다. 따라서, 제1 유동홀부는 제1 다공체 전극(212)보다 넓고 멤브레인(211)보다 작은 크기로 형성될 수 있다.

- [0081] 제1 엔드플레이트(214a)는 단위전지셀(210a)의 외측면을 형성하는 부재로서, 제1 전해액(V1)의 유입구(I)와 유출구(O)가 형성될 수 있다. 상기와 같은 제1 엔드플레이트(214a)에는 제1 유동홀부와 대응되는 부위에 제1 설치부가 형성되어 제1 분리형 전극(110)이 설치될 수 있다. 여기서, 제1 설치부에는 제1 분리형 전극(110)의 단위 전극(130)들을 각각 삽입 방식으로 설치하기 위한 복수개의 제1 설치홈(112)이 형성될 수 있다. 한편, 제1 설치홈(112)들이 형성된 제1 엔드플레이트(214a)는 3D 프린팅 제조 방법을 이용하여 다양한 구조로 간편하게 제작될 수 있다.
- [0082] 참고로, 제1 공간(S1)은 제1 유동 프레임(214b)의 제1 유동홀부, 제1 엔드플레이트(214a)의 제1 설치부 및 멤브레인(211)의 일측면에 의해 형성될 수 있다.
- [0083] 본 실시예의 제2 셀 하우징(215)은, 제2 전해액(V2)이 유동됨과 아울러 제2 다공체 전극(213)이 수용되기 위한 제2 공간(S2)을 형성할 수 있다. 일례로, 제2 셀 하우징(215)은, 멤브레인(211)의 타측면에 배치되고 제2 전해액(V2)이 유동되기 위한 제2 유동홀부가 구비된 제2 유동 프레임(215b) 및 제2 유동홀부를 차폐시켜 제2 공간(S2)을 형성하도록 제2 유동 프레임(215b)의 외측면에 배치되는 제2 엔드플레이트(215a)를 포함할 수 있다.
- [0084] 제2 유동 프레임(215b)은 전체적으로 소정 두께를 갖는 '口' 형상의 판재로 형성되되, 제1 유동 프레임(214b)과 동일한 형상으로 형성될 수 있다. 제1 유동홀부와 마찬가지로, 제2 유동홀부는 제2 전해액(V2)이 유동되는 부분으로써 제2 다공체 전극(213)이 내부에 배치될 수 있다. 따라서, 제2 유동홀부는 제2 다공체 전극(213)보다 넓고 멤브레인(211)보다 작은 크기로 형성될 수 있다.
- [0085] 제2 엔드플레이트(215a)는 단위전지셀(210a)의 다른 외측면을 형성하는 부재로서, 제2 전해액(V2)의 유입구(I)와 유출구(O)가 형성될 수 있다. 상기와 같은 제2 엔드플레이트(215a)에는 제2 유동홀부와 대응되는 부위에 제2 설치부가 형성되어 제2 분리형 전극(120)이 설치될 수 있다. 여기서, 제2 설치부에는 제2 분리형 전극(120)의 단위 전극(130)들을 각각 삽입 방식으로 설치하기 위한 복수개의 제2 설치홈(122)이 형성될 수 있다. 한편, 제2 설치홈(122)이 형성된 제2 엔드플레이트(215a)도 제1 엔드플레이트(214a)와 같이 3D 프린팅 제조 방법을 이용하여 다양한 구조로 간편하게 제작될 수 있다.
- [0086] 참고로, 제2 공간(S2)은 제2 유동 프레임(215b)의 제2 유동홀부, 제2 엔드플레이트(215a)의 제2 설치부 및 멤브레인(211)의 타측면에 의해 형성될 수 있다.
- [0087] 본 실시예의 제1 다공체 전극(212)은 제1 유동홀부의 내부에 배치되어 제1 전해액(V1)이 통과되는 다공체 소재의 전극이고, 본 실시예의 제2 다공체 전극(213)은 제2 유동홀부의 내부에 배치되어 제2 전해액(V2)이 통과되는 다공체 소재의 전극이다.
- [0088] 제1,2 다공체 전극(212, 213)은 고체 전극을 무작위 배열시킨 활성화 영역을 형성할 수 있고, 제1,2 전해액(V1, V2)과의 물질 전달을 통해 전기 에너지를 저장하거나 방출하는 역할을 수행한다. 제1,2 다공체 전극(212, 213)의 소재로는 카본 펠트가 대표적이다. 상기와 같은 물질전달은 제1,2 전해액(V1, V2)과의 충전 및 방전 과정에 따라 산화/환원 반응(레독스 반응)을 발생시킬 수 있으며, 레독스 유동전지(200)는 상당히 가역적인 산화/환원 반응을 통해 안정적인 전기화학적 성능을 보장할 수 있다.
- [0089] 본 실시예의 제1 분리형 전극(110)은 제1 엔드플레이트(214a)의 제1 설치부에 제1 다공체 전극(212)과 대응되게 배치될 수 있고, 본 실시예의 제2 분리형 전극(120)은 제1 엔드플레이트 중 상기 제2 유동홀부와 대응되는 제2 설치부에 배치되는 제2 분리형 전극(120)으로 제공될 수 있다.
- [0090] 제1,2 분리형 전극(110, 120)은 무작위 구조인 제1,2 다공체 전극(212, 213)의 물질 전달 특성을 실험적으로 정량 비교하기 위해서 복수개의 단위 전극(130)들로 분할하여 위치별 전압을 측정할 수 있다. 특히, 제1,2 분리형 전극(110, 120)은 레독스 유동전지(200)의 성능 시험시 유량, 전류밀도, SoC 및 DoD 등의 영향을 특성화할 수 있다.
- [0091] 상기와 같이 유동전지용 다공체 전극(212, 213)의 위치에 따른 성능 평가 시스템(100)은 무작위 배열을 가지는 제1,2 다공체 전극(212, 213)에서 물질전달특성을 전기화학적 반응으로 정량화시킴으로써, 시스템의 안정적인 성능 달성 및 비가역적 손상의 방지를 구현하는 구동 시퀀스 정립에 활용할 수 있다.
- [0092] 여기서, 제1 분리형 전극(110)은 제1 공간(S1)의 내부에 배치된 제1 다공체 전극(212)에 대응되게 형성될 수 있고, 제1 분리형 전극(110)은 제2 공간(S2)의 내부에 배치된 제2 다공체 전극(213)에 대응되게 형성될 수 있다. 이때, 제1 분리형 전극(110)의 단위 전극(130)들 및 제2 분리형 전극(120)의 단위 전극(130)은 멤브레인(211)을 기준으로 서로 마주보는 대칭 구조로 배치될 수 있다.

- [0093] 상기와 같은 단위 전극(130)들은 동일한 형상으로 형성되어 일정 간격으로 서로 이웃하게 배치될 수 있다. 특히, 단위 전극(130)들은 제1 분리형 전극(110)과 제2 분리형 전극(120)의 전체 형상에 따라 다양한 패턴으로 배열될 수 있다. 일례로, 본 실시예에서는 단위 전극(130)이 5X5의 패턴 형상으로 25개를 제1,2 엔드플레이트(214a, 215a)에 각각 설치하는 것으로 설명한다.
- [0094] 그리고, 단위 전극(130)은, 제1 공간(S1)과 제2 공간(S2)에 대응하는 판 형상으로 제1 분리형 전극(110)과 제2 분리형 전극(120)을 제공되도록 제1 설치부의 제1 설치홈(112)들 및 제2 설치부의 제2 설치홈(122)들에 각각 배치될 수 있다.
- [0095] 제1 분리형 전극(110)과 제2 분리형 전극(120)의 단위 전극(130)들은 공용으로 사용 가능하도록 서로 동일한 형상으로 마련될 수 있다. 따라서, 제1 설치홈(112)들과 제2 설치홈(122)들도, 단위 전극(130)에 대응하는 동일한 형상으로 마련되되, 서로 마주보는 대칭 패턴으로 배열될 수 있다.
- [0096] 또한, 제1 분리형 전극(110)은 제1 다공체 전극(212)과의 접촉성 향상을 위해 제1 엔드플레이트(214a)의 표면보다 더 돌출시킨 형상으로 배치될 수 있고, 제2 분리형 전극(120)은 제2 다공체 전극(213)과의 접촉성 향상을 위해 제2 엔드플레이트(215a)의 표면보다 더 돌출시킨 형상으로 배치될 수 있다. 상기와 같이 제1,2 분리형 전극(110, 120)이 제1,2 엔드플레이트(214a, 215a)의 표면보다 더 돌출된 구조로 형성됨에 따라 제1,2 다공체 전극(212, 213)과의 접촉 상태를 안정적으로 유지할 수 있다.
- [0097] 한편, 제1 설치홈(112)들과 제2 설치홈(122)들의 내부에는 전압 측정기(300)와 전기적으로 연결된 설치홈 단자부(미도시)가 마련될 수 있고, 단위 전극(130)들에는 제1 설치홈(112) 또는 제2 설치홈(122)에 설치될 때 설치홈 단자부와 전기적으로 연결되는 전극 단자부(미도시)가 마련될 수 있다.
- [0098] 도 2를 참조하면, 본 실시예의 단위전지셀(210a)은, 제1 바이폴러 플레이트(218), 제2 바이폴러 플레이트(219) 및 가스켓 시트(216)를 더 포함할 수 있다.
- [0099] 제1 바이폴러 플레이트(218)는, 제1 엔드플레이트(214a)와 제1 유동 프레임(214b) 사이에 제1 분리형 전극(110)의 단위 전극(130)들을 커버하는 형상으로 배치될 수 있다. 제1 바이폴러 플레이트(218)는 제1 분리형 전극(110)의 단위 전극(130)들이 제1 전해액(V1)과의 접촉에 의해 부식되는 것을 방지할 수 있다.
- [0100] 제2 바이폴러 플레이트(219)는 제2 엔드플레이트(215a)와 제2 유동 프레임(215b) 사이에 제2 분리형 전극(120)의 단위 전극(130)들을 커버하는 형상으로 배치될 수 있다. 제1 바이폴러 플레이트(218)는 제2 분리형 전극(120)의 단위 전극(130)들이 제2 전해액(V2)과의 접촉에 의해 부식되는 것을 방지할 수 있다.
- [0101] 가스켓 시트(216)는 제1 전해액(V1)과 제2 전해액(V2)의 누출을 방지하기 위한 밀봉 부재로서, 제1 유동 프레임(214b)과 제2 유동 프레임(215b)의 양측면에 각각 배치될 수 있다. 상기와 같은 가스켓 시트(216)는 제1 유동홀부 또는 제2 유동홀부를 둘러싸는 형상으로 마련될 수 있다. 일례로, 가스켓 시트(216)는 제1 엔드플레이트(214a)와 제1 유동 프레임, 제1 유동 프레임(214b)과 멤브레인(211)의 일측면, 제2 엔드플레이트(215a)와 제2 유동 프레임, 제2 유동 프레임(215b)과 멤브레인(211)의 타측면의 중간에 각각 배치될 수 있다.
- [0102] 상기와 같이 구성된 레독스 유동전지(200)의 스택부(210)의 단위전지셀(210a)에서는, 제1,2 분리형 전극(110, 120)과 제1,2 엔드플레이트(214a, 215a)를 제외한 다른 구성들은 실제 사용되는 레독스 유동전지(200)의 구성요소와 동일하게 마련될 수 있다. 그러므로, 본 실시예에서는, 실제 사용되는 레독스 유동전지(200)의 종류에 따라 제1,2 엔드플레이트(214a, 215a)를 3D 프린팅 제조방식으로 제작하기만 하면, 미리 동일 구조로 제작된 단위 전극(130)들을 제1,2 엔드플레이트(214a, 215a)의 제1,2 설치홈(112, 122)들에 설치하는 작업만으로 성능 시험을 위한 레독스 유동전지(200)를 간편하게 준비할 수 있다.
- [0104] 도 4와 도 5는 도 1 내지 도 3에 도시된 유동전지용 다공체 전극(212, 213)의 위치에 따른 성능 평가 시스템(100)을 이용하여 충전 모드와 방전 모드에서 측정된 분리형 전극(110, 120)의 전압 편차를 나타낸 도면이고, 도 6 내지 도 8은 도 1 내지 도 3에 도시된 유동전지용 다공체 전극(212, 213)의 위치에 따른 성능 평가 시스템(100)에 대한 실험 결과를 그래프로 나타낸 도면이다.
- [0105] 도 4와 도 5는 유동전지용 다공체 전극(212, 213)의 위치에 따른 성능 평가 시스템(100)을 이용하여 충전 모드와 방전 모드에서 발생하는 제1,2 다공체 전극(212, 213)의 물질전달특성을 실시간으로 측정할 결과를 나타낸 것이다. 즉, 정전류 충전 모드와 방전 모드에서 제1,2 분리형 전극(110, 120)의 단위 전극(130)들에서 수집된

전압은 제1,2 다공체 전극(212, 213)의 물질전달 특성과 정량적으로 비교할 수 있다.

- [0106] SoC와 DoD는 각각 충전과 방전 과정에서 레독스 유동전지(200)의 상태에 대한 직관적인 성능 지표이다. 제1,2 전해액(V1, V2) 사이에 활성물질의 농도차가 가장 큰 SoC 0%와 100% 전해액은 가역적인 전기화학적 반응 외에 비가역적인 부반응을 발생할 수 있다. 부반응의 발생 가능성은 충/방전 과정에서 전압 컨투어(voltage contour)로 확인될 수 있다.
- [0107] 도 4에 도시된 바와 같이, 도 4는 제1 분리형 전극(110)을 구성하는 25개의 단위 전극(130)에 대한 전압의 측정 결과를 전류밀도가 49.4 mA/cm^2 의 정전류 조건에서 충전(charge) 모드 상태에 따라 그래프로 나타낸 것이다.
- [0108] 이때, 입구를 통해 공급된 제1 전해액은 y축 1번째 위치(예컨대, 제1 단위 전극(1), 제6 단위 전극(6), 제11 단위 전극(11), 제16 단위 전극(16) 및 제21 단위 전극(21))에서 균일하게 공급되는 구조이다.
- [0109] 충전과정에서는 입구 측의 y축 1번째 위치(예컨대, 제1 단위 전극(1))에서 낮은 전압이 측정되고, 출구 측의 y축 5번째 위치(예컨대, 제21 단위 전극(21))에서 물질전달을 통해 충전된 제1 전해액(V1)이 출구로 배출되기 때문에 높은 전압이 측정된다. 충전 과정에서 유량과 SoC 변화에 따른 제1 다공체 전극(212)에서의 전압은 상대적으로 일정하게 분포된다. 충전과정의 전압 컨투어는 레독스 유동전지(200)의 작동 특성에 따른 제1 전해액(V1)의 물질전달 경로를 보여주는 것으로 파악된다.
- [0110] 도 5에 도시된 바와 같이, 도 5는 제1 분리형 전극(110)을 구성하는 25개의 단위 전극(130)에 대한 전압의 측정 결과를 전류밀도가 49.4 mA/cm^2 의 정전류 조건에서 충전(discharge) 모드 상태에 따라 그래프로 나타낸 것이다. 방전과정 중 3단계의 DoD에 대한 전압 컨투어도 제1 전해액(V1)의 유동과 일치하는 결과를 나타낸다.
- [0111] 도 4와 도 5에서와 같이, 확산이 지배적인 제1 다공체 전극(212)에서는 유량에 따른 전기화학적 성능변화보다 SoC 및 DoD 상태에 따른 성능 변화가 더욱 지배적이다. 즉, 입구에 가까운 제1 다공체 전극(212)에서는 제1 전해액(V1)의 유동 방향(Flow-Direction)에 수직한 방향으로 전압 차이가 발생하지만, 입구에서 멀어진 제1 다공체 전극(212)에서는 확산에 의한 물질 전달이 지배적이기 때문에 제1 다공체 전극(212)의 가장자리를 제외한 영역은 유량에 독립적인 물질전달 성능을 보이고 있다. 이는 제1 다공체 전극(212)의 가장자리가 내부보다 유동 저항이 작아서 제1 전해액(V1)의 대류 영향을 받기 때문이다.
- [0112] 하지만, 도 4와 도 5에서 충전과 방전 모두에서 SoC 0%, DoD 100%에 해당하는 전압 컨투어는 전해액 진행 방향(Flow-Direction)에 수직한 방향에서 점진적인 전위차를 보이고 있다.
- [0113] 레독스 유동전지(200)에서 유량은 시스템 전체 출력에 영향을 미치는 중요한 작동 조건이다. 최적 유량은 전기화학반응에 참여하는 활성 이온의 원활한 공급을 보장하고 최적화된 펌프 손실을 통해 선정되지만, 본 발명의 시험 결과에서 나타난 다양한 유량 조건에서 전기화학적 특성(특히, 농도 과전위 손실)은 유량에 영향을 받지 않는 것으로 나타남니다.
- [0115] 도 6에는 본 실시예에 따른 레독스 유동전지(200)의 성능 시험에서 분리형 전극(110, 120)의 단위 전극(130)들에 대한 충/방전 프로파일, 방전 용량 및 차압을 도시한다.
- [0116] 도 6의 (a)는 전류밀도를 정전류 49.4 mA/cm^2 에서 유량에 따른 충전 곡선과 방전 곡선이다. 유량이 가장 낮은 20 mL/min에서 200 mL/min의 유량 범위까지 충전 용량과 방전 용량은 유량에 비례한다. 해당 유량 범위에서 전기용량은 유량의 함수로 표현되며, 유량 대 전기용량의 추세선은 24.7의 기울기를 가지는 선형적 관계를 보인다. 한편, 공급되는 제1,2 전해액(V1, V2)이 증가할 때 충전 과정 및 방전 과정의 모두에서 분극 현상이 감소한다. 하지만, 200 mL/min보다 높은 유량에서는 분리형 전극(110, 120)의 전기용량에 대한 유의미한 증가는 없는 것으로 나타났다.
- [0117] 도 6의 (b)는 도 6의 (a)보다 상대적으로 높은 전류밀도 98.8 mA/cm^2 에서 유량에 따른 충전 곡선과 방전 곡선이다. 높은 부하 조건은 성능 시험에 적용된 유량 범위 전체에 대해 유량에 비례한다. 특히, 20~300 mL/min 유량 조건에서는 전기용량대 유량 상관식의 기울기가 약 8.1의 관계를 가졌지만, 400 mL/min 및 500 mL/min 유량 조건에서는 상관식의 기울기가 상대적으로 낮다.
- [0118] 도 6의 (c)는 충전 프로파일과 방전 프로파일이 3번째 사이클에 대하여 분석하되, 12번의 사이클 전체에 대한 방전 용량(discharge capacity)가 도시되어 있다.

- [0119] 도 6의 (d)에는 레독스 유동전지(200)의 성능 시험에서 차압 결과가 도시되어 있다. 제1 펌프(226)의 구동에 따른 레독스 유동전지(200)의 기생 손실은 차압에 비례하되, 유량과 차압은 선형적 관계를 가지는 것으로 나타난다.
- [0121] 도 7에는 7가지의 유량에 대한 충/방전 과정에서 SoC와 DoD 상태에 따른 분리형 전극의 y축 기준 전압 편차를 도시한다.
- [0122] 도 7의 (a)는 두가지 전류 밀도 조건에서 제1 분리형 전극(110)이 충전될 때 전압 기준 SoC 0%, SoC 10%, SoC 50%, SoC 100% 상태에서 y축을 기준으로 제1 분리형 전극(110)의 전압 평균을 최대 전압에 대해 비율로 정량화한다. 충전 과정에서 유동에 수직한 제1 다공체 전극(212)의 전기화학적 반응은 모든 전류 밀도의 조건 및 SoC 상태에 대하여 유사하고 비교적 균일하게 나타난다. 또한, 유량에 따른 전압 편차율(deviation ratio)은 일정한 경향이 없으며, 그 영향 또한 미미하다. 참고로, 49.4 mA/cm^2 전류밀도를 인가하여 충전할 때의 전압 편차는, 98.8 mA/cm^2 전류밀도 조건일 때의 전류 편차 평균에 대비하여 약 72% 차이를 보인다.
- [0123] 도 7의 (b)는 두가지 전류 밀도 조건에서 제1 분리형 전극(110)이 방전될 때 셀 전압을 기준으로 DoD 0%, DoD 50%, DoD 90% 상태에서 y축을 기준으로 제1 분리형 전극(110)의 전압 평균을 최대 전압에 대하여 비율로 정량화한 것이다. 방전 과정에서도 유량에 따른 전압 편차율은 경향성이 없지만, 유량에 따른 전압 변위는 상대적으로 높게 나타나고 있다. 참고로, 49.4 mA/cm^2 전류밀도를 인가하여 방전할 때의 전압 편차는, 98.8 mA/cm^2 전류밀도 조건일 때의 전류 편차 평균에 비해 약 140% 높은 것으로 나타난다.
- [0124] 따라서, 충/방전 과정의 각각에 대한 제1 다공체 전극(212)에서의 전기화학반응은 상대적으로 충전 과정에서 균일한 반응성을 보인다. 제1 다공체 전극(212)에서 전극 위치별로 전압 차이가 낮은 것은 반응 영역으로 공급되는 활성 이온의 물질 전달 특성이 높기 때문이다. 향상된 물질 전달 특성은 제1,2 전해액(V1, V2)의 점도, 반응 메커니즘의 차이 및 반응동역학 등의 복합적인 원인에 의해 결정된다.
- [0126] 도 8에는 레독스 유동전지(200)의 성능 시험에서 실험 조건 전체에 대한 제1 분리형 전극(110)의 단위 전극(130)들에서 측정된 실제 전압 편차를 하나의 그래프로 통합하여 도시하고 있다.
- [0127] 즉, 도 8에서는 전반적으로 전류 밀도의 향상은 전압 편차를 향상시키고 있고, 제1,2 전해액(V1, V2)의 SoC 100%(즉, DoD 0%)일 때 전압 편차는 커지고 있다. 또한, 주요 변수인 유량은 전압 편차와 상관성이 없지만, 일정한 범위에서 유량과 에너지 용량이 비례하는 경향을 나타낸다.
- [0128] 한편, 방전과정에서 $V3+$, $V4+$ 활성 이온의 농도 증가는 제1,2 전해액(V1, V2)의 물리적, 전기화학적 특성을 감소시키며, 이에 따라 낮아진 물질전달 특성은 인가되는 전류 또는 유량의 조절을 통해 최적화된 작동 조건으로 관리하는 것이 바람직하다.
- [0130] 이상과 같이 본 발명의 실시예에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 청구범위뿐 아니라 이 청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

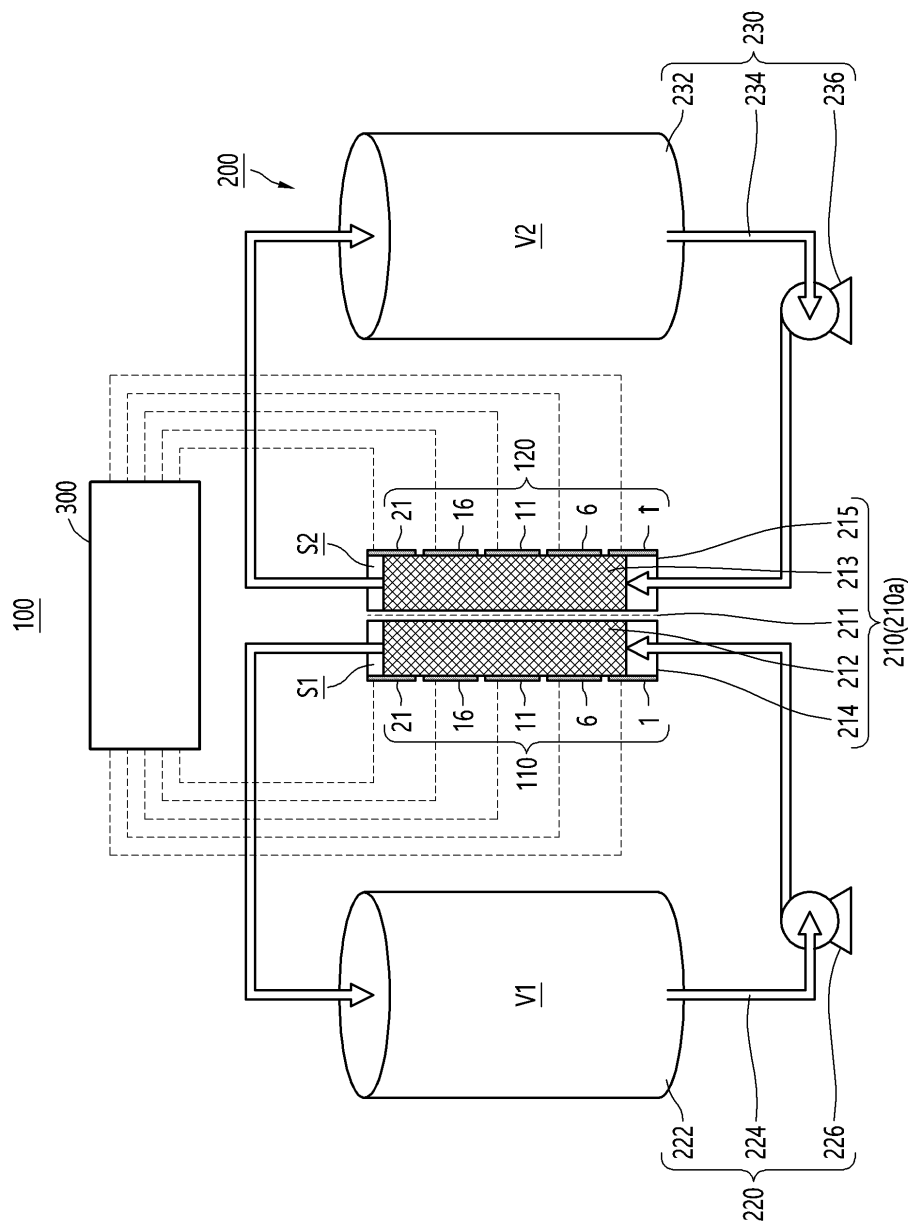
부호의 설명

- [0132] 100: 유동전지용 다공체 전극의 위치에 따른 성능 평가 시스템
110: 제1 분리형 전극
120: 제2 분리형 전극

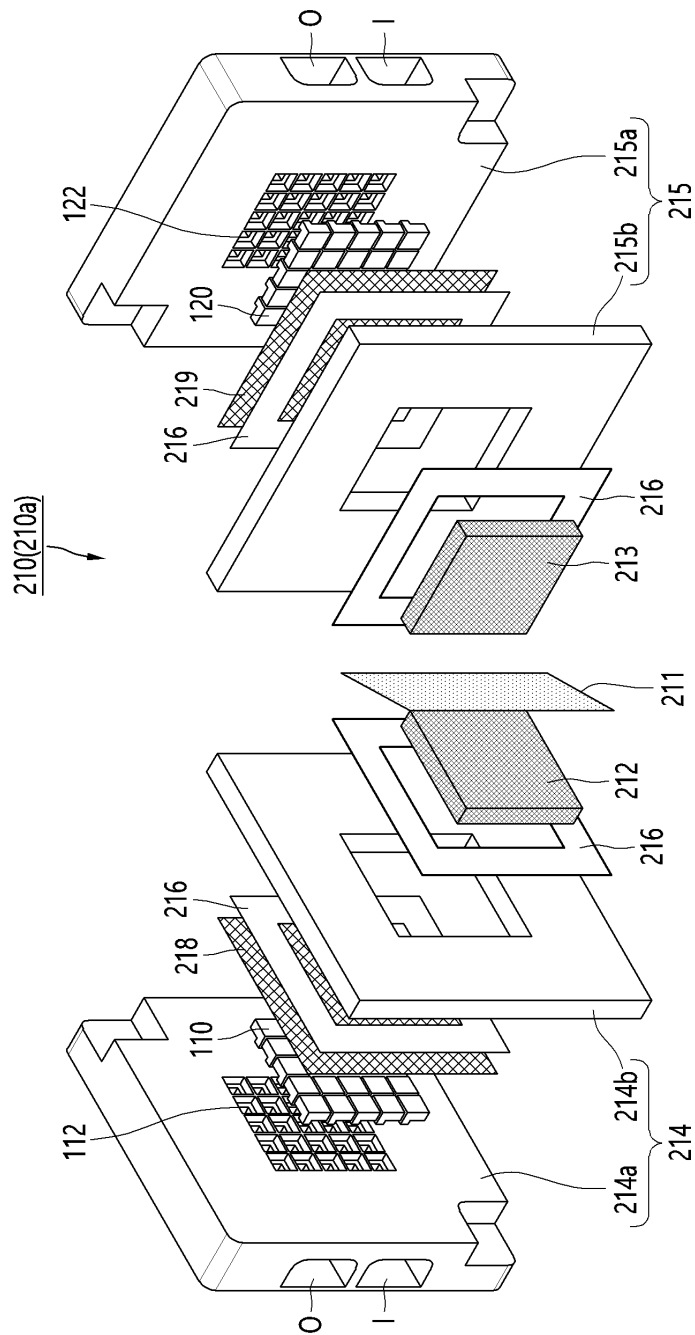
130: 단위 전극
200: 레독스 유동 전지
210: 스택부
210a: 스택부의 단위 전지 셀
211: 멤브레인
212, 213: 제1,2 다공체 전극
214, 215: 제1,2 셀 하우징
220: 제1 전해액 공급부
230: 제2 전해액 공급부
300: 전압 측정기
S1: 제1 공간
S2: 제2 공간
V1: 제1 전해액
V2: 제2 전해액

도면

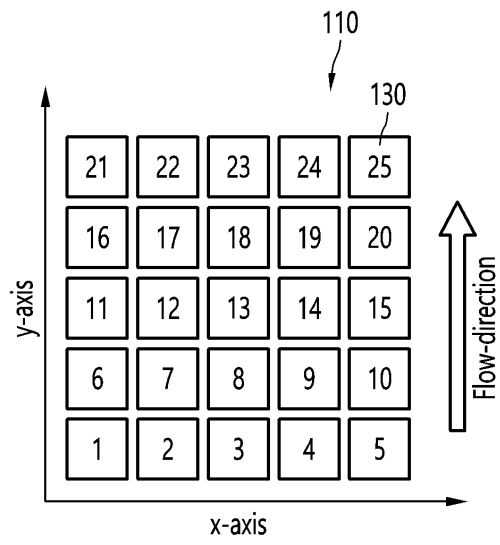
도면1



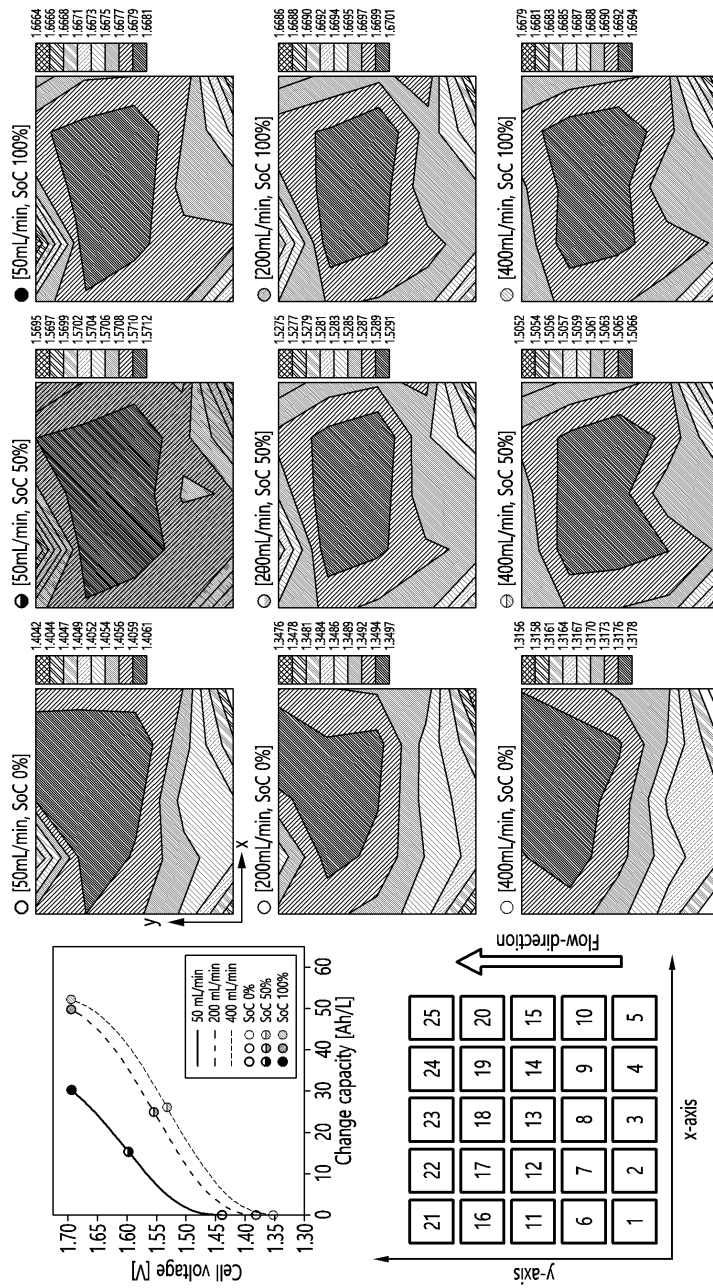
도면2



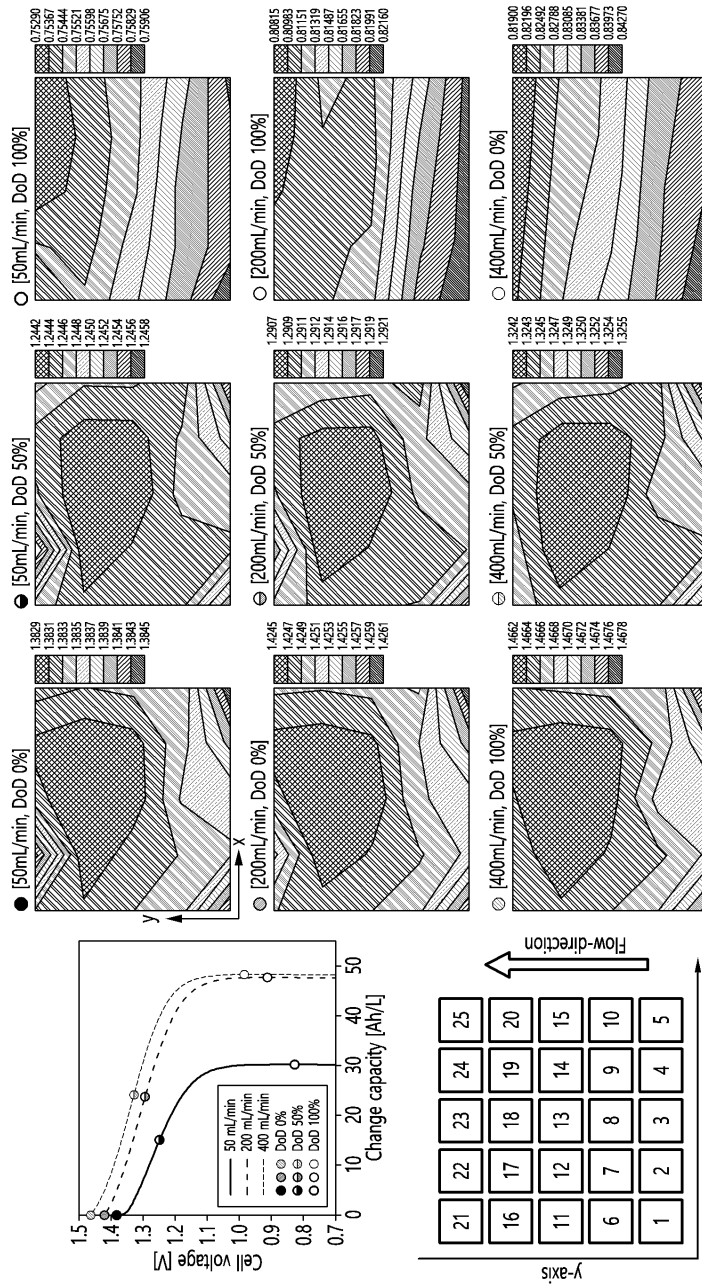
도면3



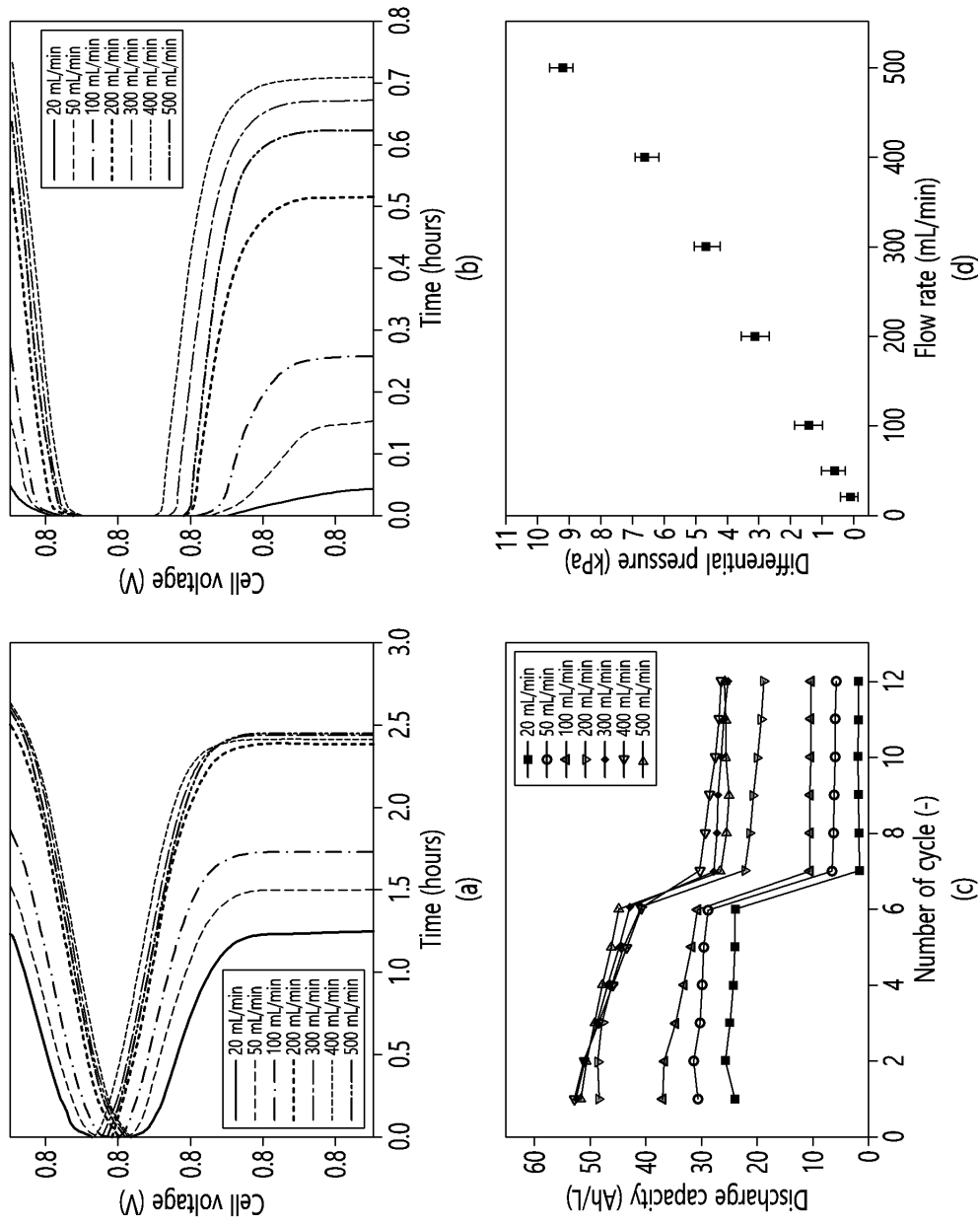
도면4



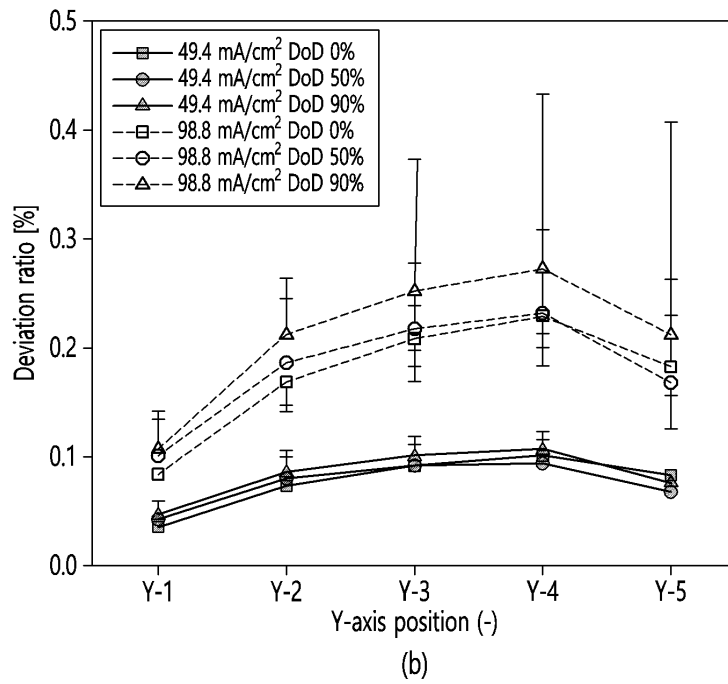
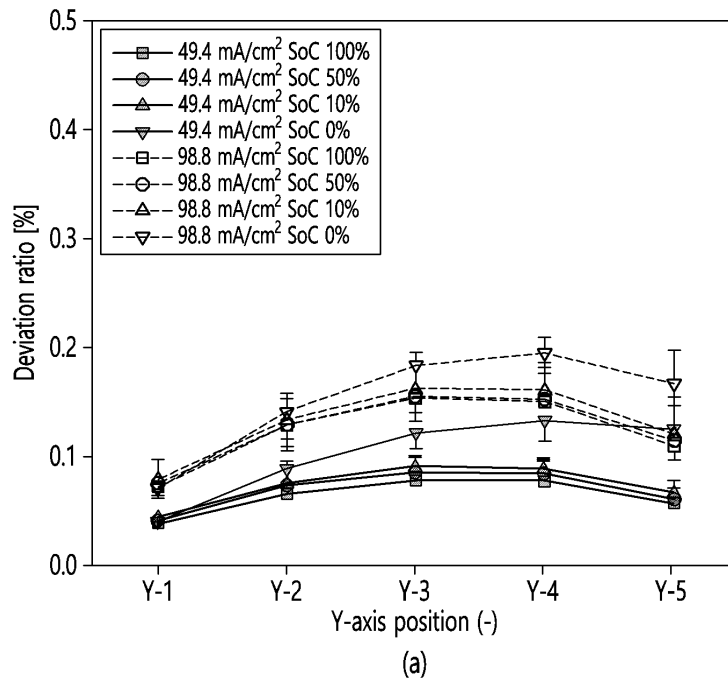
도면5



도면6



도면7



도면8

