(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0073370
(43) 공개일자 2013년07월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 8/12 (2006.01) *H01M 8/24* (2006.01)
H01M 8/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0141182
(22) 출원일자 2011년12월23일
심사청구일자 2011년12월23일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
황지원
경기도 평택시 송탄로 90, 110동 105호 (이충동, 현대아파트)
정현욱
서울특별시 서대문구 북가좌동 456번지 휴먼빌아파트 102동 704호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인충현

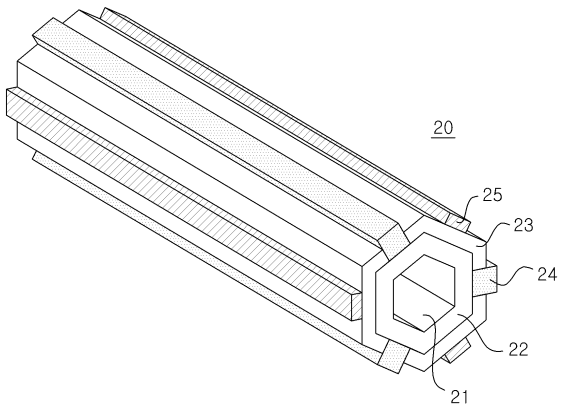
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **고체 산화물 연료전지 스택의 성능 최적화를 위한 지지체 구조의 설계 및 이에 의해서 설계된 새로운 구조의 고체 산화물 연료전지 스택**

(57) 요 약

본 발명은 기존의 관형 SOFC와 성능 비교하여 도출한 최적의 성능을 구현할 수 있는 새로운 구조의 고체 산화물 연료전지에 관한 것으로서, 외주면이 여섯 개의 평면으로 구성된 육각 관형 연료극 지지체; 상기 연료극 지지체의 전체 평면에 걸쳐 형성된 고체 전해질층; 상기 고체 전해질층의 전체 평면에 걸쳐 형성된 공기극; 및 상기 여섯 개 각각의 평면에 교대로 설치된 연료극 연결재와 공기극 연결재;를 포함하는 것을 특징으로 하며, 본 발명에 따라 설계된 고체 산화물 연료전지(SOFC)는 원통 관형 모양을 육각형 관형으로 변형하여 양극에서의 전류 경로를 단축시키고, 이로 인하여 성능이 향상되고, 또한 스택 형성시 연결재의 접촉을 유리하게 하고 이로 인하여 양극에서의 저항 손실을 감소시켜 연료전지의 성능이 보다 증가하며, 단위 부피 내에에서 원통형 관으로 적층하는 것보다 적층률을 높일 수 있기 때문에 전체적인 스택의 크기 및 단위 부피당 출력을 증가시킬 수 있다는 장점이 있다.

대 표 도 - 도2



(72) 발명자

김성현

서울특별시 강남구 영동대로 210, 쌍용아파트 5-1008 (대치동)

조동현

서울특별시 성북구 안암동4가 31번지 501호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2008NFC12J0332202009
부처명	에너지관리공단
연구사업명	신재생에너지기술개발사업
연구과제명	SOFC 스택 최적 설계 기술
주관기관	삼성에스디아이(주)
연구기간	2009.10.01 ~ 2010.09.30이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	2008NFC08P0230102010
부처명	한국에너지자원기술기획평가원
연구사업명	신재생에너지기술개발사업
연구과제명	평관형 고체산화물 연료전지 셀/스택의 최적설계
주관기관	한국에너지기술연구원
연구기간	2010.08.01 ~ 2011.07.31

특허청구의 범위

청구항 1

외주면이 여섯 개의 평면으로 구성된 육각 관형 연료극 지지체;

상기 연료극 지지체의 전체 평면에 걸쳐 형성된 고체 산화물 전해질층;

상기 고체 산화물 전해질층의 전체 평면에 걸쳐 형성된 공기극; 및 상기 여섯 개 각각의 평면에 교대로 설치된 연료극 연결재와 공기극 연결재;를 포함하는 고체산화물 연료전지.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 연료극 연결재는 상기 연료극에 부착되어 상기 연료전지 외곽에 형성되는 것을 특징으로 하는 고체산화물 연료전지.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 공기극 연결재는 상기 공기극에 부착되어 상기 연료전지 외곽에 형성되는 것을 특징으로 하는 고체산화물 연료전지.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 연료극 연결재가 설치된 일 평면과 인접하는 양 평면에는 공기극에 부착된 공기극 연결재가 설치되어, 상기 여섯 개 평면 각각에 연료극 연결재와 공기극 연결재가 교대로 설치되어 있는 것을 특징으로 하는 고체산화물 연료전지.

청구항 5

외주면이 여섯 개의 평면으로 구성된 육각 관형 연료극 지지체;

상기 연료극 지지체의 전체 평면에 걸쳐 형성된 고체 산화물 전해질층;

상기 고체 산화물 전해질층의 전체 평면에 걸쳐 형성된 공기극; 및 상기 여섯 개 각각의 평면에 교대로 설치된 연료극 연결재와 공기극 연결재;를 포함하는 고체 산화물 연료전지를 복수 개로 적층하고,

상기 복수 개의 연료전지가 적층될 때, 수직 방향으로는 병렬로 연결되고, 수평방향으로는 직렬로 연결되는 것을 특징으로 하는 고체 산화물 연료전지 스택.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 연료극 연결재는 상기 연료극에 부착되어 상기 연료전지 외곽에 형성되는 것을 특징으로 하는 고체산화물 연료전지 스택.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 공기극 연결재는 상기 공기극에 부착되어 상기 연료전지 외곽에 형성되는 것을 특징으로 하는 고체산화물 연료전지 스택.

청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 연료극 연결재가 설치된 일 평면과 인접하는 양 평면에는 공기극에 부착된 공기극 연결재가 설치되어, 상기 여섯 개 평면 각각에 연료극 연결재와 공기극 연결재가 교대로 설치되어 있는 것을 특징으로 하는 고체산화물 연료전지 스택.

청구항 9

제 5 항에 있어서,

상기 다수의 연료전지가 수직 방향으로는 하나의 연료전지의 연료극 연결재가 인접하는 다른 연료전지의 연료극 연결재와 연결되거나, 하나의 연료전지의 공기극 연결재가 인접하는 다른 연료전지의 공기극 연결재와 연결되는 것을 특징으로 하는 고체 산화물 연료전지 스택.

청구항 10

제 5 항에 있어서,

상기 다수의 연료전지가 수평 방향으로는 하나의 연료전지의 연료극 연결재가 인접하는 다른 연료전지의 공기극 연결재와 연결되거나, 하나의 연료전지의 공기극 연결재가 인접하는 다른 연료전지의 연료극 연결재와 연결되는 것을 특징으로 하는 고체 산화물 연료전지 스택.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 새로운 구조의 고체 산화물 연료전지에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 3차원 전산모사를 통하여 새로운 형태의 SOFC를 제안하고 기존의 관형 SOFC와 성능 비교하여 도출한 최적의 성능을 구현할 수 있는 새로운 구조의 고체 산화물 연료전지에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 연료전지란 연료(수소, LNG, LPG 등)와 공기의 화학 에너지를 전기 화학적 반응에 의해 전기 및 열로 직접 변환시키는 장치이다. 기존의 발전기술이 연료의 연소, 증기 발생, 터빈 구동, 발전기 구동 과정을 취하는 것과 달리 연소 과정이나 구동 장치가 없으므로 효율이 높을 뿐만 아니라 환경문제를 유발하지 않는 새로운 개념의 발전 기술이다. 이러한 연료전지는 SOx와 NOx 등의 대기오염물질을 거의 배출하지 않고 이산화탄소의 발생도 적어 무공해 발전이며, 저소음, 무진동 등의 장점이 있다.

[0003] 연료전지는 인산형 연료전지(PAFC), 알칼리형 연료전지(AFC), 고분자전해질형 연료전지(PEMFC), 직접메탄올 연료전지(DMFC), 고체산화물 연료전지(SOFC) 등 다양한 종류가 있는데, 이 중 고체산화물 연료전지(SOFC)는 낮은 활성화 분극을 바탕으로 하여 과전압이 낮고, 비가역적 손실이 적으므로 발전효율이 높다. 또한, 수소뿐만 아니라 탄소 또는 하이드로 카본계의 연료로 사용할 수 있어 연료 선택폭이 넓으며, 전극에서의 반응속도가 높기 때문에 전극 촉매로서 값비싼 귀금속을 필요로 하지 않는다. 게다가, 발전에 부수하여 배출되는 열은 온도가 매우 높아 이용 가치가 높다. 고체산화물 연료전지에서 발생한 열은 연료의 개질에 이용될 뿐만 아니라, 열병합 발전에서 산업용이나 냉방용 에너지원으로 이용할 수 있다. 따라서, 고체산화물 연료전지는 향후 수소 경제 사회로의 진입을 위해 필수적인 발전기술이다.

[0004] 고체산화물 연료전지(solid oxide fuel cell; SOFC)의 기본적인 동작원리를 살펴보면, 고체산화물 연료전지는 기본적으로 수소 및 CO의 산화반응으로 발전하는 장치이고, 연료극 및 공기극에서는 아래의 [반응식 1]과 같은 전극 반응이 진행된다.

[0005] [반응식 1]

[0006] 연료극 : $H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$

[0007] 공기극 : $(1/2)O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$

[0008] 전체반응 : $H_2 + (1/2)O_2 \rightarrow H_2O$

[0009] 즉, 전자는 외부 회로를 거쳐 공기극에 도달하고, 동시에 공기극에서 발생한 산소이온이 전해질을 통해서 연료극으로 전달되어 연료극에서는 수소가 산소이온과 결합하여 전자 및 물을 생성한다.

[0010] 고체 산화물 연료전지는 전해질로 고체 산화물 계열인 yttria-stabilized zirconia(YSZ)를 주로 사용하기 때문에 붙여진 이름이다. 전극물질로는 양극에는 Sr-doped $LaMnO_3$을 사용하고 음극에는 Ni-ZrO_2을 사용한다. 전극이 활성화 되는 온도가 600 ℃ 이상의 고온이므로 촉매 표면에 흡착되는 일산화탄소의 허용량이 다른 연료전지에 비해 상대적으로 높은 편이다. 따라서, 전지 내부의 직접 개질 혹은 별도의 개질장치를 통한 화석연료의 사용이 가능하므로 현재 갖추어진 에너지 인프라를 새로이 구축하지 않더라도 사용할 수 있는 이점을 갖고 있다.

[0011] SOFC는 지지체의 상대적인 두께에 따라 연료극 지지체식, 공기극 지지체식, 전해질 지지체식 등으로 구분할 수 있으며, 지지체의 구조에 따라 관형, 평판형, 평관형, 모놀리식 등으로 나눌 수 있다. 국내에서 중점적으로 연구되고 있는 연료극 지지체식 관형 SOFC는 연료극의 전기 전도도가 높음에 따라 두꺼운 지지체 형태가 되어도 전류 저항이 크지 않다는 이점을 갖고 있다.

[0012] 하지만, 관형 구조의 특성상 최외각을 둘러싼 공기극은 낮은 전기 전도도를 가지고 있으면서 원주 방향으로의 긴 전류경로를 갖고 있기 때문에 이로 인한 전류저항이 성능 저하를 야기한다. 따라서, 관형 SOFC에서 전류집전을 위해 사용되는 사각 필름 모양의 연결재는 작은 접촉 면적으로 인해 공기극에서의 전류경로를 효과적으로 줄이기 힘들다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고자 여러 연구단체에서 공기극 접촉면적을 늘리기 위한 다양한 전류집전 방식을 채택하고 있다. 대표적으로 은과 같이 고전도도를 가진 물질로 된 와이어를 공기극에 감아서 표면적을 늘리는 방식이 국내에서 널리 사용되고 있다. 하지만, 와이어 방식의 전류집전은 제조비용과 공정상 어려움이 많기 때문에 단가 측면에서 연결재 방식이 선호되기도 한다.

[0013] 따라서, 연결재 방식의 단점을 보안하기 위해 연결재 방식의 전류 집전을 유지하면서도 성능이 향상된 새로운 집전 구조에 대해서 연구가 활발히 이루어지고 있다.

[0014] 종래기술로서 미국공개특허 제7255953호에 일체형이 아닌 다수의 부분으로 나뉘어진 구조가 전해질층 표면에 팩킹된 형태를 가지고, 그 패턴이 육각형의 벌집 패턴의 구조로 이루어진 것을 특징으로 하는 고체산화물 연료전지의 전극층에 관한 것이 개시되어 있고, 미국공개특허 제6551735호에 공기 채널과 연료채널을 육각형 벌집 모양으로 구성하여 출력밀도를 향상시킨 것을 특징으로 하는 고체 산화물 연료전지에 관한 것이 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 종래의 원통 관형 SOFC에서 사용하는 연결재 형태의 전류 집전체를 사용하게 되는 경우 발생할 수 있는 양극 내 전력 손실을 최소화하고, 적층시 단위 부피 당 출력을 최대화할 수 있는 새로운 구조의 고체산화물 연료전지를 제공하는 것이다.

[0016] 또한, 본 발명은 상기 새로운 구조의 고체산화물 연료전지가 복수 개로 적층된 고체산화물 연료전지 스택을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0017] 본 발명은 상기 과제를 달성하기 위하여,

[0018] 외주면이 여섯 개의 평면으로 구성된 육각 관형 연료극 지지체; 상기 연료극 지지체의 전체 평면에 걸쳐 형성된 고체 전해질층; 상기 고체 전해질층의 전체 평면에 걸쳐 형성된 공기극; 및 상기 여섯 개 각각의 평면에 교대로 설치된 연료극 연결재와 공기극 연결재;를 포함하는 고체산화물 연료전지를 제공한다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 연료극 연결재는 상기 연료극에 부착되어 상기 연료전지 외곽에 형성될 수 있다.

[0020] 본 발명의 다른 일 실시예에 의하면, 상기 공기극 연결재는 상기 공기극에 부착되어 상기 연료전지 외곽에 형성될 수 있다.

[0021] 본 발명의 다른 일 실시예에 의하면, 상기 연료극 연결재가 설치된 일 평면과 인접하는 양 평면에는 공기극에 부착된 공기극 연결재가 설치되어, 상기 여섯 개 평면 각각에 연료극 연결재와 공기극 연결재가 교대로 설치되어 있을 수 있다.

[0022] 또한, 본 발명은 상기 과제를 달성하기 위하여,

[0023] 외주면이 여섯 개의 평면으로 구성된 육각 관형 연료극 지지체; 상기 연료극 지지체의 전체 평면에 걸쳐 형성된 고체 전해질층; 상기 고체 전해질층의 전체 평면에 걸쳐 형성된 공기극; 및 상기 여섯 개 각각의 평면에 교대로 설치된 연료극 연결재와 공기극 연결재;를 포함하는 고체 산화물 연료전지를 복수 개로 적층하고, 상기 복수 개의 연료전지가 적층될 때, 수직 방향으로는 병렬로 연결되고, 수평방향으로는 직렬로 연결되는 것을 특징으로 하는 고체 산화물 연료전지 스택을 제공한다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 연료극 연결재는 상기 연료극에 부착되어 상기 연료전지 외곽에 형성될 수 있다.

[0025] 본 발명의 다른 일 실시예에 의하면, 상기 공기극 연결재는 상기 공기극에 부착되어 상기 연료전지 외곽에 형성될 수 있다.

[0026] 본 발명의 다른 일 실시예에 의하면, 상기 연료극 연결재가 설치된 일 평면과 인접하는 양 평면에는 공기극에 부착된 공기극 연결재가 설치되어, 상기 여섯 개 평면 각각에 연료극 연결재와 공기극 연결재가 교대로 설치되어 있을 수 있다.

[0027] 본 발명의 다른 일 실시예에 의하면, 상기 다수의 연료전지가 수직 방향으로 적층될 때는 하나의 연료전지의 연료극 연결재가 인접하는 다른 연료전지의 연료극 연결재와 연결되거나, 하나의 연료전지의 공기극 연결재가 인접하는 다른 연료전지의 공기극 연결재와 연결될 수 있다.

[0028] 본 발명의 다른 일 실시예에 의하면, 상기 다수의 연료전지가 수평 방향으로 적층될 때는 하나의 연료전지의 연료극 연결재가 인접하는 다른 연료전지의 공기극 연결재와 연결되거나, 하나의 연료전지의 공기극 연결재가 인접하는 다른 연료전지의 공기극 연결재와 연결될 수 있다.

발명의 효과

[0029] 본 발명에 따라 설계된 고체 산화물 연료전지(SOFC)는 원통 관형 모양을 육각형 관형으로 변형하여 양극에서의 전류 경로를 단축시키고, 이로 인하여 성능이 향상되고, 또한 스택 형성시 연결재의 접촉을 유리하게 하고 이로 인하여 양극에서의 저항 손실을 감소시켜 연료전지의 성능이 보다 증가하며, 단위 부피 내에에서 원통형 관으로 적층하는 것 보다 적층률을 높일 수 있기 때문에 전체적인 스택의 크기 및 단위 부피당 출력을 증가시킬 수 있다는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 종래 원통 관형 SOFC의 구조를 나타낸 사시도이다.

도 2는 본 발명에 따른 육각형 관형 SOFC의 구조를 나타낸 사시도이다.

도 3은 종래 원통 관형 SOFC를 적층한 고체산화물 연료전지 스택에 대한 양극, 음극의 방향과 전체 구조를 나타낸 개념도이다.

도 4는 본 발명에 따른 육각형 관형 SOFC를 적층한 고체산화물 연료전지 스택에 대한 양극, 음극의 방향과 전체 구조를 나타낸 개념도이다.

도 5 및 도 6은 본 발명의 일 구현예에 따른 육각형 관형 SOFC와, 종래 원통 관형 SOFC의 성능비교를 위하여 각 구조의 변수를 설정하여 설계한 SOFC의 단면도이다.

도 7 및 도 8은 본 발명의 일 구현예에 따른 육각형 관형 SOFC를 이용한 연료전지 스택과, 종래 원통 관형 SOFC를 이용한 연료전지 스택을 나타낸 사시도이다.

도 9는 본 발명에 따른 육각형 관형 SOFC와, 종래 원통 관형 SOFC를 스택으로 구성하였을 때, 단전지의 성능을 비교한 분극 곡선 그래프로서, 가로축은 전류밀도, 좌측 세로축은 전지의 전압, 우측 세로축은 전력밀도를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 이하, 도면 부호를 참조하여 본 발명을 상세하게 설명한다.

[0032] 본 발명은 고체 산화물 연료전지(SOFC)의 3차원 전산모사 기술을 이용하여 새로운 형태의 고체산화물 연료전지

를 제안하고 종래의 관형 고체산화물 연료전지와의 성능을 비교하여 최적의 성능을 도출할 수 있는 고체산화물 연료전지를 제공한다.

[0033] 본 발명은 종래의 원통 관형 SOFC에서 사용하는 연결재 형태의 전류 집전체를 사용하게 되는 경우 발생할 수 있는 양극 내 전력 손실을 최소화하고, 적층시 단위 부피 당 출력을 높이고자 하는 것을 특징으로 한다. 종래 원통 관형 SOFC의 경우, 양극을 통해 전달되는 전자가 양극 자체의 낮은 전도도와 원주 방향을 따라 흐르는 전류의 긴 경로 때문에 큰 저항을 받게 되어 전반적으로 성능이 감소하는 효과를 보인다. 또한, 단위 부피 내에 적층을 하게 될 경우 빈 공간이 많이 생겨 단위 부피당 출력이 감소한다는 문제점이 있다.

[0034] 본 발명에 따른 고체산화물 연료전지는 하기 도 2에 나타난 바와 같이, 외주면이 여섯 개의 평면으로 구성된 육각 관형 연료극 지지체(22), 상기 연료극 지지체(22)의 전체 평면에 걸쳐 형성된 고체 전해질층(미도시), 상기 고체 전해질층의 전체 평면에 걸쳐 형성된 공기극(23) 및 상기 여섯 개 각각의 평면에 교대로 설치된 연료극 연결재(24)와 공기극 연결재(25)를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0035] 육각 관형 연료극 지지체(22)의 내부에는 연료가 공급되는 연료극 채널이 동일하게 육각 관형으로 형성되고, 기체 공급수단인 매니폴드와의 결합성을 높이고 결합부에서의 기체의 유출을 방지하기 위한 수단이 더 갖추어질 수 있다. 또한, 육각 관형 연료극 지지체(22)는 공급받은 연료를 연료극에 전달해야 하므로 다공성물질로 형성하는 것이 바람직하고, 통상 사용되는 안정화 지르코니아(Yttria stabilized zircornia; YSZ)을 포함하는 세라믹재료를 이용하여 형성할 수 있고, 또는 알루미나(Al_2O_3)계 세라믹재료를 이용하여 형성할 수 있다.

[0036] 본 발명에 따른 육각 관형 SOFC는 여섯 개의 평면에 연결재를 부착하여 다른 연료전지와 연결할 수 있는 구조로 되어 있기 때문에 단위 부피 내에 적층률을 극대화 할 수 있다. 또한, 양극 표면에 연결재를 여러 개 부착하여 전류 경로를 단축시킬 수 있기 때문에 성능 향상을 기대할 수 있다.

[0037] 상기 연료극 연결재(24)는 상기 연료극(22)에 부착되어 상기 연료전지 외곽에 형성되고, 상기 공기극 연결재(25)는 상기 공기극(23)에 부착되어 상기 연료전지 외곽에 형성된다. 상기 연료극 연결재(24)가 설치된 일 평면과 인접하는 양 평면에는 공기극(23)에 부착된 공기극 연결재(25)가 설치되어, 상기 여섯 개 평면 각각에 연료극 연결재(24)와 공기극 연결재(25)가 교대로 설치된다.

[0038] 본 발명은 종래 원통 관형 구조가 지니고 있는 공기극의 긴 전류경로를 줄이기 위해 관을 육각기둥 형태로 구성하였고, 이에 의해서 각 면마다 편평한 필름 구조인 연결재를 두께편차 없이 부착할 수 있는 장점이 있다. 또한, 원통형 관의 경우 접촉 면적을 넓히고자 연결재의 폭을 늘리는 경우 폭 방향으로 두께가 증가하게 되어 성능 손실을 가져올 수 있다. 원과 면은 서로 선 접촉을 하기 때문에 면 접촉을 위해서는 폭 방향으로 두께가 증가할 수밖에 없기 때문이다. 하지만 육각기둥 관의 경우 접촉면이 편평하기 때문에 연결재를 일정한 두께로 부착할 수 있을 뿐만 아니라 앞서 언급하였듯이 각 면에 모두 부착할 수 있기 때문에 공기극과의 접촉 면적을 늘려 전류경로를 단축시키고 성능을 증진시킬 수 있다.

[0039] 또한, 본 발명은 상기 고체산화물 연료전지가 수평, 수직으로 다수 개 적층된 연료전지 스택을 제공하고, 본 발명에 따른 연료전지 스택(80)은 하기 도 4에 나타나 있는 바와 같이, 외주면이 여섯 개의 평면으로 구성된 육각 관형 연료극 지지체(22), 상기 연료극 지지체(22)의 전체 평면에 걸쳐 형성된 고체 전해질층(미도시), 상기 고체 전해질층의 전체 평면에 걸쳐 형성된 공기극(23) 및 상기 여섯 개 각각의 평면에 교대로 설치된 연료극 연결재(24)와 공기극 연결재(25)를 포함하는 고체 산화물 연료전지(20)를 복수 개로 적층하고, 상기 복수 개의 연료전지(20)가 적층될 때, 수직 방향으로는 병렬로 연결되고, 수평방향으로는 직렬로 연결되는 것을 특징으로 한다.

[0040] 상기 다수의 연료전지(20)가 수직 방향으로는 하나의 연료전지의 연료극 연결재(24)가 인접하는 다른 연료전지의 연료극 연결재(24)와 연결되거나, 하나의 연료전지의 공기극 연결재(25)가 인접하는 다른 연료전지의 공기극 연결재(25)와 연결되는 것을 특징으로 한다.

[0041] 또한, 상기 다수의 연료전지(20)가 수평 방향으로는 하나의 연료전지의 연료극 연결재(24)가 인접하는 다른 연료전지의 공기극 연결재(25)와 연결되거나, 하나의 연료전지의 공기극 연결재(25)가 인접하는 다른 연료전지의 연료극 연결재(24)와 연결되는 것을 특징으로 한다.

[0042] 본 발명에 따른 육각형 관형 구조의 SOFC를 적층한 경우에는 하기 도 4에 나타난 바와 같이 적층된 수직 방향으로는 병렬로 연결되고, 적층된 수평 방향으로는 직렬로 연결되는 것으로서 하기 도 3에 나타난 종래의 원통 관

형 구조에 비해서 팩킹되는 구조의 체적 적층율이 증가한다.

[0043] 즉, 본 발명은 종래 원통 관형 구조로 스택을 구성하게 될 경우 원통형 관은 완벽한 적층을 이루지 못하고 단전지 사이마다 공극이 발생할 수 있지만 육각기둥은 연결재 부분의 틈을 제외하고 완전 적층을 이룰 수 있기 때문에 단위 공간 내에서 더 좋은 출력을 얻을 수 있는 장점이 있다.

[0044] 본 발명에 따른 육각 관형 SOFC 및 그 스택을 형성함에 있어서 연료극, 공기극, 전해질의 종류는 특별히 제한함이 없이 일반적인 고체산화물 연료전지에 사용되는 소재로 형성이 가능하고, 또한 제조방법에 있어서도 플라즈마 스프레이법(plasma spray), 전기화학 증착법, 스퍼터링법(sputtering), 이온빔법, 이온주입법, 테이프 캐스팅법(tape cating), 스프레이 코팅법(spray coating), 딥 코팅법(dip coating), 스크린 프린팅법(screen printing), 닥터 블레이드법(doctor blade) 중에서 하나를 선택하거나 2 이상의 공법을 조합하여 사용할 수 있다.

[0045] 이하, 본 발명의 일 구현예에 따른 육각형 관형 SOFC와 이와 비교할 수 있는 원통 관형 SOFC의 스택을 Ansys 社의 Fluent를 사용하여 전산모사로 구현한 후, 그 성능을 비교 분석하였다. Fluent에 포함된 지배 방정식을 이용하여 각 부분에 대한 운동량 관계, 에너지 관계, 질량 관계, 전하 관계 등을 해석하였다.

[0046] (1) 먼저, 본 발명에 따른 육각형 관형 SOFC는 음극 지지체식으로 하기 도 6에 나타나 있는 바와 같이, 연료극 채널(21)의 반경은 2 ㎜, 연료극(22)의 두께는 1 ㎜, 공기극(23)의 두께는 0.05 ㎜, 전해질의 두께는 0.005 ㎜, 연결재(24, 25)의 두께는 0.5 ㎜로 설정하였다. 또한, 성능을 비교하고자 하는 원통 관형 SOFC 역시 동일한 구조 변수로 하기 도 5에 나타나 있는 바와 같이 설정하였다.

[0047] 육각형 관 SOFC는 스택 형태를 모사하기 위해 여섯 개의 각 면에 연결재를 부착하였으며 각각의 연결재는 번갈아가면서 음극, 양극에 부착된다. 전체적인 구조는 하기 도 2와 같다. 관형 SOFC 또한 원통형 외곽의 네 부분에 연결재를 부착한 형태로 모사하였으며, 전체적인 구조는 하기 도 1과 같다.

[0048] (2) 공정 온도는 1073 K(800 ℃)로 고정시켰고 주입하는 연료 및 공기의 부피 유속은 각각 1.53×10^{-5} ㎥/S와 1.20×10^{-5} ㎥/S로 일정하게 주입하였다. 주입될 때 모두 예열되었다고 가정하여 입구에서의 온도는 1073 K으로 설정하였다. 음극 및 양극의 전기 전도도는 각각 303 S/㎝와 28 S/㎝이며 연결재는 10 S/㎝로 일정한 값을 갖는다고 가정하였다. 음극에 부착된 연결재에는 전자가 나가는 형태의 경계조건인 voltage tap으로 지정하였고 양극에 부착된 연결재에는 전자가 들어가는 형태의 경계조건인 current tap으로 지정하였다.

[0049] (3) 전산모사를 위해 Ansys 社의 Fluent를 사용하였다. Fluent에 포함된 지배 방정식을 이용하여 각 부분에 대한 운동량 관계, 에너지 관계, 질량 관계, 전하 관계 등을 해석하였다.

[0050] (4) 운동식과 연속방정식

[0051] [식 1]

[0052] $$\rho\left(\underline{v}\cdot\underline{\nabla v}\right)=-\underline{\nabla}P+\underline{\nabla}\cdot\left[\mu\left(\underline{\nabla v}+\left(\underline{\nabla v}\right)^{T}\right)\right]+\underline{F}$$

[0053] 여기서 ρ는 혼합 기체의 밀도, $\underline{v}$는 기체의 속도 벡터, P는 압력, μ는 혼합 기체의 점도, 그리고 $\underline{F}$는 외력벡터이다. 위 [식 1]로부터 기체가 흘러가는 채널에서의 속도 분포 및 압력변화를 계산할 수 있다. 혼합기체는 고온(700-900 ℃) 및 저압(1 기압)에서 존재하므로 이상기체의 혼합물로 간주할 수 있다.

[0054] [식 2]

$$\mu_{mix}^{ig} = \sum_i x_i \mu_{pure,i}^{ig}$$

[0055]

[0056] 여기서 X_i는 순수성분 i의 몰분율이다.

[0057] 각 성분의 연속방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

[0058] [식 3]

[0059] Anode : $$\nabla \cdot (\rho \underline{v}) = S_{H_2} + S_{O^{2-}} + S_{H_2O}$$

[0060] [식 4]

[0061] Cathode : $$\nabla \cdot (\rho \underline{v}) = S_{O_2} + S_{O^{2-}}$$

[0062] 연속방정식은 채널의 기체 수지를 계산한다. 우항의 S는 반응에서 생성 혹은 소멸되는 절대적인 양을 나타내며 양론비와 전류밀도를 통해 계산된다.

[0063] (5) 에너지방정식

[0064] [식 5]

$$\nabla \cdot \left(\underline{v} (\rho E + P) \right) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \underline{J}_j + \left(\underline{\underline{\tau}}_{eff} \cdot \underline{v} \right) \right) + Q_h$$

[0065]

[0066] 여기서 k_{eff}는 유효 열전도계수이며, T는 온도, h_j는 순수성분 j의 엔탈피, J_i는 순수성분 j의 질량플럭스 벡터, $\underline{\tau}_{eff}$는 유효 전단응력 텐서, Q_h는 전기저항에 의한 열이다. 좌항의 E는 내부에너지 및 운동에너지, 위치에너지를 포함한다. 에너지식은 전지 내에서의 전도, 대류에 의한 열전달과 반응, 점성소산 및 전기저항에 의해 발생하는 열의 균형에 의해 유도되었다.

[0067] (6) 기체성분의 확산

[0068] 채널 및 전극에서의 물질 확산은 Fick의 법칙에 의해 나타낼 수 있다.

[0069] [식 6]

$$\underline{J_i} = -\rho D_{ij} \nabla \underline{\omega_i}$$

[0070]

[0071] 여기서 D_{ij}는 성분 i와 j간의 확산도이며 ω_i는 질량 분율이다. 다공성 전극의 경우 전극의 공극률(porosity)과 비틀림(tortuosity)에 의해 유효 확산도로 다시 표현할 수 있다.

[0072] [식 7]

$$D_{ij,eff} = \frac{\varepsilon}{\xi} D_{ij}$$

[0073]

[0074] 여기서 ε는 공극률을, ξ는 비틀림을 나타낸다.

[0075] (7) 전하량 보존식과 전기화학식

[0076] 질량의 연속식과 마찬가지로 전하를 띠는 부분에 대해 전하보존 관계식을 나타낼 수 있다.

[0077] [식 8]

[0078] $$\nabla \cdot \underline{i} = 0$$

[0079] 전류밀도 벡터인 $\underline{i}$는 전기퍼텐셜 ϕ와 전하를 띠는 부분의 전도도인 σ로 표현할 수 있다.

[0080] [식 9]

[0081] $$\underline{i} = -\sigma \nabla \phi$$

[0082] [식 8]과 [식 9]를 혼합하면 [식 10]과 같다.

[0083] [식 10]

[0084] $$\nabla \cdot (\sigma \nabla \phi) = 0$$

[0085] 전지의 성능을 표현하기 위해 전류가 통하지 않는 전해질을 기준으로 양 전극의 퍼텐셜 도약의 개념을 도입한다. 전지의 이론적인 최대 성능은 열역학적 관계로부터 유도된 네른스트 [식 11]에 의해 구해진다.

[0086] [식 11]

[0087] $$\phi_{ideal} = \phi^0 + \frac{RT}{nF} \ln \prod_i p_i^{\nu_i}$$

[0088] 여기서 ϕ^0는 표준 상태에서의 퍼텐셜을 나타내며 p_i는 성분 i의 분압을, υ_i는 각 반응 성분들의 양론계수를 나타낸다. F는 패러데이 상수(96,485 C)이며, n은 전기화학 반응에서 이동하는 전자의 몰 계수이다. 퍼텐셜 도약은 네른스트 식으로부터 구해진 이상 퍼텐셜에서 각 전극의 활성과 전압과 전해질에서의 이온전도저항에 의한 손실을 감하여 구한다.

[0089] [식 12]

[0090] $$\phi_{jump} = \phi_{ideal} - \eta_{ele} - \eta_{act,a} - \eta_{act,c}$$

[0091] 전지의 전체 전압은 [식 12]의 퍼텐셜 도약에서 각 전극의 옴 저항에서 발생하는 손실을 감함으로써 계산된다.

[0092] [식 13]

[0093] $$\phi_{cell} = \phi_{jump} - \phi_s = \phi_{ideal} - \left(\eta_s + \eta_{ele} + \eta_{act,a} + \eta_{act,c}\right)$$

[0094] 각 전극의 활성과 전압은 일반적으로 Butler-Volmer ([식 14] [식 15])으로부터 구할 수 있다.

[0095] [식 14]

[0096] Anode : $$i = i_{0,a}\left[e^{\frac{\alpha n F \eta_{act,a}}{RT}} - e^{\frac{-\alpha n F \eta_{act,a}}{RT}}\right]$$

[0097] [식 15]

[0098] Cathode : $$i = i_{0,c}\left[e^{\frac{\alpha n F \eta_{act,c}}{RT}} - e^{\frac{-\alpha n F \eta_{act,c}}{RT}}\right]$$

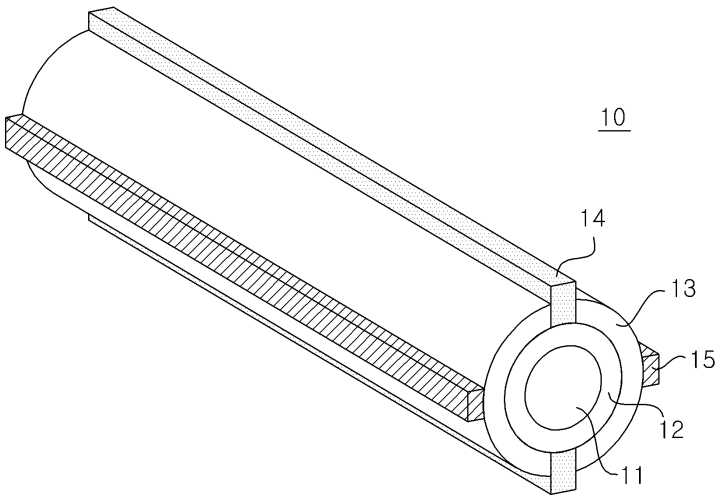
[0099] 여기서 i_0는 각 전극의 교환전류밀도이며, α는 전달계수, n은 전기화학반응에서 발생하는 전자의 몰 계수이다.

[0100] 교환전류밀도는 전극에 사용되는 촉매의 종류와 미세구조에 큰 영향을 받는 수치이다. Butler-Volmer 식에 들어 있는 활성과 전압의 계산은 비선형 방정식을 풀어야 하기 때문에 Newton 방법을 이용한다.

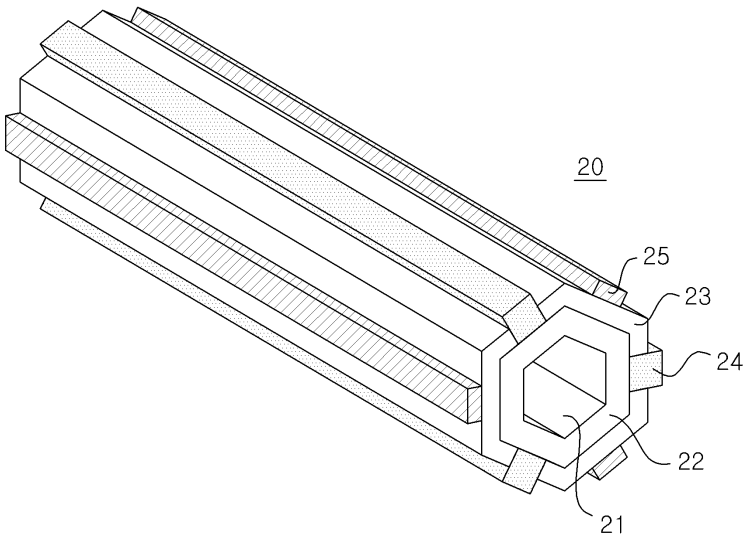
[0101] 상기의 내용으로, 본 발명에 따른 음극 지지체 구조의 육각형 관 형태와 원형 관 형태로 구성하여 전산모사를 수행하고 성능을 비교하였다. 그 결과 하기 도 9에 나타나 있는 바와 같이, 전지전압 0.7 V일 때 종래의 원통 관형 SOFC와 본 발명의 일 구현예에 따른 육각형 관형 SOFC는 각각 0.366 A/㎠(0.256 W/㎠)와 0.482 A/㎠(0.337 W/㎠)의 전류밀도를 나타내어 본 발명에 따른 육각형 관형 SOFC가 더 좋은 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 낮은 전도도를 가지는 양극에서의 전류 경로가 짧아짐에 따라 저항 손실이 감소하기 때문이다.

도면

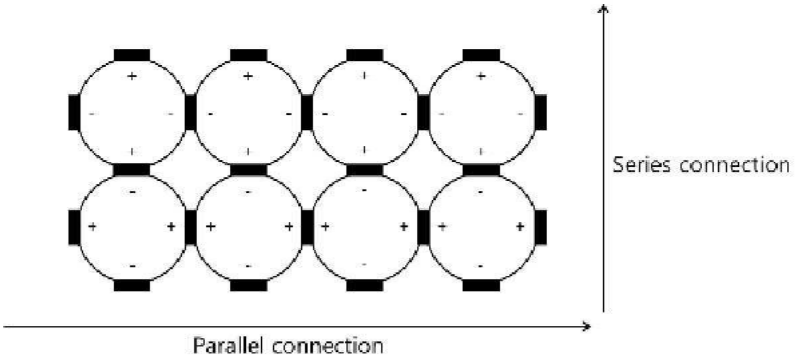
도면1



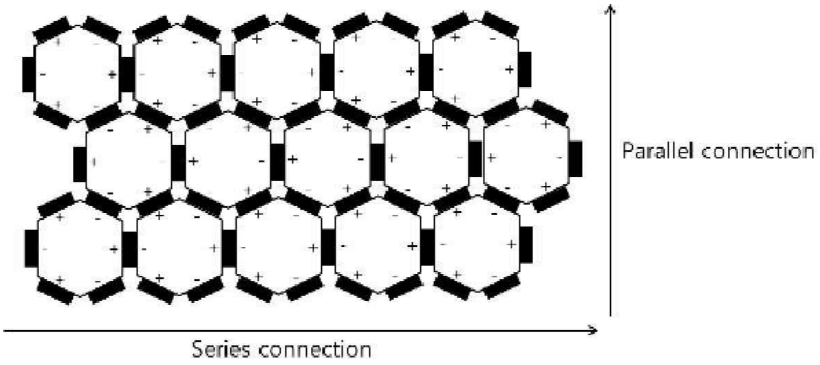
도면2



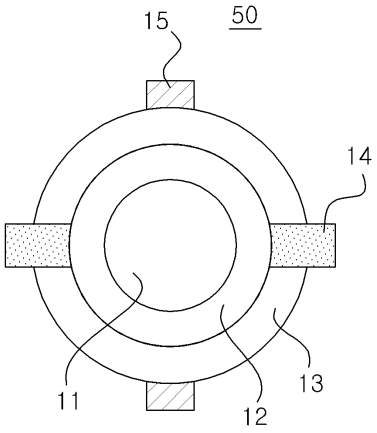
도면3


Series connection
Parallel connection

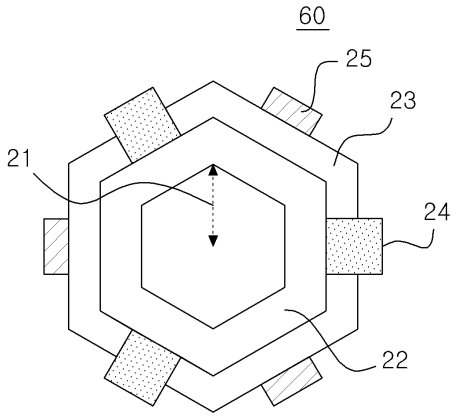
도면4


Parallel connection
Series connection

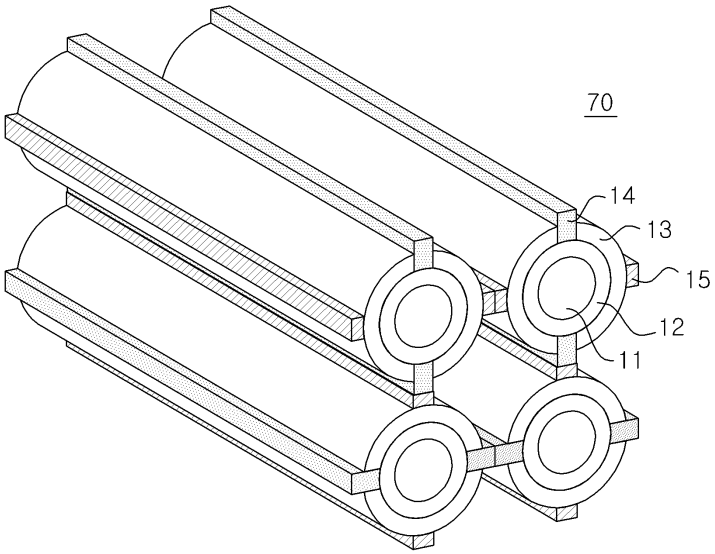
도면5


15
50
14
11
12
13

도면6



도면7



도면8

