



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2017년11월16일  
 (11) 등록번호 10-1798282  
 (24) 등록일자 2017년11월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H01M 8/06 (2016.01) H01M 8/04 (2016.01)  
 H01M 8/12 (2016.01)  
 (52) CPC특허분류  
 H01M 8/0637 (2013.01)  
 H01M 8/04201 (2013.01)  
 (21) 출원번호 10-2015-0048851  
 (22) 출원일자 2015년04월07일  
 심사청구일자 2015년04월07일  
 (65) 공개번호 10-2016-0120363  
 (43) 공개일자 2016년10월18일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR1020110132491 A\*  
 KR101441812 B1\*  
 JP2012054224 A\*  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
**연세대학교 산학협력단**  
 서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
 (72) 발명자  
**문주호**  
 서울특별시 서대문구 연희로27나길 9 (연희동)  
**이대희**  
 서울특별시 영등포구 도신로62길 37-3 (신길동)  
**탄계완**  
 서울특별시 서대문구 연희로12길 21-4 (연희동)  
 (74) 대리인  
**이익배**

전체 청구항 수 : 총 6 항

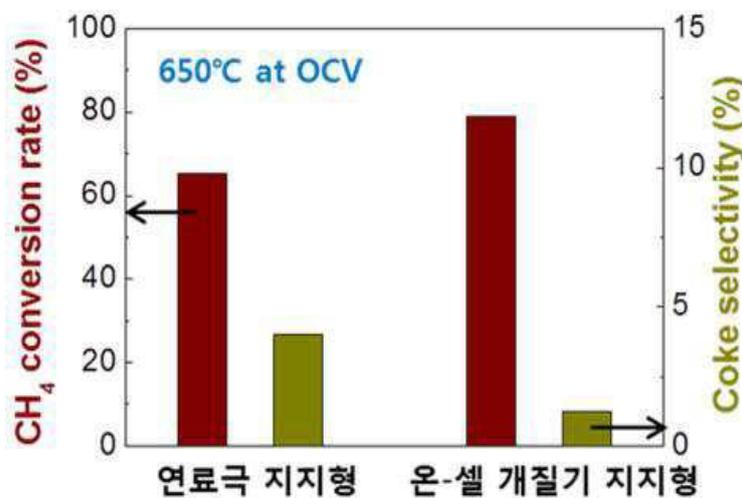
심사관 : 강연무

(54) 발명의 명칭 **탄소 흡착 방지 온-셀 개질기를 포함하는 직접 탄화수소 사용 고체산화물 연료전지**

**(57) 요약**

본 발명은 탄화수소 연료를 사용하여 직접 내부 개질하는 고체산화물연료전지에 있어서, 공기극/전해질/연료극으로 구성되는 단전지와, 상기 단전지의 연료극 쪽에 배치되는 온-셀 개질기를 포함하며, 상기 온-셀 개질기는 탄화수소 연료에 대한 촉매능을 가지는 활물질과 격자산소공급자로 구성되는 것을 특징으로 하는 고체산화물연료전지를 제공한다. 온-셀 개질기는 단전지에 일체화되거나 연료극 챔버 쪽에 부착된 셀 구조로 형성할 수 있다. 본 발명에 따르면, 탄화수소 연료를 직접 사용하는 경우에도 고체산화물 연료전지의 고성능을 구현할 수 있고, 탄소 피독을 억제하여 장기 구동 안정성을 확보할 수 있으며, 외부 개질기 없는 효율적이고 경제적인 고체산화물 연료전지 시스템을 구현할 수 있다.

**대표도** - 도5



(52) CPC특허분류  
H01M 2008/1293 (2013.01)

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

탄화수소 연료를 사용하여 직접 내부 개질하며 운전시 연료극에 탄화수소 연료와 함께 산소를 직접 공급하는 고체산화물연료전지에 있어서,

공기극/전해질/연료극으로 구성되는 단전지와,

상기 단전지의 연료극 쪽에 배치되는 온-셀 개질기를 포함하며,

상기 온-셀 개질기는 탄화수소 연료에 대한 촉매능을 가지는 활물질과 격자산소공급자로 구성되며,

상기 활물질은 니켈, 루세늄, 로듐, 코발트, 철, 이리듐, 팔라듐, 백금 중에서 선택되는 어느 하나의 전이금속 촉매 또는 이들의 합금으로 구성되고,

상기 격자산소공급자로는 산소저장능력이 우수한 산화물로서 세리아, 도핑된 세리아 산화물, 페로브스카이트계 산화물, 도핑된 페로브스카이트계 산화물, 브라운밀러라이트 산화물, 도핑된 브라운밀러라이트, 비스무스 산화물, 안정화 비스무스 산화물, 세리아-지르코니아 고용체 산화물, 세리아-크로뮴 산화물, 헥사고달 코발타이트 중에서 선택되는 어느 하나의 산화물을 사용하는 것을 특징으로 하는

고체산화물 연료전지.

**청구항 2**

제1항에 있어서,

상기 온-셀 개질기는 단전지에 일체화되거나 연료극 챔버 입구 쪽에 부착되는 것을 특징으로 하는 고체산화물 연료전지.

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

제1항에 있어서,

상기 온-셀 개질기의 활물질은 금, 주석, 텅스텐, 몰리브덴, 마그네슘, 나트륨, 칼륨 중에서 선택되는 어느 하나의 조촉매를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고체산화물 연료전지.

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

제1항에 있어서,

상기 온-셀 개질기는 단전지에 대한 지지체 역할을 하거나 자립적으로 고정될 수 있도록 500 μm 이상의 두께로 형성되는 것을 특징으로 하는 고체산화물 연료전지.

**청구항 7**

제1항에 있어서,

상기 온-셀 개질기는 40% 이상의 기공도를 가지는 것을 특징으로 하는 고체산화물 연료전지.

**청구항 8**

삭제

**청구항 9**

제1항에 있어서,

탄화수소 연료와 함께 공급하는 산소의 양은 탄화수소의 부분산화(partial oxidation)가 일어나는 조성비를 초과하지 않는 것을 특징으로 하는 고체산화물 연료전지.

**청구항 10**

삭제

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 고체산화물 연료전지에 관한 것으로서, 탄화수소 연료를 직접 사용하는 경우에 있어 효과적으로 탄화수소 연료의 화학적 개질 반응을 제어하여 안정적 작동을 가능하게 하는 직접 탄화수소 사용 고체산화물 연료전지용 온-셀 개질기를 제안한다.

**배경 기술**

[0002] 고체산화물 연료전지(SOFC)는 60% 이상의 높은 에너지 효율, 청정 부산물, 연료 선택의 유연성 등으로 인해 주목을 받아왔다. 특히, 고온의 작동 온도와 전이금속 촉매로 구성된 연료극으로 인해 탄화수소계 연료의 직접 개질이 가능하여 시스템 구성을 간소화한 고효율 시스템을 구축할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점을 통해 현재 구축되어 있는 인프라를 활용하여 고효율의 발전 시스템을 구축할 경우, 높은 경제성과 배기 가스 절감 효과를 기대할 수 있다.

[0003] 연료를 주입해 주어 내부 개질을 가능하게 하는 연료극은 일반적으로 니켈 금속과 지르코니아계(stabilized zirconia), 세리아계(doped-ceria) 산소이온전도체 세라믹 물질의 혼합체(cermet)로 구성된다. 니켈은 메탄 등의 탄화수소계 연료를 수소와 일산화탄소의 유용한 연료 가스(syngas) 형태로 개질하는데 촉매로 사용되어 온 물질로서 우수한 촉매능을 보이며, 전기화학적 촉매로도 우수한 촉매능을 보여 연료전지 작동 중, 공기극에서 전해질을 거쳐 이동한 산소 이온으로 연료를 산화시켜 전자를 생성하는 데에도 우수한 성능을 보인다.

[0004] 연료극 지지형 고체산화물 연료전지에서 탄화수소의 내부 개질은 크게 전기화학적 산화 반응과 화학적 개질반응으로 나눌 수 있다. 전기화학적 산화 반응의 경우, 공기극에서 넘어오는 산소이온이 이동할 수 있는 두께가 제한적이기 때문에 메탄이용 효율이 현저히 떨어지므로 넓은 화학적 영역에서의 개질 반응을 제어하여야만, 현재 널리 쓰이는 연료극 지지형 전지로, 탄화수소 연료의 직접사용이 가능하다. 직접 탄화수소 연료 사용시, 대표적인 화학적 개질 방법으로는 메탄과 함께 수증기를 공급하는 스팀 개질(steam reforming) 방식이 있는데, 니켈 전극 위에서 쉽게 발생할 수 있는 탄소의 흡착(carbon coking)으로 인한 피독을 방지할 수 있는, 높은 H<sub>2</sub>O/C ratio를 유지하기가 어려워 침적된 탄소에 의한 니켈 촉매의 피독 및 수증기에 의한 니켈의 산화로 인해 단전지 파괴의 위험성이 매우 높다.

[0005] 이러한 문제점을 해결하기 위해 세리아, ABO<sub>3</sub> 구조의 perovskite 혹은 A'AB'B<sub>2</sub>O<sub>6</sub> double perovskite 등의 산화물 촉매를 이용하여 탄소의 흡착이 적으면서 탄화수소에 대한 촉매능이 우수한 신조성 촉매를 개발하고자 하는 연구가 시도되어 왔다. 이러한 시도는 촉매의 활성을 떨어뜨려 탄화수소의 분해 속도를 늦추어 탄소 침적을 방지

하는 것으로 이해할 수 있는데, 산화물 촉매 사용시 고체산화물 연료전지 시스템 전체의 효율을 떨어뜨리는 단점을 보이고 있다.

[0006] 따라서, 가장 우수한 촉매인 니켈을 활용하는 동시에, 화학적 개질 영역에서 탄소 피독을 방지하여 안정적인 운전이 가능하게 하는 기술 개발이 필요한 실정이다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 본 발명은 전술한 기술적 배경하에서 창안된 것으로, 본 발명의 목적은 직접 탄화수소 사용 고체산화물 연료전지에 있어서 효과적인 화학적 개질 반응을 유도하여, 니켈의 탄화수소에 대한 높은 촉매능을 유지하면서 탄소 피독을 원천적으로 억제하는 데 있다.

[0008] 본 발명의 다른 목적은 니켈의 우수한 촉매능을 유지시키기 위해 표면에 침적되는 탄소를 산화시킬 수 있는 적절한 격자산소공급자(Lattice oxygen supplier)를 포함하는 온-셀 개질기를 제공하는 것이다.

[0009] 본 발명의 또 다른 목적은 탄화수소 연료에 대한 촉매능을 가지는 연료극 활물질로 구성되는 고체산화물 연료전지를 제공하여 안정적인 작동이 가능한 직접 탄화수소 사용 고체산화물 연료전지를 개발하는 것이다.

[0010] 기타, 본 발명의 또 다른 목적 및 기술적 특징은 이하의 상세한 설명에서 보다 구체적으로 제시될 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0011] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 탄화수소 연료에 대한 촉매능을 가지는 촉매 활물질과, 촉매 표면에 침적된 탄소를 산화시킬 수 있는 격자산소공급자(Lattice oxygen supplier)로 구성되는 온-셀 개질기를 포함하는 고체산화물 연료전지를 제공한다.

[0012] 상기 온-셀 개질기는 전극과 전해질로 구성된 단전지에 일체화시키거나, 혹은 연료극 챔버 입구에 온-셀 개질기를 부착한 형태로 사용될 수 있다.

[0013] 단전지와 일체화된 온-셀 개질기의 경우, 전기전도도의 확보를 위해 전도성이 뛰어난 금속 촉매를 사용하거나, 추가적인 집전용 금속이 포함될 수 있다. 연료극 챔버 입구에 부착되는 온-셀 개질기의 경우, 전기전도도가 필수적이지 않다.

[0014] 상기 온-셀 개질기의 촉매는 탄화수소 개질에 효과적인 금속으로 니켈, 루세늄, 로듐, 코발트, 철, 이리듐, 팔라듐, 백금 중에서 선택되는 어느 하나의 금속 촉매 또는 이들의 합금으로 구성될 수 있다. 또한, 촉매와 더불어 금, 주석, 텅스텐, 몰리브덴, 마그네슘, 나트륨, 칼륨 중에서 선택되는 어느 하나의 조촉매를 더 포함할 수 있다.

[0015] 상기 개질기의 격자산소공급자로는 산소저장능력(oxygen storage capacity)이 우수한 물질이 사용된다. 구체적으로, 세리아, 도핑된 세리아 산화물, 페로브스카이트계 산화물, 도핑된 페로브스카이트계 산화물, 브라운밀러라이트 산화물, 도핑된 브라운밀러라이트, 비스무스 산화물, 안정화 비스무스 산화물, 세리아-지르코니아 고용체 산화물, 세리아-크로뮴 산화물, 헥사고날 코발타이트 중에서 선택되는 어느 하나의 산화물을 사용할 수 있다.

[0016] 본 발명은 또한, 공기극/전해질/연료극으로 구성되는 단전지와, 상기 단전지의 연료극 쪽에 배치되는 온-셀 개질기를 포함하는 고체산화물 연료전지에 있어서, 상기 고체산화물 연료 전지의 운전시, 연료극에 탄화수소 연료와 함께 산소를 직접 공급하는 것을 특징으로 하는 고체산화물 연료전지 운전 방법을 제공한다.

[0017] 탄화수소 연료와 함께 공급하는 산소의 양은 탄화수소의 부분산화가 일어나는 조성비를 초과하지 않는 것이 바람직하다.

**발명의 효과**

- [0018] 본 발명에서 제공되는 온-셀 개질기를 사용하여 연료전지를 구성하면, 온-셀 개질기의 격자산소공급자와 탄화수소를 효과적으로 개질해 주는 금속 촉매를 사용하여, 피독에 의한 성능 저하 없이 안정적인 연료전지 구동이 가능하다.
- [0019] 또한, 온-셀 개질기 사용시 산소 기체를 추가적으로 공급할 경우, 격자산소이온의 농도를 높은 상태로 지속시켜 연료전지의 장기 안정성을 향상시키며, 화학적 개질 반응이 원활히 일어나게 하여 우수한 성능을 획득할 수 있을 뿐 아니라, 연료전지에서 생산된 전류를 추출해주는 집전체 금속에서 일어날 수 있는 탄소 침적도 방지할 수 있다.
- [0020] 이를 통해, 외부 개질기 없이 탄화수소 연료를 직접 사용하여 고체산화물 연료전지의 에너지 변환효율을 향상시킬 수 있고, 간소화된 고체산화물 연료전지 시스템을 구축하여 시스템 생산 비용을 절감할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0021] 도 1은 고체산화물 연료전지의 탄화수소 연료 직접 사용시 발생 가능한 반응을 나타낸 모식도.  
 도 2a 및 2b는 본 발명의 온-셀 개질기가 장착된 고체산화물 연료전지의 모식도.  
 도 3a 및 3b는 본 발명의 실시예에 따른 온-셀 개질기 지지형 고체산화물 연료전지와 일반적인 연료극 지지형 고체산화물 연료전지의 모식도.  
 도 4a 및 4b는 본 발명의 실시예에 따른 온-셀 개질기 지지형과 연료극 개질기 지지형의 고체산화물 연료전지의 I-V 특성 그래프.  
 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 온-셀 개질기 지지형과 연료극 지지형 고체산화물 연료전지의 메탄 전환률 및 침적 탄소 선택도를 나타내는 그래프.  
 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 온-셀 개질기 지지형 고체산화물 연료전지의 메탄 공급 유량에 따른 장기 성능 평가 그래프.  
 도 7a 및 7b는 본 발명의 실시예에 따른 메탄 공급 시간에 따른 탄소 침적량 변화 그래프와 셀 사진.  
 도 8a 내지 8c는 각각 본 발명의 실시예에 따른 온-셀 개질기 지지형 고체산화물 연료전지의 메탄+산소 혼합 기체 사용시 I-V 특성, 장기 운전 테스트, 장기 운전시 분극저항 변화 그래프.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0022] 본 발명은 고체산화물 연료전지의 운전 시 탄화수소의 내부 개질 반응의 효율을 극대화하기 위해 온-셀 개질기를 포함하는 고체산화물 연료전지를 제안한다.
- [0023] 널리 사용되고 있는 연료극 지지형 고체산화물 연료전지의 탄화수소 연료 직접 사용 운전시 일어나는 반응을 도 1에 모식적으로 나타내었다.
- [0024] 탄화수소 연료를 공급하면, 전기화학적 활성 영역(~ 30 μm)에서는 공기극에서 공급된 산소 이온에 의해 탄화수소의 개질 및 전기화학적 산화가 가능하지만, 지지체 역할을 하는 두꺼운 연료극 (> 500 μm) 대부분에서는, 산소 이온이 공급되지 못하여 화학적 개질 반응만 일어날 수 있다. 이러한 이유로, 산화제가 없는 상태에서 탄화수소의 분해만 일어나기 때문에 탄소가 쉽게 침적되어 금속 촉매의 피독이 일어나 전지의 성능이 급격히 저하되고, 단전지의 파괴가 일어난다.
- [0025] 본 발명은 고체산화물 연료전지의 화학적 반응 영역에 금속 촉매와 더불어 격자산소공급자를 포함하는 온-셀 개질기를 사용하여, 산소이온을 금속 촉매에 공급해 줌으로써, 효과적으로 탄소의 침적을 방지한다.
- [0026] 촉매 활물질은 니켈, 루세늄, 로듐, 코발트, 철, 이리듐, 팔라듐, 백금 등의 전이금속 촉매와 이들의 합금으로 구성될 수 있다. 또한, 금, 주석, 텅스텐, 몰리브덴, 마그네슘, 나트륨, 칼륨 등의 조촉매를 포함시킴으로써 활물질의 산화 반응을 억제시킬 수 있다. 이러한 조촉매는 활물질과 합금 형태로 제조되어 사용될 수 있다. 또한, 상기 활물질을 구성하는 전이금속 촉매의 나노입자를 연료극에 코팅하여 연료극의 산화를 억제할 수 있다.
- [0027] 격자산소공급자로는 산소저장능력(oxygen storage capacity)이 우수한 물질이 사용되는데, 대표적으로 세리아 혹은 도핑된 세리아 산화물, 페로브스카이트계 산화물 혹은 전자전도성의 발현을 위해 이종의 원소가 도핑된 페

로브스카이트계 산화물, 브라운밀러라이트 (Brownmillerite,  $ABO_{2.5}$ ) 구조의 산화물과 도핑된 브라운밀러라이트, 비스무스 산화물 혹은 안정화 비스무스 산화물 등을 사용할 수 있다. 그 외에도 세리아-지르코니아 고용체 산화물( $Ce_{1-x}Zr_xO_{2+\delta}$ ), 세리아-크로뮴 산화물 ( $Ce_{1-x}Cr_xO_{2+\delta}$ ), 핵사고날 코발타이트( $RBaCo_4O_{7+\delta}$ , R=Y, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu 혹은  $YBaCo_{4-x}Al_xO_{7+\delta}$ ), 중에서 선택되는 어느 하나의 산화물이나 이외에 산소저장능력이 우수한 산화물을 격자산소공급자로 사용할 수 있다.

[0028] 상기 재료로 구성되는 온-셀 개질기는 도 2a에 도시된 바와 같이, 단전지와 일체화된 형태로 제작되거나, 도 2b에 도시한 바와 같이 연료극 챔버 입구 쪽에 부착되어 사용될 수 있다. 이러한 모든 경우, 온-셀 개질기는 물리적 지지체 역할을 하거나, 자립적으로 고정될 수 있도록 최소 500  $\mu m$  이상의 두께를 가지며, 기체를 효과적으로 통과시킬 수 있도록 40% 이상의 기공율, 예를 들어 40 ~ 80%의 기공율을 갖는 것이 바람직하다.

[0029] 온-셀 개질기를 부착한 연료전지를 구동할 경우, 격자산소공급자의 산소 이온을 보충해 주거나, 금속 촉매에 침적된 탄소의 제거에 도움을 주기 위해, 탄화수소 연료와 산소를 동시에 공급해 줄 수 있다. 이 때, 산소의 양은 탄화수소의 부분산화(partial oxidation)가 일어나는 조성비를 초과하지 않는다. 탄화수소와 산소의 혼합기체를 직접 사용되거나 질소, 알곤 등의 불활성 기체에 희석하여 사용될 수 있다.

[0030] 본 발명의 일실시예에 따르면 연료극에 공급되는 연료는 탄화수소 연료로서 메탄을 사용할 수 있고, 금속 촉매로 니켈, 격자산소공급자로 세리아를 사용한 온-셀 개질기를, 고체산화물 연료전지 단전지와 일체화하여 제작하여 사용할 경우, 우수한 연료전지의 성능과 장기 안정성을 구현할 수 있음을 확인하였다.

[0031] 실시예

[0032] Ni-gadolinium doped ceria( $Gd_{0.1}Ce_{0.9}O_{1.95}$ , GDC) 연료극, GDC 전해질, ( $La_{0.6}Sr_{0.4}$ ) $_{0.95}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-x}$ (LSCF)-GDC 공기극으로 구성된 고체산화물 연료전지 단전지를 Ni-ceria( $CeO_2$ ) 온-셀 개질기 상부에 제작하여, 온-셀 개질기 일체형 고체산화물 연료전지를 제조하였다(도 3a 참조).

[0033] 온-셀 개질기 일체형 고체산화물 연료전지의 메탄사용 효율을 평가하기 위해, 지지체도 Ni-GDC로 구성된 일반적인 연료극 지지형 연료전지를 제작하여 비교하였다(도 3b 참조).

[0034] Ceria는 Gd 도핑량이 증가할수록 산소저장능력이 떨어진다는 보고가 있어, 화학적 반응 영역의 산소저장능력에 따른 성능 변화를 관찰할 수 있다.

[0035] 제조된 단위전지에 연료로서 수소, 메탄, 메탄과 산소를 동시 공급하여 두 종류의 단전지의 성능 및 장기안정성을 평가하여, 온-셀 개질기의 효과를 평가하였다. 공급된 연료의 유량은 수소 20 cc/min, 메탄 12~30 cc/min, 메탄 + 산소의 혼합 기체는 80 + 40 cc/min 으로 각각 공급하였다. 공기극에는 동일하게 400 cc/min의 공기를 공급하였다.

[0036] 공급된 각 연료에 대해 단위전지의 성능 평가를 실시하여 그 결과를 도 4a 및 4b에 각각 도시하였다. 성능 평가 결과, 수소 공급시 출력밀도는 온-셀 개질기 지지형과 연료극 지지형이 유사하게 관찰되었고, 메탄을 사용할 경우, 연료극 지지형의 경우 0.65, 온-셀 개질기 지지형은 0.94  $W/cm^2$ 의 출력밀도를 나타내어 온-셀 개질기 사용시, 탄화수소 연료를 효과적으로 활용할 수 있음을 알 수 있다.

[0037] 도 5에 나타난 배기가스 분석 결과, 온-셀 개질기 지지형 셀이 연료극 지지형 셀보다 우수한 메탄 전환률 및 낮은 탄소 침적률(coke selectivity)을 나타내었다. 이를 통해, 산소저장능력이 큰 세리아를 사용한 온-셀 개질기를 사용하여 탄화수소 연료를 화학적으로 개질하면, 탄소 침적을 효과적으로 억제하여 우수한 연료 전환률을 구현할 수 있음을 확인하였다.

[0038] 우수한 탄화수소 연료 개질 효율이 확인 된, 온-셀 개질기 지지형 셀을 사용하여, 공급되는 연료의 유량에 따른 장기 안정성을 테스트하였다. 도 6a에 도시한 바와 같이 연료 유량이 12 cc/min의 미량일 경우 안정적인 성능이 유지되지만, 유량을 30 cc/min으로 증가시키면 도 6b와 같이 급격한 성능 저하가 관찰된다.

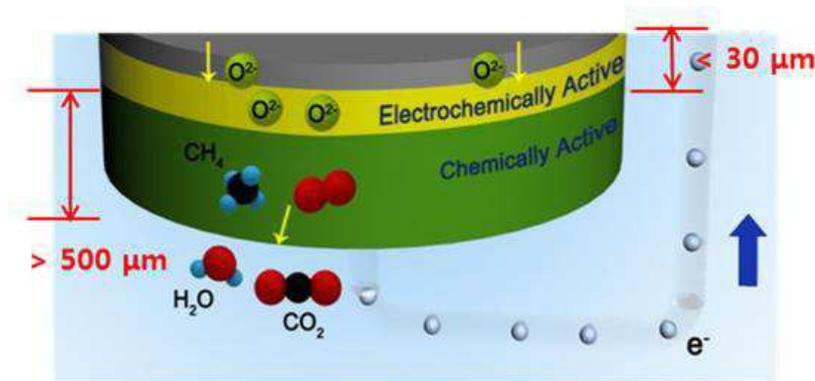
[0039] 성능 저하가 나타난 셀을 메탄에 노출시킨 시간에 따라 나타나는 변화에 대해 관찰한 결과, 도 7과 같이 탄소 침적으로 인해 색이 점점 검게 변하고, 니켈-탄소 화합물 생성에 의해 셀이 팽창하며 파괴되었다. 이러한 셀의 원소 분석 결과 시간에 따라 탄소 함량이 높아지는 것을 확인하여, 유량을 증가시킬 경우 탄소 침적에 의한 피

독 및 단전지 파괴에 따라 성능 저하가 나타남을 알 수 있었다.

- [0040] 이러한 현상은 격자산소공급자인 세리아에 저장된 산소가 부족해지는 현상에 의한 것으로, 이를 방지하기 위해, 메탄과 산소를 2:1로 공급하여, 세리아 격자 내부 산소 이온 농도를 높여주고, 산소 기체에 의해 니켈 표면에 생성된 탄소가 산화되도록 유도하였다.
- [0041] 메탄과 산소를 2:1로 공급하였을 경우, 온-셀 개질기 지지형 셀의 성능을 평가하였다. 도 8a에서와 같이, 산소를 추가적으로 공급할 경우, 가장 효율적으로 산화되는 연료인 수소와 거의 동일한 수준인  $1.65 \text{ W/cm}^2$ 의 우수한 출력밀도가  $650^\circ\text{C}$ 에서 구현되었다. 또한, 메탄을 80 cc/min으로 과량으로 공급하였음에도 500시간 이상 동안 성능 저하 없이 일정한 전압이 유지됨을 관찰하였고(도 8b 참조), 전극의 분극저항에도 거의 변화가 없음을 확인하였다(도 8c 참조).
- [0042] 이와 같이 산소저장능력이 우수한 세리아와 니켈을 적용한 온-셀 개질기를 사용한 고체산화물 연료전지를 사용하여, 메탄을 연료로 직접 사용할 수 있음을 확인하였고, 추가적으로 산소 기체를 공급함으로써, 직접 메탄 사용 고체산화물 연료전지의 성능 향상 및 장기 안정성을 확보할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0043] 이상에서 바람직한 실시예를 통하여 본 발명을 예시적으로 설명하였으나, 본 발명은 이와 같은 특정 실시예에만 한정되는 것은 아니며 본 발명에서 제시한 기술적 사상, 구체적으로는 특허청구범위에 기재된 범주 내에서 다양한 형태로 수정, 변경, 또는 개선될 수 있을 것이다.

도면

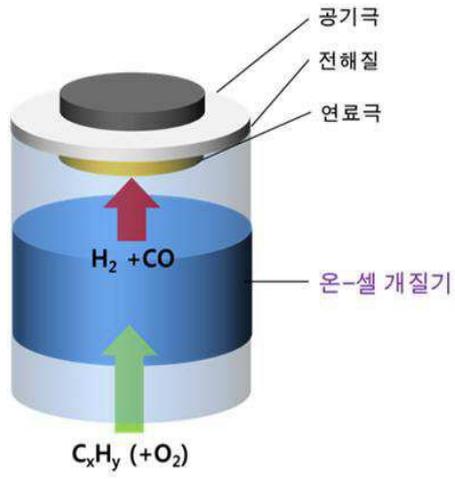
도면1



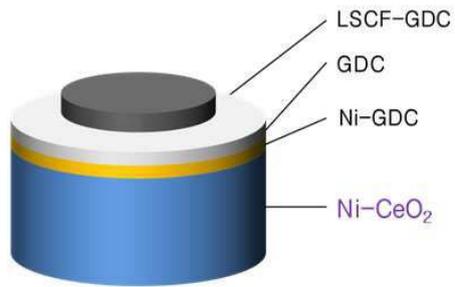
도면2a



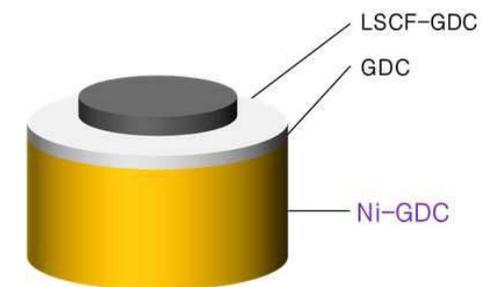
도면2b



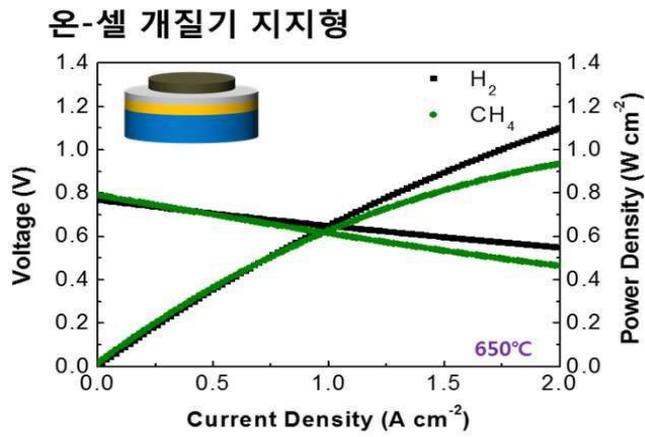
도면3a



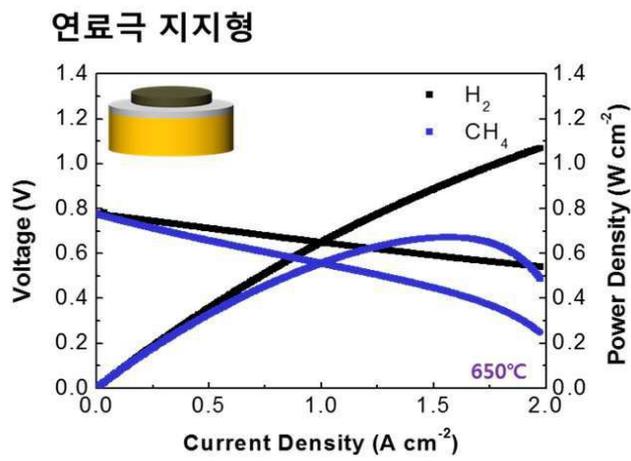
도면3b



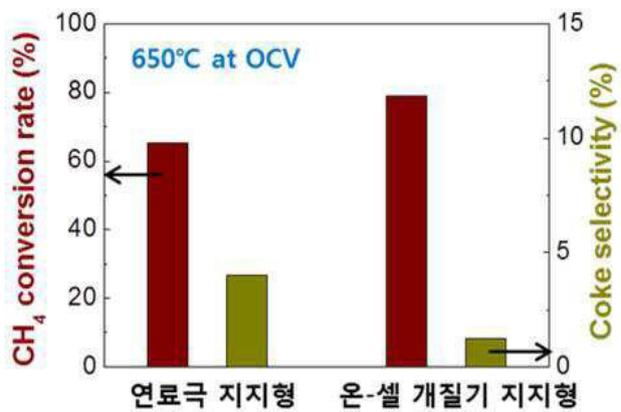
도면4a



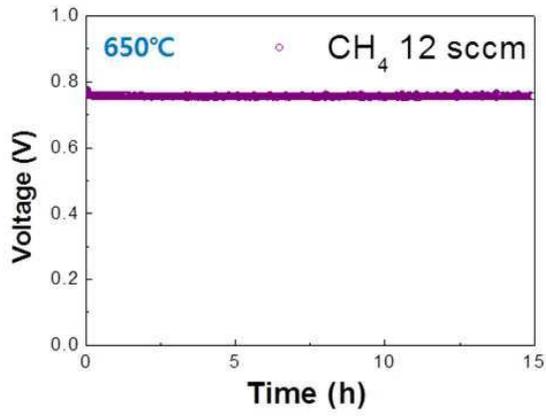
도면4b



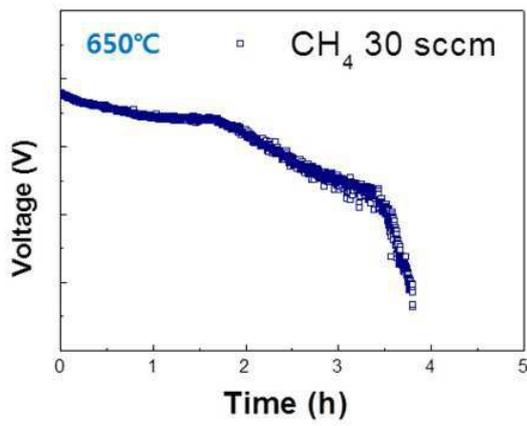
도면5



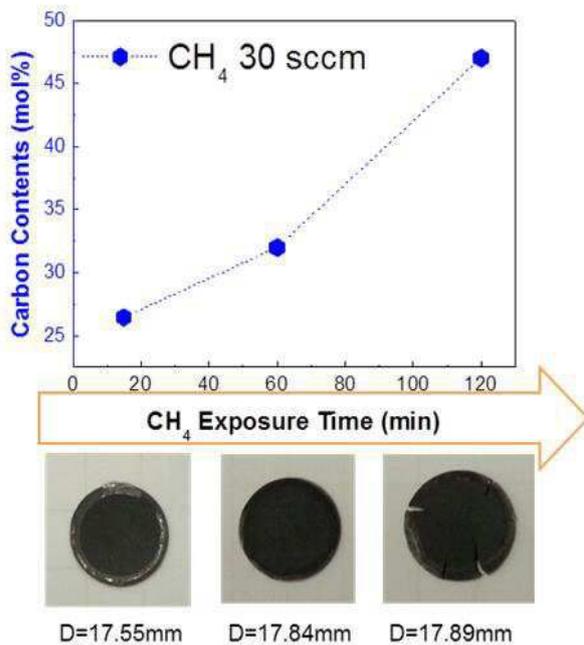
도면6a



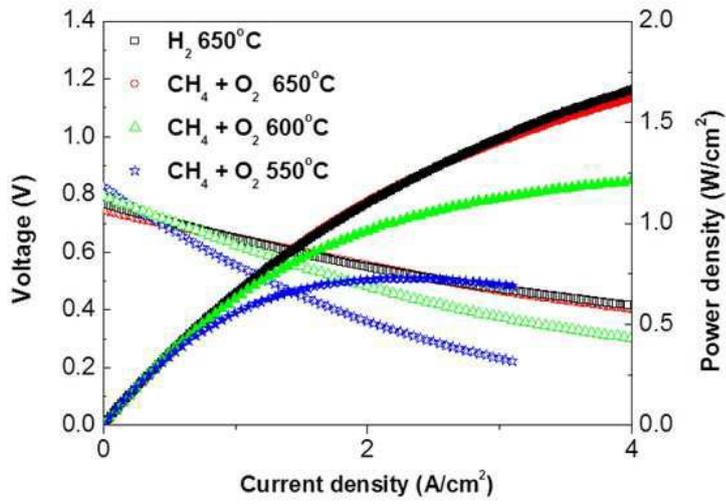
도면6b



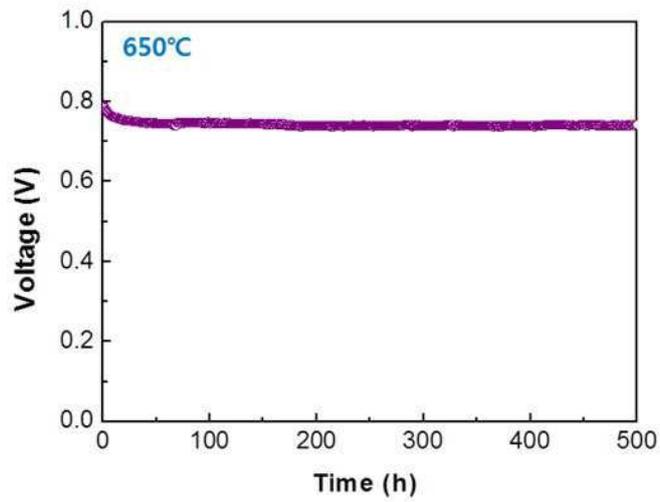
도면7



도면8a



도면8b



도면8c

