



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0106409
(43) 공개일자 2023년07월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01M 8/18 (2015.01) H01M 8/04014 (2016.01)
H01M 8/0662 (2016.01) H01M 8/0668 (2016.01)
H01M 8/14 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01M 8/186 (2013.01)
H01M 8/04022 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0002258

(22) 출원일자 2022년01월06일

심사청구일자 2022년01월06일

(71) 출원인

한밭대학교 산학협력단

대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)

(72) 발명자

이충곤

대전광역시 유성구 학하남로 10, 203-1602호

(74) 대리인

특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 7 항

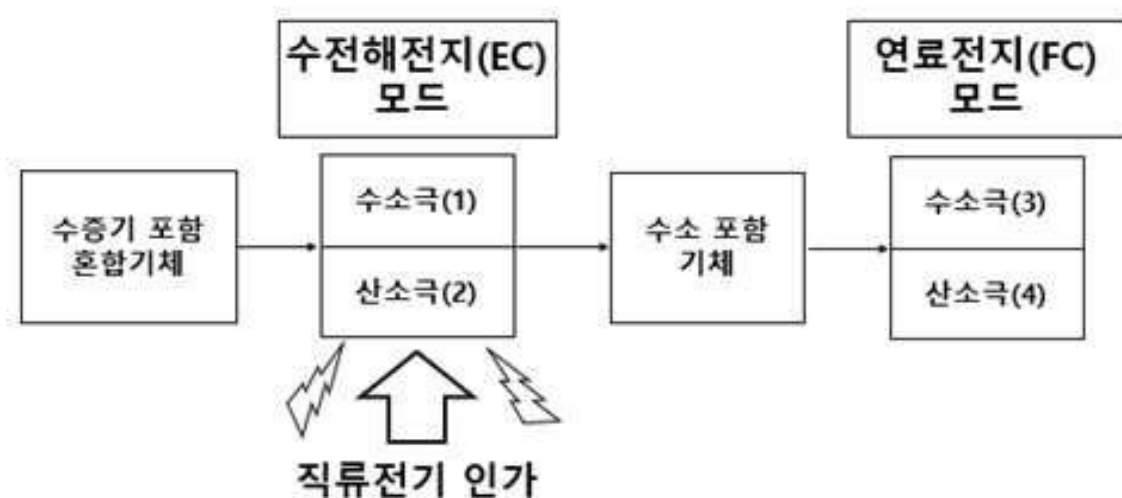
(54) 발명의 명칭 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템

(57) 요약

본 발명은 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따르면 수소극, 산소극, 상기 수소극과 산소극 사이에 개재되는 다공성 세라믹 매트릭스 및 용융탄산염 전해질을 포함하는 용융탄산염 일체형 가역연료전지를 포함하며,

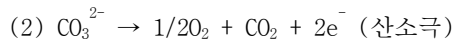
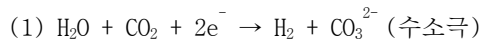
(뒷면에 계속)

대표도 - 도1

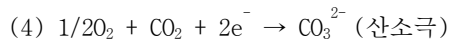
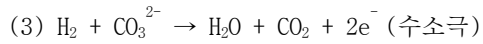


상기 용융탄산염 일체형 가역연료전지는,

직류전기 인가 시 수증기 또는 수증기를 포함하는 혼합기체를 제공받아 수전해전지(EC) 모드로 하기 반응식 (1) 및 (2)를 수행하며,



직류전기 미인가 시 상기 수전해전지(EC) 모드의 반응식 (1) 및 (2)의 반응을 통해 생산된 수소를 포함하는 기체를 제공받아 연료전지(FC) 모드로 하기 반응식 (3) 및 (4)를 수행하며,



상기 반응식 (1) ~ (4)의 반응온도는 600℃ 이상인 것을 특징으로 하는,

용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 제공할 수 있다.

(52) CPC특허분류

H01M 8/0662 (2013.01)

H01M 8/0668 (2013.01)

H01M 2008/147 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415176440
과제번호	20213030040080
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	신재생에너지기술개발사업
연구과제명	1kW급 용융탄산염형 고온수전해 전지(MCEC) prototype 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국과학기술연구원
연구기간	2021.05.01 ~ 2025.04.30

명세서

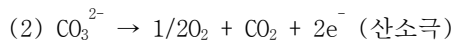
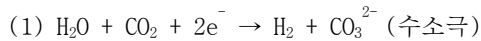
청구범위

청구항 1

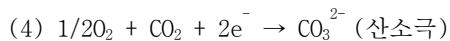
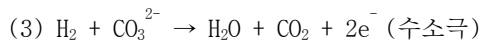
수소극, 산소극, 상기 수소극과 산소극 사이에 개재되는 다공성 세라믹 매트릭스 및 용융탄산염 전해질을 포함하는 용융탄산염 일체형 가역연료전지를 포함하며,

상기 용융탄산염 일체형 가역연료전지는,

직류전기 인가 시 수증기 또는 수증기를 포함하는 혼합기체를 제공받아 수전해전지(EC) 모드로 하기 반응식 (1) 및 (2)를 수행하며,



직류전기 미인가 시 상기 수전해전지(EC) 모드의 반응식 (1) 및 (2)의 반응을 통해 생산된 수소를 포함하는 기체를 제공받아 연료전지(FC) 모드로 하기 반응식 (3) 및 (4)를 수행하며,



상기 반응식 (1) ~ (4)의 반응온도는 600℃ 이상인 것을 특징으로 하는,

용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 수전해전지(EC) 모드로 생산된 수소를 포함하는 기체를 제공받아 상기 수소를 포함하는 기체 내 수소와 CO_x ($0 < x \leq 2$) 기체를 분리하는 기체 분리기;를 더 포함하며,

상기 기체 분리기로 분리된 수소와 CO_x 기체를 연료전지(FC) 모드의 수소극 및 산소극으로 제공하는, 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 연료전지(FC) 모드의 반응식 (3)의 반응 결과물을 제공받아 공기와 연소시키는 촉매연소기;를 더 포함하며,

상기 촉매연소기에 의한 연소 결과물을 연료전지(FC) 모드의 수소극 및 산소극으로 제공하는, 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

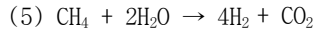
상기 연료전지(FC) 모드의 반응식 (3) 및 (4)의 반응 결과물을 제공받아 상기 반응 결과물 내 이산화탄소를 분리하는 이산화탄소 분리기;를 더 포함하며,

상기 이산화탄소 분리기에 의해 이산화탄소가 분리된 반응 결과물을 대기 중으로 배출하는, 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

하기 반응식 (5)로 표현되는 메탄 수증기 개질 반응의 촉매를 더 포함하는, 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템:



청구항 6

제1항에 있어서,

상기 인가되는 직류전기는 100 내지 200mA/cm²의 전류밀도로 1.7V 이하로 인가되는 것인, 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

하기 관계식 [1]로 표현되는 수소 생산효율이 70% 이상인, 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템:

[1] (생산된 수소의 열에너지/인가된 전기에너지) * 100.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 고온의 용융탄산염 일체형 가역연료전지를 이용함으로써 수증기를 전기분해하여 수소와 산소를 생산하고, 동시에 상기 생산된 수소와 산소로부터 전기에너지를 얻을 수 있는 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템에 관한 것이다.

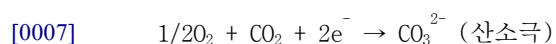
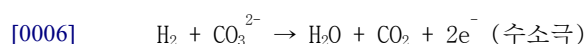
배경 기술

[0002] 근래, 고효율이고 환경 친화적인 연료전지 발전이 새로운 전기에너지원으로 각광받고 있다. 이러한 연료전지는 연료의 공급에 의해 지속적으로 발전하는 특성을 가지는 것으로서, 주로 연료로 수소를 사용하고 산화제가스로 공기중의 산소를 사용하여 수소의 산화 및 산소의 환원을 통해 물을 발생시키며 발전하는 전지이다.

[0003] 특히, 용융탄산염 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC)는 탄산염 전해질이 고온에서 용융되어 전극반응을 일으키기 때문에 비교적 고온에서 발전하는 전지이다. 수소의 산화 및 산소의 환원에 고가의 귀금속 촉매가 필요하지 않아 일산화탄소와 같은 피독성 가스의 사용이 용이하여, 석탄가스를 연료로 사용할 수 있다는 특징을 가지고 있으며, 고온의 폐열을 이용할 수 있어 효율이 높다는 특징을 가지고 있다.

[0004] 이와 같은 용융탄산염 연료전지는 전극반응을 원활히 진행하기 위해 넓은 표면적의 다공성 전극을 사용하며, 이 두 전극의 사이에 세라믹 다공체에 함침된 용융탄산염이 전해질 역할을 하면서 주로 수소로 구성된 연료와 산소와 이산화탄소로 구성된 산화제가스의 직접 접촉을 막아주며, 산소극에서 생성된 탄산이온(CO₃²⁻)이 수소극으로 이동하는 통로의 역할을 수행한다.

[0005] 용융탄산염 연료전지(MCFC)는 수소와 산소로부터 전기에너지를 얻을 수 있으며, 수소극, 산소극에서의 반응은 이하와 같다.



[0008] 용융탄산염 수전해전지(Molten Carbonate Electrolysis Cell, MCEC)는 상기 용융탄산염 연료전지(MCFC)의 역반응을 수행하며, 수증기를 전기분해하여 수소와 산소를 생산하며 수소극, 산소극에서의 반응은 이하와 같다.

[0009] $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_3^{2-}$ (수소극)

[0010] $\text{CO}_3^{2-} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$ (산소극)

[0011] 가역연료전지(reversible fuel cell)는 연료전지 전력 생산과 수전해전지 수소 생산을 단일화/이원화하여 수행하는 전지이며, 가역연료전지 중 특히 일체형 가역연료전지(Unitized Regenerative Fuel Cell, URFC)는 연료전지 전력 생산과 수전해전지 수소 생산을 단일화하여 하나의 장치에서 수소 생산과 전력 생산이 가능하기 때문에 최적의 수소 생산 및 활용 시스템으로 주목받고 있다.

[0012] 일체형 가역연료전지(URFC)는 수전해 모드에서 생산된 수소와 산소는 별도로 저장될 수도 있고, 저장된 수소와 산소는 연료전지 모드에서 전기를 생산하기 위한 연료로 다시 사용될 수도 있다. 그러나, 일체형 가역연료전지(URFC)는 연료전지와 수전해를 일원화하는 과정에서 연료전지와 수전해를 이원화한 장치의 성능보다 낮은 성능을 가지게 된다는 단점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 제10-2111074호(공고일자: 2020년05월14일)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 일 실시예에 따른 본 발명의 목적은 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 제공하고자 하며, 상기 가역연료전지 시스템의 전력 생산효율을 향상시키고자 한다.

과제의 해결 수단

[0015] 상술한 목적을 달성하기 위한 일 수단으로서 본 발명의 일 실시예에 따르면 수소극, 산소극, 상기 수소극과 산소극 사이에 개재되는 다공성 세라믹 매트릭스 및 용융탄산염 전해질을 포함하는 용융탄산염 일체형 가역연료전지를 포함하며,

[0016] 상기 용융탄산염 일체형 가역연료전지는 직류전기 인가 시 수증기 또는 수증기를 포함하는 혼합기체를 제공받아 수전해전지(EC) 모드로 하기 반응식 (1) 및 (2)를 수행하며,

[0017] (1) $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_3^{2-}$ (수소극)

[0018] (2) $\text{CO}_3^{2-} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$ (산소극)

[0019] 직류전기 미인가 시 상기 수전해전지(EC) 모드의 반응식 (1) 및 (2)의 반응을 통해 생산된 수소를 포함하는 기체를 제공받아 연료전지(FC) 모드로 하기 반응식 (3) 및 (4)를 수행하며,

[0020] (3) $\text{H}_2 + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$ (수소극)

[0021] (4) $1/2\text{O}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-}$ (산소극)

[0022] 상기 반응식 (1) ~ (4)의 반응온도는 600℃ 이상인 것을 특징으로 하는, 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 제공한다.

[0023] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 상기 수전해전지(EC) 모드로 생산된 수소를 포함하는 기체를 제공받아 상기 수소를 포함하는 기체 내 수소와 CO_x ($0 < x \leq 2$) 기체를 분리하는 기체 분리기를 더 포함할 수 있으며, 상기 기체 분리기로 분리된 수소와 CO_x 기체는 연료전지(FC) 모드의 수소극 및 산소극으로 제공될 수 있다.

[0024] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 상기 연료전지(FC) 모드의 반응식 (3)의 반응 결과물을 제공받아 공기와 연소시키는 촉매연소기를 더 포함할 수 있으며, 상기 촉매연소기에 의한 연소 결과물은 연료전지(FC) 모드의 수소극 및 산소극으로 제공될 수 있다.

[0025] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 상기 연료전지(FC) 모드의 반응식 (3) 및 (4)의 반응 결과물을 제공받아 상기 반응 결과물 내 이산화탄소를 분리하는 이산화탄소 분리기를 더 포함할 수 있으며, 상기 이산화탄소 분리기에 의해 이산화탄소가 분리된 반응 결과물은 대기 중으로 배출될 수 있다.

[0026] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 하기 반응식 (5)로 표현되는 메탄 수증기 개질 반응의 촉매를 더 포함할 수 있다.

[0027] (5) $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$

[0028] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템에 있어서, 상기 인가되는 직류전기는 100 내지 $200\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전류밀도로 1.7V 이하로 인가되는 것일 수 있다.

[0029] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템에 있어서, 하기 관계식 [1]로 표현되는 수소 생산효율이 70% 이상일 수 있다.

[0030] [1] (생산된 수소의 열에너지/인가된 전기에너지) * 100

발명의 효과

[0031] 본 발명의 일 실시예에 따르면 직류전기의 인가/미인가의 간단한 제어를 통해 연료전지 전력 생산과 수전해전지 수소 생산을 단일화하여 하나의 장치에서 수소 생산과 전력 생산이 가능한 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 제공할 수 있다.

[0032] 본 발명의 일 실시예에 따르면 고가의 촉매가 요구되지 않는 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 제공하므로 고가의 촉매가 요구되는 다른 일체형 가역연료전지 시스템 대비 산업 상 이점이 우수하다.

[0033] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 수전해전지(EC) 모드의 반응 결과물을 제공받아 상기 반응 결과물 내 수소와 $\text{CO}_x(0 < x \leq 2)$ 기체를 분리하는 기체 분리기를 더 포함함으로써 연료전지(FC) 모드의 반응물인 수소, 이산화탄소 기체의 분압을 올릴 수 있으며, 이를 통해 연료전지(FC) 모드의 반응효율을 더욱 높일 수 있다.

[0034] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 연료전지(FC) 모드의 반응식 (3)의 반응 결과물을 제공받아 공기와 연소시키는 촉매연소기를 더 포함함으로써 미반응 수소를 가열하고, $\text{CO}_x(0 < x \leq 2)$ 기체를 완전 연소시켜 연료전지(FC) 모드의 수소극 반응물인 수소의 반응성을 높이고, 산소극 반응물인 이산화탄소 기체의 분압을 올릴 수 있으므로 연료전지(FC) 모드의 반응효율을 높일 수 있다. 또한, 이와 함께 고온의 반응온도를 유지하기 위한 열원에 소모되는 에너지, 비용을 저감할 수 있다.

[0035] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 연료전지(FC) 모드의 반응 결과물을 제공받아 상기 반응 결과물 내 이산화탄소를 분리하는 이산화탄소 분리기를 더 포함함으로써 대기로 배출되는 이산화탄소 양을 저감할 수 있다.

[0036] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 메탄 수증기 개질 반응의 촉매를 더 포함함으로써 연료전지(FC) 모드의 수소극 반응물인 수소 기체의 분압을 올릴 수 있으므로 연료전지(FC) 모드의 반응효율을 높일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0037] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템의 구성도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지의 호환성을 나타내는 전류-전압을 도시한 그래프이다.

도 3은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템의 구성도이다.

도 4는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템의 구성도이다.

도 5는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템의 구성도이다.

도 6은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템의 구성도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0038] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 아래 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시를 위한 구체적인 내용을 상세히 설명한다. 도면에 관계없이 동일한 부재번호는 동일한 구성요소를 지칭하며, "및/또는"은 언급된 아이템들의 각각 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다.
- [0039] 다른 정의가 없다면 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다.
- [0040] 본 발명의 일 실시예에 따르면 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 제공한다. 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지는 수소극, 산소극, 상기 수소극과 산소극 사이에 개재되는 다공성 세라믹 매트릭스 및 용융탄산염 전해질을 포함할 수 있다. 일 예에 따르면 상기 용융탄산염 일체형 가역연료를 단위전지로 복수개로 구성하여 모듈 또는 팩으로 마련하는 경우 상기 단위전지들 사이에 개재되는 분리판을 더 포함할 수 있다.
- [0041] 수소극은 MCFC 또는 MCEC에서 사용되는 통상적인 수소극을 모두 사용할 수 있으며, 비한정적인 예로 니켈계 합금의 다공성 전극일 수 있다. 보다 구체적으로 수소극은 크롬 또는 알루미늄이 첨가된 니켈계 합금의 다공성 전극일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0042] 산소극은 MCFC 또는 MCEC에서 사용되는 통상적인 산소극을 모두 사용할 수 있으며, 비한정적인 예로 니켈계 합금의 다공성 전극일 수 있다.
- [0043] 용융탄산염 전해질은 MCFC 또는 MCEC에서 사용되는 통상적인 용융탄산염 전해질을 모두 사용할 수 있으며, 비한정적인 예로 Li, Na, K 중 하나 이상을 포함하는 알칼리 탄산염일 수 있다.
- [0044] 다공성 세라믹 매트릭스는 고온 용융상태의 전해질을 함침하는 기능을 하는 세라믹 다공체로서 MCFC 또는 MCEC에서 사용되는 통상적인 다공성 세라믹 매트릭스를 모두 사용할 수 있으며, 비한정적인 예로 LiAlO_2 등을 포함하는 다공성 세라믹 매트릭스일 수 있다.
- [0045] 분리판은 MCFC 또는 MCEC에서 사용되는 통상적인 분리판을 모두 사용할 수 있으며, 비한정적인 예로 일면 또는 양면이 니켈로 피복된 스테인리스강 소재의 분리판일 수 있다.
- [0046] 이하 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 상세히 설명한다. 다음에 소개되는 도면들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서, 본 발명은 이하 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 또한, 명세서 전반에 걸쳐서 동일한 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.
- [0047] 용융탄산염 일체형 가역연료전지의 구성은 상술한 바와 동일하므로 편의상 설명을 생략한다.
- [0048] 도 1을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 이하에서 설명한다. 용융탄산염 일체형 가역연료전지는 직류전기 인가 시 수증기 또는 수증기를 포함하는 혼합기체를 제공받아 수전해 전지(EC) 모드로 하기 반응식 (1) 및 (2)를 수행할 수 있다.
- [0049] (1) $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_3^{2-}$ (수소극(1))
- [0050] (2) $\text{CO}_3^{2-} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$ (산소극(2))

- [0051] 수증기를 포함하는 혼합기체는 상기 반응식 (1)의 반응물인 수증기를 포함하면 충분하고, 조성에 있어 특별히 제한되지 않는다. 혼합기체는 비한정적인 예로 수증기 및 메탄가스를 포함하는 혼합기체이거나, 또는 도시가스일 수 있다.
- [0052] 일 실시예에 따르면 산소극(2)에서 반응식 (2)에 따라 발생하는 산소를 이송하기 위하여 별도로 공기를 산소극 (2)에 공급하여 산소를 유동시킬 수 있다.
- [0053] 일 실시예에 따르면 수전해전지(EC) 모드의 반응식 (1) 및 (2)의 반응을 통해 수소를 포함하는 기체가 생산될 수 있다. 일 실시예에 따른 수소를 포함하는 기체는 수소와 $\text{CO}_x(0 < x \leq 2)$ 기체를 포함할 수 있다.
- [0054] 수소를 포함하는 기체는 연료전지(FC) 모드의 용융탄산염 일체형 가역연료전지로 제공되어 연료전지(FC) 모드의 반응을 수행할 수 있으면 충분하고, 제공되는 방식에 대해서는 특별히 제한되지 않는다. 비한정적인 예에 의하면, 수소를 포함하는 기체는 별도의 저장용기에 저장되었다가 연료전지(FC) 모드의 용융탄산염 일체형 가역연료전지로 제공될 수 있다.
- [0055] 용융탄산염 일체형 가역연료전지는 직류전기 미인가 시 상기 수전해전지(EC) 모드의 반응식 (1) 및 (2)의 반응을 통해 생산된 수소를 포함하는 기체를 제공받아 연료전지(FC) 모드로 하기 반응식 (3) 및 (4)를 수행할 수 있다.
- [0056] (3) $\text{H}_2 + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$ (수소극(3))
- [0057] (4) $1/2\text{O}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-}$ (산소극(4))
- [0058] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지의 호환성을 나타내는 전류-전압을 도시한 그래프이다. 도 2에서 용융탄산염 일체형 가역연료전지의 반응(운전)온도는 650°C 이며, 산소극(2,4) 조건은 $612\text{ccm Air} + 261\text{ccm CO}_2$ 로 고정이며, 수소극(1,3) 조건은 $300\text{ccm H}_2 + 300\text{ccm CO}_2 + 20\% \text{H}_2\text{O} / 400\text{ccm H}_2 + 400\text{ccm CO}_2 + 20\% \text{H}_2\text{O}$ 로 두가지 경우로 설정된다.
- [0059] 본 발명에 의하면 상기 반응식 (1) ~ (4)의 반응은 600°C 이상의 고온의 액상인 용융탄산염에 의해 가능하게 된다. 용융탄산염의 고온으로 용융된 상태는 액체로서 균일성을 가지고, 이에 의해 도 2에 나타난 바와 같이 연료전지(FC) 모드와 수전해전지(EC) 모드에서의 전압-전류 직선이 대칭성을 가지게 된다. 특히 이 대칭성은 전기화학반응의 저항이 두 조건에서 유사하게 존재하며, 연료전지(FC) 모드와 수전해전지(EC) 모드에서의 반응이 가역적으로 발생함을 나타내고 있다.
- [0060] 그리고, 도 2에서와 같은 직선식의 전압-전류 관계는 연료전지(FC) 모드 및 수전해전지(EC) 모드 시의 반응이 매우 빠르게 일어나는 것을 의미하며, 이로부터 본 발명에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 저온형의 연료전지 또는 수전해전지에 비해 우수한 전력 생산효율 및 수소 생산효율을 나타내는 것을 알 수 있다. 또한, 이러한 이유로 본 발명에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 수전해전지(MCEC)의 수전해 전압이 일반적 운전조건인 100 내지 $200\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전력밀도로 인가 시 저온형 수전해전지에 비해 훨씬 낮은 1.7V 이하, 종게는 1.5V 이하, 더 종게는 1.3V 이하를 가짐으로써 저온형 수전해전지에 비해 수소 생산효율이 30% 이상 높다.
- [0061] 이에 따라 본 발명에 의하면 직류전기 인가/미인가의 간단한 제어를 통해 연료전지 전력 생산과 수전해전지 수소 생산을 단일화하여 하나의 장치에서 수소 생산과 전력 생산이 가능한 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 제공할 수 있으며, 상기 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 다른 연료전지 기반의 일체형 가역연료전지 시스템 대비 전력 생산효율 및 수소 생산효율이 우수하다.
- [0062] 반응온도는 상기의 목적을 만족하는 것을 전제로 특별히 제한되지 않으나, 반응온도는 예를 들어 600 내지 670°C , 또는 630 내지 670°C 일 수 있다.
- [0063] 상기 인가되는 직류전기는 인가 또는 미인가에 따라 용융탄산염 일체형 가역연료전지의 수전해전지(EC) 모드 또는 연료전지(FC) 모드로 제어할 수 있으므로, 인가되는 직류전기의 세기, 인가시간 등은 특별히 제한되지 않으나, 수소생산을 고려하여 일 실시예에 따르면 수전해전지 모드 작동 시 상기 인가되는 직류전기는 100 내지 $200\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전력밀도로 1.7V 이하, 종게는 1.5V 이하, 더 종게는 1.3V 이하로 인가되는 것일 수 있다.

- [0064] 상기 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 하기 관계식 [1]로 표현되는 수소 생산효율이 70% 이상일 수 있다. 또한, 후술하는 바람직한 일 실시예들 중 하나 또는 조합을 만족하는 경우 하기 관계식 [1]로 표현되는 수소 생산효율은 80% 이상, 또는 90% 이상일 수 있다. 상기 관계식 [1]을 도출하는 기준으로 비한정적인 예에 의하면 도시가스 LHV를 기준으로 할 수 있다.
- [0065] [1] (생산된 수소의 열에너지/인가된 전기에너지) * 100
- [0066] 상기 관계식 [1]에서, 상기 인가된 전기에너지는 인가된 직류전기로부터 전력을 도출한 다음, 직류전기를 인가한 시간을 곱하여 구한다. 상기 생산된 수소의 열에너지는 상기 전기에너지가 인가된 시간 동안 생산된 수소의 열에너지 총합일 수 있다.
- [0067] 도 3을 참조하여 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 이하에서 설명한다.
- [0068] 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 선택적으로, 상기 수전해전지(EC) 모드로 생산된 수소를 포함하는 기체를 제공받아 상기 수소를 포함하는 기체 내 수소와 CO_x ($0 < x \leq 2$) 기체를 분리하는 기체 분리기(5)를 더 포함할 수 있다.
- [0069] 기체 분리기(5)는 수소와 CO_x ($0 < x \leq 2$) 기체를 분리할 수 있는 다양한 기체 분리를 제한없이 사용할 수 있으며, 기체 분리기(5)의 비한정적인 예로는 PSA(Pressure Swing Adsorption) 분리를 들 수 있다.
- [0070] 기체 분리기(5)에 의해 분리된 수소와 CO_x ($0 < x \leq 2$) 기체는 연료전지(FC) 모드의 용융탄산염 일체형 가역연료전지로 제공되어 연료전지(FC) 모드의 반응을 수행할 수 있으면 충분하고, 제공되는 방식에 대해서는 특별히 제한되지 않는다. 비한정적인 예에 의하면, 수소와 CO_x ($0 < x \leq 2$) 기체는 별도의 저장용기에 저장되었다가 연료전지(FC) 모드의 용융탄산염 일체형 가역연료전지로 제공될 수 있다.
- [0071] 일 실시예에 따르면 상기 기체 분리기(5)로 분리된 수소와 CO_x 기체는 연료전지(FC) 모드의 수소극(3) 및 산소극(4)으로 제공될 수 있다. 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 수전해전지(EC) 모드의 반응 결과물을 제공받아 상기 반응 결과물 내 수소와 CO_x ($0 < x \leq 2$) 기체를 분리하는 기체 분리기(5)를 더 포함함으로써 연료전지(FC) 모드의 수소극(3), 산소극(4) 반응물인 수소, 이산화탄소 기체의 분압을 올릴 수 있으며, 이를 통해 연료전지(FC) 모드의 반응효율을 더욱 높일 수 있다.
- [0072] 도 4를 참조하여 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 이하에서 설명한다.
- [0073] 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 선택적으로, 상기 연료전지(FC) 모드의 반응식 (3)의 반응 결과물을 제공받아 공기와 연소시키는 촉매연소기(6)를 더 포함할 수 있다.
- [0074] 촉매연소기(6)는 상기 연료전지(FC) 모드의 반응식 (3)의 반응 결과물을 제공받아 공기와 연소시킬 수 있는 다양한 촉매연소기를 제한없이 사용할 수 있다. 촉매연소기(6)에 의한 연소 결과물은 연료전지(FC) 모드의 용융탄산염 일체형 가역연료전지로 제공되어 연료전지(FC) 모드의 반응을 수행할 수 있으면 충분하고, 제공되는 방식에 대해서는 특별히 제한되지 않는다.
- [0075] 일 실시예에 따르면 상기 촉매연소기(6)에 의한 연소 결과물은 연료전지(FC) 모드의 수소극(3) 및 산소극(4)으로 제공될 수 있다. 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 연료전지(FC) 모드의 반응식 (3)의 반응 결과물을 제공받아 공기와 연소시키는 촉매연소기(6)를 더 포함함으로써 미반응 수소를 가열하고, CO_x ($0 < x \leq 2$) 기체를 완전 연소시켜 연료전지(FC) 모드의 수소극(3) 반응물인 수소의 반응성을 높이고, 산소극(4) 반응물인 이산화탄소 기체의 분압을 올릴 수 있으므로 연료전지(FC) 모드의 반응효율을 높일 수 있다. 또한, 이와 함께 고온의 반응온도를 유지하기 위한 열원에 소모되는 에너지, 비용을 저감할 수 있다.
- [0076] 도 5를 참조하여 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 이하에서 설명한다.
- [0077] 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 선택적으로, 상기 연료전지(FC) 모드의 반응식 (3) 및 (4)의 반응 결과물을 제공받아 상기 반응 결과물 내 이산화탄소를 분리하는 이산화탄소 분리기(7)를 더 포함할 수 있다.

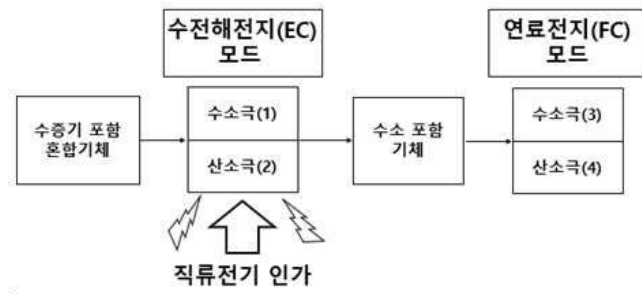
- [0078] 이산화탄소 분리기(7)는 상기 반응 결과물 내 이산화탄소를 분리할 수 있는 다양한 기체 분리기를 제한없이 사용할 수 있으며, 이산화탄소 분리기(7)의 비한정적인 예로는 PSA(Pressure Swing Adsorption) 분리를 들 수 있다.
- [0079] 일 실시예에 따르면 상기 이산화탄소 분리기(7)에 의해 이산화탄소가 분리된 반응 결과물은 대기 중으로 배출될 수 있다. 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 연료전지(FC) 모드의 반응 결과물을 제공받아 상기 반응 결과물 내 이산화탄소를 분리하는 이산화탄소 분리기(7)를 더 포함함으로써 대기로 배출되는 이산화탄소 양을 저감할 수 있다.
- [0080] 도 3 내지 도 5에서는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템에 대해서 각각 설명하였으나, 본 발명에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 도 3 내지 도 5의 실시예들이 조합된 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 포함할 수 있다. 예를 들면 본 발명의 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 용융탄산염 일체형 가역연료전지를 포함하고, 선택적으로 기체 분리기(5), 촉매연소기(6), 이산화탄소 분리기(7) 중 하나 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.
- [0081] 도 6은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템을 도시한 도면이며, 이에 의하면 본 발명의 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 가역연료전지, 기체 분리기(5), 촉매연소기(6) 및 이산화탄소 분리기(7)를 포함한다.
- [0082] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 하기 반응식 (5)로 표현되는 메탄 수증기 개질 반응의 촉매를 더 포함할 수 있다. 상기 촉매로는 예를 들어 Ni계 촉매를 들 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.
- [0083] (5) $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$
- [0084] 메탄 수증기 개질 반응의 촉매는 연료전지(FC) 모드의 수소극 반응물인 수소 기체의 분압을 올릴 수 있도록 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템 내 포함되면 충분하며, 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템 내 다양한 구성, 장치, 기구에 포함될 수 있다. 일 실시예에 따르면 메탄 수증기 개질 반응의 촉매는 상기 수증기 포함 혼합기체가 공급되는 기체 유로 내 포함되거나, 기체 분리기의 전, 후의 기체 유로 내 포함되거나, 촉매연소기가 배치된 기체 유로 내 포함될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0085] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템은 메탄 수증기 개질 반응의 촉매를 더 포함함으로써 연료전지(FC) 모드의 수소극 반응물인 수소 기체의 분압을 올릴 수 있으므로 연료전지(FC) 모드의 반응효율을 높일 수 있다.
- [0086] 상술한 일 실시예에 따른 용융탄산염 일체형 가역연료전지 시스템에 의해 생산된 전력은 전력변환기(inverter)에 의해 교류 전력으로 다양한 산업분야에 공급될 수 있으며, 발생한 열은 열 교환기에 의하여 다양한 산업분야에서 활용될 수 있다.
- [0087] 본 발명은 이상에서 살펴본 바와 같이 바람직한 실시예를 들어 도시하고 설명하였으나, 상기한 실시예에 한정되지 아니하며 본 발명의 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변경과 수정이 가능할 것이다.

부호의 설명

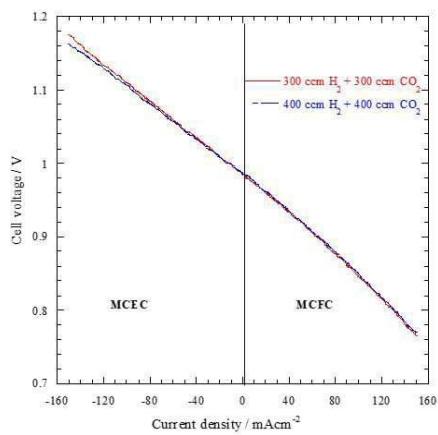
- [0088] 1: 수전해전지(EC) 모드의 수소극
2: 수전해전지(EC) 모드의 산소극
3: 연료전지(FC) 모드의 수소극
4: 연료전지(FC) 모드의 산소극
5: 기체 분리기
6: 촉매연소기
7: 이산화탄소 분리기

도면

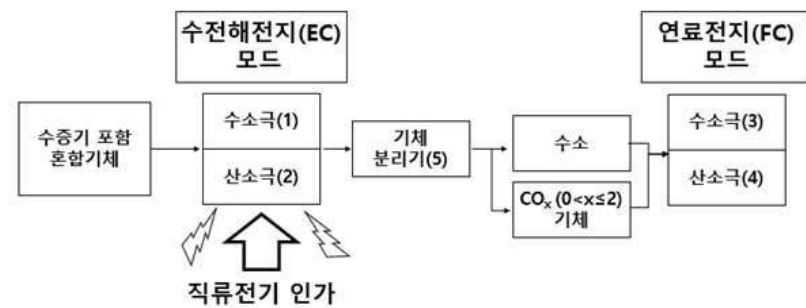
도면1



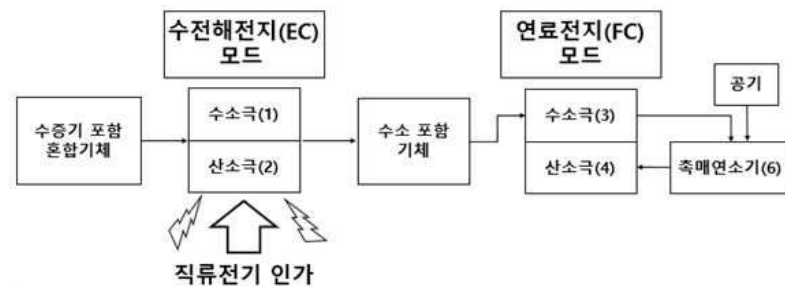
도면2



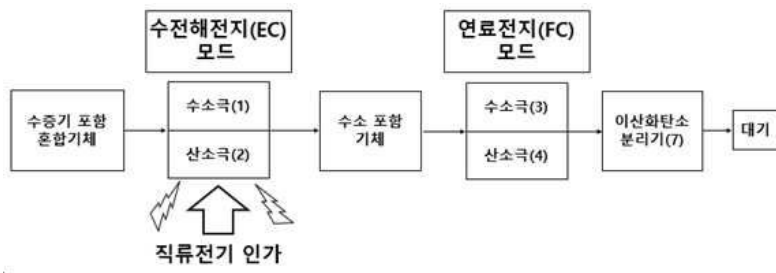
도면3



도면4



도면5



도면6

