



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0023494
(43) 공개일자 2022년03월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C01B 3/34 (2006.01) C01B 3/36 (2006.01)
H01M 8/0612 (2016.01)
(52) CPC특허분류
C01B 3/342 (2013.01)
C01B 3/363 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0105280
(22) 출원일자 2020년08월21일
심사청구일자 2020년08월21일
기술이전 희망 : 기술양도

(71) 출원인
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)
(72) 발명자
전영남
광주광역시 서구 상무대로1147번길 16, 107동
1503호(농성동, 농성 SK VIEW Central)
(74) 대리인
위병갑

전체 청구항 수 : 총 6 항

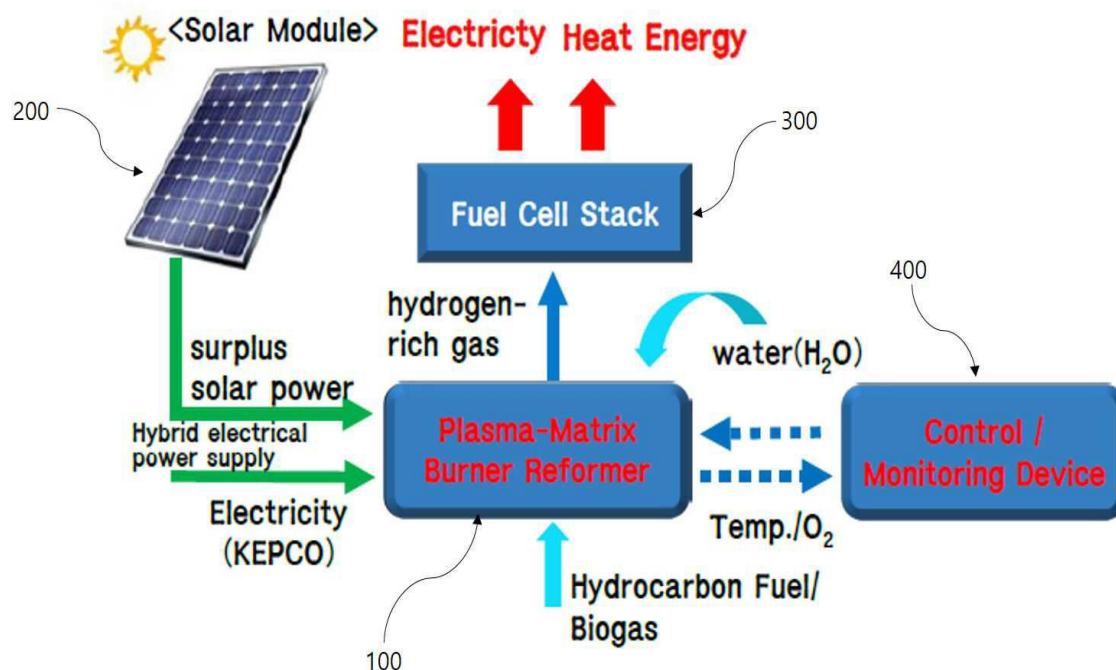
(54) 발명의 명칭 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템

(57) 요약

본 발명은 탄화수소계인 화석연료 또는 바이오가스 등을 청정가스인 수소과농가스(hydrogen-rich gas)로 효율적으로 전환하고, 이를 고체산화물연료전지(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell) 등에 활용하여 전기와 열에너지를 생산할 수 있도록 하는 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템에 관한 것이다. 본

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



발명에 따르면, 탄화수소계 화석연료나 바이오가스를 포함하는 처리대상가스, 및 연소용 가스를 공급받아 플라즈마 연소기와 매트릭스 버너를 통해 개질하여 수소과농가스(hydrogen-rich gas)를 생성하도록 구성되는 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기; 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기에 필요 전력을 공급하는 전력 공급 장치부; 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기에서 생성된 청정가스를 공급받아 전기와 열에너지를 생산하도록 구성되는 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 연료전지스택; 및 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기와 전력 공급 장치부 및 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 연료전지 스택의 작동 상황을 모니터링하고, 제어하도록 구성되는 모니터링-제어 장치부;을 포함하는 것을 특징으로 하는 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템이 제공된다.

(52) CPC특허분류

H01M 8/0618 (2013.01)
C01B 2203/0255 (2013.01)
C01B 2203/066 (2013.01)
C01B 2203/0861 (2013.01)
C01B 2203/0866 (2013.01)
C01B 2203/169 (2013.01)
C01B 2203/84 (2013.01)
H01M 2008/1293 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345317128
과제번호	2018R1D1A1B07040326
부처명	이공학 개인기초연구지원사업
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	기본연구지원사업
연구과제명	탄소기반 온실가스 마이크로웨이브 전환 태양연료 생산
기 여 율	1/1
과제수행기관명	조선대학교
연구기간	2018.06.01 ~ 2023.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

탄화수소계 화석연료나 바이오가스를 포함하는 처리대상가스, 및 연소용 가스를 공급받아 플라즈마 연소기와 매트릭스 버너를 통해 개질하여 수소과농가스(hydrogen-rich gas)를 생성하도록 구성되는 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기;

상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기에 필요 전력을 공급하는 전력 공급 장치부;

상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기에서 생성된 청정가스를 공급받아 전기와 열에너지를 생산하도록 구성되는 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 연료전지스택; 및

상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기와 전력 공급 장치부 및 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 연료전지스택의 작동 상황을 모니터링하고, 제어하도록 구성되는 모니터링-제어 장치부;을 포함하는 것을 특징으로 하는 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기는,

장치 바디;

상기 장치 바디의 하부에 구비되어 공급되는 처리대상가스를 1차 부분산화시키도록 구성되는 플라즈마 연소기; 및

상기 플라즈마 연소기의 상부 측에 구비되어 그 플라즈마 연소기에서 부분산화되어 나오는 처리가스를 2차 부분산화하도록 구성되는 매트릭스 버너;를 포함하는 것을 특징으로 하는

플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 플라즈마 연소기는, 3상 플라즈마 방전이 이루어지도록 3개의 전극이 지지체에 의해 둘레방향으로 120°의 간격을 갖고 설치되며, 전극 상단부에 연소용 공기가 분출되는 노즐이 구성되며,

상기 장치 바디와 지지체는 절연 재질로 형성되는 것을 특징으로 하는

플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기는,

플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기에서 생성되어 나오는 생성가스의 일부를 그 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기의 입구 측으로 순환시켜 처리대상가스 및 연소용 공기 중 적어도 하나와 혼합되도록 하는 일부 생성가스 재순환 관로;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는

플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 전력 공급 장치부는,

태양광 모듈 및 상용 전력망이 병용되는 전력 공급 장치부로 구성되는 것을 특징으로 하는

플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 모니터링-제어 장치부는,

상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기로 공급되는 총 가스공급량이 18L/min ~ 22L/min가 되도록 제어하며, O_2/C 비가 0.9~1.1가 되도록 제어하는 것을 특징으로 하는

플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 탄화수소계인 화석연료 또는 바이오가스 등을 청정가스인 수소과농가스(hydrogen-rich gas)로 효율적으로 전환하고, 이를 고체산화물연료전지(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell) 등에 활용하여 전기와 열에너지를 생산할 수 있도록 하는 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 메탄은 천연가스의 주성분이고, 셰일가스(shale gas), 코크오븐가스(coke oven gas), 바이오매스 또는 석탄 가스화 가스에도 포함되어 있다. 또한, 화석연료의 사용과 바이오가스 생산 과정에서 기후변화 주요 원인물질인 이산화탄소가 발생된다.
- [0004] 온실가스인 메탄과 이산화탄소를 유용한 에너지로 전환하는 기술은 기존의 촉매 적용 열적 전환(thermal conversion)과 그 외 대체 기술로 전기화학(electro-chemical), 태양 열화학(solar thermochemical), 광-화학(photo-chemical), 바이오-화학(bio-chemical)적 전환이 있다.
- [0005] 이 중 열적 전환과 전기화학적 전환기술이 일부 실용화 되어 현장에 적용되어 있고 그 외에는 실험실적 규모의 기초연구나 파일럿 규모의 실증연구가 진행되고 있다.
- [0006] 열적전환기술 방법으로는 수증기 개질법(Steam reforming), CO_2 개질법(CO_2 reforming), 그리고 부분산화 개질법(Partial oxidation reforming)이 있다.
- [0007] 수증기 개질법은 이미 산업적으로 적용된 방법이지만 메탄 건식개질(dry reforming)이 상대적으로 더 매력적으로 인식되고 있다. 이는 건식개질이 주요 온실가스인 이산화탄소의 배출 저감이 가능하고 좀더 효율적인 에너지 전환이 가능하기 때문이다. 부분산화 개질은 수증기 개질과 CO_2 개질 반응과 달리 발열반응이므로 에너지 소모가 적다.
- [0008] 전기화학(electro-chemical)적 방법 중의 하나는 플라즈마 개질법(Plasma reforming)이 있으며 이는 새로운 형태(novel approach)의 개질 기술로 많은 잠재력을 가지고 있다고 알려져 있다. 플라즈마는 고온플라즈마

(thermal plasma)와 저온플라즈마(non-thermal plasma: NTP)가 있다. 고온 플라즈마는 고온이 형성되어 전환효율이 높으나 에너지 비용이 많이 소요되는 문제점을 가지고 있다. 저온플라즈마는 저온과 저압의 마일드 조건(mild condition)에서 운전이 가능하므로 에너지 비용이 기존의 열적전환 방식에 비해 저감이 가능하기 때문에 메탄과 이산화탄소 전환을 위한 유망기술 중 하나이다.

- [0009] 현재 상용화 되어 사용되고 있는 자열개질(auto-thermal reforming)은 촉매 부분산화개질에 수증기 개질 또는 이산화탄소 개질 방식이 결합된 형태이다. 이 경우 대용량 수소생산이 가능한 장점이 있으나 촉매피독, 수증기 생산 비용 등의 문제가 있다. 이를 해결하기 위해서는 더 진보된 새로운 기술의 개발이 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 10-1136234(2012.04.17. 공고)
(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허공보 10-2006-0044509(2006.05.16. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 따라서, 상기한 종래의 문제점을 해결하기 위한 본 발명은, 탄화수소계인 화석연료 또는 바이오가스 등을 청정 가스인 수소과농가스(hydrogen-rich gas)로 효율적으로 전환하고, 이를 고체산화물연료전지(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell) 등에 활용하여 전기와 열에너지를 생산할 수 있도록 하는 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0012] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0014] 상기 본 발명의 목적들 및 다른 특징들을 달성하기 위한 본 발명의 일 관점에 따르면, 탄화수소계 화석연료나 바이오가스를 포함하는 처리대상가스를, 및 연소용 가스를 공급받아 플라즈마 연소기와 매트릭스 버너를 통해 개질하여 수소과농가스(hydrogen-rich gas)를 생성하도록 구성되는 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기; 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기에 필요 전력을 공급하는 전력 공급 장치부; 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기에서 생성된 청정가스를 공급받아 전기와 열에너지를 생산하도록 구성되는 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 연료전지스택; 및 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기와 전력 공급 장치부 및 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 연료전지 스택의 작동 상황을 모니터링하고, 제어하도록 구성되는 모니터링-제어 장치부;을 포함하는 것을 특징으로 하는 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템이 제공된다.
- [0015] 본 발명에 있어서, 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기는, 장치 바디; 상기 장치 바디의 하부에 구비되어 공급되는 처리대상가스를 1차 부분산화시키도록 구성되는 플라즈마 연소기; 및 상기 플라즈마 연소기의 상부 측에 구비되어 그 플라즈마 연소기에서 부분산화되어 나오는 처리가스를 2차 부분산화하도록 구성되는 매트릭스 버너;를 포함하는 것이 바람직하다.
- [0016] 본 발명에 있어서, 상기 플라즈마 연소기는, 3상 플라즈마 방전이 이루어지도록 3개의 전극이 지지체에 의해 둘레방향으로 120°의 간격을 갖고 설치되며, 전극 상단부에 연소용 공기가 분출되는 노즐이 구성되며, 상기 장치 바디와 지지체는 절연 재질로 형성될 수 있다.
- [0017] 본 발명에 있어서, 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기는, 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기에서 생성되어 나오는 생성가스의 일부를 그 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기의 입구 측으로 순환시켜 처리대상가스 및 연소용 공기 중 적어도 하나와 혼합되도록 하는 일부 생성가스 재순환 관로;를 더 포함할 수 있다.

[0018] 본 발명에 있어서, 상기 전력 공급 장치부는, 태양광 모듈 및 상용 전력망이 병용되는 전력 공급 장치부로 구성될 수 있다.

[0019] 본 발명에 있어서, 상기 모니터링-제어 장치부는, 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기로 공급되는 총 가스공급량이 18L/min ~ 22L/min가 되도록 제어하며, O_2/C 비가 0.9~1.1가 되도록 제어하는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따른 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템에 의하면 다음과 같은 효과를 제공한다.

[0022] 첫째, 본 발명은 온실가스인 메탄과 이산화탄소가 주성분인 매립장 매립가스, 폐수처리장 소화조 부생가스, 음식물 쓰레기 처리 혐기 반응기 등에서 발생하는 바이오가스(biogas), 바이오 매스, 도시 폐기물 등의 가스화 가스, 가스 화석연료 등을 다양한 발생원을 대상으로 고품위 수소과농의 가스를 생산할 수 있는 효과가 있다.

[0023] 둘째, 본 발명은 플라즈마와 축열버너의 장점이 융합되어 구성됨으로써 기존의 촉매가격 문제해결 뿐만 아니라 장치의 콤팩트화, 수초의 빠른 시동 및 응답시간, 고분자 탄화수소를 포함한 다양한 종류의 생성가스를 적용할 수있고, 개질 시 자체 내부반응열을 사용하며, 넓은 범위의 유량과 가스성상에 대해 최적운전상태 유지 등을 도모할 수 있으며, 이에 따라 정상운전 소요시간과 개질기 효율에 대한 기존 문제점을 해결할 수 있는 효과가 있다.

[0024] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해되어 질 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명에 따른 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템을 도식화하여 나타내는 구성도이다.

도 2는 본 발명에 따른 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템을 구성하는 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기의 구성을 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명에 따른 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템의 주요 구성부인 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기에 대하여 특성 검출을 위하여 설계하고 시제작한 실험장치의 구성을 도식화하여 나타내는 도면이다.

도 4a 및 도 4b는 O_2/C 비의 효과 결과를 확인하기 위한 그래프로서, 도 4a는 CH_4 전환을 나타내는 그래프이며, 도 4b는 가스 생성량, H_2/CO , H_2 선택도 간의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 5a 및 도 5b는 총가스공급량의 영향 결과를 확인하기 위한 그래프로서, 도 5a는 CH_4 전환을 나타내는 그래프이며, 도 5b는 가스 생성량, H_2/CO , H_2 선택도 간의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 6은 $CO_2:CH_4$ 비의 특성 결과를 확인하기 위한 것으로, 도 6의 (a)는 CH_4 전환을 나타내는 그래프이고, 도 6의 (b)는 가스 생성량, H_2/CO , H_2 선택도 간의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 7은 $CH_4:CO_2$ 비 변화에 따른 생성가스 농도, H_2/CO , H_2 선택도를 나타내는 그래프이다.

도 8a 및 도 8b는 재순환물의 특성 결과를 확인하기 위한 것으로, 도 8a는 CH_4 전환을 나타내는 그래프이고, 도 8b는 가스 생성량, H_2/CO , H_2 선택도를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 본 발명의 추가적인 목적들, 특징들 및 장점들은 다음의 상세한 설명 및 첨부도면으로부터 보다 명료하게 이해될 수 있다.
- [0029] 본 발명의 상세한 설명에 앞서, 본 발명은 다양한 변경을 도모할 수 있고, 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는바, 아래에서 설명되고 도면에 도시된 예시들은 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0030] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0031] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도는 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0032] 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...유닛", "...모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0033] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0034] 이하, 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템에 대하여 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명한다.
- [0035] 도 1은 본 발명에 따른 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템을 도식화하여 나타내는 구성도이며, 도 2는 본 발명에 따른 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템을 구성하는 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기의 구성을 나타내는 도면이다.
- [0037] 본 발명에 따른 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템은, 도 1 및 도 2에 나타낸 바와 같이, 연소용 가스(공기)와 탄화수소계 화석연료, 바이오가스 등을 포함하는 처리대상가스를 공급받아 플라즈마 연소기(120)와 매트릭스 버너(130)를 통해 개질 또는 부분산화하여 청정가스(수소과농가스(hydrogen-rich gas))를 생성하도록 구성되는 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기(100); 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기(100)에 필요 전력을 공급하는 전력 공급 장치부(200); 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기(100)에서 생성된 청정가스를 공급받아 전기와 열에너지를 생산하도록 구성되는 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 연료전지스택(300); 및 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기(100)와 전력 공급 장치부(200) 및 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 연료전지 스택(300)의 작동 상황을 모니터링하고, 제어하도록 구성되는 모니터링-제어 장치부(400);을 포함한다.
- [0038] 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기(100)는, 도 2에 잘 나타낸 바와 같이, 소정 형상으로 이루어지는 장치 바디(110)와, 상기 장치 바디(110)의 하부에 구비되어 공급되는 처리대상가스를 1차 부분산화시키도록 구성되는 플라즈마 연소기(120), 및 상기 플라즈마 연소기(120)의 상부 측에 구비되어 상기 플라즈마 연소기(120)에서 1차 부분산화되어 나오는 처리가스를 평면 화염(flat flame)으로 2차 부분산화 시키도록 구성되는 매트릭스 버너(130)를 포함한다.
- [0039] 상기 장치 바디(110)는 절연 재질, 바람직하게는 세라믹 재질로 이루어진다. 이때 상기 장치 바디(110)는 아래에서 설명될 지지체(122)에 대한 절연성이 확보되는 경우, 스테리인레스 재질로 형성될 수 있다.
- [0040] 상기 플라즈마 연소기(120)는, 3상 플라즈마 방전이 이루어지도록 3개의 나이프형 전극(121)이 절연 재질(바람직하게는 세라믹 재질)의 지지체(122)에 지지되어 구비되며, 전극(121)의 상단에는 노즐이 구성되어 연소용 가스(공기)가 분출되도록 구성된다.

- [0041] 상기 지지체(122)는 장치 바디(110)의 둘레방향으로 120°의 간격을 설치되며, 이에 따라 3개의 전극(121)이 지지 구성되며, 상기 모니터링-제어 장치부(400)에서는 3개의 전극(121)에서 3상 플라즈마 방전이 이루어지도록 제어하게 된다.
- [0042] 또한, 상기 노즐은 분사가스가 플라즈마 방전 칼럼 내에 위치되도록 하며, 그 노즐의 내경은 전극(121)의 간격보다 작게 구성된다.
- [0043] 이와 같은 플라즈마 연소기(120)는 3개의 전극 상단의 노즐 측에서 처리대상가스와 공기가 혼합되어 부분산화(개질)를 일으킨다.
- [0044] 이러한 플라즈마 연소기(120)에서 행해지는 부분산화는 플라즈마 발생으로 인해 반응성이 우수한 원자, 이온, 전자 등이 다량 발생되어 반응성이 뛰어나, 유입되는 처리가스의 안정된 연소를 가능하게 하고, 이에 따라 전환 반응이 우수하여 기존 버너에서 부분산화 개질보다 우수한 특성을 가게 된다.
- [0045] 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기(100)에는 처리할 처리대상가스와 연소용 공기를 공급할 수 있는 장치부들이 연결된다.
- [0046] 여기서, 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기(100)의 가스-공기 유입 측에는 그 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기(100)로 공급되는 처리대상가스와 연소용 공기, 및/또는 일부 생성가스 재순환 관로(140)를 통해 재순환되는 생성가스(개질가스)를 믹싱하는 가스 믹서(예를 들면, 오리피스 가스 믹서)가 구성될 수 있다.
- [0047] 계속해서, 상기 매트릭스 버너(130)는 평면화염(flat flame)을 형성하는 2단 축열식 매트릭스 버너로 구성된다.
- [0048] 이러한 매트릭스 버너(130)는 상기 플라즈마 연소기(120)에서 부분산화되어 나오는 처리가스를 추가적으로 부분산화 개질시켜 개질 전환 효율을 증가시키게 된다.
- [0049] 또한, 본 발명에 따른 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템은, 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기(100)에서 생성된 처리가스의 일부를 그 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기(100)의 입구 측으로 순환시켜 처리대상가스 및/또는 연소용 공기와 혼합되도록 하는 일부 생성가스 재순환 관로(140)를 더 포함할 수 있다.
- [0050] 상기 일부 생성가스 재순환 관로(140)는 오리피스 믹서가 구성되어 생성된 처리가스(개질가스)의 일부가 자연 재순환되면서 공기와 혼합되어 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기(100)로 공급되도록 할 수 있다.
- [0051] 한편, 본 발명은 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기(100)에서 생성되어 나오는 생성가스는 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 연료전지스택(300)으로 공급되게 된다.
- [0052] 상기 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기(100)와 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 연료전지스택(300) 간의 공급 라인에는, 생성가스를 펌핑하기 위한 펌프와, 생성가스 중의 분산물(예를 들면, 그을음(soot))을 제거하기 위한 필터 모듈과, 상기 필터 모듈을 거쳐 나오는 처리가스를 냉각시켜 수분을 응축하도록 구성되는 냉각기를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0054] 다음으로, 상기 전력 공급 장치부(200)는 태양광 모듈 및/또는 상용 전력망에 연결되는 상용 전력망 장치부로 구성될 수 있다. 바람직하게, 상기 전력 공급 장치부(200)는 1차적으로 태양광 모듈로부터 발전되어 나오는 태양광 전력을 기본적으로 이용하며, 필요 시(예를 들면, 필요 전력이 부족할 시) 상용용 전력망을 이용하도록 구성되는 것이 바람직하다.
- [0055] 상기 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 연료전지스택(300)은 공지의 것을 채용할 수 있으므로, 설명의 간략화를 위하여 이에 대한 상세한 설명은 생략한다.
- [0056] 상기 모니터링-제어 장치부(400)는 전체 장치부들의 제어 상황을 실시간 모니터링할 뿐만 아니라, 처리할 처리대상가스의 총 가스공급량을 제어하여 공급하고, 연소용 공기를 제어하여 공급하며, 상기 전력 공급 장치부(200)의 공급 전력을 제어하는 것을 포함한다.
- [0057] 구체적으로, 상기 모니터링-제어 장치부(400)는 총 가스 공급량(처리대상가스와 연소용 공기의 총 공급량)이 18L/min ~ 22L/min가 되도록 제어, 바람직하게는 20L/min가 되도록 제어하고, O₂/C비(처리대상가스와 연소용 공기에서 O₂/C비)가 0.9~1.1가 되도록 제어, 바람직하게는 1.0이 되도록 제어하며, 그리고 공급 전력이

0.80kW~0.85kW, 바람직하게는 0.83kW로 제어하도록 이루어진다.

- [0059] 한편, 본 발명의 발명자는 본 발명의 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템을 통해 생성되는 가스의 주요 특성을 검증하기 위하여, 주요 구성부인 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 (100)를 시제작하여 실험을 실시하였으며, 이하 실험에 대하여 설명한다.
- [0060] 본 발명의 발명자는, 메탄 공급 시 O_2/C , 총 가스 공급량, 개질가스 재순환에 대한 전환 특성을 파악하였고, 아울러 온실가스인 CO_2 의 추가 특성을 파악하고자 CH_4/CO_2 비에 대한 혼합개질 특성을 규명하였으며, 이러한 변수별 전환성능을 근거로 하여 각 경우에 대한 최적 전환 운전 조건을 확인하였으며, 아래 실험 장치의 구성 및 과정 과 결과 또한 본 발명의 특허청구범위를 뒷받침하는 내용이다.
- [0061] 실험 장치
- [0062] 도 3은 본 발명에 따른 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템의 주요 구성부인 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기에 대하여 특성 검출을 위하여 설계하고 시제작한 실험장치의 구성을 도식화하여 나타내는 도면이다.
- [0063] 실험장치는 크게 플라즈마-매트릭스 버너 개질기(Plasma-Matrix Burner Reformer: 이하 "PBR"로 약칭함), 전원 공급장치(Power Supply Equipment), 가스-공기 공급라인(Gas-Air Feed Line), 측정 및 분석라인(Measuring & Analysis Line)으로 구성하였다.
- [0064] 플라즈마-매트릭스 버너 개질기에서 플라즈마 연소기는 3상 글라이딩 아크 플라즈마가 발생하는 형식으로 칼날 형태(폭 25mm, 높이 127mm, 두께 2mm)로 된 3개 전극을 지지체에 각각 120° 로 배치하였으며, 전극 간격은 4mm로 유지하였다. 지지체는 전극과의 절연을 위해 세라믹으로 제작되었다. 장치 바디는 세라믹 재질로 된 관(직경 100mm, 길이 155mm)으로 제작하였다. 가스분사 노즐(내경 3mm)은 전극상부 중심에 위치한 상태에서 지지체에 고정하여 구성하였다.
- [0065] 매트릭스 버너는 플라즈마 연소기의 상부에 직경이 78mm인 원형 매트릭스(두께 2.5mm) 금속파이버가 2단으로 45mm와 75mm위치에 각각 설치하여 구성하였으며, 플라즈마 버너의 후단부로부터 입구로 일부 생성가스 재순환 관로가 연결된 구조로 하였다.
- [0066] 전원공급장치는 전기를 공급하는 파워서플라이(Model: UAP-15K1A, Unicon tech., Korea)와 전기적 특성을 측정하는 전압 프루브(Model P6015, Tektronix, USA), 전류 프루브(Model: A6303, Tektronix, USA), 전류 증폭기(amplifier) (Model TM502A, Tektronix, USA) 그리고 오실로스코프(Model TDS-3052, Tektronix, USA)로 구성하였다.
- [0067] 파워서플라이(power supply)는 3상 교류를 최대 15kW(전압: 15kV, 교류전류: 1A)까지 가능한 것을 채용하였다.
- [0068] 가스-공기 공급라인에서 공급 가스는 메탄과 이산화탄소 실린더에서 각각 공급되도록 하였으며. 공기 공급은 압축기에서 압축된 공기($7kg_f/cm^2$)로 공급되어 유체의 맥동(fluctuation)을 방지하여 균일한 압을 유지하기 위해 서지탱크(surge tank) 그리고 응축수분을 제거하기 위해 워터트랩을 통과한 후 공급되도록 구성하였다. 처리대상 가스와 연소용 공기는 각각 MFC(Mass flow controller)에 의해 유량이 조절되도록 하였다.
- [0069] 측정 및 분석라인은 PBR 전단부에 유입가스 측정을 위한 샘플링 포트(S_0)를 설치하였고, 플라즈마 연소기의 후단과 매트릭스 버너의 후단부에서 전환된 처리가스를 포집하도록 각각 샘플링 포트(S_1 , S_2)를 설치하였다. PBR에서 전환된 생성가스는 검댕(soot)을 제거하기 위해 석면(glass wool)을 거친 후 가스를 냉각시켜 수분을 응축시키기 위해 $-20^\circ C$ 로 작동되는 냉각기(Model: JELO TECH HC-30, USA)를 거쳐 흡입펌프(Model: N-820.3FT 18 KNF, Switzerland)를 통해 샘플링 하였다. 그리고 샘플링된 가스는 분석장비인 GC-TCD(Model CP-4900, Varian, Netherland)에서 주요 가스인 CO_2 , CH_4 , H_2 , CO 등을 분석하였으며, PBR내의 가스 온도는 열전대(k-type, 직경 0.3mm)와 데이터 로거(Model: FLUKE 2625A HYDRA, Japan)를 통해 측정하였다.
- [0070] 실험 방법
- [0071] 메탄과 이산화탄소의 개질 특성에 영향을 미치는 요소에 대해 결과를 검증하기 위하여 각 변수별 실험 범위를 아래의 표 1(변수별 실험범위 및 기준 조건)과 같이 하였다. 기준 조건(reference condition)은 각 실험 변수의

기준이 되는 조건이다.

[0072] 실험 방법은 메탄 또는 메탄-이산화탄소가 공급되며 부분 산화를 위한 일정 공기비에 맞게 연소용 공기가 벤츄리 가스 혼합기에서 혼합된 후 PBR로 공급되도록 하였다. 재순환 실험의 경우 재순환관 밸브를 열고 실험을 진행하였으며, 플라즈마 공급 전력은 0.75 kW로 일정하게 공급하였다.

[0073] 생성가스 분석은 GC(CP-4900, Varian, Netherland)를 이용하였으며, Molecular Sieve 5A capillary column(Model MS 5A, Varian, Netherland)에서 H₂, CO, O₂, N₂, CH₄를 분석하고 PoraPLOT Q capillary column(Model PPQ, Varian, Netherland)으로 CO₂, C₂H₄, C₂H₂, C₂H₆ 및 C₃H₈을 분석하였다.

표 1

[0074] PBR의 성능을 표현하기 위해 메탄 전환효율과 이산화탄소 전환효율로 나타내었으며, 아래 식(1)와 같이 계산되었다.

변수	O ₂ /C비	총가스공급량 rate(L/min)	CH ₄ :CO ₂ 비	재순환률(%)
실험범위	0.4~1.0	20~60	7:3~5:5	0, 100
기준조건	1.0	20	6:4	0

$$CE(\%) = \frac{[PG]_{input} - [PG]_{output}}{[PG]_{input}} \times 100$$

식 (1)

[0078] 여기 에서, [PG]_{input}는 주입된 CH₄,CO₂의 유량(L/min), [PG]_{output}는 배출된 CH₄, CO₂의 유량(L /min)이다.

[0079] 생성가스의 수소 선택도(H₂ selectivity)와 H₂/CO비는 아래 식(2)와 식(3)에 의해 구해졌다.

$$S_{H_2}(\%) = \frac{H_2 \text{ Produced (mol/s)}}{2 \times CH_4 \text{ converted (mol/s)}} \times 100$$

식 (2)

$$\frac{H_2}{CO} = \frac{H_2 \text{ Produced (mol/s)}}{CO \text{ Produced (mol/s)}}$$

식 (3)

실험 결과

① 메탄 개질

[0088] 본 실험에서는 메탄과 이산화탄소 개질에 영향을 미치는 주요 영향인자인 O₂ /C비, 전체 가스공급량,

CO₂:CH₄비, 개질가스 재순환에 대해 변수별 연구를 수행 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

[0090] 1. O₂/C비 영향 (Effect of O₂/C molar ratio)

[0091] 도 4a 및 도 4b는 O₂/C비의 효과 결과를 확인하기 위한 그래프로서, 도 4a는 CH₄ 전환을 나타내는 그래프이며, 도 4b는 가스 생성량, H₂/CO, H₂ 선 택도 간의 관계를 나타내는 그래프이다.

[0092] 도 4a 및 도 4b에서는 메탄만 공급하고 전체 가스공급량을 20L/min으로 하며, O₂ /C비를 0.4~1.0까지 변화시켰을 때 개질특성을 나타낸 것이다.

[0093] 도 4a에 나타낸 바와 같이, CH₄ 전환은 플라즈마 연소기만 운전(plasma combustor only)되었을 때와 플라즈마-매트릭스 버너 연계된 상태로 운전(combined plasma-matrix burner)된 두 경우 모두 O₂/C비가 증가됨에 따라 증가되었다. 그리고 모든 O₂/C비에서 CH₄ 전환이 플라즈마 연소기(Plasma Combustor: S₁)에서 보다 매트릭스 버너(Matrix Burner: S₂)에서 증가된 값을 가졌다.

[0094] 플라즈마 연소(plasma assisted combustion)는 플라즈마 발생으로 인해 반응성이 우수한 원자, 이온, 전자 등이 다량 발생되어 반응성이 우수하며, 이러한 특성은 플라즈마 연소기에서 유입되는 처리가스의 안정된 연소가 가능하고 전환반응이 우수해지므로 기존 버너에서 부분산화 개질보다 더 우수한 특성을 가질 수 있었다. 이와 같은 특성을 가지는 플라즈마 연소는 다양하고 복잡한 여러 반응이 존재하지만, 메탄 크래킹 반응(반응식 1)과 부분산화 개질반응(반응식 2) 그리고 탄소 산화반응(반응식 3)이 진행되어 고품위 생성가스 H₂, CO로 전환된다. 그리고 O₂/C가 증가될수록 부분산화 개질반응이 활성화되어 CH₄전환이 O₂ /C비가 0.4일 때 30%이고 1.0일 때 56%로 증가되었다.

[0096] $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2 \Delta H_{298} = +75 \text{ kJ/mol}$ (반응식 1)

[0097] $\text{CH}_4 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2 \Delta H_{298} = -38 \text{ kJ/mol}$ (반응식 2)

[0098] $\text{C} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO} \Delta H_{298} = -110 \text{ kJ/mol}$ (반응식 3)

[0100] 매트릭스 버너는 복사차폐 축열식 버너로 1차 플라즈마 연소기에서 생성된 혼합가스가 2차 평면 화염(flat flame)이 유지된 상태에서 개질반응이 진행된다. 즉, 매트릭스 버너는 1차 플라즈마 연소기에 의해 유입되는 반응 및 미반응 가스와 전자, 이온, 활성기가 다양한 복합 개질반응 등이 진행된다. 이로 인해 매트릭스 버너의 후단에서의 메탄전환은 O₂/C비가 0.4일 때 37%이고, 1.0일 때 61%로 플라즈마 연소기의 후단부 보다 증가되었다. 그 증가율은 O₂/C가 0.4일 때 18%이고 O₂/C가 1.0일 때 8%로 증가되었으며, 0.4인 경우가 증가 폭이 컸다. 이는 O₂/C가 1.0인 경우 플라즈마 연소기에서 공기량이 충분한 상태에서 1차 개질반응이 적극적으로 이루어지기 때문이다. 또한 상대적으로 1차 개질가스가 매트릭스 버너로 유입시 잔류산소가 많아 이미 생성된 H₂, CO 가스가 2차 매트릭스 버너에서 산화반응(반응식 (4) 및 (5))이 우월하여 다소 소멸되기 때문으로 확인되었다.

[0101] PBR의 경우 전반적으로 매트릭스 버너 개질보다 상대적으로 플라즈마 연소기 개질에 의해 대부분의 메탄이 전환되는 것을 알 수 있다.

[0103] $\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} \Delta H_{298} = -285.8 \text{ kJ/mol}$ (반응식 4)

[0104] $\text{CO} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 \Delta H_{298} = -283 \text{ kJ/mol}$ (반응식 5)

- [0106] 도 4b는 생성가스 농도, H_2/CO , H_2 선택도를 나타낸 것이다. 생성가스의 경우 O_2/C 비가 증가됨에 따라 플라즈마 연소기와 매트릭스 버너 모두 H_2 , THCs는 점차적으로 감소되었고 CO 는 증가되었다. 그리고 H_2/CO 비와 H_2 선택도 역시 O_2/C 가 증가됨에 따라 감소됨을 확인하였다.
- [0108] 2. 전체 가스공급량 영향(Effect of total gas feed rate)
- [0109] 도 5a 및 도 5b는 전체 가스공급량의 영향 결과를 확인하기 위한 그래프로서, 도 5a는 CH_4 전환을 나타내는 그래프이며, 도 5b는 가스 생성량, H_2/CO , H_2 선택도 간의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0110] 도 5a 및 도 5b는 O_2/C 비를 1.0으로 하고 전체 가스공급량을 20~60L/min으로 변화를 주었을 때 메탄전환 특성을 나타낸 것이다.
- [0111] 도 5a는 CH_4 전환을 나타낸 것으로 전체 가스공급량이 증가됨에 따라 플라즈마 연소기와 매트릭스 버너의 후단부에서 모두 감소되었다. 이는 전체 가스공급량이 증가됨에 따라 플라즈마 연소기에서 플라즈마 방전 길이가 짧아져 체류시간 감소로 인해 플라즈마 전환반응의 확보가 어렵고 매트릭스 버너에서의 추가 개질반응 기회가 적어지기 때문이다.
- [0112] 그리고 전체 가스공급량 변화에 관계없이 모든 경우에 대해 플라즈마 버너에서 주로 CH_4 전환이 이루어진 후 매트릭스 버너에서 일부 추가적으로 진행되어 그 값이 다소 증가되었다. 그 증가 정도는 전체 가스공급량이 20L/min 플라즈마 연소기에서의 CH_4 전환은 53%이고, 매트릭스 버너는 60%로 12% 증가되었고, 60L/min에서 매트릭스 버너에서의 CH_4 전환은 34%이고 매트릭스 버너는 48%로 14% 증가되었다.
- [0113] 이와 같이 매트릭스 연소기에서의 CH_4 전환은 전체 가스공급량이 증감됨에 따라 상대적으로 CH_4 전환의 증가율 편차가 큼을 확인하였고, 이는 유량이 20L/min에서 60L/min으로 증가될 경우, 플라즈마 연소기 CH_4 전환 감소가 19%이고 매트릭스 버너에서 12%인 것에서도 알 수 있듯이 복사 차폐 형태의 매트릭스 버너에서 체류시간 영향보다 플라즈마 연소기의 플라즈마 방전영역에서 보다 충분한 체류시간 확보가 어렵기 때문이다.
- [0114] 도 5b는 생성가스의 농도, H_2/CO , H_2 선택도를 나타낸 것이다. 생성가스 중 H_2 , CO 의 농도는 이미 예측된 바와 같이 전체가스 공급량이 증가됨에 따라 PBR 내에서 개질반응의 체류시간 확보가 감소되어 그 농도가 감소되었다. H_2/CO 비와 H_2 선택도가 감소되었는데 이는 수소전환 반응에 상대적으로 큰 영향을 미치는 플라즈마 연소기의 방전영역의 역할이 감소되어졌기 때문으로 확인되었다.
- [0116] ② 건식개질 (dry reforming)
- [0117] 바이오가스는 도시 슬러지, 음식물 쓰레기, 축사 분뇨, 매립장 등의 혐기소 화에서 발생하는 혼합가스이다. 이들의 가스성분은 45~75% CH_4 , 25~55% CO_2 , 0~25% N_2 , 0.01~5% O_2 그리고 H_2S , NH_3 가 소량 함유되어 있다. 이와 같이 바이오가스는 생성 발생원에 따라 메탄과 이산화탄소의 비율이 달라지고 그 외 다양한 성분들이 함께 함유되어 있다. 본 실험에서는 다양한 발생원에서 발생하는 바이오가스에 대해 본 발명의 PBR이 적용 가능한 성능을 가지고 있음을 확인하고자 메탄과 이산화탄소 구성비에 대해 실험을 수행하였다.
- [0118] 도 6은 $CO_2:CH_4$ 비의 특성 결과를 확인하기 위한 것으로, 도 6의 (a)는 CH_4 전환을 나타내는 그래프이고, 도 6의 (b)는 가스 생성량, H_2/CO , H_2 선택도 간의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0119] 도 6은 전체 가스공급량을 20L/min와 O_2/C 비를 1.0으로 일정하게 유지한 상태에서 $CH_4:CO_2$ 비를 7:3, 6:4, 5:5으로 변화를 주었을 때 개질 전환특성을 나타낸 것이다.
- [0120] 도 6의 (a)는 CH_4 전환을 나타낸 것으로 $CH_4:CO_2$ 비가 7:3에서 5:5로 이산화탄소의 비율이 증가될수록 CH_4 전환이 플라즈마 연소기는 53%에서 45%로 감소되었고, 매트릭스 버너 역시 57%에서 49%로 점차적으로 감소되었다. 이는 이미 언급된 메탄 크래킹 반응(반응식 1)과 부분산화 개질반응(반응식 2) 그리고 탄소 산화반응(반응식 3)이 메

탄의 양이 감소되면 CH₄ 전환이 감소되기 때문이다.

[0121] 도 6의 (b)는 CO₂ 전환을 나타낸 것으로 전환 패턴은 CH₄ 전환과 유사하나 전환율은 상대적으로 적다. CH₄:CO₂비가 7:3에서 5:5로 변화됨에 따라 CO₂ 전환은 플라즈마 연소기는 22%에서 11%로 11%감소되었고, 매트릭스 버너 역시 23%에서 16%로 7% 감소되었다. 이는 PBR의 플라즈마 연소기와 매트릭스 버너 모두에서 CO₂ 크래킹 또는 건식개질 (반응식 (6))에 의해 개질이 이루어지는데 이 반응이 바이오가스 중 CO₂농도가 커질수록 감소되기 때문으로 확인되었다.

[0123]
$$\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + 2\text{H}_2 \Delta H_{298} = +260.5 \text{ kJ/mol} \quad (\text{반응식 (6)})$$

[0125] 도 7은 CH₄:CO₂비 변화에 따른 생성가스 농도, H₂/CO, H₂ 선택도를 나타내는 그래프이다.

[0126] 바이오가스 중 이산화탄소 농도가 증가 될수록 생성가스 중 H₂의 농도는 플라즈마 연소기와 매트릭스 버너 모두에서 감소되었다. 그러나 CO의 농도는 플라즈마 연소기에서는 H₂와 같이 감소되었으나 매트릭스 버너에서는 증가되었다. 이는 메탄의 분해반응(반응식 (1))에 의해 생성된 탄소의 산화반응(반응식 (3))에 의해 CO가 증가되었기 때문이다. 이로 인해 H₂/CO비와 H₂ 선택도 역시 감소되었다.

[0127] ③ 개질가스 재순환 (reformed gas recirculation)

[0128] 도 8a 및 도 8b는 재순환율의 특성 결과를 확인하기 위한 것으로, 도 8a는 CH₄ 전환을 나타내는 그래프이고, 도 8b는 가스 생성량, H₂/CO, H₂ 선택도를 나타내는 그래프이다.

[0129] 도 8a 및 도 8b는 메탄개질의 기준 조건인 전체 가스공급량을 20 L/min으로 하고, O₂/C비를 1.0으로 한 상태에서 개질가스의 일부를 재순환한 경우 개질특성을 나타내는 그래프이다.

[0130] 도 8a는 CH₄ 전환을 나타낸 것으로 재순환 하지 않았을 때는 64%이고 재순환하였을 경우는 54%로 그 값이 감소되었다. 이는 CH₄ 전환이 감소되었다기 보다는 재순환가스 중 포함된 미 전환된 CH₄가 출구농도에서 더 측정되기 때문이다.

[0131] 이는 도 8b에 나타난 개질가스 H₂와 CO의 농도에서 확인 되듯이 재순환 하지 않았을 때 각각의 농도가 9%, 8%인데 재순환시 11%와 19%로 증가된 것을 보면 알 수 있다. 그리고 H₂/CO비와 H₂선택도도 각각 1.13%, 39%에서 1.25%, 54%로 증가되었다.

[0133] 이상에서 알 수 있는 바와 같이 개질가스 재순환 시 가연가스인 수소와 일산화탄소 생성량이 다소 증가되었으며 특히 상대적으로 수소 증가가 크기 때문에 H₂/CO비 특히 수소선택도가 개선되어 양질의 고품이 가스 생산이 가능함을 확인하였다.

[0134] 상기한 바와 같은 변수별 연구를 통해 PBR의 메탄 부분산화 개질 시 최적운전 조건과 그 결과는 다음의 표 2(최적 운전 조건 및 그 결과값)와 같다. O₂/C비가 1.0이고 전체 가스공급량이 20L/min일 때 메탄전환은 64%이고 H₂ 선택도는 39%이고 H₂/CO비는 1.13이었다.

표 2

기준조건	O ₂ /C	총공급공기량	전기과워
값	1.0	20 L/min	0.83 kW

생성가스 농도 ¹⁾ (%)					CH ₄ 전환	H ₂ 선택도	H ₂ /CO
H ₂	CO	CH ₄	CO ₂	HCS ²⁾	64 %	39 %	1.13
33.80	29.86	24.62	10.28	1.44			

[0138] ¹⁾ 생성가스농도는 N₂, O₂를 제외한 상태농도; ²⁾ HCs는 총 탄화수소(C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆)의 양임

[0140] 현재 개발되어 실용화되어 이용되고 있는 것은 촉매 자열개질 방식으로 촉매 비용과 내구성 문제 그리고 촉매 활성온도 유지를 위한 경제성 문제가 있다. 본 발명은 상기한 실험 결과로부터도 알 수 있듯이 상기에 언급된 문제를 해결할 수 있으며, 특히 주거용열병합시스템(RPG: Residential Power Generator)용 연료전지인 고체산화물형연료전지(SOFC)에 적용할 수 있다.

[0142] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명에 따른 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기 기반의 태양연료 생산 시스템에 의하면, 온실가스인 메탄과 이산화탄소가 주성분인 매립장 매립가스, 폐수처리장 소화조 부생가스, 음식물 쓰레기 처리 혐기 반응기 등에서 발생하는 바이오가스(biogas), 바이오 매스, 도시 폐기물 등의 가스화 가스, 가스 화석연료 등을 다양한 발생원을 대상으로 고품위 수소과농의 가스를 생산할 수 있는 이점이 있다.

[0143] 또한, 본 발명에 의하면, 플라즈마와 축열버너의 장점이 융합되어 구성됨으로써 기존의 촉매가격 문제해결 뿐만 아니라 장치의 콤팩트화, 수초의 빠른 시동 및 응답시간, 고분자 탄화수소를 포함한 다양한 종류의 생성가스를 적용할 수있고, 개질 시 자체 내부반응열을 사용하며, 넓은 범위의 유량과 가스성상에 대해 최적인전상태 유지 등을 도모할 수 있으며, 이에 따라 정상운전 소요시간과 개질기 효율에 대한 기존 문제점을 해결할 수 있는 이점이 있다.

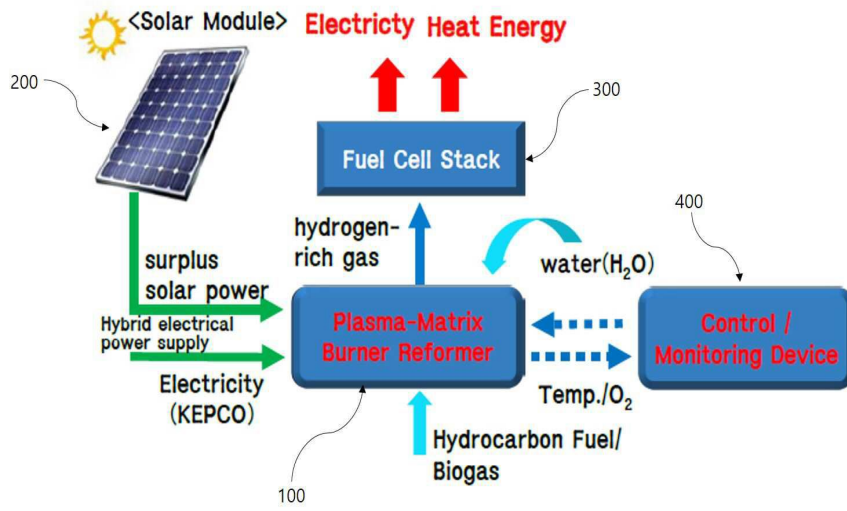
[0144] 본 명세서에서 설명되는 실시 예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시 예는 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시 예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시 예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

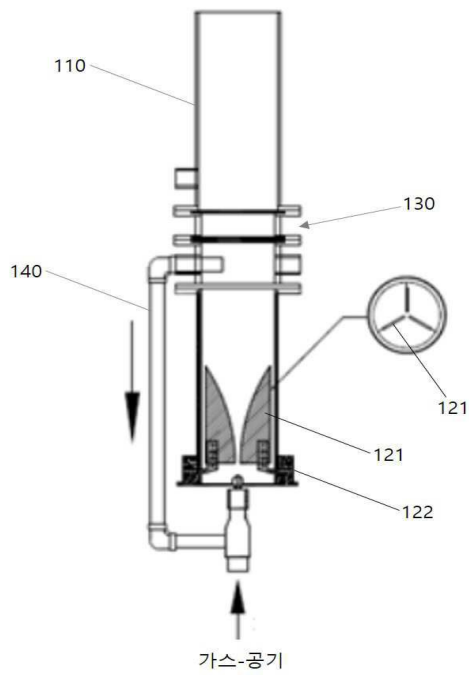
[0146] 100: 플라즈마-매트릭스 버너 부분산화 개질기
 110: 장치 바디
 120: 플라즈마 연소기
 121: 전극
 122: 지지체
 130: 매트릭스 버너
 140: 일부 생성가스 재순환 관로
 200: 전력 공급 장치부
 300: SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 연료전지스택
 400: 모니터링-제어 장치부

도면

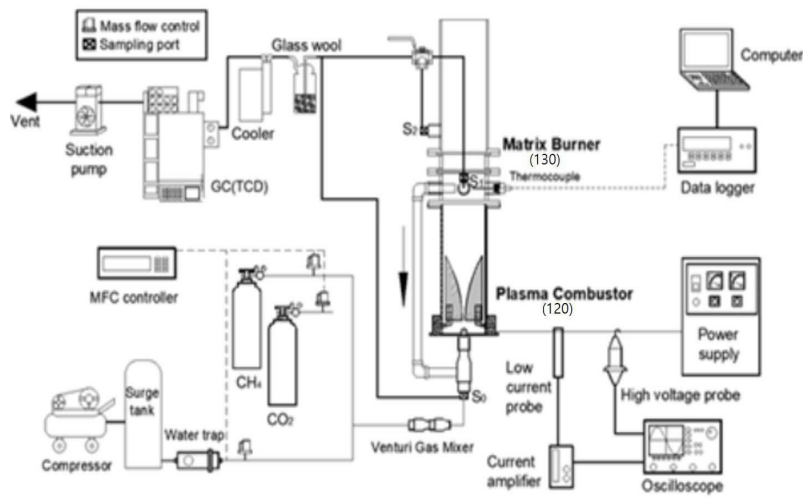
도면1



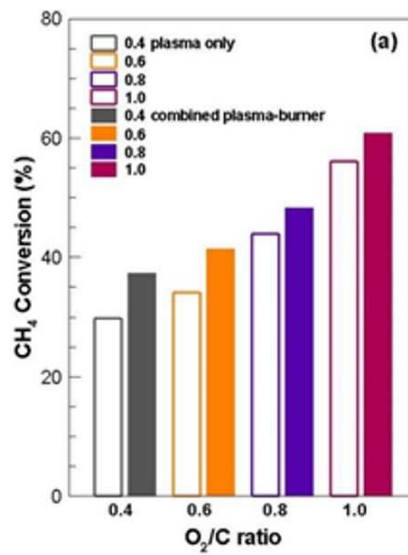
도면2



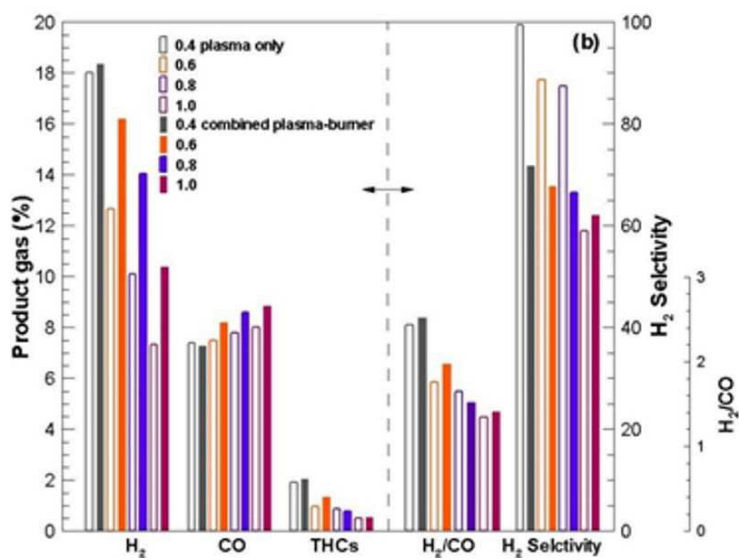
도면3



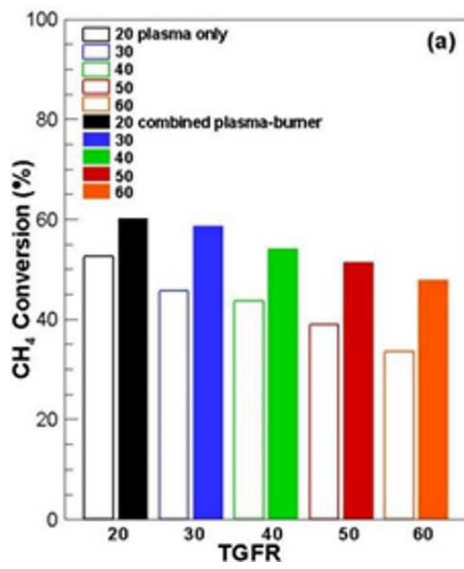
도면4a



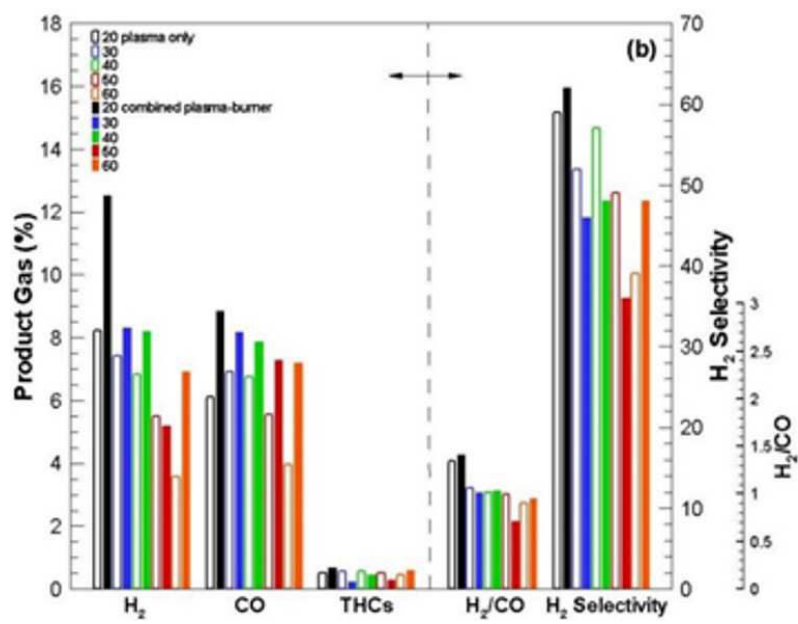
도면4b



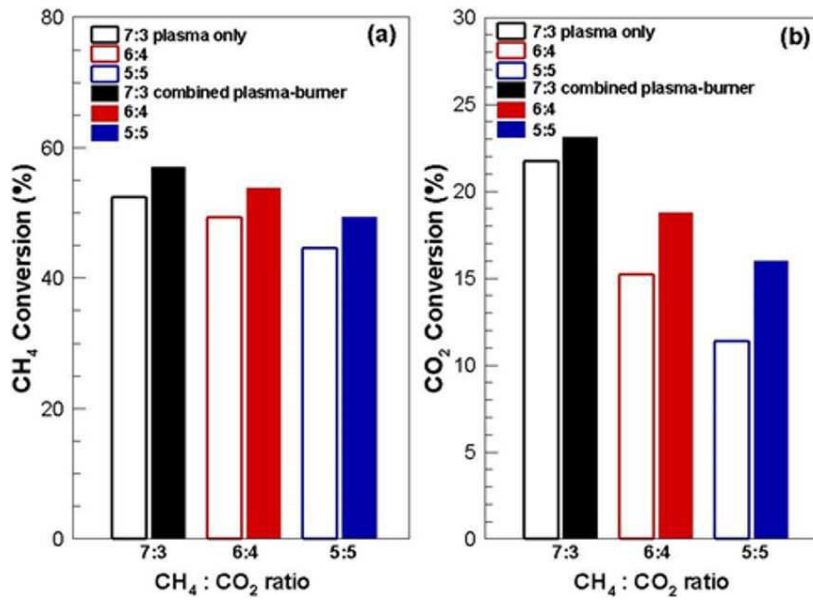
도면5a



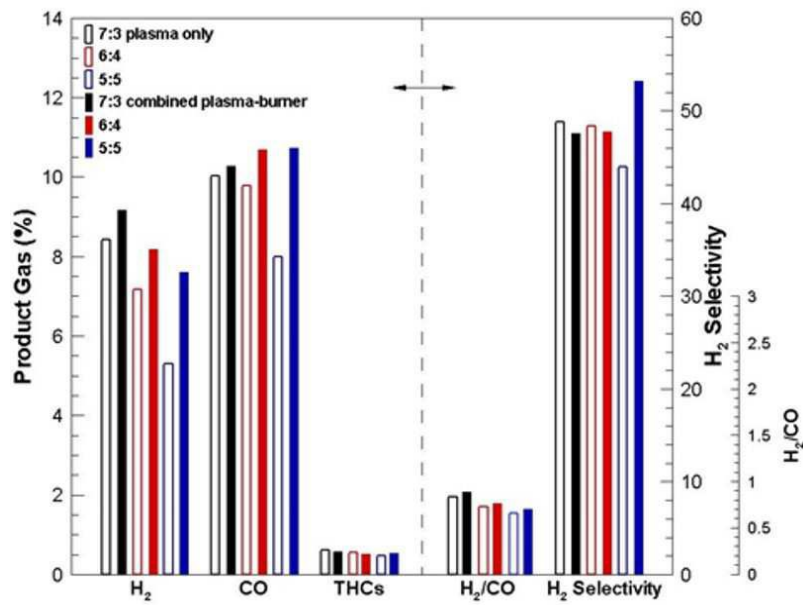
도면5b



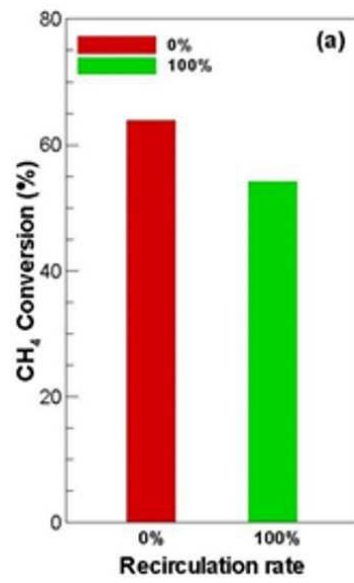
도면6



도면7



도면8a



도면8b

