



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년07월07일
(11) 등록번호 10-1636872
(24) 등록일자 2016년06월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H05H 1/32 (2006.01) B23K 10/00 (2006.01)
H05H 1/34 (2006.01) H05H 1/38 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H05H 1/32 (2013.01)
B23K 10/006 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0067214
(22) 출원일자 2015년05월14일
심사청구일자 2015년05월14일
(56) 선행기술조사문헌
JP07185823 A*
JP2002299099 A*
JP2003514114 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
박동화
서울특별시 서초구 잠원로 88 (잠원동, 신반포한신아파트) 303동 204호
박현우
인천광역시 남구 매소홀로309번길 32 103동 1705호 (학익동, 엑슬루타워아파트)
(74) 대리인
(뒷면에 계속)
이원희

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 이민형

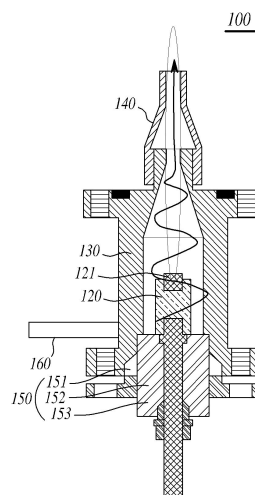
(54) 발명의 명칭 합성 가스 생산을 위한 아크 플라즈마 장치.

(57) 요약

본 발명은 주입가스와 토치 내부의 아크와의 접촉 효율을 향상시켜서 원료 가스를 효과적으로 개질 시키고, 세라믹 코어를 설치하여 내부 전극의 부식을 방지하고 플라즈마 장치의 수명을 향상 시킬 수 있는 합성 가스 생산을 위한 아크 플라즈마 장치에 관한 것으로,

본 발명에 따른 합성 가스 생산을 위한 아크 플라즈마 장치는, 본체; 상기 본체 내부에 원통 형상으로 형성되는 내부 전극; 상기 내부 전극과 기 설정된 간격으로 이격되어 형성되며, 상부의 적어도 일부분은 점점 반경이 작아지는 실린더 형상으로 이루어진 외부 전극; 상기 외부 전극 상단에 형성되는 세라믹 노즐; 상기 내부 전극과 외부 전극을 전기적으로 절연시키는 절연부; 및, 상기 본체의 측면에 형성되며 상기 내부 전극과 외부 전극에 의해 형성된 반응 공간에 원료 가스를 주입하는 가스 주입부를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H05H 1/34 (2013.01)

H05H 1/38 (2013.01)

H05H 2001/3421 (2013.01)

(72) 발명자

리우정린

인천광역시 남구 인하로77번길 32-12 (용현동)
181-11호

정우재

인천광역시 남구 인주대로224번길 18 (용현동, 인
하오피스텔) 402호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 G02B0009041010

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술진흥원

연구사업명 지역혁신센터(RIC)

연구과제명 질소산화물과 황산화물 동시제거를 위한 플라즈마 공정 개발(열플라즈마 2014, 정부출연금
RCMS)

기 여 율 1/1

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2014.03.01 ~ 2015.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

본체;

상기 본체 내부에 원통 형상으로 형성되는 내부 전극;

상기 내부 전극의 상면 중앙에 형성되는 세라믹 코어;

상기 내부 전극과 기설정된 간격으로 이격되어 형성되며, 상부의 적어도 일부분은 점점 반경이 작아지는 실린더 형상으로 이루어진 외부 전극;

상기 외부 전극 상단에 형성되는 세라믹 노즐;

상기 내부 전극과 외부 전극을 전기적으로 절연시키는 절연부; 및,

상기 본체의 측면에 형성되며 상기 내부 전극과 외부 전극에 의해 형성된 반응 공간에 원료 가스를 주입하는 가스 주입부;

를 포함하는 아크 플라즈마 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 내부 전극에 전원을 공급하는 전원 공급부를 포함하는 아크 플라즈마 장치.

청구항 3

삭제

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 가스주입부는, 상기 본체의 측면 하부에 형성된 적어도 2개 이상의 가스 주입부를 포함하는 아크 플라즈마 장치.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 2개 이상의 가스 주입부는 상기 원료 가스를 상기 본체의 내부로 접선 방향으로 주입시키도록 상기 외부 전극과 접선 형태로 연결되는 아크 플라즈마 장치.

청구항 6

청구항 4에 있어서,

상기 2개 이상의 가스 주입부는 균등한 거리로 이격되어 형성되는 아크 플라즈마 장치.

청구항 7

청구항 4에 있어서,

상기 2개 이상의 가스 주입부를 통해 주입된 원료 가스는 상기 내부 전극과 상기 외부 전극 사이에 형성된 아크 플라즈마를 나선형으로 감싸면서 진행하여 상기 세라믹 노즐을 통해 분출되는 아크 플라즈마 장치.

청구항 8

청구항 1에 있어서, 상기 절연부는,

상기 내부 전극의 하부에 형성되는 세라믹 절연체와,

상기 세라믹 절연체의 측면에 형성되어 원료 가스의 누출을 방지하는 그레파이트 링과,

상기 세라믹 절연체의 하부에 형성되는 내열성 도판인 그레파이트 페룰을 포함하는 아크 플라즈마 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 합성 가스 생산을 위한 아크 플라즈마 장치 및 이를 이용한 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 주입가스와 토치 내부의 아크와의 접촉 효율을 향상시켜서 원료 가스를 효과적으로 개질시키고, 세라믹 코어를 설치하여 내부 전극의 부식을 방지하고 플라즈마 장치의 수명을 향상시킬 수 있는, 합성 가스 생산을 위한 아크 플라즈마 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 아크 방전은 양극과 음극간의 아크를 발생시켜 고온의 열에너지를 얻는 것으로 온도는 약 10,000℃로 매우 높게 형성된다. 이때 발생하는 플라즈마를 아크 플라즈마라 하고 그 발생장치를 플라즈마 토치라 한다.

[0003] 플라즈마 아크 토치는 고온, 고 엔탈피 특성으로 보통 플라즈마 용접, 유해폐기물처리, 플라즈마 용사, 다이아몬드 필름 형성 등 그 외 금속가공작업등에 광범위하게 적용할 수 있다. 플라즈마 가열의 장점으로서는 설비가 콤팩트 하면서 초고온을 신속하게 얻을 수 있으며 배기 가스량이 적어 청정한 에너지원이 될 수 있다는 점이다.

[0004] 플라즈마 가열방법으로는 이송식과 비이송식으로 나뉘어지는데 비이송식은 양극과 음극의 두 전극이 토치 내에 존재하며 이송식은 양극이 토치 외부에 있어서 가열시 가열대상물 자신의 줄(Joule)열도 이용할 수 있어 무기물의 용융에도 적용 가능하다.

[0005] 플라즈마 가스로는 아르곤, 질소, 수소 등 다양하게 적용할 수 있으며 공기와 스팀도 플라즈마 가스로 이용할 수 있다. 스팀을 토치에 공급하기 위해서는 외부에서 스팀 발생부를 이용하여 제조된 스팀을 스팀관을 통해 스팀 토치에 공급하는 것이 일반적인 방법이다.

[0006] 토치 운전 초기에는 토치 내부온도가 상온이므로 투입된 증기에서 결로현상이 일어나므로 증기가 거의 모두 결로되어 토치 노즐에서 물이 흘러나오는 현상이 일어나게 된다. 이러한 경우, 운전시 토치에서 물이 흘러나와 정상적인 운전이 불가능하거나 누전의 위험이 있고, 플레임이 꺼지거나 플레임의 안정적인 상태가 유지하기 어려워져 공정을 중단해야 하는 상황이 발생할 수도 있다.

[0007] 한편, 물의 온도를 올려 스팀 발생부에서 제조된 스팀은 압력계, 온도계, 유량계를 거치면서 발생된 스팀의 상태를 확인한 후 스팀 토치에 직접 투입되는 것이 종래의 일반적인 방법이다. 이 방법에서는 스팀 발생부에서 만들어진 스팀이 수분을 함유하고 있는 습증기 상태로 되어 있어 토치에 스팀과 함께 수분이 공급될 수 있다.

[0008] 일반적으로 아크 플라즈마를 이용한 가스 개질반응에서는, 플라즈마토치 내에서 아크와의 직접적인 접촉을 통해 개질 효율을 증가시키기 위해, 개질을 위한 반응가스를 플라즈마 가스로 직접 사용한다. 이러한 경우 플라즈마 가스 조성이 다양하여 플라즈마 방전이 불안정할 수 있으며, 이를 보완하기 위해서는 상대적으로 고전압을 인가

하여 아크를 일정하게 유지해야 한다. 아크 길이가 일정하여 입력된 전압과 전류값이 일정하게 유지될 경우 플라즈마 내에 온도 분포가 일정한 상태로 운전되어 안정적인 화학반응을 유도할 수 있다. 기존 개질반응을 위한 아크 플라즈마 장치에서는 아크 길이가 일정하지 않아 플라즈마 부피가 계속 변화되고 이로 인해 균일한 화학반응을 유지하는데 어려움이 있다는 문제가 있다.

[0009] 또한, 플라즈마 부피는 개질반응을 위한 반응물이 반응할 수 있는 고온영역 및 반응 시간과 연관되어 있다. 플라즈마 부피가 클 경우 반응물이 반응할 수 있는 고온영역이 커져서 상대적으로 높은 온도에서 효과적으로 반응을 유도할 수 있고, 반응시간이 길어져 개질 반응 효율을 증가시킬 수 있다. 따라서 플라즈마 부피를 상대적으로 크게 가져가는 것이 중요하며, 안정적인 플라즈마 부피를 유지하는 것이 필수적이다. 하지만, 이를 위해서는 높은 전압으로 인가된 길이가 긴 아크를 안정적으로 형성해야 한다는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 합성 가스 생산을 위한 아크 플라즈마 장치 및 이를 이용한 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 주입가스와 토치 내부의 아크와의 접촉 효율을 향상시켜서 원료 가스를 효과적으로 개질 시키고, 세라믹 코어를 설치하여 내부 전극의 부식을 방지하고 플라즈마 장치의 수명을 향상 시킬 수 있는, 합성 가스 생산을 위한 아크 플라즈마 장치를 제공하는 데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기 목적을 달성하기 위한, 본 발명에 따른 합성 가스 생산을 위한 아크 플라즈마 장치는,
[0012] 본체; 상기 본체 내부에 원통 형상으로 형성되는 내부 전극; 상기 내부 전극과 기 설정된 간격으로 이격되어 형성되며, 상부의 적어도 일부분은 점점 반경이 작아지는 실린더 형상으로 이루어진 외부 전극; 상기 외부 전극 상단에 형성되는 세라믹 노즐; 상기 내부 전극과 외부 전극을 전기적으로 절연시키는 절연부; 및, 상기 본체의 측면에 형성되며 상기 내부 전극과 외부 전극에 의해 형성된 반응 공간에 원료 가스를 주입하는 가스 주입부;를 포함한다.

발명의 효과

[0013] 본 발명의 실시형태에 따른 합성 가스 생산을 위한 아크 플라즈마 장치에 의하면, 합성 가스 생산을 위한 아크 플라즈마 장치 및 이를 이용한 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 주입가스와 토치 내부의 아크와의 접촉 효율을 향상시켜서 원료 가스를 효과적으로 개질 시키고, 세라믹 코어를 설치하여 내부 전극의 부식을 방지하고 플라즈마 장치의 수명을 향상 시킬 수 있는 합성 가스 생산을 위한 아크 플라즈마 장치를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 아크 플라즈마 장치가 도시된 단면도이다.
도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 아크 플라즈마 장치 내부의 외부 전극과 내부 전극 사이에 아크의 흐름이 도시된 사시도이다.
도 3는 본 발명의 일 실시예에 따른 아크 플라즈마 장치의 가스 주입부가 도시된 단면도이다.
도 4은 본 발명의 일 실시예에 따른 아크 플라즈마 장치가 도시된 사시도이다.
도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 아크 플라즈마 장치의 실험을 통한 실제 방전 모습과 본체 내부 유동을 도시한 사시도이다.
도 6는 본 발명의 일 실시예에 따른 바이오 가스 개질 반응을 위한 아크 플라즈마 장치 시스템에 대한 개략도이

다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 아크 플라즈마 장치의 방전에 대한 전압 및 전류의 파형을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하 본 발명의 실시예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세히 설명한다. 우선 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의한다. 또한 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 당업자에게 자명하거나 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.
- [0016] 도 1 및 도 2 를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 아크 플라즈마 장치(100)는 본체(110), 내부 전극(120), 외부 전극(130), 세라믹 노즐(140), 절연부(150), 가스 주입부(160) 를 포함한다.
- [0017] 본체(110)는 예를 들어 원통 또는 다각 기둥의 형상으로 형성되며, 내부에는 일정한 반경을 갖는 원통형 내부 공간이 형성된다. 또한, 상기 내부 공간의 소정의 위치로 부터, 상부로 향할수록 점점 반경이 작아지는 실린더 형상으로 형성된다. 상기 내부 공간은 주입된 원료 가스가 플라즈마 아크와 반응할 수 있는 반응 공간을 제공한다.
- [0018] 내부 전극(120)은 후술하는 전원 공급부(300)에 의해 전원을 공급받는 전극이며, 본체(110)의 내부 공간 하부에 수직으로 형성될 수 있다. 예를 들어, 내부 전극(120)은 원형 막대 형상으로 형성될 수 있다. 내부 전극(120)의 상단 중심부에는 상기 내부 전극의 부식을 보호하기 위해, 소정의 형상, 예를 들어 원형 또는 다각형 형상으로 형성되고, 소정의 높이를 가진 세라믹 재질의 코어(121)를 포함할 수 있다. 상기 코어는(121) 외부 전극(130)과 내부 전극(120) 사이에 발생하는 아크에 의한 내부 전극(120)의 부식을 보호하기 위함이다. 즉, 도 2 (a)에 도시된 바와 같이 내부 전극(120)의 중심부에 세라믹 절연체를 형성시킴으로써, 중심부를 제외한 내부 전극(120)의 가장자리에서만 아크가 생성될 수 있다.
- [0019] 한편, 이러한 코어가 없는 경우, 도 2 (b)에 도시된 바와 같이 내부 전극(120)과 외부 전극(130) 사이에 형성되는 아크가 내부 전극(120)의 일단에서 타단 사이를 회동하며 내부 전극(120)을 부식시킨다. 그러나, 내부전극(120) 중심에 코어를 형성하면 코어를 제외한 부분에서는 아크가 회동되어 상대적으로 흔들림이 적은 균일한 아크가 생성될 수 있고, 코어가 있는 부분의 내부 전극 부식을 방지할 수 있다. 따라서, 아크의 흔들림을 방지하며, 아크의 작용을 집중시켜 효율을 높이는 효과가 있다. 또한, 내부 전극(120)의 부식을 방지하여 내부 전극의 수명을 향상시키는 효과가 있다.
- [0020] 외부 전극(130)은 그라운드 전극일 수 있고, 본체(110) 내부면에 상기 내부 전극과 기 설정된 간격으로 이격되어 형성된다. 또한, 외부 전극(130)은 본체(110)의 내부면 형상과 동일한 형상으로 형성된다. 즉, 외부 전극(130)은 소정의 위치로부터, 상부로 갈수록 점점 반경이 작아지는 실린더 형상으로 형성된다. 외부 전극(130)과 내부 전극(120)이 이격되어 있는 공간에 아크 방전이 일어나게 된다.
- [0021] 세라믹 노즐(140)은 외부 전극(130)의 상단에 형성된다. 보다 구체적으로는 세라믹 노즐(140)은 원통 반경이 줄어드는 본체(110)의 상단에 형성되고, 상기 본체(110) 내부의 반응 공간에서 원료 가스와 플라즈마 아크가 접촉하여 원료 가스가 개질 된 합성 가스를 상기 본체(110)의 외부로 유출시킨다. 예를 들어, 원료 가스가 메탄(CH_4)과 이산화탄소(CO_2)인 경우, 합성 가스는 수소(H_2)와 일산화탄소(CO) 일 수 있다. 세라믹 노즐(140)은 상부로 향할수록 반경이 작아지는 원통 형상으로 이루어져서, 상부로 갈수록 유속이 빨라져서 원료 가스가 개질 된 합성 가스의 유출을 용이하게 할 수 있다. 이렇게 유출된 합성 가스는 후술하는 아크 플라즈마 장치(100)를 포함하는 시스템으로 유입 된다.

- [0022] 절연부(150)는 그래파이트 링(151), 세라믹 절연체(152), 그래파이트 페룰(153)을 포함한다.
- [0023] 절연부(150)는 본체(110) 하부에 위치하며, 상기 본체(110) 중심축과 동일한 축상에 절연부(150)의 중심축이 배열되어 있다. 절연부(150)의 중심에 긴 막대 모양의 지지대가 위치하며, 상기 지지대 외부에 세라믹 절연체(152)가 감싸는 형상으로 형성되어, 그래파이트 페룰(153)에 의해 지지되어 형성될 수 있다.
- [0024] 절연부(150)는 세라믹 절연체(152)에 의해 외부 전극과 내부 전극을 절연한다.
- [0025] 또한, 그래파이트 링(151)을 세라믹 절연체(152) 주위에 형성하여, 내부 전극과 세라믹 절연체 사이에 가스가 새어나가는 것을 방지할 수 있다.
- [0026] 가스 주입부(160)는 본체 내부에 형성될 수 있고, 예를 들어 원료 가스인 메탄과 이산화 탄소가 포함된 바이오 가스를 산소와 함께 혼합시켜 본체(110) 내부에 주입하는 역할을 한다. 가스 주입부와 연결되는 가스 주입 장비로는 유량 제어기 (MFC, Mass Flow Controller)(210)를 이용할 수 있으며, 상기 유량 제어기를 이용하여 혼합된 원료 가스가 균일한 유량을 유지하며 아크 플라즈마 장치(100) 내부로 유입할 수 있다.
- [0027] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 가스 주입부(160)는 원료 가스를 본체(110) 내부의 접선 방향으로 주입시키도록, 본체의 내부면과 접선 형태로 연결되는 것이 바람직하다. 또한, 원료 가스가 나선형으로 회전하면서 본체(110) 내부로 투입될 수 있도록 적어도 2개 이상의 가스 주입부를 포함할 수 있다.
- [0028]
- [0029] 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 가스 주입부가 접선의 형태로 형성되면, 본체 내부면에 의해 주입된 원료 가스가 나선형으로 회전하며 본체(110) 내부로 유입될 수 있다. 이러한 원료 가스의 회전은 본체(110) 내부의 반응 공간에서 내부 전극(120)과 외부 전극(130)에 의해 발생한 아크와의 직접적인 접촉 효율을 증대시킬 수 있다. 즉, 원료 가스가 아크를 나선형으로 감싸면서 회전하고, 동시에 아크도 원료 가스에 흐름에 영향을 받아서 나선형으로 변형되면서 원료 가스와 아크의 접촉 면적이 극대화되어, 아크의 열전달을 극대화시킬 수 있다. 따라서, 원료 가스의 개질에 필요한 열을 효과적으로 전달하여 합성 가스를 생성시킬 수 있게 된다. 예를 들어, 상기 합성 가스는 이산화탄소, 산소, 메탄이 가스 주입부(160)에 의해 본체(110) 내부로 유입되어 본체(110) 내부 반응 공간에 의해 화학 반응이 일어나고, 상기 화학 반응에 의해 수소와 일산화탄소가 포함된 합성 가스일 수 있다.
- [0030] 상기 합성 가스를 생성하기 위한 원료 가스의 화학 반응 과정에서, 예를 들어 수분 내지 탄소 입자가 생성되어 합성 가스에 포함될 수 있다. 따라서, 세라믹 노즐(140)에서 유출되는 플라즈마 기체는 상기 수분 내지 탄소 입자를 제거하기 위해, 후술하는 후처리 공정이 포함될 수 있다.
- [0031] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 대한 아크 플라즈마 장치의 실험을 통한 실제 모습과 본체 내부 유동을 도시한 사시도이다. 도 5 (a)는 본체(110) 내부에서 개질 반응이 완료된 합성 가스가 세라믹 노즐(140) 외부로 유출되는 형상을 도시하고 있다.
- [0032] 도 5 (b)는 본체(110) 내부로 유입된 원료 가스가 아크를 나선형으로 감싸면서 회전하고, 동시에 아크도 원료 가스에 흐름에 영향을 받아서 나선형으로 변형되는 유동의 분포를 도시하고 있다.
- [0033] 도 5 (b)에 도시된 바와 같이, 본체(110) 내부의 반응 공간은 일정한 반경을 가진 반응 공간과, 점점 반경이 줄어드는 반응공간을 포함하고 있다. 일정한 반경을 가진 반응 공간은, 반경이 줄어드는 반응 공간보다 유속이 상대적으로 느려서 충분한 반응 시간을 제공할 수 있다. 또한, 세라믹 노즐 부분에서는 가스 배출구 내부 반경이 줄어들어, 가스 압력이 증가되고 이로 인해 가스의 유속이 증가된다. 즉, 배출구 영역에서의 가스 및 아크와의 효과적인 혼합과 높은 가스 유속에 따른 난류를 형성하여 열 전달을 극대화시켜 가스 개질 효율을 증가시키는 효과가 있다.
- [0034] 또한, 아크의 길이를 지속적으로 유지하면, 아크의 고온 영역이 비교적 넓고 안정적으로 유지될 수 있다.
- [0035] 따라서, 상기 아크 플라즈마 장치(100)는 두 전극 사이를 회전하는 기체의 흐름에 의해 아크와의 효과적인 혼합으로 상기 장치 내부를 비교적 균일한 온도영역을 형성하며, 지속적인 형태의 아크의 유지가 가능한 효과가 있다.

다.

- [0036] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 바이오 가스 개질 반응을 위한 아크 플라즈마 장치를 포함하는 시스템에 대한 개략도 이다.
- [0037] 상기 시스템은 아크 플라즈마 장치(100), 원료 가스 공급부(200), 전원 공급부(300), 후 처리부(400)를 포함한다.
- [0038] 원료 가스 공급부(200)는 가스 주입부로 공급되는 원료 가스를 포함한다. 원료 가스 공급부는 아크 플라즈마 장치(100)의 가스 주입부(160)와 연결되어 원료 가스를 본체(110) 내부의 반응 공간에 공급한다. 원료 가스는 예를 들어 메탄(CH_4), 이산화탄소(CO_2), 산소(O_2)를 포함하고, 캐리어 가스로 질소(N_2)를 더 포함하여 형성된 물질일 수 있다. 물론, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0039] 원료 가스 공급부(200)는 원료 가스를 적절한 유량으로 본체(110) 내부의 반응 공간으로 공급하기 위한 수단으로 다수의 유량 제어기(MFC, Mass Flow Controller)(210), 밸브(220)를 포함할 수 있다.
- [0040] 유량 제어기(210)는 가스 주입부(160)를 통해 본체(110)로 공급되는 원료 가스의 유량을 제어할 수 있다. 원료 가스를 각각의 혼합 비율에 맞추기 위해 유량의 제어가 필요할 수 있다. 따라서 유량 제어기는 원료 가스의 개수만큼 형성될 수 있다.
- [0041] 본 발명의 일 실시예에 따른 유량 제어기(210)는 예를 들어, 질소 유량 제어기(211), 이산화탄소 유량 제어기(212), 산소 유량 제어기(213), 메탄 유량 제어기(214)를 포함할 수 있다.
- [0042] 본 발명의 일 실시예에 따른 아크 플라즈마 장치(100)를 운행함에 있어서 적절한 유량의 조절이 필요할 수 있다. 본체(110) 내부 반응 공간으로 주입되는 원료 가스의 유량이 부족하면 원료 가스의 회전에 의한 아크 회전이 작아질 수 있다. 따라서, 회전 효과가 감소되어, 회전 효과가 있을 때 보다 원료 가스 분해 효율이 작아진다. 또한, 주입되는 원료 가스의 유량이 많아지면 본체(110) 내부 반응 공간에 원료 가스가 체류하는 시간이 줄어들어 원료 가스와 아크의 반응이 충분히 일어나지 못할 수 있다. 따라서 분해율과 분해효율이 감소하는 문제가 있다. 따라서, 본 아크 플라즈마 장치(100)를 운행함에 있어서 유량 제어기를 포함한 하나 이상의 장치로 원료 가스의 적절한 유량 조절이 필요하다.
- [0043] 밸브(220)는 이산화탄소 유량 제어기(212), 산소 유량 제어기(213), 메탄 유량 제어기(214)에서 배출된 각각의 원료 가스를 혼합하여 아크 플라즈마 장치(100)로 유입하는 과정에서 원료 가스의 흐름이 역류하는 것을 방지할 수 있다. 따라서, 일정한 방향으로만 유체가 진행되어 안전장치의 역할을 할 수 있다. 상기 밸브는 원웨이 밸브, 체크 밸브를 포함할 수 있다.
- [0044] 밸브(220)를 통과한 이산화탄소, 산소, 메탄이 혼합된 원료 가스는, 질소 유량 제어기(211)에서 공급된 질소와 혼합되어 가스 주입부(160)를 통과하여 아크 플라즈마 장치(100)로 유입된다.
- [0045] 전원 공급부(300)는 본체(110) 하단에 형성되어 내부 전극(120)과 연결되어 형성할 수 있다. 상기 장치에 의해 내부 전극(120)에 전원을 공급하여 내부 전극(120)과 외부 전극(130) 사이에 아크를 발생시킬 수 있다. 아크는 상대적으로 고전압-저전류 조건에서 안정적으로 방전되고, 용도에 따라 교류 전원 공급부 및 직류 전원 공급부와 같이 다양한 플라즈마 본체(110) 구성이 가능하다. 본 발명의 실시예에 따른 플라즈마 아크는 고전압-저전류 조건에서 운전되지만, 용도에 따라 저전압-고전류 상태로 운전될 수 있으며, 저전압-고전류 조건에서 운전할 경우 별도로 전극 냉각을 위해 냉각수의 필요 가능성을 포함하고 있다.
- [0046] 아크 플라즈마 장치(100)에서 원료 가스가 개질되어 배출된 합성 가스는
- [0047] 후 처리부(400)로 유입될 수 있다. 합성 가스를 생성하기 위한 원료 가스의 화학 반응 과정에서, 예를 들어 수분 내지 탄소 입자가 생성되어 합성 가스에 포함될 수 있다. 따라서, 세라믹 노즐(140)에서 유출되는 플라즈마 기체는 상기 수분 내지 탄소 입자를 제거하기 위해, 후 처리부(400)로 유입될 수 있다. 즉, 후 처리부(400)는 아크 플라즈마 장치(100)에서 배출된 합성 가스에 포함된 합성 가스 이외의, 예를 들어 물을 포함한 물질을 제거할 수 있다.

- [0048] 후 처리부(400)는 수분 제거부(410), 필터부(420), 성분 분석부(430)를 포함한다.
- [0049] 수분 제거부(410)는 합성 가스에 포함된 수분을 제거한다. 예를 들어 합성 가스를 콜드 트랩(411)과 염화 칼슘(412)에 통과 시켜 수분을 제거할 수 있다. 상기 수분 제거부(410)에 의해 수분이 제거된 합성 가스는 필터부(420)로 유입되어, 원료 기체인 메탄이 개질되는 과정에서 생성될 수 있는 탄소 입자를 제거한다. 탄소 입자가 제거된 상기 합성 가스는, 성분 분석부(430)로 유입되고, 상기 성분 분석부(430)에 형성되어있는 가스 분석 장치를 통해, 예를 들어 메탄, 일산화탄소, 이산화탄소, 수소 등을 포함한 합성 가스를 이루고 있는 물질의 농도를 분석한다. 성분 분석부(430)에 형성되어 있는 가스 분석 장치로는 예를 들어 가스 크로마토 그래피(Agilent 6890), 가스분석기(KG6050, Delta 1600s)를 포함할 수 있다. 합성 가스를 이루고 있는 물질의 분석이 마무리 되어지면 아크 플라즈마 장치(100)를 포함하는 시스템 외부로 최종 배출된다.
- [0050] 이하, 본 발명을 실시 예를 통해 보다 구체적으로 설명한다.
- [0051] 단, 하기 실시 예는 본 발명을 설명하기 위한 것일 뿐, 하기 실시 예에 의하여 본 발명의 권리범위가 한정되는 것은 아니다.
- [0052] <실시예 1> 반응 조건에 따른 합성 가스 농도 측정
- [0053] 도 6에 도시된 아크 플라즈마 장치 시스템을 이용하여 반응 조건에 따른 합성 가스의 농도를 측정하였다.
- [0054] (1) 아크 플라즈마 장치 시스템
- [0055] 아크 플라즈마 장치를 형성하는 내부 전극은 직경 12 mm, 길이 30mm의 원통 형으로, 재질은 스테인레스강(SS304)을 사용했다. 또한, 외부 전극은 내부직경 20mm, 길이 36mm이며, 이 때, 두 전극간 거리는 8mm이다. 또한, 세라믹 노즐 상단부의 내부 직경은 6mm 이다.
- [0056] 본체 내부로 주입하는 반응 가스는 접선 방향인 90도 각도로 형성된 4개의 가스 주입부를 이용하여 주입하였다. 주입되는 반응 가스의 유량은 20 SLPM(standard liters per minute)이고, 상기 유량으로 주입하기 위해 유량 제어기(MFC, Mass Flow Meter)를 사용하였다.
- [0057] 내부 전극에 전원을 공급하기 위해 사용하는 전원공급장치는 주파수 40 KHz, On time 5μs, 평균 입력전압은 6.6 kV, 평균 입력 전류는 0.06 mA, 입력전력은 370 W로 고정시켰다.
- [0058] 아크 플라즈마 장치에 의해 원료가 개질되어 배출된 합성 가스를 이루고 있는 성분들을 크로마토 그래피(Agilent 6890), 가스분석기(KG6050, Delta 1600s)를 이용하여 분석하였고, 수식을 이용하여 가스의 분해율 및 분해효율을 분석하였다.
- [0059] (2) 플라즈마 안정성 검증
- [0060] 도 7의 모드 2 에 도시된 바와 같이, 상기 고정된 조건에서 전압과 전류의 안정적인 변화를 확인 할 수 있다. 가로축에는 시간 (ms) 을 포함하고, 세로축에는 전압과 전류를 포함한다. 시간에 따른 전압과 전류의 크기가 변화하지 않고 일정한 것을 그래프의 파형을 통해 확인할 수 있다. 따라서, 상기 운전 조건은 안정적인 플라즈마의 운전이 가능할 수 있다.
- [0061] 모드 1은 상기 운행 조건과 다른 조건에서 운전하였으며, 시간에 따른 전압과 전류의 크기가 불규칙한 것을 그래프 파형을 통해 확인할 수 있다. 모드 1 내지 모드 2에 나타난 바와 같이, 모드 2의 전압과 전류의 파형이 모드 1 보다 일정한 것을 확인할 수 있다. 즉, 모드 2의 조건이 플라즈마가 안정되었다는 것을 확인 할 수 있다.

[0062] <실험예 1> 아크 플라즈마 장치에서 생성된 합성가스의 전환율 및 효율 산출

[0063] (1) 반응조건에 의한 합성가스 농도 측정

[0064] 본 발명에 따라 아크 플라즈마 장치에서 주입되는 원료 가스의 성분 별 유량비가 합성 가스 생성비에 미치는 영향을 알아보기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

[0065] 산소, 질소와 함께 원료가스의 성분인 메탄과 이산화탄소를 각각 유량 제어기(MFC, Mass Flow Controller)로 유량을 제어하여 가스 주입부(140)를 통해 본체(110)로 주입하였다. 이때, 메탄과 이산화탄소의 유량비는 3 : 2로 고정하였다. 자세한 운전조건은 표 1에 나타내었다.

[0066] <표 1>

CH ₄ 유량 (slpm)	3
CO ₂ 유량 (slpm)	2
O ₂ 유량 (slpm)	1.35 ~ 2.40
N ₂ 유량 (slpm)	5.08 ~ 9.02
전체 유량 (slpm)	11.43 ~ 16.00
평균 입력 전압 (kV)	6.6
평균 입력 전류 (mA)	0.06
입력 전력 (W)	370
주파수 (kHz)	40
On time (μs)	5

[0067]

[0068] 상기 표 1의 운전 조건으로 산소와 질소의 유량을 변경하며 총 8번의 실험을 통해, 상기 아크 플라즈마 장치에서 생성된 합성 가스의 성분을, 후 처리부(400)를 이용하여 분석하였다. 자세한 분석 결과를 표 2에 나타내었다.

[0069] <표 2>

반응 조건 (메탄/이산화탄소/공기)	메탄 (CH ₄)	이산화탄소 (CO ₂)	산소 (O ₂)	일산화탄소 (CO)	수소 (H ₂)	합성가스 (CO+H ₂)	부산물 (C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆)
3 / 2 / 6.43	8.1%	15.4%	0.5%	34.7%	39.9%	74.6%	1.4%
3 / 2 / 7.14	7.8%	16.3%	0.5%	35.0%	39.1%	74.1%	1.3%
3 / 2 / 7.86	6.7%	16.4%	0.6%	36.0%	39.0%	75.0%	1.3%
3 / 2 / 8.6	6.1%	17.1%	0.2%	37.2%	38.4%	75.5%	1.1%
3 / 2 / 9.3	5.6%	17.8%	0.0%	38.0%	37.5%	75.5%	1.1%
3 / 2 / 10	4.4%	17.6%	0.0%	39.5%	37.3%	76.8%	1.3%
3 / 2 / 10.7	3.9%	18.3%	0.0%	40.1%	36.5%	76.6%	1.2%
3 / 2 / 11.42	3.4%	18.9%	0.0%	40.8%	35.7%	76.5%	1.2%

[0070]

[0071] 표 2에 나타난 바에 따르면, 메탄, 이산화탄소, 공기의 유량비가 각각 3, 2, 10일 때, 합성가스가 76.8%의 높은 비율로 생성되었다. 따라서, 상기 유량비가 최적의 반응 조건임을 확인할 수 있다.

[0072] (2) 전환율 및 에너지 효율 산출

[0073] 상기 아크 플라즈마 장치에서 생성된 합성 가스에 있어서, 표 2에 나타난 바에 따라 최적의 반응 조건에서 얻은 데이터로, 수식을 이용하여 전환율과 에너지 효율을 산출하였다. 산출된 효율을 이용하여 본 발명의 효율을 검증할 수 있다.

[0074] 최적 반응조건에 대한 메탄 전환율(수학식 1), 이산화탄소 전환율(수학식 2), 에너지 효율(수학식 3)을 산출하기 위한 수식은 다음과 같다.

[0075] <수학식 1>

[0076]

$$X_{CH_4} = 1 - \frac{F_{out} \times C_{CH_4}^{out}}{F_{CH_4}^{in}} = 1 - \frac{F_{N_2}}{F_{CH_4}^{in}} \times \frac{C_{CH_4}^{out}}{C_{N_2}^{out}}$$

[0077] 수학식 1은 메탄 전환율(X_{CH_4})에 대한 수식이다. $F_{CH_4}^{in}$ 은 메탄이 주입되는 유량을 의미한다. $C_{CH_4}^{out}$ 은 합성 가스 내 메탄가스의 농도를 의미한다. F_{out} 은 개질 반응 후 합성 가스의 전체유량을 의미하며, 이 값을 내부 표준기체인 질소의 유량(F_{N_2})을 질소의 농도($C_{N_2}^{out}$)로 나누어 계산한다.

[0078] ($F_{out} = F_{N_2} / C_{N_2}^{out}$) 상기 F_{out} 을 대입하면 수학식 1의 최종식이 산출된다.

[0079] <수학식 2>

[0080]

$$X_{CO_2} = 1 - \frac{F_{out} \times C_{CO_2}^{out}}{F_{CO_2}^{in}} = 1 - \frac{F_{N_2}}{F_{CO_2}^{in}} \times \frac{C_{CO_2}^{out}}{C_{N_2}^{out}}$$

[0081] 수학식 2는 이산화탄소 전환율(X_{CO_2})에 대한 수식이다. 메탄 전환율과 동일한 수식 개념이며, $C_{CO_2}^{out}$ 는 합성 가스 내 이산화탄소의 농도를 의미하고, $F_{CO_2}^{in}$ 은 이산화탄소가 주입되는 유량을 의미한다.

[0082] <수학식 3>

[0083]

$$\eta_f = \frac{F_{out}(C_{H_2}^{out} \times LHV_{H_2} + C_{CO}^{out} \times LHV_{CO} + C_{C_2H_2}^{out} \times LHV_{C_2H_2})}{60 \times P_{input} + F_{CH_4}^{in} \times X_{CH_4} \times LHV_{CH_4}}$$

[0084] 수학식 3은 개질 반응 후 생성되는 합성가스에 대한 효율을 나타내는 수식이다. 여기서, P_{input} 은 플라즈마 입력 전원 값을 의미하고, LHV는 저위 발열량으로 연료를 연소시켰을 때 발생하는 수증기의 잠열을 포함하지 않는 열량(MJ/Kg)을 나타낸다. 메탄, 이산화탄소, 수소에 대한 LHV 값을 표 3에 나타내었다.

[0085] <표 3>

성 분	수소(H ₂)	일산화탄소(CO)	메탄(CH ₄)
LHV(MJ/kmol)	241.827	282.989	802.32

[0086]

[0087] 표 3에 나타난 데이터와 상기 본 발명의 실시예에 따른 최적 반응조건에서 얻은 데이터를 상기 수학적 1, 2, 3에 대입하여 메탄 및 이산화탄소의 전환율과 에너지효율을 산출할 수 있다. 자세한 결과를 표 4에 나타내었다.

[0088] <표 4>

최적 반응조건 (메탄/이산화탄소/공기)	메탄 전환율 (%)	이산화탄소 전환율 (%)	에너지 효율 (%)
3 / 2 / 10	88.18	37.00	63.188

[0089]

[0090] 표 5는 방전 타입(Discharge type)에 따른 전환율(Conversion), 1mole의 합성가스를 생산하기 위한 필요 에너지량(EC_{CO-H₂}), 에너지 효율(C_{CO-H₂})을 나타낸 것이다. 본 발명의 실시예에 따른 데이터인 표 4와 비교하여 본 발명의 효율을 확인할 수 있다.

[0091] <표 5>

Comparison of biogas reforming in various atmospheric pressure plasmas

Discharge type	Gas composition	Gas flow (SCCM)	SEI (kJ/mol)	Conversion (%)		Selectivity (%)		H ₂ /CO	EC _{CO-H₂} (kJ/mol)	C _{CO-H₂} (%)	Reference
				CH ₄	CO ₂	CO	H ₂				
Spark	CH ₄ /CO ₂ /O ₂ =3/2/0.7	150	500	77	63	85	77	1.2	400	74	[1]
Spark shade	CH ₄ /CO ₂ /O ₂ =3/2/1.8	1360	97	75	32	91	50	0.9	122	68	[2]
AC-gliding arc	CH ₄ /CO ₂ /O ₂ =7/3/2.1	150	600	50	25	35	41	2	1870	31	[3]
AC-gliding arc + catalyst	CH ₄ /CO ₂ /O ₂ /N ₂ =3/2/2/7.5	16700	24	86	4	91	56	1.1	74	35	[4]
DBD	CH ₄ /CO ₂ =3/2	22.5	960	16	12	35	42	1.3	10240	10	[5]
Pulsed gliding arc	CH ₄ /CO ₂ /O ₂ =3/2/1.8	15000	25	81	27	92	53	1	32	71	This work
Pulsed gliding arc	CH ₄ /CO ₂ /O ₂ /N ₂ =3/2/1.8/6.8	15000	25	77	25	92	55	1	66	36	This work

EC_{CO-H₂} is energy cost of syngas; C_{CO-H₂} is concentration of syngas.

[0092]

[0093] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특정의 바람직한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

부호의 설명

[0094]

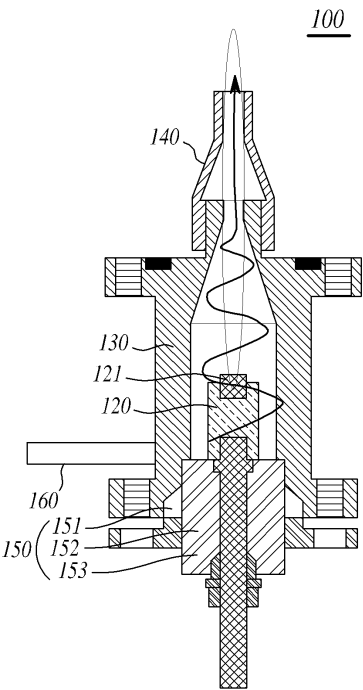
110: 본체

120: 내부 전극

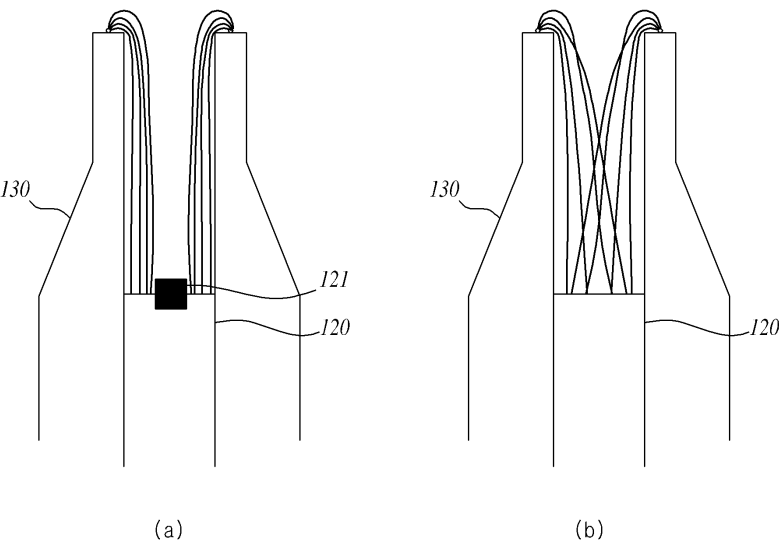
- 130: 외부 전극
- 140: 세라믹 노즐
- 150: 절연부
- 160: 가스 주입부

도면

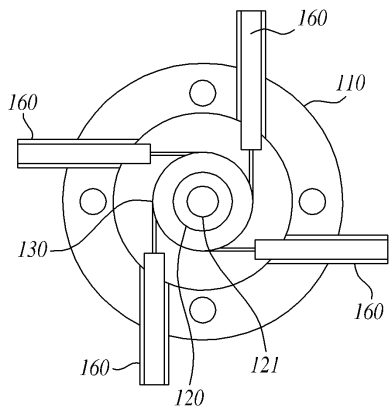
도면1



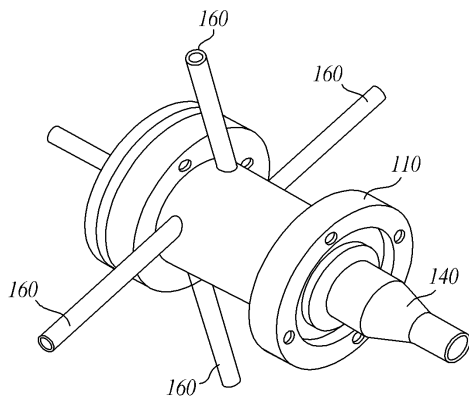
도면2



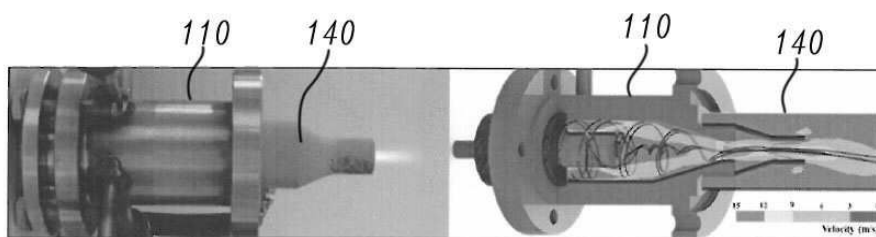
도면3



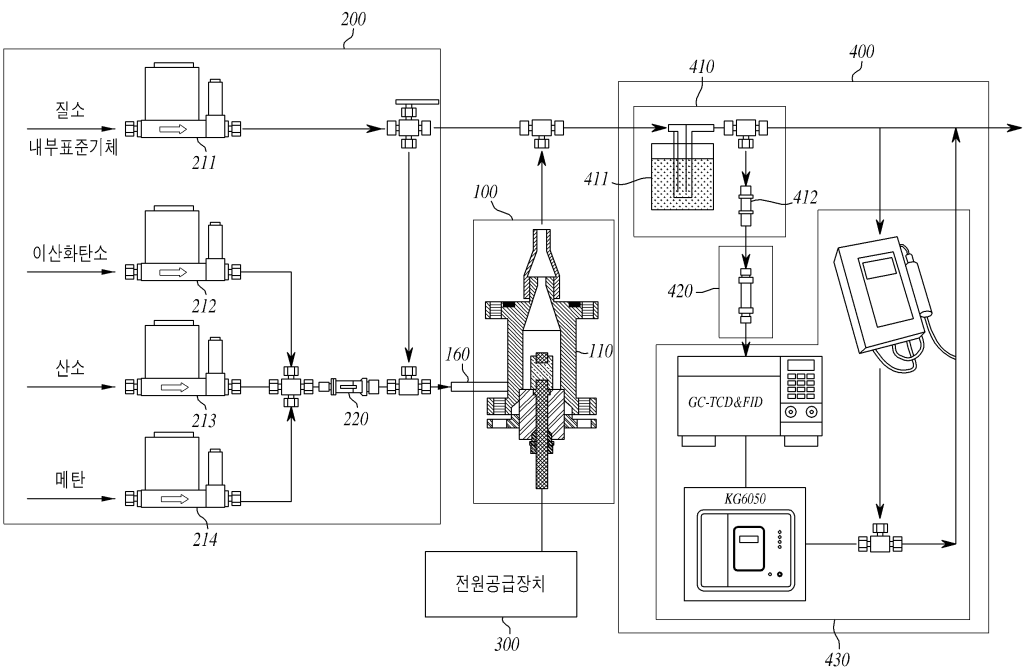
도면4



도면5



도면6



도면7

