



(72) 발명자

**이재욱**

대전 유성구 전민동 엑스포아파트 304동 1108호

**송영훈**

대전 유성구 전민동 엑스포아파트 303동 1501호

**김관태**

대전 서구 월평동 한아름아파트 106동 1405호

**이대훈**

대전 유성구 반석동 반석마을6단지 609동 1703호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 KM2070

부처명 교육과학부

연구관리전문기관

연구사업명 2009년도 자체 연구사업

연구과제명 유해폐기물 개질용 플라즈마 발생기 최적화

기여율

주관기관 한국기계연구원

연구기간 2009년 6월 1일 ~ 2010년 5월 31일

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

중심축을 관통하는 반응 가스 주입구를 형성하는 제1 전극부;

상기 제1 전극부에 결합되는 절연부;

상기 제1 전극부의 일부를 둘러싸도록 상기 절연부에 결합되고, 중심축을 따라 내부 공간에 방전 공간을 형성하며, 반경 방향으로 방전 가스 주입구를 형성하는 제2 전극부; 및

상기 제2 전극부의 내부에 설치되고 상기 방전 가스 주입구와 연결되어 방전 가스를 소용돌이 흐름으로 변환시켜 상기 방전 공간에 제공하는 방전 가스 주입링

을 포함하며,

상기 반응 가스 주입구는 상기 방전 공간의 중심부와 이어져 상기 방전 공간에 형성되는 플라즈마 제트의 중심부에 상기 플라즈마 제트의 축 방향을 따라 반응 가스를 주입하는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 2**

제1항에 있어서,

상기 제1 전극부와 상기 절연부 및 상기 제2 전극부는 중심축이 일치하도록 일직선 상으로 배치되는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 3**

제1항에 있어서,

상기 제1 전극부는 원통 모양의 주입 본체와, 상기 주입 본체보다 작은 직경을 가지는 원통 모양의 방전 유도 전극을 포함하고, 상기 반응 가스 주입구는 중심축을 따라 상기 주입 본체와 상기 방전 유도 전극을 관통하는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 4**

제3항에 있어서,

상기 절연부는 상기 주입 본체가 끼워지는 제1 개구부와, 상기 방전 유도 전극이 끼워지는 제2 개구부를 형성하는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 5**

제4항에 있어서,

상기 주입 본체의 외주면과 상기 제1 개구부의 측벽에 나사산이 형성되어 상기 주입 본체와 상기 절연부가 나사 결합하는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 6**

제1항에 있어서,

상기 제2 전극부는 원통 모양의 방전 본체와, 상기 절연부를 향한 상기 방전 본체의 단부로부터 상기 방전 본체의 외측을 향해 연장된 수직 플랜지와, 상기 수직 플랜지의 단부로부터 상기 제1 전극부를 향해 연장된 수평 플랜지를 포함하는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 7**

제6항에 있어서,

상기 방전 본체는 중심축을 따라 내부 중앙에 원통 모양의 방전 공간을 형성하며, 상기 수직 플랜지와 반대측 단부에 상기 방전 공간과 이어지는 출구를 형성하는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 8**

제6항에 있어서,

상기 제2 전극부를 향한 상기 절연부의 일측 단부 가장자리에 오목한 단차부가 형성되고, 상기 수평 플랜지가 상기 단차부에 끼워지며, 복수의 나사가 상기 단차부와 상기 수평 플랜지에 체결되는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 9**

제6항에 있어서,

상기 방전 가스 주입구는 상기 수평 플랜지에 형성되고, 상기 절연부와 상기 수직 플랜지의 내면이 이격되어 상기 방전 가스 주입구가 상기 수직 플랜지의 내부 공간을 따라 상기 방전 공간과 이어지는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 10**

제6항에 있어서,

상기 수직 플랜지의 내부와 상기 수직 플랜지를 향한 상기 방전 본체의 내부 일부는 상기 수직 플랜지를 향해 직경이 점진적으로 확대되는 깔때기 모양으로 형성되는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 11**

제9항에 있어서,

상기 방전 가스 주입링은 두께 방향을 따라 복수의 관통 홀을 형성하고, 상기 복수의 관통 홀은 반경 방향으로 부터 같은 각도로 경사지게 형성되는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 12**

제11항에 있어서,

상기 방전 가스 주입링은 상기 수평 플랜지와 이격되어 상기 수평 플랜지와 상기 방전 가스 주입링 사이에 링 모양의 공간이 마련되는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 13**

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 전극부는 가솔린, 디젤, 천연 가스, 및 바이오매스 중 어느 하나를 포함하는 탄화수소 화합물과, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, 및 공기 중 적어도 하나를 포함하는 산화제가 혼합된 반응 가스를 제공받는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 14**

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 전극부는 Ar, He, N<sub>2</sub>, 및 공기 중 어느 하나를 포함하는 방전 가스를 제공받는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

**청구항 15**

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 전극부와 상기 제2 전극부는 하기 조건을 만족하는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

$$Q1 > Q2$$

여기서, Q1은 방전 가스의 유량이고, Q2는 반응 가스의 유량을 나타낸다.

**청구항 16**

제6항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 방전 가스 주입링과 상기 방전 본체는 하기 조건을 만족하는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

$$D > 2 \times d_2$$

여기서, D는 상기 방전 가스 주입링의 내경이고, d2는 상기 방전 본체의 최소 내경을 나타낸다.

**청구항 17**

제7항에 있어서,

상기 방전 본체는 하기 조건을 만족하는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

$$L > 2.5 \times d_2$$

여기서, L은 상기 제1 전극부의 단부와 상기 방전 본체의 출구 사이의 최단 거리이고, d2는 상기 방전 본체의 최소 내경을 나타낸다.

**청구항 18**

제6항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 전극부와 상기 방전 본체는 하기 조건을 만족하는 수소 발생용 플라즈마 개질기.

$$d_2 > 1.5 \times d_1$$

여기서, d1은 상기 반응 가스 주입구의 직경이고, d2는 상기 방전 본체의 최소 내경을 나타낸다.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 수소 발생용 플라즈마 개질기에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 탄화수소계 연료로부터 화학 반응을 통해 수소를 발생하는 플라즈마 개질기에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 연료 전지는 발전 효율이 높고 환경 오염원을 배출하지 않으므로 미래의 에너지원으로 주목을 받고 있다. 연료 전지의 유력한 예상 응용처인 운송 수단의 경우 현재까지 가솔린 또는 디젤 등의 연료에 의존해 왔으나, 미래에는 연료 전지가 이 연료들을 대체할 것으로 예상된다.

[0003] 연료 전지 사용시 핵심은 수소 공급이다. 수소는 밀도가 낮기 때문에 보관을 위해 매우 큰 저장 용기가 필요하며, 폭발의 위험이 커서 보관이 까다로운 물질이다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 현재와 같이 탄화수소계 연료(가솔린, 메탄올, 메탄 등)를 차량에 저장하되 차량 내에서 이들 연료로부터 직접 수소를 만들어 연료 전지에 공급하는 방식이 유력한 대안으로 떠오르고 있다.

[0004] 탄화수소계 연료로부터 화학 반응을 통해 수소를 만드는 행위를 수소 개질(hydrogen reforming)이라 한다. 탄화수소 개질은 증기 개질(steam reforming), 부분 산화(partial oxidation), 건조 이산화탄소 개질, 및 자열(autothermal) 개질의 4가지 반응으로 분류된다. 탄화수소계 연료를 개질하면 H<sub>2</sub>와 CO를 얻을 수 있으며, CO는 수성가스 전환반응(water gas shift reaction)을 이용하면 H<sub>2</sub>를 만들 수 있으므로 수소 개질을 위한 재활용 자원으로 간주된다.

[0005] 탄화수소 화합물은 강한 탄소-수소 결합으로 이루어져 있으므로 이들을 분해하기 위해서는 높은 온도가 필요하다. 플라즈마는 화학 반응 시간이 매우 빨라서 개질기의 워-업(warm-up) 시간이 필요 없고, 에너지 밀도가 높아서 장치의 콤팩트화가 가능하다. 또한 플라즈마를 사용한 개질은 황 또는 검댕(soot)과 같은 환경 오염원을 배출하지 않는다. 그런데 플라즈마 개질기는 전기로 구동하기 때문에 운전 비용의 저감(전력 사용량 감소)이 매우

중요하다.

[0006] 한편, 메탄은 탄화수소 화합물의 대표 물질로서 천연 가스의 대부분을 차지할 정도로 풍부한 매장량을 나타내고 있다. 메탄의 경우 2000K 부근에서 대부분 탄소와 수소로 분해된다. 이때 주위에 산소를 포함한 기체가 존재하면 분해된 탄소는 이들과 반응하여 CO 또는 CO<sub>2</sub>로 변환된다. 분해된 수소는 H<sub>2</sub>로 바뀌거나 일부는 H<sub>2</sub>O 또는 탄화수소 화합물(예를 들어 아세틸렌, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)로 변환된다.

[0007] 이 과정에서 플라즈마 개질기의 수소 개질 효율을 높이기 위해서는 동일한 소비 전력에서 변환율(conversion rate)을 높이거나 분해된 수소 중 H<sub>2</sub>로 변환되는 비율(수소 선택도)을 높여야 한다. 이 중 변환율은 주입된 연료에 대한 분해된 연료의 비로 정의되며, 주입된 연료와 분해된 원소가 개질기 내부의 어느 영역에 머무는지와, 플라즈마 내 체류 시간에 따라 변화하여 수소 개질 효율에 큰 영향을 미친다.

**발명의 내용**

**해결 하고자하는 과제**

[0008] 본 발명은 탄화수소 연료를 포함하는 반응 가스와 플라즈마 방전을 위한 방전 가스의 주입 구조를 개선하여 변환율을 높임으로써 수소 개질 효율을 극대화할 수 있는 수소 발생용 플라즈마 개질기를 제공하고자 한다.

**과제 해결수단**

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따른 수소 발생용 플라즈마 개질기는, i) 중심축을 관통하는 반응 가스 주입구를 형성하는 제1 전극부와, ii) 제1 전극부에 결합되는 절연부와, iii) 제1 전극부의 일부를 둘러싸도록 절연부에 결합되고, 중심축을 따라 내부 공간에 방전 공간을 형성하며, 반경 방향으로 방전 가스 주입구를 형성하는 제2 전극부와, iv) 제2 전극부의 내부에 설치되고, 방전 가스 주입구와 연결되어 방전 가스를 소용돌이 흐름으로 변환시켜 방전 공간에 제공하는 방전 가스 주입링을 포함한다. 반응 가스 주입구는 방전 공간의 중심부와 이어져 방전 공간에 형성되는 플라즈마 제트의 중심부에 플라즈마 제트의 축 방향을 따라 반응 가스를 주입한다.

[0010] 제1 전극부와 절연부 및 제2 전극부는 중심축이 일치하도록 일직선 상으로 배치될 수 있다. 제1 전극부는 원통 모양의 주입 본체와, 주입 본체보다 작은 직경을 가지는 원통 모양의 방전 유도 전극을 포함하며, 반응 가스 주입구는 중심축을 따라 주입 본체와 방전 유도 전극을 관통할 수 있다.

[0011] 절연부는 주입 본체가 끼워지는 제1 개구부와, 방전 유도 전극이 끼워지는 제2 개구부를 형성할 수 있다. 주입 본체의 외주면과 제1 개구부의 측벽에 나사산이 형성되어 주입 본체와 절연부는 나사 결합할 수 있다.

[0012] 제2 전극부는 원통 모양의 방전 본체와, 절연부를 향한 방전 본체의 단부로부터 방전 본체의 외측을 향해 연장된 수직 플랜지와, 수직 플랜지의 단부로부터 제1 전극부를 향해 연장된 수평 플랜지를 포함할 수 있다. 방전 본체는 중심축을 따라 내부 중앙에 원통 모양의 방전 공간을 형성하며, 수직 플랜지와 반대측 단부에 방전 공간과 이어지는 출구를 형성할 수 있다.

[0013] 제2 전극부를 향한 절연부의 일측 단부 가장자리에 오목한 단차부가 형성되고, 수평 플랜지가 단차부에 끼워지며, 복수의 나사가 단차부와 수평 플랜지에 체결될 수 있다.

[0014] 방전 가스 주입구는 수평 플랜지에 형성되고, 절연부와 수직 플랜지의 내면이 이격되어 방전 가스 주입구가 수직 플랜지의 내부 공간을 따라 방전 공간과 이어질 수 있다. 수직 플랜지의 내부와 수직 플랜지를 향한 방전 본체의 내부 일부는 수직 플랜지를 향해 직경이 점진적으로 확대되는 깔때기 모양으로 형성될 수 있다.

[0015] 방전 가스 주입링은 두께 방향을 따라 복수의 관통 홀을 형성하고, 복수의 관통 홀은 반경 방향으로부터 같은 각도로 경사지게 형성될 수 있다. 방전 가스 주입링은 수평 플랜지와 이격되어 수평 플랜지와 방전 가스 주입링 사이에 링 모양의 공간이 마련될 수 있다.

[0016] 제1 전극부는 가솔린, 디젤, 천연 가스, 및 바이오매스 중 어느 하나를 포함하는 탄화수소 화합물과, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, 및 공기 중 적어도 하나를 포함하는 산화제가 혼합된 반응 가스를 제공받을 수 있다. 제2 전극부는 Ar, He, N<sub>2</sub>, 및 공기 중 어느 하나를 포함하는 방전 가스를 제공받을 수 있다.

[0017] 제1 전극부와 제2 전극부는 하기 조건을 만족할 수 있다.

- [0018]  $Q1 > Q2$
- [0019] 여기서, Q1은 방전 가스의 유량이고, Q2는 반응 가스의 유량을 나타낸다.
- [0020] 방전 가스 주입링과 방전 본체는 하기 조건을 만족할 수 있다.
- [0021]  $D > 2 \times d2$
- [0022] 여기서, D는 방전 가스 주입링의 내경이고, d2는 방전 본체의 최소 내경을 나타낸다.
- [0023] 방전 본체는 하기 조건을 만족할 수 있다.
- [0024]  $L > 2.5 \times d2$
- [0025] 여기서, L은 제1 전극부의 단부와 방전 본체의 출구 사이의 최단 거리이고, d2는 방전 본체의 최소 내경을 나타낸다.
- [0026] 제1 전극부와 방전 본체는 하기 조건을 만족할 수 있다.
- [0027]  $d2 > 1.5 \times d1$
- [0028] 여기서, d1은 반응 가스 주입구의 직경이고, d2는 방전 본체의 최소 내경을 나타낸다.

**효 과**

[0029] 본 발명의 실시예에 따르면, 반응 가스가 머무는 영역을 온도가 가장 높은 플라즈마 제트의 중심 영역으로 한정할 수 있고, 이와 동시에 반응 가스의 체류 시간을 늘림으로써 변환율(conversion rate)을 높일 수 있다. 변환율은 주입된 연료에 대한 분해된 연료의 비로서, 변환율 향상으로 플라즈마 개질기의 수소 개질 효율을 높일 수 있다. 또한, 방전 가스 주입링이 방전 공간으로 주입되는 방전 가스의 소용돌이 흐름을 극대화함에 따라 방전을 안정화시킬 수 있다.

**발명의 실시를 위한 구체적인 내용**

- [0030] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.
- [0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 수소 발생용 플라즈마 개질기의 사시도이고, 도 2는 도 1에 도시한 플라즈마 개질기의 단면도이다.
- [0032] 도 1과 도 2를 참고하면, 본 실시예의 플라즈마 개질기(100)는 중심축이 서로 일치하도록 일직선 상으로 배치되는 제1 전극부(10), 절연부(20), 및 제2 전극부(30)와, 제2 전극부(30)의 내부에 설치되는 방전 가스 주입링(40)을 포함한다. 제2 전극부(30)는 중심축을 따라 내부 중앙에 대략 원통 모양의 방전 공간(31)을 형성한다.
- [0033] 방전 공간(31)으로 방전 가스를 주입하고, 제2 전극부(30)를 접지시킨 상태에서 제1 전극부(10)에 전원에 연결하면 제1 전극부(10)와 제2 전극부(30)의 전압 차에 의해 방전 공간(31)에 플라즈마 제트(32)가 형성된다. 그리고 이 플라즈마 제트(32)에 반응 가스를 주입하면 반응 가스로부터 플라즈마에 의한 수소 개질이 이루어진다.
- [0034] 본 실시예의 플라즈마 개질기(100)는 방전 공간(31)의 입구에서 플라즈마 제트(32)의 중심부에 플라즈마 제트(32)의 축 방향을 따라 반응 가스를 주입하여 전환율(conversion rate)을 높이고, 방전 공간(31)으로 주입되는 방전 가스의 소용돌이 흐름을 극대화시켜 방전의 안정성을 높이는 구조로 이루어진다.
- [0035] 도 3은 도 2에 도시한 플라즈마 개질기 중 제1 전극부의 단면도와 우측면도를 나타낸 도면이다.
- [0036] 도 2와 도 3을 참고하면, 제1 전극부(10)는 원통 모양의 주입 본체(11)와, 주입 본체(11)와 연결되며 주입 본체(11)보다 작은 직경을 가지는 원통 모양의 방전 유도 전극(12)으로 구성된다. 제1 전극부(10)의 내부에는 중심축을 따라 주입 본체(11)와 방전 유도 전극(12)을 관통하는 반응 가스 주입구(13)가 형성된다.
- [0037] 반응 가스 주입구(13)는 일정한 직경으로 형성되며, 주입 본체(11)의 일측 단부에 반응 가스 주입구(13)를 확장시키는 확장부(14)가 마련될 수 있다. 확장부(14)의 측면에는 제1 나사산(15)이 형성되고, 플라즈마 개질기(100)로 반응 가스를 공급하는 공급 장치(도시하지 않음)가 주입 본체(11)의 확장부(14)에 나사 결합으로 체결될 수 있다.

- [0038] 그리고 주입 본체(11)의 반대측 단부, 즉 방전 유도 전극(12)과 연결되는 주입 본체(11)의 반대측 단부 외주면에 제2 나선산(16)이 형성된다. 주입 본체(11)는 제2 나선산(16)에 의해 절연부(20)와 나사 결합으로 체결된다. 제1 전극부(10)는 금속으로 제조된다.
- [0039] 도 4는 도 2에 도시한 플라즈마 개질기 중 절연부의 단면도와 우측면도를 나타낸 도면도이다.
- [0040] 도 2와 도 4를 참고하면, 절연부(20)는 주입 본체(11)보다 큰 외경을 가지며, 그 중앙에 주입 본체(11)가 끼워지는 제1 개구부(21)와, 방전 유도 전극(12)이 끼워지는 제2 개구부(22)를 형성한다. 제1 개구부(21)의 측벽에는 제2 나선산(16)과 맞물리는 제3 나선산(23)이 형성된다. 절연부(20)는 주입 본체(11)의 일부 및 방전 유도 전극(12)의 일부와 중첩되어 제1 전극부(10)의 중앙 부위를 둘러싼다.
- [0041] 그리고 제2 전극부(30)를 향한 절연부(20)의 일측 단부 가장자리에는 오목한 단차부(24)가 형성되어 제2 전극부(30)에 마련된 수평 플랜지(33)가 단차부(24)에 끼워지도록 한다. 단차부(24)가 형성된 절연부(20)의 가장자리에는 원주 방향을 따라 복수의 나사 홈(25)이 형성된다. 절연부(20)는 제1 전극부(10)와 제2 전극부(30)를 절연시키는 기능을 한다.
- [0042] 도 5는 도 2에 도시한 플라즈마 개질기 중 제2 전극부의 단면도와 좌측면도를 나타낸 도면이다.
- [0043] 도 2와 도 5를 참고하면, 제2 전극부(30)는 원통 모양의 방전 본체(34)와, 절연부(20)를 향한 방전 본체(34)의 단부로부터 방전 본체(34)의 외측을 향해 연장된 수직 플랜지(35)와, 수직 플랜지(35)의 단부로부터 제1 전극부(10)를 향해 연장된 수평 플랜지(33)를 포함한다. 방전 본체(34)의 내부 중앙에는 중심축을 따라 대략적인 원통 모양의 방전 공간(31)이 형성되며, 수직 플랜지(35)와 반대측의 방전 본체(34) 단부에는 방전 공간(31)과 이어지는 출구(36)가 형성된다.
- [0044] 수평 플랜지(33)에는 원주 방향을 따라 절연부(20)의 나사 홈(25)에 대응하는 복수의 나사 홈(37)이 형성되고, 절연부(20)의 나사 홈(25)과 수평 플랜지(33)의 나사 홈(37)에 복수의 나사(38, 도 1 참조)가 체결되어 절연부(20)와 제2 전극부(30)를 결합시킨다. 제2 전극부(30)는 금속으로 제조되며, 제1 전극부(10)와 제2 전극부(30)는 절연부(20)에 의해 절연 상태를 유지하며 일체로 결합된다.
- [0045] 수평 플랜지(33)에는 반경 방향을 따라 수평 플랜지(33)를 관통하는 방전 가스 주입구(39)가 형성되며, 방전 가스 주입구(39)는 수직 플랜지(35)의 내부 공간을 따라 방전 공간(31)과 연결된다. 이를 위해 절연부(20)와 제2 전극부(30) 결합시 수직 플랜지(35)의 내면과 절연부(20)는 일정한 간격(G1, 도 2 참조)을 두고 위치한다.
- [0046] 플라즈마 개질기(100)에서 제1 전극부(10)의 방전 유도 전극(12)이 제2 전극부(30)의 수직 플랜지(35) 및 방전 본체(34)의 일부와 중첩되므로, 제2 전극부(30)는 방전 유도 전극(12)과의 접촉으로 단락이 발생하지 않도록 그 내부 형상을 깔때기 모양으로 형성할 수 있다. 즉, 수직 플랜지(35)의 내부와, 수직 플랜지(35)를 향한 방전 본체(34)의 내부 일부를 수직 플랜지(35)를 향하여 직경이 점진적으로 확대되는 깔때기 모양으로 형성할 수 있다.
- [0047] 수직 플랜지(35)와 수평 플랜지(33)의 내부에는 방전 가스 주입링(40)이 설치되어 방전 가스 주입구(39)로 공급된 방전 가스를 소용돌이 흐름으로 변환시킨다. 수직 플랜지(35)는 그 내부에 방전 가스 주입링(40) 설치를 위한 오목부(351)를 형성한다.
- [0048] 도 6은 도 2에 도시한 플라즈마 개질기 중 방전 가스 주입링의 단면도와 우측면도를 나타낸 도면이다.
- [0049] 도 2와 도 6을 참고하면, 방전 가스 주입링(40)은 두께 방향을 따라 방전 가스 주입링(40)을 관통하여 방전 가스 주입링(40)의 외측과 내측을 연결하는 복수의 관통 홀(41)을 형성한다. 이때, 복수의 관통 홀(41)은 방전 가스 주입링(40)의 반경 방향과 일치하지 않고 반경 방향으로부터 일정한 각도로 비스듬하게 형성되어 시계 방향 또는 반시계 방향으로 일정한 기울기를 가진다.
- [0050] 도 6에서는 반시계 방향으로 일정하게 기울어진 복수의 관통 홀(41)이 형성된 방전 가스 주입링(40)을 예로 들어 도시하였다.
- [0051] 방전 가스 주입링(40)은 제2 전극부(30)의 내부에서 수평 플랜지(33)와 일정한 간격(G2, 도 2 참조)을 두고 배치된다. 이로써 수평 플랜지(33)와 방전 가스 주입링(40) 사이에 링 모양의 공간이 마련되며, 방전 가스 주입구(39)로 투입된 방전 가스는 링 모양의 공간을 통해 방전 가스 주입링(40)의 여러 관통 홀(41)을 거쳐 소용돌이 흐름으로 변환된 후 방전 공간(31)으로 주입된다.
- [0052] 이하, 플라즈마 개질기(100)의 작용에 대해 설명한다.

- [0053] 도 2를 참고하면, 플라즈마 개질기(100)에 주입되는 반응 가스는 탄화수소 화합물과 산화제를 포함한다. 탄화수소 화합물로는 가솔린, 디젤, 천연 가스(CH<sub>4</sub>), 및 바이오매스 등이 사용될 수 있다. 산화제는 증기 개질의 경우 H<sub>2</sub>O이고, 부분 산화의 경우 O<sub>2</sub>이며, 건조 이산화탄소 개질의 경우 CO<sub>2</sub>이다. 플라즈마 개질기(100)에 주입되는 방전 가스는 방전을 유지하기 위한 가스로서, 방전의 안정성을 높이기 위해 He 또는 Ar과 같은 불활성 기체 또는 열용량이 높은 N<sub>2</sub> 또는 공기 등이 사용될 수 있다.
- [0054] 플라즈마 개질기(100)로 주입된 반응 가스는 방전 공간(31)에 형성된 플라즈마 제트(32)의 높은 온도와 풍부한 활성 종(reactive species)에 의해 분해되고, 분해된 원소들 사이의 화학적인 반응에 의해 H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 등으로 변환되며, 일부는 변환되지 않은 형태로 제2 전극부(30)의 출구(36)로 배출된다.
- [0055] 본 실시예의 플라즈마 개질기(100)는 제1 전극부(10)에 형성된 반응 가스 주입부(13)가 방전 공간(31)의 중심부와 이어져 있으므로, 플라즈마 제트(32)의 중심부에 플라즈마 제트(32)의 축 방향을 따라 반응 가스를 주입한다. 즉, 방전 공간(31)의 반경 방향으로 반응 가스를 주입하지 않고 중앙 주입식으로 반응 가스를 제공한다.
- [0056] 플라즈마 제트(32)는 반경 방향으로 포물선 모양의 온도 분포를 갖는 것이 일반적이다. 즉, 중심축 부근에서 온도는 최대가 되며, 중심축에서 멀어질수록(제2 전극부(30)의 내면에 가까워질수록) 온도가 낮아진다. 따라서 플라즈마 제트(32)의 중심 방향에 위치하는 반응 가스들은 변환율이 높지만, 제2 전극부(30)의 내면 근처에 위치하는 반응 가스들은 변환율이 낮다.
- [0057] 본 실시예의 플라즈마 개질기(100)에서는 반응 가스가 머무는 영역을 온도가 가장 높은 플라즈마 제트(32)의 중심 영역으로 한정할 수 있고, 이와 동시에 반응 가스의 체류 시간을 늘림으로써 변환율(conversion rate)을 높일 수 있다. 변환율은 주입된 연료에 대한 분해된 연료의 비로서, 변환율 향상으로 플라즈마 개질기(100)의 수소 개질 효율을 높일 수 있다. 또한, 방전 가스 주입링(40)이 방전 공간(31)으로 주입되는 방전 가스의 소용돌이 흐름을 극대화함에 따라 방전을 안정화시킬 수 있다.
- [0058] 진술한 플라즈마 개질기(100)에서 방전 안정성에 영향을 주는 설계 변수로는 방전 가스 주입링(40)의 내경(D), 방전 본체(34)의 최소 내경(d2), 방전 유도 전극(12)과 출구(36) 사이의 거리(L)가 있다. 방전 가스 주입링(40)의 내경(D)이 작거나, 방전 본체(34)의 최소 내경(d2)이 큰 경우, 방전 가스의 소용돌이 흐름이 약화되므로 방전 안정성이 떨어진다.
- [0059] 방전 유도 전극(12)과 출구(36) 사이의 거리(L)가 짧은 경우 플라즈마 방전이 출구(36)의 바깥쪽까지 확장된다. 방전의 시작점을 아크점이라 하는데, 아크점이 제2 전극부(30)의 바깥쪽에 생기면 방전의 안정성이 떨어질 뿐만 아니라 전극 침식이 증가하여 전극 수명이 낮아진다. 방전 유도 전극(12)과 출구(36) 사이의 거리(L)가 충분히 길 때, 아크점은 제2 전극부(30)의 내부에서 회전하므로 전극 수명이 연장된다.
- [0060] 본 실시예의 플라즈마 개질기(100)에서, 아래의 조건을 만족할 때 방전 가스의 소용돌이 흐름에 의한 방전 안정성을 확보하고, 아크점 회전에 의한 전극의 수명 증가를 달성할 수 있다.
- [0061] 먼저, 플라즈마 개질기(100)는 하기 수학적 1과 수학적 2 중 적어도 하나의 조건을 만족한다.

**수학적 1**

- [0062]  $Q1 > Q2$
- [0063] 여기서, Q1은 방전 가스의 유량이고, Q2는 반응 가스의 유량이다.

**수학적 2**

- [0064]  $D > 2 \times d2$
- [0065] 여기서, D는 방전 가스 주입링(40)의 내경이고, d2는 플라즈마 제트(32)가 형성되는 방전 본체(34)의 최소 내경이다.
- [0066] 반응 가스의 유량(Q2)이 방전 가스의 유량(Q1)보다 크면 방전 가스의 소용돌이 흐름이 저해되어 방전 안정성이 낮아지며, 방전 가스 주입링(40)의 내경(D)이 방전 본체(34) 최소 내경(d2)의 2배보다 작은 경우에도 방전 가스 주입링(40)에 의한 방전 가스의 소용돌이 흐름이 변환 효율이 높지 못하여 방전 안정성이 낮아진다.

[0067] 또한, 플라즈마 개질기(100)는 하기 수학식 3의 조건을 만족한다.

**수학식 3**

[0068]  $L > 2.5 \times d_2$

[0069] 여기서, L은 방전 유도 전극(12)과 출구(36) 사이의 거리이고, d2는 플라즈마 제트(32)가 형성되는 방전 본체(34)의 최소 내경이다.

[0070] 방전 유도 전극(12)과 출구(36) 사이의 거리(L)가 방전 본체(34) 최소 내경(d2)의 2.5배 미만이면 아크점이 제2 전극부(30)의 바깥에 형성될 수 있으므로 방전의 안정성이 저하되고, 전극 침식이 확대되어 전극의 수명이 낮아진다.

[0071] 또한, 플라즈마 개질기(100)는 하기 수학식 4의 조건을 만족한다.

**수학식 4**

[0072]  $d_2 > 1.5 \times d_1$

[0073] 여기서, d2는 플라즈마 제트(32)가 형성되는 방전 본체(34)의 최소 내경이고, d1은 반응 가스 주입구(13)의 직경이다.

[0074] 방전 본체(34)의 최소 내경(d2)이 반응 가스 주입구(13) 직경(d1)의 1.5배 미만이면 d1과 d2의 차이가 크지 않기 때문에 반응 가스를 플라즈마 제트(32)의 중심 영역으로 한정시켜 투입할 수 없으므로 수소 개질 효율을 높일 수 없다.

[0075] 실험예

[0076] 반응 가스로 CH<sub>4</sub>와 O<sub>2</sub>를 사용하고, 방전 가스로 N<sub>2</sub>를 사용한 상태에서 반응 가스를 방전 공간의 축 방향으로 주입하는 방식(실시예)과 반경 방향으로 주입하는 방식(비교예)에 대한 수소 개질 특성을 비교하는 실험을 진행하였다. 여기서, 비교예는 제1 전극부에 반응 가스 주입구를 형성하지 않고 방전 공간의 반경 방향으로 반응 가스와 방전 가스를 함께 주입하는 구조를 의미한다.

[0077] 수소 개질 특성에 많은 영향을 준다고 알려져 있는 O<sub>2</sub>/C 양을 가변하였으며, 소비 전력은 400W, 총 유량은 30 l/min으로 고정하였다. 하기 표에 자세한 실험 조건을 기재하였다. CH<sub>4</sub>의 유량은 3 l/min이다.

**표 1**

O <sub>2</sub> /C	가스 유량 (l/min)		
	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
0.3	3.0	0.9	26.1
0.4		1.2	25.8
0.5		1.5	25.5
0.6		1.8	25.2
0.7		2.1	24.9
0.8		2.4	24.6

[0078] 도 7은 O<sub>2</sub>/C 비율이 0.8인 조건에서 실시예의 플라즈마 개질기와 비교예의 플라즈마 개질기의 개질 특성을 비교 실험한 결과를 나타낸 그래프이다.

[0080] 실시예의 플라즈마 개질기에서 CH<sub>4</sub>와 O<sub>2</sub>의 변환율은 각각 55.6%와 59.25%로서 비교예의 실험값인 27.95% 및 25.22% 대비 각각 1.98배 및 2.32배 높다. 반면, 실시예의 플라즈마 개질기에서 CO와 H<sub>2</sub>의 선택도는 각각 72.5%와 55.6%로서 비교예의 실험값인 74.8% 및 56.7%와 큰 차이를 보이지 않는다.

[0081] 이러한 결과로 수율과 개질 효율은 주로 변환율 특성에 의해 좌우된다. 여기서, CO 선택도는 변환된 원료(CH<sub>4</sub>)

에 포함된 C 원자량에 대한 생산된 CO에 포함된 C 원자량의 비율을 의미하고, CO 수율은 주입된 원료(CH<sub>4</sub>)에 포함된 C 원자량에 대한 생산된 CO에 포함된 C 원자량의 비율을 의미한다. 또한, H<sub>2</sub> 수율은 주입된 원료(CH<sub>4</sub>)에 포함된 수소 중 H<sub>2</sub>로 변환된 비율을 의미한다. 개질 효율은 연료의 LHV(lower heating value)와 플라즈마 발생에 소비되는 전기 에너지의 합에 대한 생성된 수소의 LHV로 정의된다.

[0082] 실시예의 플라즈마 개질기에서 CO와 H<sub>2</sub>의 수율은 각각 44.0%와 33.7%로서 비교예의 실험값인 20.9%와 16.1% 대비 2.1배 높다. 실시예의 플라즈마 개질기에서 개질 효율은 48.3%로서 비교예의 실험값인 23.1% 대비 2.1배 높다. 수율이 높은 것은 동일한 연료로부터 많은 양의 수소가 생성된 것을 의미하고, 개질 효율이 높은 것은 수소를 경제적으로 합성한 것을 의미한다.

[0083] 도 8은 O<sub>2</sub>/C 변화에 따른 변환율 실험 결과를 나타낸 그래프이고, 도 9는 O<sub>2</sub>/C 변화에 따른 CO 수율과 H<sub>2</sub> 수율의 실험 결과를 나타낸 그래프이며, 도 10은 O<sub>2</sub>/C 변화에 따른 개질 효율 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

[0084] 도 8 내지 도 10을 참고하면, O<sub>2</sub>/C 비율이 0.8일 때에는 실시예의 개질 특성이 비교예보다 월등하게 우수하나, O<sub>2</sub>/C 비율이 작아짐에 따라 그 차이가 감소하는 것을 알 수 있다. CH<sub>4</sub>와 1/2O<sub>2</sub>의 화학 반응에 의한 CO와 H<sub>2</sub>의 생성은 발열 반응으로서 이 반응이 진행되면 반응의 수에 비례하는 발열량이 방출된다. 이와 같은 산화열은 외부에서 공급되는 것이 아니라 내부에서 발생하는 엑스트라 열원이므로 산화 반응을 촉진시킨다.

[0085] 비교예의 플라즈마 개질기에서, 방전 가스의 소용돌이 운동에 의해 CH<sub>4</sub>와 O<sub>2</sub>는 개질기 내부에서 반경 방향으로 비교적 균일하게 분포한다. 이때 온도가 높은 중심축에 위치하는 CH<sub>4</sub>와 O<sub>2</sub>는 변환이 잘 되는 반면, 중심축에서 멀어질수록 온도가 낮아져 변환율이 낮아진다. O<sub>2</sub>/C 비율이 증가함에 따라 보다 많은 양의 산화열이 발생하고, 이는 CH<sub>4</sub>와 O<sub>2</sub>의 변환을 촉진하기 때문에 중심축 부근에서의 변환율은 O<sub>2</sub>/C가 커짐에 따라 증가한다. 반면, 중심축에서 거리가 먼 영역에서는 O<sub>2</sub>/C 증가가 변환율에 미치는 영향은 제한적이다.

[0086] 요약하면, O<sub>2</sub>/C 증가에 의한 변환의 가속화는 주로 플라즈마 제트의 중심 부근에 한정되고, 이에 따라 플라즈마 제트의 반경 방향으로 CH<sub>4</sub>와 O<sub>2</sub>가 균일하게 분포하는 비교예의 방식은 O<sub>2</sub>/C 증가에 따른 변환율 증가의 정도가 실시예보다 훨씬 낮다. 실시예의 플라즈마 개질기에서, CH<sub>4</sub>와 O<sub>2</sub>는 대부분 플라즈마 제트의 중심 영역에 위치한다. 이로써 O<sub>2</sub>/C가 커짐에 따라 발생하는 산화열을 효율적으로 이용할 수 있으므로, 결과적으로 CH<sub>4</sub>와 O<sub>2</sub>의 변환율이 크게 증가한다.

[0087] 그리고 반응 가스 주입 위치에 따른 선택도는 실시예와 비교예에서 크게 차이가 나지 않으므로 변환율 경향이 수율과 개질 효율 특성을 지배한다. 도 9와 도 10에 나타나 있듯이 O<sub>2</sub>/C 비율이 커짐에 따라 실시예의 플라즈마 개질기가 비교예 대비 우수한 개질 특성을 나타냄을 확인할 수 있다.

[0088] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 설명하였지만, 본 발명은 이에 한정되는 것이 아니고 특허청구 범위와 발명의 상세한 설명 및 첨부한 도면의 범위 안에서 여러 가지로 변형하여 실시하는 것이 가능하고 이 또한 본 발명의 범위에 속하는 것은 당연하다.

### 도면의 간단한 설명

[0089] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 개질기의 사시도이다.

[0090] 도 2는 도 1에 도시한 플라즈마 개질기의 단면도이다.

[0091] 도 3은 도 2에 도시한 플라즈마 개질기 중 제1 전극부의 단면도와 우측면도를 나타낸 도면이다.

[0092] 도 4는 도 2에 도시한 플라즈마 개질기 중 절연부의 단면도와 우측면도를 나타낸 도면도이다.

[0093] 도 5는 도 2에 도시한 플라즈마 개질기 중 제2 전극부의 단면도와 좌측면도를 나타낸 도면이다.

[0094] 도 6은 도 2에 도시한 플라즈마 개질기 중 방전 가스 주입링의 단면도와 우측면도를 나타낸 도면이다.

[0095] 도 7은 O<sub>2</sub>/C 비율이 0.8인 조건에서 실시예의 플라즈마 개질기와 비교예의 플라즈마 개질기의 개질 특성을 비교 실험한 결과를 나타낸 그래프이다.

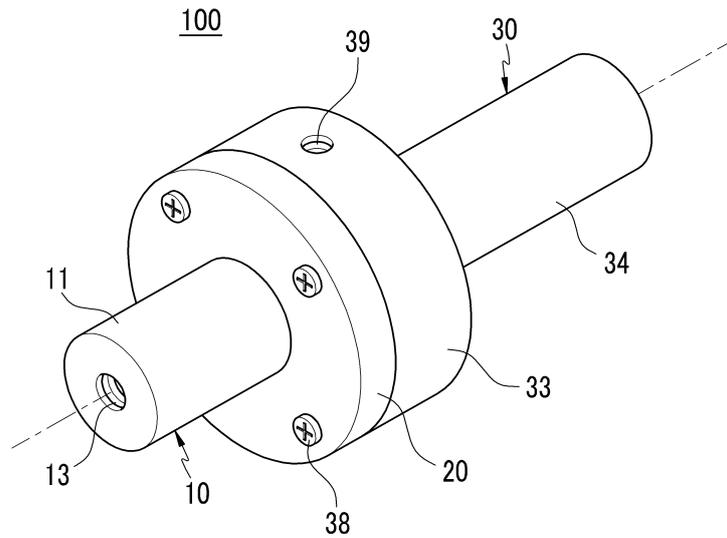
[0096] 도 8은 실시예의 플라즈마 개질기와 비교예의 플라즈마 개질기에서 O<sub>2</sub>/C 변화에 따른 변환율 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

[0097] 도 9는 실시예의 플라즈마 개질기와 비교예의 플라즈마 개질기에서 O<sub>2</sub>/C 변화에 따른 CO 수율과 H<sub>2</sub> 수율의 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

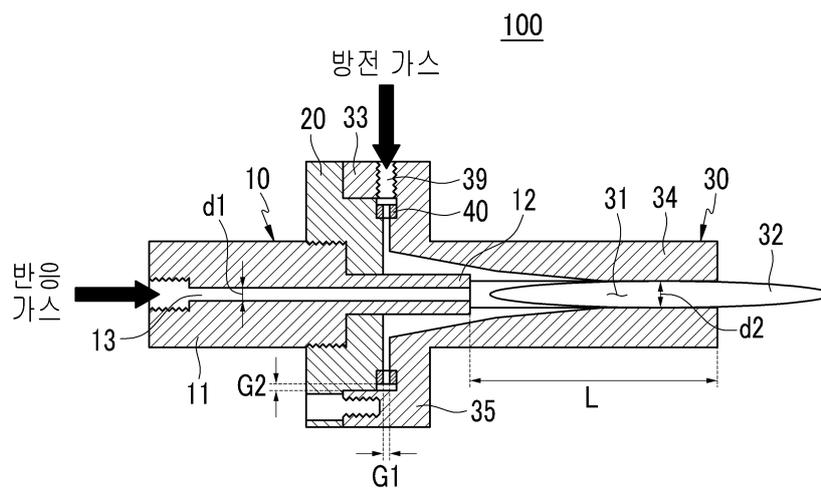
[0098] 도 10은 실시예의 플라즈마 개질기와 비교예의 플라즈마 개질기에서 O<sub>2</sub>/C 변화에 따른 개질 효율 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

도면

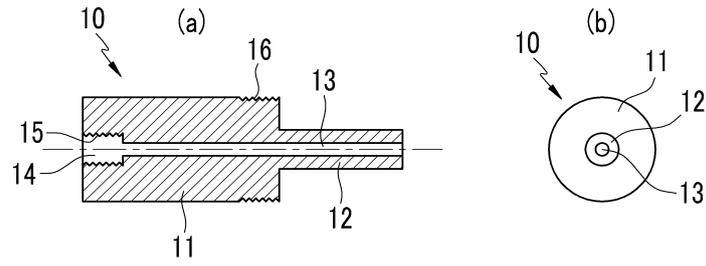
도면1



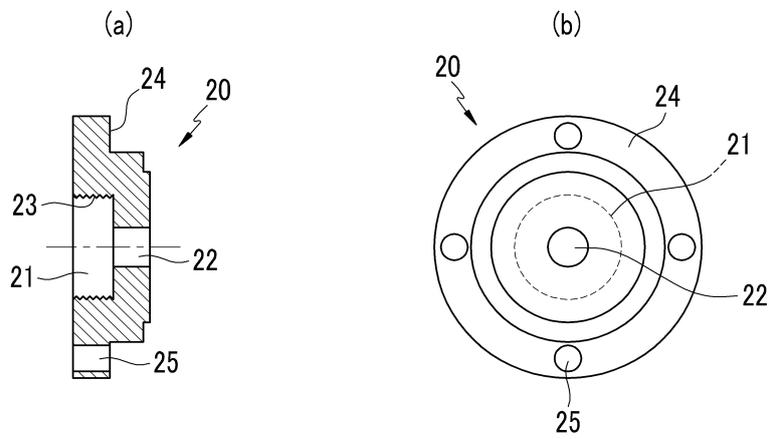
도면2



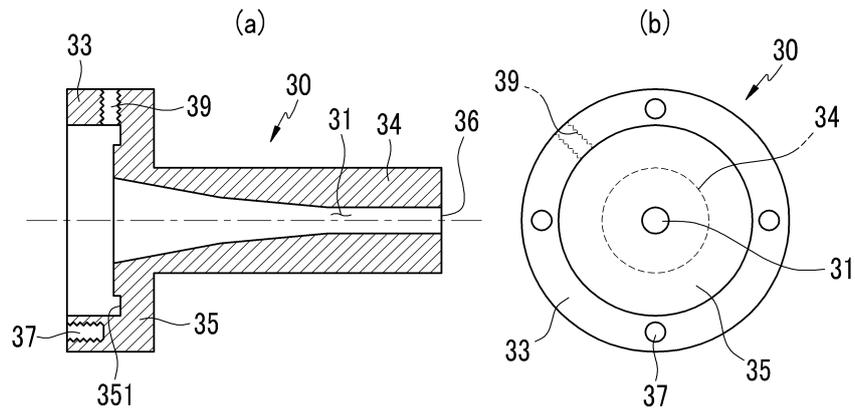
도면3



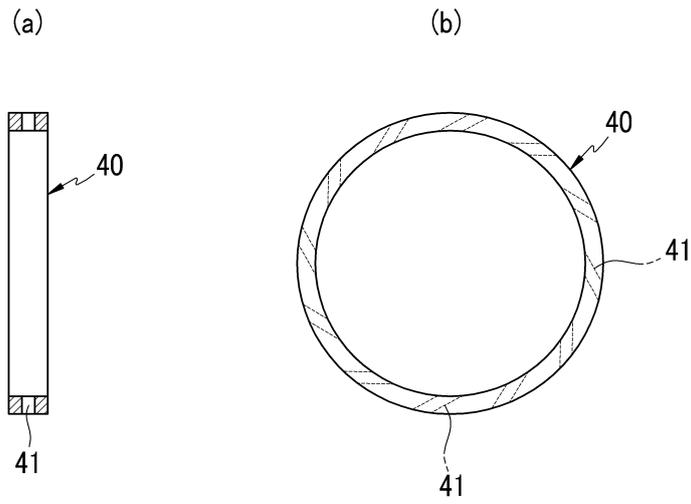
도면4



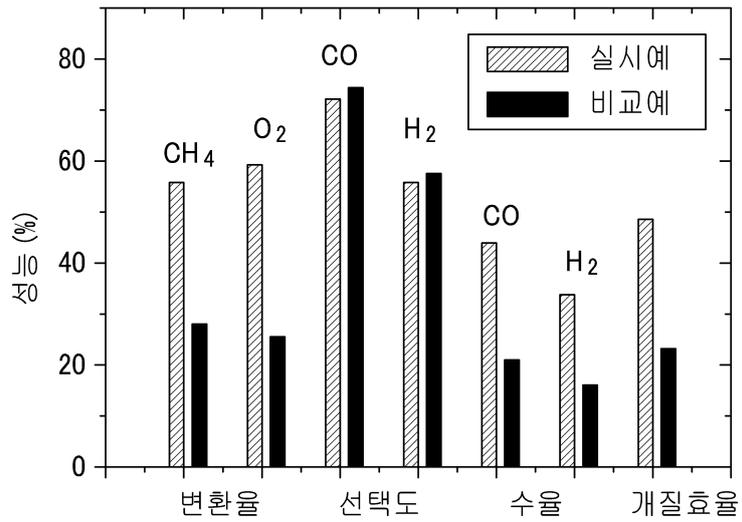
도면5



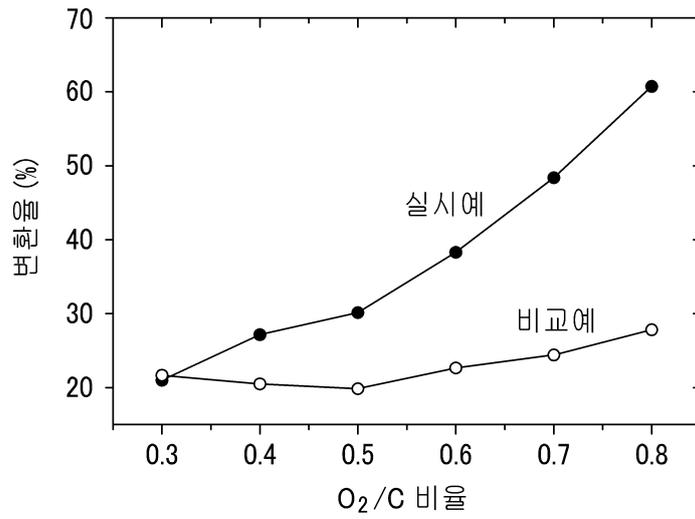
도면6



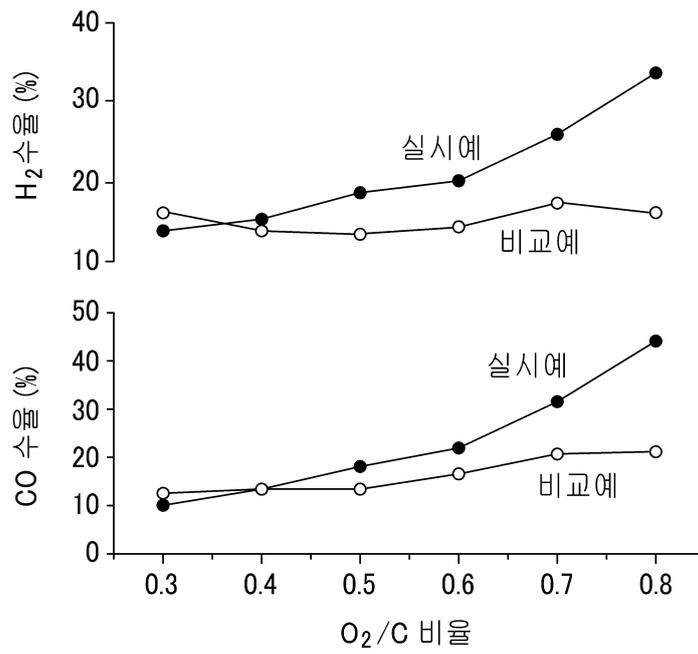
도면7



도면8



도면9



도면10

