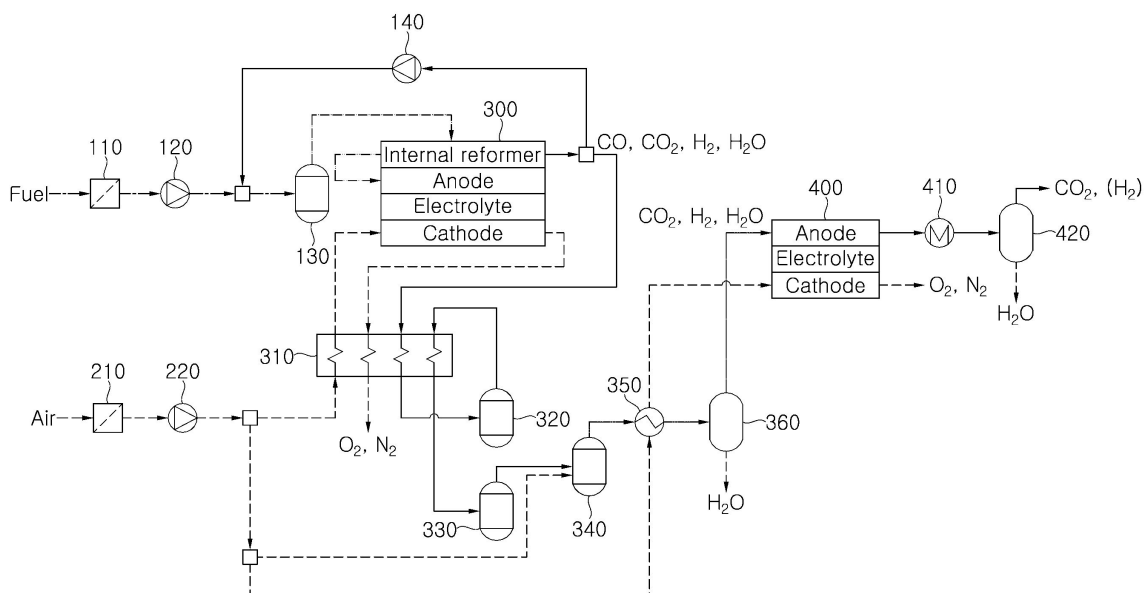


- 전체 청구항 수 : 총 20 항

(57) 요약

본 발명에 따른 다단 연료전지 시스템은, 내부 개질 공정을 포함하며 전기화학적 반응에 의해 전력을 생산하는 제1 연료전지; 상기 제1 연료전지로부터 배출되는 출구가스에 포함된 수소를 연료로 사용하여 전기화학적 반응에 의해 전력을 생산하는 제2 연료전지; 및 상기 제1 연료전지의 양극으로부터 배출된 출구가스를 정제하여 상기 제2 연료전지의 양극으로 공급하는 출구가스 정제장치;를 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

H01M 8/04014 (2013.01)
H01M 8/04097 (2013.01)
H01M 8/04164 (2013.01)
H01M 8/0637 (2013.01)
H01M 8/0668 (2013.01)
H01M 8/249 (2013.01)
C01B 2203/0288 (2013.01)
H01M 2008/1095 (2013.01)
H01M 2008/1293 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

내부 개질 공정을 포함하며 전기화학적 반응에 의해 전력을 생산하는 제1 연료전지;

상기 제1 연료전지로부터 배출되는 출구가스에 포함된 수소를 연료로 사용하여 전기화학적 반응에 의해 전력을 생산하는 제2 연료전지; 및

상기 제1 연료전지의 양극으로부터 배출된 출가스를 정제하여 상기 제2 연료전지의 양극으로 공급하는 출가스 정제장치;를 포함하는, 다단 연료전지 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 제1 연료전지는, 고체 산화물 연료전지이고,

상기 제2 연료전지는, 고분자 전해질 연료전지인, 다단 연료전지 시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 제1 연료전지의 양극으로부터 배출된 출가스의 일부를 상기 제1 연료전지의 반응물로 재순환시키는 회수 블로워;를 더 포함하는, 다단 연료전지 시스템.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 연료를 상기 제1 연료전지에서 내부 개질반응시키기 전에, 상기 제1 연료전지의 상류에서 연료의 일부를 수소로 전환시키는 외부 개질기;를 더 포함하는, 다단 연료전지 시스템.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 출가스 정제장치는,

상기 제1 연료전지로부터 배출되는 출가스의 열에너지를 회수하는 열교환기;

상기 열교환기에서 폐열이 회수된 양극 출가스에 포함된 수소의 농도를 증폭시키는 반응기;를 포함하는, 다단 연료전지 시스템.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 출가스 정제장치는,

상기 반응기로부터 제2 연료전지로 공급되는 출가스의 폐열을 회수하여 상기 출가스에 포함된 수분을 응축시키는 공기 가열기; 및

상기 공기 가열기에 의해 응축된 수분을 상기 출가스로부터 기액분리시키는 응축수 분리기;를 더 포함하는, 다단 연료전지 시스템.

청구항 7

청구항 5에 있어서,

상기 반응기는,

상기 제1 연료전지로부터 배출되는 출구가스를 수성가스 변환반응시켜, 상기 출구가스에 포함된 일산화탄소를 수소로 변환하는 수성가스 변환 반응기;를 포함하는, 다단 연료전지 시스템.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 수성가스 변환 반응기는,

상기 열교환기로부터 폐열이 회수된 고온의 출가를스를 수성가스 변환반응시켜 상기 출가스에 포함된 일산화탄소를 수소로 변환하는 고온 반응기; 및

상기 고온 반응기에서 수성가스 변환반응 후 상기 열교환기에서 폐열이 더 회수된 저온의 출가를스를 수성가스 변환반응시켜, 상기 출가스에 잔류하고 있는 일산화탄소를 수소로 더 변환시키는 저온 반응기;를 포함하는, 다단 연료전지 시스템.

청구항 9

청구항 6 또는 7에 있어서,

상기 반응기는,

선택적 산화반응에 의해 상기 제1 연료전지로부터 배출되는 출가스에 포함된 일산화탄소를 선택적으로 분리하는 산화 반응기;를 포함하는, 다단 연료전지 시스템.

청구항 10

청구항 1에 있어서,

상기 제2 연료전지의 양극으로부터 배출되는 양극 출가스에 포함된 수분을 응축시키는 후단 응축기; 및

상기 후단 응축기에서 응축된 수분을 상기 양극 출가스에 포함된 기상의 이산화탄소로부터 분리하는 후단 분리기;를 더 포함하는, 다단 연료전지 시스템.

청구항 11

청구항 1에 있어서,

상기 출가스 정제장치에 의해 상기 출가스에 포함된 일산화탄소가 제거되고,

상기 출가스 정제장치에 의해 일산화탄소가 제거된 출가스를 제2 연료전지로 공급하기 전에, 상기 일산화탄소가 제거된 출가스에 포함된 이산화탄소를 분리제거하는 수소 정제장치;를 더 포함하는, 다단 연료전지 시스템.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 수소 정제장치는,

PSA(pressure swing adsorption) 장치 또는 흡수식 포집 장치인, 다단 연료전지 시스템.

청구항 13

연료를 공급받아 내부 개질에 의해 수소를 생성하고, 생성된 수소를 이용하여 전력을 생산하는 제1 연료전지 발전 단계;

상기 제1 연료전지 발전 단계로부터 배출되는 출가스에 포함된 수소를 연료로 사용하여 전력을 생산하는 제2 연료전지 발전 단계; 및

상기 제1 연료전지 발전 단계로부터 배출된 양극 출가스를 정제하여 상기 제2 연료전지의 양극으로 공급하는 출가스 정제 단계;를 포함하는, 친환경 발전 방법.

청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 연료를 제1 연료전지 발전 단계로 공급하기 전에, 상기 양극 출구가스에 포함된 수분을 이용하여 상기 연료의 일부를 수소로 전환시키는 외부 개질 단계;를 더 포함하는, 친환경 발전 방법.

청구항 15

청구항 13에 있어서,

상기 출구가스 정제 단계는,

상기 제1 연료전지 발전 단계에서 배출되는 출가스의 열에너지를 회수하여 상기 제1 연료전지 발전 단계로 공급하는 공기를 가열하는 열 회수 단계; 및

상기 열 회수 단계에서 폐열이 회수된 양극 출구가스에 포함된 수소의 농도를 증폭시키는 수소 증폭 단계;를 포함하는, 친환경 발전 방법.

청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 출구가스 정제 단계는,

상기 수소 증폭 단계에서 수소의 농도가 증폭된 출구가스에 포함된 수분을 제거하는 수분 제거 단계;를 포함하는, 친환경 발전 방법.

청구항 17

청구항 15에 있어서,

상기 수소 증폭 단계는,

상기 양극 출구가스에 포함된 일산화탄소를 수성가스 변환반응에 의해 수소로 변환시키는 수성가스 변환 단계;를 포함하는, 친환경 발전 방법.

청구항 18

청구항 15 또는 17에 있어서,

상기 수소 증폭 단계는,

상기 양극 출구가스에 포함된 일산화탄소를 선택적 촉매에 의해 분리 제거하는 선택적 촉매 분리단계;를 포함하는, 친환경 발전 방법.

청구항 19

청구항 13에 있어서,

상기 제2 연료전지로부터 배출되는 출구가스에 포함된 수분과 이산화탄소를 분리하여 이산화탄소 기체만을 포집하는 후단 이산화탄소 포집 단계;를 더 포함하는, 친환경 발전 방법.

청구항 20

청구항 13에 있어서,

상기 출구가스 정제 단계에서 정제된 출가스를 제2 연료전지 발전 단계로 공급하기 전에, 상기 정제된 출구가스에 포함된 이산화탄소를 분리제거하는 전단 이산화탄소 포집 단계;를 더 포함하는, 친환경 발전 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 연료전지 시스템과 연료전지 시스템을 이용한 발전 방법에 있어서, 이산화탄소 배출량을 감소시키거나 완전히 포집할 수 있으면서도, 발전 효율을 높일 수 있는 다단 연료전지 시스템 및 친환경 발전 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 지구 온난화 현상이 심화됨에 따라, 전 세계적으로 온실가스 배출을 감축하려는 노력이 지속되고 있다. 그 노력의 일환으로, 발전시스템의 효율을 높게 하면서도 이산화탄소의 배출을 저감하기 위한 다양한 연구가 수행되고 있다.

[0003] 그 중 연료전지는 타 신재생에너지에 비해 효율이 높으며, 부지확보의 어려움이 적고, 화학적인 형태로 전기 에너지를 저장할 수 있다는 점에서 주목받고 있다. 특히 수소를 연료로 사용하는 수소 연료전지는, 기존 연료 연소엔진 대비 효율이 높고, 이산화탄소의 배출량이 적어 온실가스 저감 노력에 부합할 것으로 기대되고 있다.

[0004] 연료전지는 사용되는 전해질의 종류에 따라, 인산 연료전지, 용융 탄산염 연료전지, 고체 산화물 연료전지, 고분자 전해질 연료전지, 알칼리 연료전지 등으로 분류된다. 이들은 근본적으로 동일한 원리에 의해 작동되지만, 사용되는 연료의 종류, 운전 온도, 촉매, 전해질 등이 각각 다르다.

[0005] 특히, 고체 산화물 연료전지(SOFC; Solid Oxide Fuel Cell)는, 고체상의 세라믹을 전해질로 사용하여 약 600 내지 1,000℃의 고온에서 수소와 산소의 전기화학반응에 의해 전기를 생산하는 연료전지이다. 고체 산화물 연료전지는 천연가스, 석탄가스, 메탄올 등 다양한 연료를 사용할 수 있으며, 현존하는 발전 기술 중 발전 효율이 가장 높고 경제성이 우수하다는 장점이 있다. 또한, 연소과정이 없고 연료에서 전기로 직접 발전되기 때문에 소음 및 대기오염 물질 배출이 적다.

[0006] 한편, 고분자 전해질 연료전지(PEMFC; Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)는, 수소이온을 전도할 수 있는 나피온(nafion)이라는 고분자 전해질막을 사용하는데, 이 전해질막을 유지시키기 위해 약 100℃ 미만의 온도에서 수소와 산소의 전기화학반응에 의해 전기를 생산하는 연료전지이다. 고분자 전해질 연료전지는 운전온도가 낮고 시동과 부하 반응시간이 빠르다는 장점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 고체산화물 연료전지는, 작동온도가 고온이므로 시스템 내부에서 개질이 가능하며 따라서 천연가스를 연료로서 직접 공급받을 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 천연가스를 직접 연료로 사용하므로 필연적으로 이산화탄소 배출이 야기되므로, 배출 이산화탄소를 제거할 수 있는 방안이 요구되고 있다.

[0008] 또한, 고분자 전해질 연료전지의 전극은 촉매의 활성이 중요하므로 촉매로서 백금(platinum)을 사용하는데, 연료극으로 공급되는 연료의 일산화농도가 높거나 연료에 황이 포함되어 있으면, 백금표면에 피독 현상이 발생하므로 성능이 현저히 떨어진다. 즉, 고분자 전해질 연료전지는 연료로서 순도 99.99% 이상의 수소를 사용해야 하고, 연료의 일산화탄소의 농도는 1ppm 이하가 유지되어야 한다. 따라서, 연료전지로 수소 연료를 공급하기 위해서는 고순도의 수소를 생산하여 직접 공급하는 수소 생산 설비가 필요하다.

[0009] 본 발명은, 상술한 고체산화물 연료전지와 고분자 전해질 연료전지 등 서로 다른 타입의 연료전지를 다단으로 구성하여, 서로의 단점을 보완하면서도 발전 효율은 높이고 이산화탄소 배출은 최소화할 수 있는 다단 연료전지 시스템 및 친환경 발전 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 측면에 의하면, 내부 개질 공정을 포함하며 전기화학적 반응에 의해 전력을 생산하는 제1 연료전지; 상기 제1 연료전지로부터 배출되는 출구가스에 포함된 수소를 연료로 사용하여 전기화학적 반응에 의해 전력을 생산하는 제2 연료전지; 및 상기 제1 연료전지의 양극으로부터 배출된 출가스를 정제하여 상기 제2 연료전지의 양극으로 공급하는 출구가스 정제장치;를 포함하는, 다단 연료전지 시스템이 제공된다.

[0011] 바람직하게는, 상기 제1 연료전지는, 고체 산화물 연료전지이고, 상기 제2 연료전지는, 고분자 전해질 연료전지일 수 있다.

- [0012] 바람직하게는, 상기 제1 연료전지의 양극으로부터 배출된 출구가스의 일부를 상기 제1 연료전지의 반응물로 재순환시키는 회수 블로워;를 더 포함할 수 있다.
- [0013] 바람직하게는, 상기 연료를 상기 제1 연료전지에서 내부 개질반응시키기 전에, 상기 제1 연료전지의 상류에서 연료의 일부를 수소로 전환시키는 외부 개질기;를 더 포함할 수 있다.
- [0014] 바람직하게는, 상기 출구가스 정제장치는, 상기 제1 연료전지로부터 배출되는 출구가스의 열에너지를 회수하는 열교환기; 상기 열교환기에서 폐열이 회수된 양극 출구가스에 포함된 수소의 농도를 증폭시키는 반응기;를 포함할 수 있다.
- [0015] 바람직하게는, 상기 출구가스 정제장치는, 상기 반응기로부터 제2 연료전지로 공급되는 출구가스의 폐열을 회수하여 상기 출구가스에 포함된 수분을 응축시키는 공기 가열기; 및 상기 공기 가열기에 의해 응축된 수분을 상기 출구가스로부터 기액분리시키는 응축수 분리기;를 더 포함할 수 있다.
- [0016] 바람직하게는, 상기 반응기는, 상기 제1 연료전지로부터 배출되는 출구가스를 수성가스 변환반응시켜, 상기 출구가스에 포함된 일산화탄소를 수소로 변환하는 수성가스 변환 반응기;를 포함할 수 있다.
- [0017] 바람직하게는, 상기 수성가스 변환 반응기는, 상기 열교환기로부터 폐열이 회수된 고온의 출구가스를 수성가스 변환반응시켜 상기 출구가스에 포함된 일산화탄소를 수소로 변환하는 고온 반응기; 및 상기 고온 반응기에서 수성가스 변환반응 후 상기 열교환기에서 폐열이 더 회수된 저온의 출구가스를 수성가스 변환반응시켜, 상기 출구가스에 잔류하고 있는 일산화탄소를 수소로 더 변환시키는 저온 반응기;를 포함할 수 있다.
- [0018] 바람직하게는, 상기 반응기는, 선택적 산화반응에 의해 상기 제1 연료전지로부터 배출되는 출구가스에 포함된 일산화탄소를 선택적으로 분리하는 산화 반응기;를 포함할 수 있다.
- [0019] 바람직하게는, 상기 제2 연료전지의 양극으로부터 배출되는 양극 출구가스에 포함된 수분을 응축시키는 후단 응축기; 및 상기 후단 응축기에서 응축된 수분을 상기 양극 출구가스에 포함된 기상의 이산화탄소로부터 분리하는 후단 분리기;를 더 포함할 수 있다.
- [0020] 바람직하게는, 상기 출구가스 정제장치에 의해 상기 출구가스에 포함된 일산화탄소가 제거되고, 상기 출구가스 정제장치에 의해 일산화탄소가 제거된 출구가스를 제2 연료전지로 공급하기 전에, 상기 일산화탄소가 제거된 출구가스에 포함된 이산화탄소를 분리제거하는 수소 정제장치;를 더 포함할 수 있다.
- [0021] 바람직하게는, 상기 수소 정제장치는, PSA(pressure swing adsorption) 장치 또는 흡수식 포집 장치일 수 있다.
- [0022] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 일 측면에 의하면, 연료를 공급받아 내부 개질에 의해 수소를 생성하고, 생성된 수소를 이용하여 전력을 생산하는 제1 연료전지 발전 단계; 상기 제1 연료전지 발전 단계로부터 배출되는 출구가스에 포함된 수소를 연료로 사용하여 전력을 생산하는 제2 연료전지 발전 단계; 및 상기 제1 연료전지 발전 단계로부터 배출된 양극 출구가스를 정제하여 상기 제2 연료전지의 양극으로 공급하는 출구가스 정제 단계;를 포함하는, 친환경 발전 방법이 제공된다.
- [0023] 바람직하게는, 상기 연료를 제1 연료전지 발전 단계로 공급하기 전에, 상기 양극 출구가스에 포함된 수분을 이용하여 상기 연료의 일부를 수소로 전환시키는 외부 개질 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [0024] 바람직하게는, 상기 출구가스 정제 단계는, 상기 제1 연료전지 발전 단계에서 배출되는 출구가스의 열에너지를 회수하여 상기 제1 연료전지 발전 단계로 공급하는 공기를 가열하는 열 회수 단계; 및 상기 열 회수 단계에서 폐열이 회수된 양극 출구가스에 포함된 수소의 농도를 증폭시키는 수소 증폭 단계;를 포함할 수 있다.
- [0025] 바람직하게는, 상기 출구가스 정제 단계는, 상기 수소 증폭 단계에서 수소의 농도가 증폭된 출구가스에 포함된 수분을 제거하는 수분 제거 단계;를 포함할 수 있다.
- [0026] 바람직하게는, 상기 수소 증폭 단계는, 상기 양극 출구가스에 포함된 일산화탄소를 수성가스 변환반응에 의해 수소로 변환시키는 수성가스 변환 단계;를 포함할 수 있다.
- [0027] 바람직하게는, 상기 수소 증폭 단계는, 상기 양극 출구가스에 포함된 일산화탄소를 선택적 촉매에 의해 분리 제거하는 선택적 촉매 분리단계;를 포함할 수 있다.
- [0028] 바람직하게는, 상기 제2 연료전지로부터 배출되는 출구가스에 포함된 수분과 이산화탄소를 분리하여 이산화탄소 기체만을 포집하는 후단 이산화탄소 포집 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0029] 바람직하게는, 상기 출구가스 정제 단계에서 정제된 출가스를 제2 연료전지 발전 단계로 공급하기 전에, 상기 정제된 출가스에 포함된 이산화탄소를 분리제거하는 전단 이산화탄소 포집 단계;를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0030] 본 발명에 따른 다단 연료전지 시스템 및 친환경 발전 방법은, 기존에는 단독공정으로만 사용하던 서로 다른 타입의 연료전지를 다단으로 구성하여 복합적으로 운영함으로써, 각 연료전지의 단점을 상호 보완할 수 있으면서, 발전 효율은 향상시킬 수 있다.

[0031] 또한, 별도의 장치 없이도 배출되는 이산화탄소를 분리해내고, 100% 포집할 수 있어 온실가스 배출 저감에 효과적이다.

[0032] 특히, 수소 정제 장치를 이용하여 후단 연료전지로 공급되는 출가스에 포함된 이산화탄소를 분리해내면 온실가스 배출 저감에 더 효과적이다.

[0033] 또한, 전단 연료전지로부터 배출된 버려지는 부산물(출가스)을 이용하여 후단 연료전지의 연료로 사용함으로써 추가 전력을 생산할 수 있다.

[0034] 또한, 전단 연료전지로부터 배출된 버려지는 고온의 열을 회수하여 고순도의 수소를 생산하는데 활용함으로써, 생산된 수소를 이용하여 추가로 전력을 생산할 수 있으므로 경제적이고 효율적이다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다단 연료전지 시스템의 공정 구성을 간략하게 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 수소 정제 장치를 설명하기 위하여 다단 연료전지 시스템의 공정 구성 일부를 간략하게 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 수소 정제 장치를 설명하기 위하여 다단 연료전지 시스템의 공정 구성 일부를 간략하게 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0036] 본 발명의 동작상 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부도면 및 첨부도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.

[0037] 이하 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 구성 및 작용을 상세히 설명하면 다음과 같다. 여기서 각 도면의 구성요소들에 대해 참조 부호를 부가함에 있어 동일한 구성요소들에 한해서는 비록 다른 도면 상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호로 표기되었음에 유의하여야 한다.

[0039] 후술하는 본 발명의 일 실시예들에 있어서, 연료전지로 공급하는 연료는, 수소를 포함하는 화합물 또는 탄화수소 화합물일 수 있다. 예를 들어, LNG(Liquefied Natural Gas), LEG(Liquefied Ethane Gas), LPG(Liquefied Petroleum Gas), 액화에틸렌가스(Liquefied Ethylene Gas), 액화프로필렌가스(Liquefied Propylene Gas) 등과 같은 탄화수소 계열의 액화가스를 기화시킨 가스 또는 개질이나 분리 등의 공정에 의해 수소를 생산할 수 있는, 화학구조상 수소분자를 포함하고 있는 액화가스일 수 있다. 다만, 후술하는 실시예들에서는 대표적인 연료로서 LNG가 적용되는 것을 예로 들어 설명하기로 한다.

[0040] 또한, 본 발명의 일 실시예들에 있어서, 연료는 액화가스 상태로 저장되어 있을 수 있다. 다만, 액화가스를 연료전지의 연료로 공급하기 위하여 기화시키는 장비를 더 포함할 수 있으며, 액화가스를 기화시켜 연료전지의 연료로 공급할 수 있고, 액화가스가 자연기화하여 발생한 증발가스를 연료전지의 연료로 공급할 수도 있음은 물론이다.

[0041] 또한, 본 발명의 일 실시예들은 육상에서 적용될 수 있고, 선박에서 적용될 수도 있다. 선박은, LNG, LPG, 액화수소, 암모니아 등 상술한 액화가스를 추진용 엔진의 연료 또는 발전용 엔진의 연료로 사용할 수 있는 엔진이 설치된 모든 종류의 선박일 수 있다. 또한, 액화가스를 연료로 사용하는 선박이라면 그 형태를 불문하고 본 발명의 일 실시예에 따른 선박에 적용될 수 있다. 예를 들어, LNG 운반선(LNG Carrier), 액화수소 운반선, LNG RV(Regasification Vessel)와 같은 자체 추진 능력을 갖는 선박을 비롯하여, LNG FPSO(Floating Production

Storage Offloading), LNG FSRU(Floating Storage Regasification Unit)와 같이 추진 능력을 갖지는 않지만 해상에 부유하고 있는 해상 구조물을 포함할 수 있다.

- [0043] 이하, 도 1 내지 도 3을 참조하여 본 발명의 일 실시예들에 따른 다단 연료전지 시스템 및 친환경 발전 방법을 설명하기로 한다.
- [0044] 먼저 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 다단 연료전지 시스템은, 내부 개질 공정(internal reformer)을 포함하며 전기화학적 반응에 의해 전력을 생산하는 제1 연료전지(300)와, 제1 연료전지(300)로부터 배출되는 출구가스에 포함된 수소를 연료로 사용하여 전기화학적 반응에 의해 전력을 생산하는 제2 연료전지(400)를 포함한다.
- [0045] 제1 연료전지(300)와 제2 연료전지(400)는 서로 다른 타입의 연료전지이며, 본 실시예에서 제1 연료전지(300)는 고체 산화물 연료전지(SOFC; Solid Oxide Fuel Cell)이고, 제2 연료전지(400)는 고분자 전해질 연료전지(PEMFC; Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)이다.
- [0046] 본 실시예에 따른 다단 연료전지 시스템은, 이와 같이 서로 다른 종류의 연료전지, 즉, 고온에서 작동하는 고온형 연료전지인 고체 산화물 연료전지(300) 및 상대적으로 저온에서 작동하는 저온형 연료전지인 고분자 전해질 연료전지(400)를 포함한다.
- [0047] 고체 산화물 연료전지(300)의 작동압력은 상압이고, 작동온도는 약 600 내지 1,000℃ 또는 약 700 내지 800℃일 수 있다.
- [0048] 고분자 전해질 연료전지(400)의 작동온도는 약 100℃ 미만일 수 있다.
- [0049] 또한, 고체 산화물 연료전지(300)는 고온에서 작동하여 내부 개질이 가능하므로, 천연가스를 연료로 공급받아 연료전지 내부에서 천연가스를 개질반응시켜 수소를 생성하고, 생성된 수소를 전기화학적 반응의 반응물로 사용한다.
- [0050] 고분자 전해질 연료전지(400)는 고체 산화물 연료전지(300)의 작동 온도보다는 낮은 온도에서 작동하며 내부 개질 기능을 포함하지 않고, 고체 산화물 연료전지(300)의 출구가스에 포함된 수소를 공급받아 전기화학적 반응의 반응물로 사용한다.
- [0051] 본 실시예에 따른 다단 연료전지 시스템은, 제1 연료전지(300)로 공급할 연료, 즉 천연가스(natural gas)를 가압하여 제1 연료전지(300)로 공급하는 연료 압축기(120)와, 공기(air)를 가압하여 제1 연료전지(300)의 공기극(cathode)로 공급하는 공기 압축기(220)와, 제1 연료전지(300)로부터 배출된 출가스를 제2 연료전지(400)의 연료로 공급하기 위하여 제1 연료전지(300)의 출가스를 정제하는 출가스 정제장치를 더 포함한다.
- [0052] 제1 연료전지(300), 즉 본 실시예에서 고체 산화물 연료전지(300)는 상압에서 작동하므로, 본 실시예의 연료 압축기(120) 및 공기 압축기(220)는 블로워(blower)일 수 있다.
- [0053] 본 실시예에 따르면, 연료 압축기(120)의 상류에는 연료 압축기(120)로 공급되는 천연가스에 포함된 이물질을 제거하는 연료 필터(110)가 구비되고, 공기 압축기(220) 상류에는 공기 압축기(220)로 공급되는 공기에 포함된 이물질을 제거하는 공기 필터(210)가 각각 구비될 수 있다.
- [0054] 또한, 본 실시예에 따르면, 연료 압축기(120)와 제1 연료전지(300) 사이에는, 천연가스가 제1 연료전지(300)의 내부 개질 공정으로 공급되기 전에, 제1 연료전지(300)의 외부에서 천연가스를 개질반응시켜 천연가스의 일부를 수소로 전환하는 외부 개질기(130)가 더 구비될 수 있다.
- [0055] 제1 연료전지(300)는, 내부 개질부(internal reformer), 양극(anode), 전해질(electrolyte) 및 음극(cathode)으로 구성된다.
- [0056] 천연가스는 제1 연료전지(300)의 내부 개질부로 공급되어 개질반응에 의해 수소가 생산되고, 생산된 수소는 양극으로 이동한다. 또한, 공기는 제1 연료전지(300)의 음극으로 공급된다.
- [0057] 제1 연료전지(300)의 음극에서는 음극으로 공급된 공기 중의 산소가 양극에서 발생한 전자를 얻어 환원반응이 일어나 산소 이온이 발생한다. 양극에서 생성된 전자는 도선을 통해 음극으로 이동하며 산소 이온은 전해질을 통해 양극으로 이동하여 수소와 결합함으로써 물과 전자가 생성된다.

- [0058] 제1 연료전지(300)에서의 전기화학적 반응에 의해, 양극으로부터는 일산화탄소(CO)와, 이산화탄소(CO₂)와, 미반응 수소(H₂)와, 물(H₂O)을 포함하는 출구가스가 배출되고, 음극으로부터는 산소(O₂)와 질소(N₂)를 포함하는 출구가스가 배출된다.
- [0059] 본 실시예에 따르면, 제1 연료전지(300)의 출구가스, 특히 양극 출가스는 출가스 정제장치를 통해 정제된 후 제2 연료전지(400)의 양극으로 공급된다.
- [0060] 또한, 본 실시예에 따르면, 제1 연료전지(300)의 양극 출가스를 제1 연료전지(300)로 재순환시키는 회수 블로워(140)를 더 포함할 수 있다.
- [0061] 회수 블로워(140)에 의해 제1 연료전지(300)의 양극 출가스 중 적어도 일부는 제1 연료전지(300)로 재순환될 수 있으며, 회수되는 양극 출가스는 제1 연료전지(300) 상류의 외부 개질기(130)로 회수될 수 있다.
- [0062] 제1 연료전지(300)의 양극 출가스에는 수분(H₂O)이 포함되어 있고 개질반응에는 수분을 필요로 하므로, 양극 출가스를 외부 개질기(130)로 재순환시킴으로써, 외부 개질기(130) 및 내부개질부에서의 개질반응의 반응물로 사용한다.
- [0063] 제1 연료전지(300)의 음극 출가스는 후술하는 열교환기(310)에서 폐열이 회수된 후 공기 중으로 방출될 수 있다. 음극 출가스는 산소와 질소로 이루어져 있으므로, 공기로 방출하여도 무방하나, 제1 연료전지(300)의 작동 온도는 1,000℃까지도 달할 수 있는 고온이므로, 열교환기(310)에서 그 폐열을 회수하면서 냉각시켜 배출한다.
- [0064] 본 실시예에 따른 출가스 정제장치는, 제1 연료전지(300)에서 반응에 의해 생성된 출가스의 열에너지를 회수하는 열교환기(310)와, 열교환기(310)에서 폐열이 회수된 제1 연료전지(300)의 양극 출가스에 포함된 일산화탄소를 제거하고 수소의 농도를 증폭시킨 일산화탄소 제거가스를 생성하는 반응기(320, 330, 340)와, 반응기(320, 330, 340)로부터 제2 연료전지(400)로 공급되는 일산화탄소 제거가스의 폐열을 회수하는 공기 가열기(350)와, 일산화탄소 제거가스에 포함되어 있던 수분을 기액분리에 의해 일산화탄소 제거가스로부터 분리배출시키는 응축수 분리기(360)를 더 포함할 수 있다.
- [0065] 본 실시예의 열교환기(310)에서는, 제1 연료전지(300)의 양극 출가스의 폐열과, 음극 출가스의 폐열과, 반응기(320, 330, 340)로부터의 출가스 폐열을 회수하여, 제1 연료전지(300)로 공급되는 공기를 가열한다.
- [0066] 본 실시예의 열교환기(310)는, 제1 연료전지(300)의 음극으로 공급되는 공기와, 제1 연료전지(300)로부터 반응기(320, 330, 340)로 공급되는 양극 출가스와, 제1 연료전지(300)로부터 배출되는 음극 출가스와, 반응기(320, 330, 340), 특히 후술할 고온 반응기(320)로부터 저온 반응기(330)로 공급되는 출가스가 열교환하는 4 스트림 열교환기일 수 있다.
- [0067] 본 실시예의 반응기는, 열교환기(310)에서 폐열이 회수된 제1 연료전지(300)의 양극 출가스에 포함된 일산화탄소를 수성가스 변환반응(wet gas shift reaction)에 의해 수소로 변환하는 수성가스 변환 반응기(320, 330)와, 수성가스 변환 반응기(320, 330)에 의해 일산화탄소의 대부분이 수소로 변환된 일산화탄소 희박가스에 포함된 나머지 일산화탄소를 선택적 산화반응(PROX; PReferential CO(carbon monoxide) OXidation)에 의해 제거하는 산화 반응기(340)를 포함한다.
- [0068] 고분자 전해질 연료전지(400)에서는 고순도의 수소 연료를 필요로 하나, 최근 실험에 따르면 수명저하 문제가 있지만 저순도의 수소연료도 사용 가능한 것으로 알려져 있다.
- [0069] 본 실시예에 따르면 반응기(320, 330, 340)를 이용하여 제1 연료전지(300)의 양극 출가스를 수소가 풍부한 일산화탄소 제거가스 또는 99.99%의 수소로 변환시켜 제2 연료전지(400)로 공급한다.
- [0070] 본 실시예의 수성가스 변환 반응기(320, 330)는, 제1 연료전지(300)의 양극으로부터 배출된 고온의 출가스를 수성가스 변환반응시키는 고온 반응기(320)와, 고온 반응기(320)에서 1차로 수성가스 변환반응이 일어난 후 열교환기(310)에서 폐열이 더 회수된 저온의 출가스를 수성가스 변환반응시키는 저온 반응기(330)를 포함한다.
- [0071] 수성가스 변환반응은 다음과 같다.
- [0072]
$$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$$
- [0073] 고온 반응기(320)에서는, 열교환기(310)에서 1차로 폐열이 회수된, 고온의 제1 연료전지(300) 양극 출가스를

수성가스 변환반응시킨다.

- [0074] 고온 반응기(320)에서 수성가스 변환반응에 의해 일산화탄소의 일부가 수소로 변환된 출구가스는, 열교환기(310)로 공급되고, 열교환기(310)에서 폐열이 회수된 후, 저온 반응기(330)로 공급된다.
- [0075] 저온 반응기(320)에서는, 열교환기(310)에서 폐열이 회수된 저온의 고온 반응기 출가스를 수성가스 변환반응시킨다.
- [0076] 저온 반응기(320)에서 수성가스 변환반응에 의해 일산화탄소의 대부분이 수소로 변환된 일산화탄소 회박가스는 산화 반응기(340)로 공급된다. 도 1에 도시된 바와 같이, 산화 반응기(340)에는 일산화탄소의 산화반응에 필요한 공기가 공급된다.
- [0077] 본 실시예의 산화 반응기(340)에는 일산화탄소의 선택적 촉매가 충전되어 있고, 촉매의 일산화탄소 선택적 산화반응에 의해, 일산화탄소 회박가스에 포함된 나머지 일산화탄소를 제거할 수 있다.
- [0078] 산화 반응기(340)에서 생성된 일산화탄소 제거가스는 공기 가열기(350)로 공급된다.
- [0079] 공기 가열기(350)에서는, 산화 반응기(340)에서 생성된 일산화탄소 제거가스와, 공기 압축기(220)로부터 제2 연료전지(400)의 공기극(음극)으로 공급되는 공기를 열교환시켜, 일산화탄소 제거가스의 폐열을 회수하여 일산화탄소 제거가스와 제2 연료전지(400)의 음극으로 공급되는 공기를 제2 연료전지(400)에서 요구하는 온도로 조절할 수 있다.
- [0080] 공기 가열기(350)에서 열교환에 의해 가열된 공기는 제2 연료전지(400)의 음극으로 공급된다.
- [0081] 한편, 산화 반응기(340)로부터 배출되는 일산화탄소 제거가스에는 수분이 남아있을 수 있고, 공기 가열기(350)에서 폐열이 회수되면서, 일산화탄소 제거가스에 남아있던 수분은 액상으로 응축된다.
- [0082] 본 실시예에 따르면, 공기 가열기(350)와 제2 연료전지(400) 사이에는, 공기 가열기(350)에서 폐열이 회수되면서 응축된 수분을 일산화탄소 제거가스로부터 분리제거하는 응축수 분리기(360)가 더 구비될 수 있다.
- [0083] 응축수 분리기(360)에서 기액분리된 응축수는 응축수 분리기(360)의 하부로 배출되고, 응축수가 분리된 기체 상태의 일산화탄소 제거가스는 제2 연료전지(400)의 양극으로 공급된다.
- [0084] 응축수 분리기(360)로부터 제2 연료전지(400)의 양극으로 공급되는 일산화탄소 제거가스는 습도 100%의 이산화탄소-수소 혼합기체일 수 있다.
- [0085] 제2 연료전지(400)에서는 제1 연료전지(300)와 달리, 양극으로 공급된 수소 기체의 산화반응에 의해 수소 이온과 전자가 발생한다. 양극에서 생성된 전자는 도선을 통해 음극으로 이동하고 수소 이온은 전해질을 통해 음극으로 이동하여 음극으로 공급된 공기 중의 산소와 결합함으로써 물이 생성된다.
- [0086] 단, 제2 연료전지(400)는 내부 개질부를 포함하지 않으며, 개질반응은 일어나지 않는다.
- [0087] 제2 연료전지(400)에서의 전기화학적 반응에 의해, 양극으로부터는 습도 100%의 이산화탄소(CO_2)로 이루어진 출구가스가 배출될 수 있고, 음극으로부터는 산소(O_2), 질소(N_2) 및 물(H_2O)을 포함하는 출구가스가 배출된다. 제2 연료전지(400)의 양극 출가스에는 미반응 수소(H_2)가 더 포함되어 있을 수 있다.
- [0088] 제2 연료전지(400)의 음극 출가스는 공기 중으로 방출된다. 음극 출가스는 산소, 질소 및 수분으로 이루어져 있으므로, 공기로 방출하여도 무방하다.
- [0089] 저순도의 수소를 연료로 사용할 수 있는 고분자 전해질 연료전지를 활용하는 경우, 이산화탄소를 분리하는 것이 골자이다.
- [0090] 제2 연료전지(400)의 양극 출가스는 이산화탄소와 수분으로 이루어지는데, 본 실시예에 따르면, 양극 출가스로부터 이산화탄소를 포집하기 위한 수단으로서, 제2 연료전지(400)의 양극 출가스에 포함된 수분을 액상으로 응축시키는 후단 응축기(410)와, 후단 응축기(410)에 의해 응축된 액상의 수분과 기상의 이산화탄소를 분리하기 위한 후단 분리기(420)를 더 포함할 수 있다.
- [0091] 후단 분리기(420)에서 분리된 기상의 이산화탄소는 이산화탄소 처리수단 또는 이산화탄소 수요처로 공급될 수 있다.
- [0092] 후단 분리기(420)로부터 배출되는 기체에는 미반응 수소가 일부 포함되어 있을 수 있다. 이 때, 후단 분리기

(420)에서는 액상의 응축수와, 기상의 이산화탄소 또는 기상의 이산화탄소와 수소 혼합물이 분리될 수 있다.

- [0093] 제2 연료전지(400)는 고순도의 수소를 연료로 사용하므로, 반응기(320, 330, 340)와 제2 연료전지(400) 사이에, 반응기(320, 330, 340)로부터 배출되는 일산화탄소 제거가스를 정제하여 제2 연료전지(400)의 전단에서 이산화탄소를 포집함으로써 고순도의 수소를 생산하는 수소 정제장치가 더 구비될 수 있다.
- [0094] 반응기(320, 330, 340)와 제2 연료전지(400) 사이에 수소 정제장치가 더 구비되는 경우, 고순도의 수소가 제2 연료전지(400)로 공급되므로 상술한 후단 응축기(410)와 후단 분리기(420)는 필요로 하지 않을 수 있다.
- [0095] 반응기(320, 330, 340)로부터 배출되는 일산화탄소 제거가스에는, 이산화탄소(CO_2)와, 수소(H_2)와, 물(H_2O)이 함유되어 있으며, 공기 가열기(350)에서 폐열이 회수되면서 물은 응축된다. 즉, 응축수 분리기(360)에서는, 기상의 이산화탄소 및 수소와, 액상의 물이 기액분리된다.
- [0096] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 수소 정제장치는, 응축수 분리기(360)로부터 배출되는 기상의 일산화탄소 제거가스를 압축하는 출구가스 압축기(360)와, 출구가스 압축기(370)에 의해 압축된 일산화탄소 제거가스로부터 수소만을 분리해내는 PSA(Pressure Swing Adsorption) 장치(380)를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0097] PSA 장치(380)에서 분리된 수소는 수소 농후가스(H_2 rich gas)이거나 또는 99.99%의 순도의 수소가스로서, 제2 연료장치(400)의 양극으로 공급된다.
- [0098] 또한, 본 실시예에 따르면, PSA 장치(380)에서 수소로부터 분리된 나머지 가스, 즉, 이산화탄소와 수분을 포함하는 수소 분리가스 중의 수분을 응축시키는 전단 응축기(430)와, 전단 응축기(430)로부터 공급되는 수소 분리가스를 기상의 이산화탄소와 액상의 수분으로 분리하는 전단 분리기(440)가 더 구비될 수 있다.
- [0099] 전단 분리기(440)에서 분리된 기상의 이산화탄소는 이산화탄소 처리수단 또는 이산화탄소 수요처로 공급될 수 있다.
- [0100] 한편, 도 3을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 수소 정제장치는, 용매를 이용하여 이산화탄소를 포집하는 흡수식 포집 장치(solvent based CO_2 capture process)(390)일 수 있다.
- [0101] 응축수 분리기(360)에서 수분이 분리된 일산화탄소 제거가스는, 흡수식 포집 장치(390)로 공급된다.
- [0102] 흡수식 포집장치(390)에서 분리된 수소는 수소 농후가스(H_2 rich gas)이거나 또는 순도 99.99%의 수소가스로서, 제2 연료장치(400)의 양극으로 공급된다.
- [0103] 또한, 흡수식 포집장치(390)에서 수소로부터 분리된 나머지 가스, 즉, 이산화탄소와 수분을 포함하는 수소 분리가스는 전단 응축기(430)와 전단 분리기(440)를 거쳐 전단 분리기(440)에서 분리된 기상의 이산화탄소가 이산화탄소 처리수단 또는 이산화탄소 수요처로 공급될 수 있다.
- [0105] 기존에는, 고체 산화물 연료전지와 고분자 전해질 연료전지 각각의 단독 시스템만이 존재하였고, 고체 산화물 연료전지의 출구가스에 필연적으로 존재하는 이산화탄소를 포집하기 위하여 아민계열의 화학공정 등 복잡한 화학공정이 수행되는 장치나 순산소 연소 등 별도의 이산화탄소 포집기술이 적용되는 장비들을 구비하여야만 했다. 또는, 고체산화물 연료전지로부터 배출되는 출가를스를 연소시켜 열 회수를 위한 열원으로 사용하거나, 타 열기관과 결합하여 발전효율을 높이는데 사용하였다.
- [0106] 그러나, 상술한 본 발명의 일 실시예들에 따르면, 제2 연료전지(400)를 제1 연료전지(300)의 하류에 배치함으로써, 제1 연료전지(300)의 필연적으로 발생하는 이산화탄소를 효과적으로 100% 포집할 수 있고, 추가전력을 생산할 수 있어 발전 효율도 개선할 수 있다.
- [0108] 이상과 같이 본 발명에 따른 실시예를 살펴보았으며, 앞서 설명된 실시예 이외에도 본 발명이 그 취지나 범주에 벗어남이 없이 다른 특정 형태로 구체화될 수 있다는 사실은 해당 기술에 통상의 지식을 가진 이들에게는 자명한 것이다. 그러므로 상술한 실시예는 제한적인 것이 아니라 예시적인 것으로 여겨져야 하고, 이에 따라 본 발명은 상술한 설명에 한정되지 않고, 첨부된 청구항의 범주 및 그 동등 범위 내에서 변경될 수도 있다.

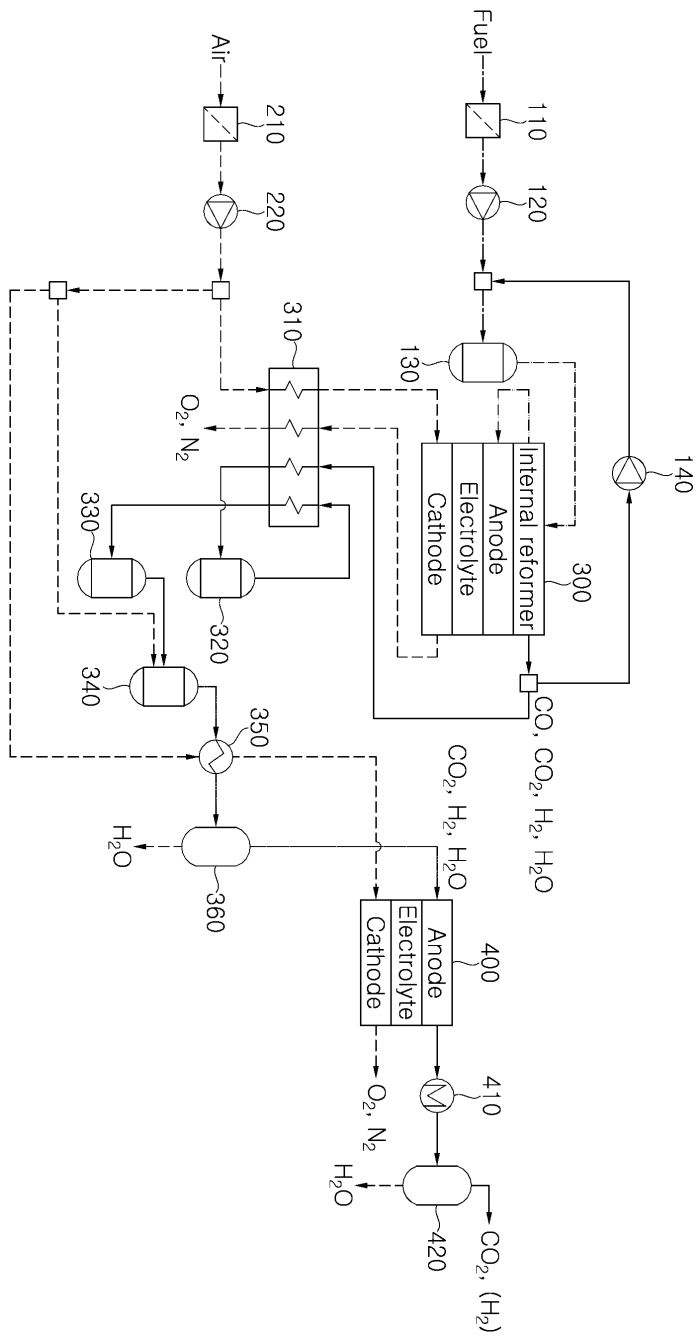
부호의 설명

[0109]

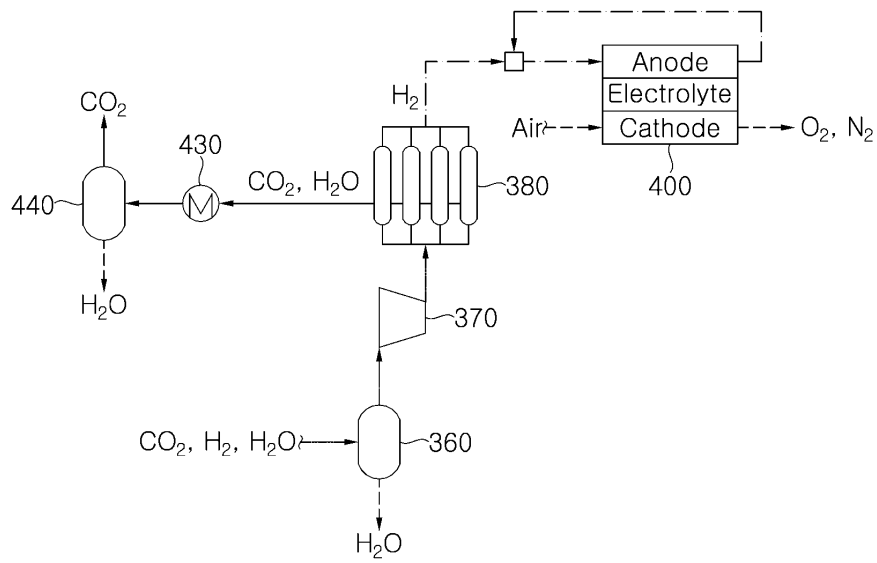
110 : 연료 필터	120 : 연료 압축기
130 : 외부 개질기	140 : 회수 블로워
210 : 공기 필터	220 : 공기 압축기
300 : 제1 연료전지	310 : 열교환기
320 : 고온 반응기	330 : 저온 반응기
340 : 산화 반응기	350 : 공기 가열기
360 : 응축수 분리기	370 : 출구가스 압축기
380, 390 : 수소 정제장치	400 : 제2 연료전지
410 : 후단 응축기	420 : 후단 분리기
430 : 전단 응축기	440 : 전단 분리기

도면

도면1



도면2



도면3

