



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년03월22일  
(11) 등록번호 10-2230639  
(24) 등록일자 2021년03월16일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
HO1M 8/04 (2016.01) FO1K 21/00 (2006.01)  
HO1M 8/06 (2016.01) HO1M 8/14 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
HO1M 8/04097 (2013.01)  
FO1K 21/00 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7026341
- (22) 출원일자(국제) 2014년03월13일  
심사청구일자 2019년03월13일
- (85) 번역문제출일자 2015년09월23일
- (65) 공개번호 10-2015-0131067
- (43) 공개일자 2015년11월24일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2014/025173
- (87) 국제공개번호 WO 2014/151182  
국제공개일자 2014년09월25일
- (30) 우선권주장  
61/787,697 2013년03월15일 미국(US)  
(뒷면에 계속)
- (56) 선행기술조사문헌  
KR1020070057131 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자  
엑손모빌 리서치 앤드 엔지니어링 컴퍼니  
미국 뉴저지 08801-0900 어네틀빌 피.오. 박스  
900 루트 22 이스트 1545
- (72) 발명자  
베를로비츠 폴 제이  
미국 뉴저지주 08826 글렌 가드너 니콜 테라스 4  
마크홀츠 티모시 앤드류  
미국 뉴저지주 08889 화이트하우스 스테이션 존슨  
로드 224  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
제일특허법인(유)

전체 청구항 수 : 총 15 항

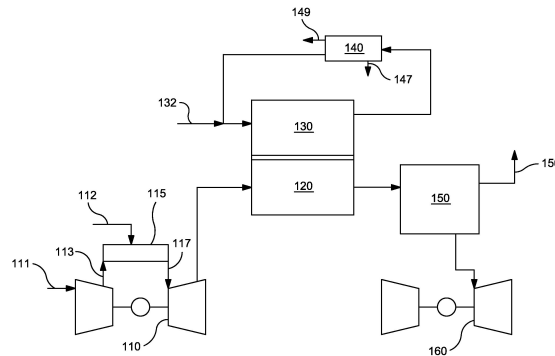
심사관 : 정영훈

(54) 발명의 명칭 통합된 발전 및 연료 전지를 사용한 탄소 포획

(57) 요약

용융 카보네이트 연료 전지(MCFC)를 사용하여 연소 공급원으로부터 CO<sub>2</sub>를 포획하기 위한 시스템 및 방법이 제공된다. 연료 전지는 감소된 애노드 연료 이용률을 갖도록 작동된다. 임의적으로는, 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 연소 공급원의 연료로서 사용하기 위해 재순환시킨다. 임의적으로는, 애노드 배기 가스의 제 2 부분을 애노드 투입물 스트림의 일부로서 사용하기 위해 재순환시킨다. 이는 연소 공급원 배기 가스로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하는데 요구되는 연료 전지 면적의 양을 감소시키고/시키거나 연료 전지가 작동되는 방식을 변화시킬 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

*H01M 8/0618* (2013.01)  
*H01M 8/0631* (2013.01)  
*H01M 8/0637* (2013.01)  
*H01M 8/0662* (2013.01)  
*H01M 8/0668* (2013.01)  
*H01M 2008/147* (2013.01)  
*H01M 2250/407* (2013.01)  
*Y02E 60/50* (2020.08)

(72) 발명자

**허쉬코비츠 프랭크**

미국 뉴저지주 07920 배스킹 릿지 라이온스 로드  
 509

**팔디 알레산드로**

미국 뉴저지주 08801 어넨데일 레드 테일 호크 코  
 트 34

(30) 우선권주장

61/787,879	2013년03월15일	미국(US)
61/787,587	2013년03월15일	미국(US)
61/788,628	2013년03월15일	미국(US)
61/884,605	2013년09월30일	미국(US)
61/884,376	2013년09월30일	미국(US)
61/884,545	2013년09월30일	미국(US)
61/884,635	2013년09월30일	미국(US)
61/884,565	2013년09월30일	미국(US)
61/884,586	2013년09월30일	미국(US)
61/889,757	2013년10월11일	미국(US)

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

H<sub>2</sub>를 포함하는 재순환된 애노드 배기 가스 연료 스트림, 30부피% 이상의 하나 이상의 불활성 기체를 포함하는 저 에너지 함량 연료 스트림, 및 O<sub>2</sub>-함유 스트림을 연소 대역으로 도입하고;

연소 대역에서 연소 반응을 수행하여 연소 배기 가스를 발생시키고;

개질가능한(reformable) 연료를 포함하는 애노드 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고;

CO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고;

용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 발생시키고;

용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 H<sub>2</sub>를 포함하는 애노드 배기 가스를 발생시키고;

애노드 배기 가스의 적어도 일부를 분리하여, 재순환되는 애노드 배기 가스 연료 스트림을 형성시킴을 포함하는, 전기를 생산하는 방법으로서,

캐소드 배기 가스 스트림이 2.0부피% 이하의 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는, 전기를 생산하는 방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 저 에너지 함량 연료 스트림이 35부피% 이상의 하나 이상의 불활성 기체를 포함하는, 방법.

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,

상기 저 에너지 함량 연료 스트림중 하나 이상의 불활성 기체가 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 또는 이들의 조합인, 방법.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,

상기 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 연료 이용률(fuel utilization)이 65% 이하이되, 이때 상기 연료 이용률은 발전을 위해 애노드에서 산화되는 수소의 양 대 애노드 투입물의 개질가능한 수소 함량의 비이고, 상기 연료의 개질가능한 수소 함량은 연료를 개질시킨 후 수성 가스 전화 반응이 완결되도록 하여 H<sub>2</sub> 생성을 최대화함으로써 연료로부터 유도될 수 있는 H<sub>2</sub> 분자의 수인, 방법.

**청구항 5**

제 4 항에 있어서,

상기 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 연료 이용률이 30% 내지 50%인, 방법.

**청구항 6**

제 1 항에 있어서,

애노드 배기 가스 스트림의 애노드-재순환 부분을 하나 이상의 연료 전지 애노드로 재순환시킴을 추가로 포함하는 방법.

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,  
상기 개질가능한 연료가  $\text{CH}_4$ 를 포함하는, 방법.

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,  
상기 캐소드 입구 스트림이 연소 배기 가스의 적어도 일부를 포함하는, 방법.

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,  
상기 연소 배기 가스가 10부피% 이하의  $\text{CO}_2$ 를 포함하는, 방법.

**청구항 10**

제 1 항에 있어서,  
상기 애노드 배기 가스 스트림이 5.0부피% 이상의  $\text{H}_2$ 를 포함하는, 방법.

**청구항 11**

제 1 항에 있어서,  
상기 애노드 배기 가스가 재순환되기 전에  $\text{CO}_2$  분리 스테이지를 통해 통과하는, 방법.

**청구항 12**

제 1 항 내지 제 11 항중 어느 한 항에 있어서,  
상기 방법이, 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부를 분리하여 재순환되는 애노드 배기 가스 연료 스트림을 형성시키기 전에 애노드 배기 가스 스트림을 수성 가스 전화 촉매에 노출시킴을 추가로 포함하고, 이 때 전화된 애노드 배기 가스 스트림의  $\text{H}_2$  함량이 노출 전의 애노드 배기 가스 스트림의  $\text{H}_2$  함량보다 더 큰, 방법.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,  
수성 가스 전화 반응 스테이지를 통해 통과시킨 후, 상기 애노드 배기 가스 스트림으로부터 물 및/또는  $\text{CO}_2$ 를 제거하기 위하여 하나 이상의 분리 스테이지를 통해 애노드 배기 가스 스트림을 통과시키는, 방법.

**청구항 14**

제 1 항 내지 제 11 항중 어느 한 항에 있어서,  
상기 재순환된 애노드 배기 가스 연료 스트림을 연소 대역 내로 통과시키기 전에, 재순환된 애노드 배기 가스 연료 스트림을 저 에너지 함량 연료 스트림과 합치는, 방법.

**청구항 15**

제 1 항 내지 제 11 항중 어느 한 항에 있어서,  
캐소드 배기 가스 스트림이 1.5부피% 이하의  $\text{CO}_2$  함량을 갖는, 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 다양한 양태에서, 본 발명은 용융 카보네이트 연료 전지와 연소 전력 공급원의 통합을 통해, 생성되는 배출가스를 분리 및/또는 포획하는 저공해 발전에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 발전소에서 배출되는 가스의 포획은 점점 더 관심이 커지고 있는 분야이다. 화석 연료(예컨대, 석유, 천연 가스 또는 석탄)의 연소에 기초한 발전소는 반응의 부산물로서 이산화탄소를 발생시킨다. 역사적으로, 이 이산화탄소는 연소 후 대기 중으로 방출되어 왔다. 그러나, 연소 동안 발생하는 이산화탄소를 다른 용도에 사용하는 방법을 찾아내는 것이 점점 더 요구되고 있다.

[0003] 연소 반응으로부터 발생하는 이산화탄소를 관리하는 한 가지 옵션은 포획 공정을 이용하여 연소 배기 가스중의 다른 기체로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하는 것이다. 탄소를 포획하는 전통적인 방법의 일례는 아민 스크러버(scrubber)를 통해 배기 가스 스트림을 통과시키는 것이다. 아민 스크러버가 배기 가스 스트림으로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하는데 효과적일 수 있기는 하지만, 몇 가지 단점이 있다. 특히, 아민 스크러버를 작동시키고/시키거나 배기 가스 스트림의 온도 및 압력을 아민 스크러버를 통해 통과시키기에 적합하도록 변화시키는데 에너지가 필요하다. CO<sub>2</sub> 분리에 요구되는 에너지는 발전 공정의 전체 효율을 감소시킨다.

[0004] CO<sub>2</sub> 포획에 요구되는 전력을 상쇄시키기 위하여, 한 가지 옵션은 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 CO<sub>2</sub> 분리를 돕는 것이다. 연료 전지의 캐소드 부분으로부터 연료 전지의 애노드 부분으로 CO<sub>2</sub>를 수송하는 연료 전지 반응은 또한 전기를 발생시킬 수 있다. 그러나, 연소로부터 동력을 얻는 터빈 또는 제너레이터를 탄소 분리를 위한 연료 전지와 조합한 종래의 시도는 소비되는 단위 연료당 발전 효율의 순 감소를 나타내었다.

[0005] 문헌[Journal of Fuel Cell Science and Technology]의 한 논문[만졸리니(G. Manzolini) 등, *J. Fuel Cell Sci. and Tech.*, Vol. 9, 2012년 2월]은 연소 제너레이터와 용융 카보네이트 연료 전지를 합친 발전 시스템을 기재한다. 연료 전지의 다양한 배열 및 작동 매개변수가 기재되어 있다. 연소 제너레이터로부터의 연소 산출물(output)은 부분적으로 연료 전지의 캐소드로의 투입물(input)로서 사용된다. 이 투입물은, 애노드 산출물을 극저온 CO<sub>2</sub> 분리를 통해 통과시킨 후 애노드 산출물의 재순환되는 부분으로 보충된다.

[0006] 만졸리니 논문에서의 시뮬레이션의 한 가지 목적은 MCFC를 사용하여 제너레이터의 배기 가스로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하는 것이다. 만졸리니 논문에 기재된 시뮬레이션은 660°C의 최대 출구 온도를 확정하고, 입구 온도는 연료 전지를 가로지르는 온도 증가 때문에 충분히 더 낮아야 한다고 지적한다. 기본 모델에서 MCFC 연료 전지의 전기 효율(즉, 발생된 전기/연료 투입물)은 50%이다. CO<sub>2</sub> 격리에 최적화된 시험 모델의 경우의 전기 효율도 또한 50%이다.

[0007] 데시데리(Desideri) 등의 논문[*Int'l. J. of Hydrogen Energy*, Vol. 37, 2012]은 CO<sub>2</sub>를 분리하기 위해 연료 전지를 사용하는 발전 시스템의 성능을 모델링하는 방법을 기재한다. 애노드 배기 가스를 애노드 입구로 재순환시키고 캐소드 배기 가스를 캐소드 입구로 재순환시켜, 연료 전지의 성능을 개선한다. 논문에 도시된 모델 및 구성에 기초하여, 연료 전지 내에서의 CO<sub>2</sub> 이용률 증가는 CO<sub>2</sub> 분리를 개선하는데 바람직한 것으로 보인다. 모델 매개변수는 50.3%의 MCFC 전기 효율을 기재한다.

[0008] 미국 특허 제 7,396,603 호는 CO<sub>2</sub> 배출이 감소된 통합된 화석 연료 발전소와 연료 전지 시스템을 기재한다. 애노드 산출물로부터 CO<sub>2</sub>의 일부를 제거한 후 애노드 산출물의 적어도 일부를 애노드 투입물로 재순환시킨다.

[0009] 용융 카보네이트 연료 전지는 수소 및/또는 다른 연료를 사용하여 전기를 발생시킨다. 연료 전지 상류에 있거나 연료 전지 내에 있는 증기 개질기에서 메탄 또는 다른 개질가능한 연료를 개질시킴으로써 수소를 제공할 수 있다. 개질가능한 연료는 증온 및/또는 증압에서 수증기 및/또는 산소와 반응하여 수소를 포함하는 기상 생성물을 생성시킬 수 있는 탄화수소질 물질을 포괄할 수 있다. 특히, 개질가능한 연료는 알칸, 알켄, 알콜, 방향족 화합물 및/또는 개질되어 H<sub>2</sub>와 탄소 산화물(CO 또는 CO<sub>2</sub>)을 발생시킬 수 있는 다른 탄소질 및 유기 화합물을 포함할 수 있으나, 이들로 국한되지는 않는다. 다르게는 또는 또한, 용융 카보네이트 연료 전지(이는 애노드에서 연료를 개질시키는데 적합한 조건을 형성하도록 작동될 수 있음)의 애노드 셀(cell)에서 연료를 개질시킬 수

있다. 다르게는 또는 또한, 연료 전지 외부 및 내부 둘 다에서 개질이 이루어질 수 있다.

- [0010] 전통적으로, 용융 카보네이트 연료 전지는 단위 연료 투입물당 전기 생산(이는 연료 전지의 전기 효율로 일컬어질 수 있음)을 최대화하도록 작동된다. 이 최대화는 연료 전지에만 기초하거나 또는 다른 발전 시스템과 함께 연료 전지에 기초할 수 있다. 전기 생산을 증가시키고 열 발생을 관리하기 위하여, 연료 전지 내에서의 연료 이용률을 전형적으로 70% 내지 75%로 유지시킨다.
- [0011] 미국 특허 공보 제 2011/0111315 호는 애노드 입구 스트림에 상당한 수소 함량을 갖는 연료 전지 시스템 및 이 시스템을 작동시키는 방법을 기재한다. '315 호 공보의 기술은 연료가 애노드 출구에 근접할 때 산화 반응에 충분한 연료가 남아있도록 애노드 입구에 충분한 연료를 제공하는데 관련되어 있다. 연료가 적절하도록 하기 위하여, '315 호 공보는 H<sub>2</sub> 농도가 높은 연료를 제공한다. 산화 반응에 사용되지 않은 H<sub>2</sub>는 다음 통과시 사용하기 위하여 애노드로 재순환된다. 1회 통과 기준으로, H<sub>2</sub> 이용률은 10% 내지 30%일 수 있다. '315 호 참조문헌은 애노드 내에서의 상당한 개질을 기재하지 않고, 대신 주로 외부 개질에 의존한다.
- [0012] 미국 특허 공보 제 2005/0123810 호는 수소와 전기 에너지를 동시에 생성시키는 시스템 및 방법을 기재한다. 동시 생산 시스템은 연료 전지 및 분리 단위장치(이는 애노드 배기 가스 스트림을 받아서 수소를 분리하도록 구성됨)를 포함한다. 애노드 배기 가스의 일부는 또한 애노드 입구로 재순환된다. '810 호 공보에 주어진 작동 범위는 고체 산화물 연료 전지에 기초한 것으로 보인다. 용융 카보네이트 연료 전지가 대안으로서 기재되어 있다.
- [0013] 미국 특허 공보 제 2003/0008183 호는 수소 및 전력의 동시 생산을 위한 시스템 및 방법을 기재한다. 연료 전지는 탄화수소-유형의 연료를 수소로 전환시키기 위한 화학적 전환장치의 일반적인 형태로 언급되어 있다. 연료 전지 시스템은 또한 외부 개질기 및 고온 연료 전지를 포함한다. 약 45%의 전기 효율 및 약 25%의 화합물 생산물을 가져서 약 70%의 시스템 동시 생산 효율을 나타내는 연료 전지 시스템의 실시양태가 기재되어 있다. '183 호 공보는 시스템으로부터 단리된 연료 전지의 전기 효율을 기재하지 않은 것으로 보인다.
- [0014] 미국 특허 제 5,084,362 호는 석탄 가스를 연료 전지 애노드의 연료 공급원으로서 사용할 수 있도록 기화 시스템과 연료 전지를 통합하는 시스템을 기재한다. 연료 전지에 의해 발생하는 수소를, 석탄 가스(또는 다른 석탄) 투입물로부터 메탄을 발생시키는데 사용되는 기화기의 투입물로서 사용한다. 이어, 기화기로부터의 메탄을 연료 전지로의 투입 연료의 적어도 일부로서 사용한다. 그러므로, 연료 전지에 의해 발생하는 수소의 적어도 일부가, 기화기에 의해 발생하는 메탄의 형태로, 연료 전지 애노드 입구로 간접적으로 재순환된다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

**과제의 해결 수단**

- [0015] 한 양태에서는, 전기를 생산하는 방법이 제공된다. 이 방법은, 둘 이상의 연료 스트림 및 O<sub>2</sub>-함유 스트림을 반응 대역 내로 도입하고; 반응 대역에서 연소 반응을 수행하여 연소 배기 가스를 발생시키고; 개질가능한 연료를 포함하는 애노드 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입함으로써, H<sub>2</sub>를 포함하는 애노드 배기 가스를 발생시키고; CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub>를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 연료 전지의 캐소드 내로 도입한 다음; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 발생시킴을 포함하며, 이 때 반응 대역으로 도입되는 적어도 제 1 연료 스트림은 H<sub>2</sub>를 함유하는 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 포함하고, 반응 대역으로 도입되는 적어도 제 2 연료 스트림은 약 10부피% 이상, 또는 약 20부피% 이상, 또는 약 25부피% 이상, 또는 약 30부피% 이상, 또는 약 35부피% 이상, 또는 약 40부피% 이상, 또는 약 45부피% 이상, 또는 약 50부피% 이상, 또는 약 60부피% 이상의 하나 이상의 불활성 기체 함량을 가지며, 하나 이상의 불활성 기체는 임의적으로는 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 또는 이들의 조합이다.
- [0016] 본원은 본원과 동일자로 출원되고 하기 참조 번호 및 발명의 명칭에 의해 확인되는 21개의 다른 동시 계류중인 PCT 출원과 관련되어 있다: "통합된 발전 및 연료 전지를 사용한 탄소 포획"이라는 발명의 명칭을 갖는

2013EM107-WO; "통합된 발전 및 연료 전지를 사용한 탄소 포획"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM108-WO; "통합된 발전 및 연료 전지를 사용한 탄소 포획"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM109-WO; "통합된 발전 및 연료 전지를 사용한 화합물 생산"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM272-WO; "감소된 전기 효율의 통합된 발전 및 연료 전지를 사용한 화합물 생산"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM273-WO; "통합된 발전 및 연료 전지를 사용한 화합물 생산"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM274-WO; "통합된 발전 및 연료 전지를 사용한 화합물 생산"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM277-WO; "통합된 발전 및 연료 전지를 사용한 화합물 생산"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM278-WO; "통합된 발전 및 연료 전지를 사용한 화합물 생산"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM279-WO; "용융 카보네이트 연료 전지의 통합 작동"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM285-WO; "통합형 발전에서 NO<sub>x</sub>의 경감"이라는 발명의 명칭을 갖는 2014EM047-WO; "용융 카보네이트 연료 전지를 사용한 통합형 발전"이라는 발명의 명칭을 갖는 2014EM048-WO; "피셔-트롭쉬(Fischer-Tropsch) 합성에서의 통합형 용융 카보네이트 연료 전지"라는 발명의 명칭을 갖는 2014EM049-WO; "피셔-트롭쉬 합성에서의 통합형 용융 카보네이트 연료 전지"라는 발명의 명칭을 갖는 2014EM050-WO; "피셔-트롭쉬 합성에서의 통합형 용융 카보네이트 연료 전지"라는 발명의 명칭을 갖는 2014EM051-WO; "메탄을 합성에서의 통합형 용융 카보네이트 연료 전지"라는 발명의 명칭을 갖는 2014EM052-WO; "정련 세팅에서의 통합형 용융 카보네이트 연료 전지"라는 발명의 명칭을 갖는 2014EM053-WO; "질소 화합물의 합성을 위한 통합형 용융 카보네이트 연료 전지"라는 발명의 명칭을 갖는 2014EM054-WO; "발효 공정과 통합된 용융 카보네이트 연료 전지"라는 발명의 명칭을 갖는 2014EM055-WO; "철 및 강 가공에서의 통합형 용융 카보네이트 연료 전지"라는 발명의 명칭을 갖는 2014EM056-WO; 및 "시멘트 가공에서의 통합형 용융 카보네이트 연료 전지"라는 발명의 명칭을 갖는 2014EM0547-WO. 이들 동시 계류중인 PCT 특허원은 각각 본원에 참고로 인용된다.

**도면의 간단한 설명**

[0017]

- 도 1은 탄소계 연료의 연소에 기초하여 전기를 발생시키기 위한 복합 사이클 시스템의 일례를 개략적으로 도시한다.
- 도 2는 용융 카보네이트 연료 전지의 작동의 일례를 개략적으로 도시한다.
- 도 3은 용융 카보네이트 연료 전지에서 애노드 연료 이용률과 전압 사이의 관계의 일례를 보여준다.
- 도 4는 애노드 재순환 루프의 구성의 일례를 개략적으로 도시한다.
- 도 5는 용융 카보네이트 연료 전지에서 CO<sub>2</sub> 이용률, 전압 및 전력 사이의 관계의 일례를 보여준다.
- 도 6은 용융 카보네이트 연료 전지 및 그에 수반되는 개질 및 분리 스테이지의 구성의 일례를 개략적으로 도시한다.
- 도 7은 용융 카보네이트 연료 전지 및 그에 수반되는 개질 및 분리 스테이지의 구성의 다른 예를 개략적으로 도시한다.
- 도 8은 탄소계 연료의 연소에 기초하여 전기를 발생시키기 위한 복합 사이클 시스템의 일례를 개략적으로 도시한다.
- 도 9는 탄소계 연료의 연소에 기초하여 전기를 발생시키기 위한 복합 사이클 시스템의 일례를 개략적으로 도시한다.
- 도 10 내지 도 15는 연소로부터 동력을 얻는 터빈 및 이산화탄소 분리를 위한 용융 카보네이트 연료 전지를 포함하는 발전 시스템의 다양한 구성의 시뮬레이션으로부터의 결과를 보여준다.
- 도 16 및 도 17은 상이한 연료 전지 작동 전압 V<sub>A</sub>에서의 CH<sub>4</sub> 전환률의 일례를 보여준다.
- 도 18a 및 도 18b는 연소 가스 터빈과 MCFC를 포함하는 통합된 시스템에서 수행된 시뮬레이션으로부터의 데이터를 도시한다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0018]

다양한 양태에서는, 용융 카보네이트 연료 전지(MCFC)를 사용하여 연소 공급원으로부터의 CO<sub>2</sub>를 포획하기 위한



시스템 및 방법이 제공된다. 이 시스템 및 방법은 연소 배기 가스 스트림으로부터의 탄소 포획 및/또는 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 탄소 포획을 수행하는데 관련된 하나 이상의 문제점을 다룰 수 있다.

[0019] 탄소-함유 연료의 몇몇 가능한 공급원을 사용하는데 따른 한 가지 어려움은 연료가 연소 반응 동안 불활성인 화합물을 다량으로 함유하는 것일 수 있다. CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O 같은 몇몇 화합물은 전형적으로 탄소-함유 연료의 연소에 의해 발생하는 생성물에 상응할 수 있다. N<sub>2</sub> 같은 다른 화합물도 연소 반응 동안 비교적 불활성일 수 있다.

[0020] 불활성 화합물을 다량으로 함유하는 연료 스트림은 다양한 공급원으로부터 유도될 수 있다. 예를 들면, 일부 천연 가스 광상(deposit)은 다량의 CO<sub>2</sub>를 포함할 수 있다. 정유소 및 다른 석유화학 생산 설비는 다량의 CO<sub>2</sub> 및 /또는 다른 불활성 화합물을 갖는 연료를 함유하는 오프-가스(off-gas) 스트림을 발생시킬 수 있다. 이러한 오프-가스 스트림의 예는 압력 변동 흡착기로부터의 오프-가스, 액화된 천연 가스 증발 가스(boil-off), 및 코커(coker), 가수소 분류기, 가수소 프로세서 및/또는 증기 분류기에 의해 발생하는 (폐)가스 스트림 같은 정유소 오프-가스를 포함할 수 있으나, 이들로 한정되는 것은 아니다. 불활성 물질-함유 스트림의 추가적인 또는 다른 예는 바이오가스, 매립지 가스 및/또는 폐수 처리 가스 같은 분해 생성물을 함유하는 가스 스트림을 포함할 수 있다.

[0021] 낮은 농도 수준에서, 불활성 화합물은 연료의 에너지 밀도를 감소시킬 수 있는, 연료 내의 희석제로서 작용할 수 있다. 그러나, 충분한 양의 불활성 성분이 연료 공급물에 존재하면, 생성되는 연료 공급물은 연소 터빈 제너레이터 같은 연소 장치의 인화성의 범위(window)에서 제외될 수 있다. 이러한 유형의 상황에서, 애노드 배기 가스의 재순환된 부분으로부터의 H<sub>2</sub>를 연소 터빈 제너레이터의 연소 대역으로 첨가하면 연료 공급물과 H<sub>2</sub>의 조합에 대한 인화성의 범위를 확장시킬 수 있다. 이는 예를 들어 약 30부피% 이상의 CO<sub>2</sub> 또는 약 35부피% 이상의 N<sub>2</sub>(또는 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>의 다른 조합)를 함유하는 연료 공급물이 성공적으로 연소되도록 할 수 있다. MCFC가 연소 터빈의 연소 대역에 H<sub>2</sub>-함유 재순환 스트림을 제공하는 능력은 통합된 MCFC-터빈 시스템이 독립(standalone) 연소 터빈에서는 효과적이지 못할 수 있는 연료를 사용할 수 있도록 한다.

[0022] CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>는 연소 반응 동안 비교적 불활성일 수 있는 천연 가스 공급물중 성분의 예일 수 있다. 연료 공급물중 불활성 성분의 양이 충분한 수준에 도달하면, 터빈 또는 다른 연소 공급원의 성능에 상당한 영향을 줄 수 있다. 임의의 특정 이론에 얽매이지 않으면서, 그러한 영향은 부분적으로는 불활성 성분이 열을 흡수할 수 있고 이것이 연소 반응을 급랭시키는 경향이 있기 때문일 수 있다. 연소 반응에 영향을 주기에 충분한 수준의 불활성 성분을 갖는 연료 공급물의 예는 약 30부피% 이상의 CO<sub>2</sub>를 함유하는 연료 공급물, 약 40부피% 이상의 N<sub>2</sub>를 함유하는 연료 공급물, 또는 유사한 급랭 능력을 제공하기에 충분한 불활성 열 용량을 갖는 CO<sub>2</sub> 및 N<sub>2</sub> 같은 불활성 성분의 조합을 함유하는 연료 공급물을 포함할 수 있다. CO<sub>2</sub>가 N<sub>2</sub>보다 더 큰 열 용량을 가질 수 있고, 따라서 더 낮은 농도의 CO<sub>2</sub>가 더 높은 농도의 N<sub>2</sub>와 비슷한 영향을 가질 수 있음에 주목한다. 임의의 특정 이론에 얽매이지 않으면서, CO<sub>2</sub>가 또한 N<sub>2</sub>보다 연소 반응에 더욱 용이하게 참여할 수 있고 그러한 동안 연소 반응으로부터의 H<sub>2</sub>를 제거할 수 있는 것으로 생각된다. 이러한 H<sub>2</sub>의 소비는 예를 들어 화염의 속도를 감소시키고 공기와 연료 혼합물의 인화성 범위를 좁힘으로써, 연료의 연소에 추가적인 영향을 가질 수 있다. 더욱 일반적으로는, 연료 공급물의 인화성에 영향을 줄 수 있는 불활성 성분 함유 연료 공급물의 경우, 연료 공급물중 불활성 성분은 약 10부피% 이상, 예를 들어 약 20부피% 이상, 또는 약 25부피% 이상, 또는 약 30부피% 이상, 또는 약 35부피% 이상, 또는 약 40부피% 이상, 또는 약 45부피% 이상, 또는 약 50부피% 이상, 또는 약 60부피% 이상일 수 있다. 바람직하게는, 연료 공급물중 불활성 성분의 양은 약 80부피% 이하, 예컨대 약 70부피% 이하, 또는 약 60부피% 이하일 수 있다.

[0023] 연소 대역으로 전달되는 연료 공급물과 H<sub>2</sub>의 총 부피에 대해, 인화성의 범위를 확장시키는데 유용한 H<sub>2</sub>의 양은 연료 공급물과 H<sub>2</sub>의 총 부피의 약 5부피% 이상, 예를 들어 약 10부피% 이상 및/또는 약 25부피% 이하일 수 있다. 인화성의 범위를 확장시키기 위해 첨가되는 H<sub>2</sub>의 양을 특징화하는 다른 옵션은 H<sub>2</sub> 첨가 전에 연료 공급물에 존재하는 연료 성분의 양에 기초할 수 있다. 연료 성분은 메탄, 천연 가스, 다른 탄화수소 및/또는 연소에 의해 동력을 얻는 터빈 또는 다른 제너레이터의 연료로서 통상적으로 보여지는 다른 성분과 상응할 수 있다. 연료 공급물에 첨가되는 H<sub>2</sub>의 양은 연료 공급물중 연료 성분의 부피의 1/3 이상(H<sub>2</sub>:연료 성분의  $\geq 1:3$  비), 예를 들어 연료 성분의 부피의 약 1/2 이상( $\geq 1:2$  비)에 상응할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연료 공급물에 첨



가되는 H<sub>2</sub>의 양은 대략 연료 공급물중 연료 성분의 부피와 동일하거나(약 1:1 비) 그보다 적을 수 있다. 예를 들어, 약 30부피%의 CH<sub>4</sub>, 약 10%의 N<sub>2</sub> 및 약 60%의 CO<sub>2</sub> 를 함유하는 공급물의 경우, 약 1:2 비의 H<sub>2</sub>:CH<sub>4</sub>를 달성하기에 충분한 양의 애노드 배기 가스를 연료 공급물에 첨가할 수 있다. H<sub>2</sub>만을 함유하는 이상화된 애노드 배기 가스의 경우, 약 1:2 비를 달성하기 위한 H<sub>2</sub>의 첨가는 약 26부피%의 CH<sub>4</sub>, 약 13부피%의 H<sub>2</sub>, 약 9부피%의 N<sub>2</sub> 및 약 52부피%의 CO<sub>2</sub>를 함유하는 공급물을 생성시킬 수 있다.

[0024] 다양한 양태에서, MCFC를 포함하는 통합된 발전 시스템의 구성 옵션은 터빈, 또는 보일러, 로 및/또는 직화식 히터 같은 다른 연소 장치의 연소 반응물의 투입물로서 MCFC 애노드 배기 가스의 일부를 사용할 수 있는 것이다. 애노드 투입물로 및/또는 연소 장치로의 투입물로서 재순환되는 애노드 배기 가스의 상대적인 양은 임의의 편리하거나 바람직한 양일 수 있다. 애노드 배기 가스가 애노드 투입물 및 연소 장치중 하나로만 재순환되는 경우, 재순환의 양은 CO<sub>2</sub> 및/또는 H<sub>2</sub>O를 제거하기 위한 임의의 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스 부분의 100% 이하 같은 임의의 편리한 양일 수 있다. 애노드 배기 가스의 일부가 애노드 투입물 및 연소 장치 둘 다로 재순환되는 경우, 정의에 의한 총 재순환량은 애노드 배기 가스의 나머지 부분의 100% 이하일 수 있다. 다르게는, 애노드 배기 가스의 임의의 편리한 스플릿(split)을 이용할 수 있다. 본 발명의 다양한 실시양태에서, 애노드 투입물로의 재순환량은 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스의 약 10% 이상, 예를 들어 약 25% 이상, 약 40% 이상, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 90% 이상일 수 있다. 이러한 실시양태 이외에 또는 이러한 실시양태와 다르게, 애노드 투입물로의 재순환량은 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스의 약 90% 이하, 예를 들어 약 75% 이하, 약 60% 이하, 약 50% 이하, 약 40% 이하, 약 25% 이하 또는 약 10% 이하일 수 있다. 또한 추가로 또는 다르게는, 본 발명의 다양한 실시양태에서, 연소 장치로의 재순환의 양은 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스의 약 10% 이상, 예를 들어 약 25% 이상, 약 40% 이상, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 90% 이상일 수 있다. 이들 실시양태 이외에 또는 이들 실시양태와 다르게, 연소 장치로의 재순환의 양은 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스의 약 90% 이하, 예컨대 약 75% 이하, 약 60% 이하, 약 50% 이하, 약 40% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 10% 이하일 수 있다.

[0025] 탄소 포획 체제의 일부로서 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하는 것과 같이 발전을 위한 연소에 기초한 전력 공급원과 함께 탄소 포획 기술을 종래 방식으로 이용하는데 따른 한 가지 어려움은 발전 시스템의 전체 효율이 감소된다는 것이다. 시스템에 의해 발생하는 순 전력이 증가하도록 용융 카보네이트 연료 전지가 전력을 발생시킬 수는 있지만, 연소로부터 동력을 얻는 제너레이터와 연료 전지의 종래의 조합은 전체로서의 발전소의 순 전력 효율을 떨어뜨린다. 달리 말해, 단위 연료 투입물(더 낮은 연료 발열량, kJ)당 생성되는 전력(와트)이 감소된다. 이는 부분적으로는 추가적인 탄소 포획 구성요소를 작동시키기 위한 추가적인 동력 또는 가열 요구량 때문일 수 있다. 이는 또한 부분적으로는 연소에 의해 동력을 얻는 터빈 같은 시스템에 비해 종래 방식으로 작동되는 연료 전지의 발전 효율이 더 낮기 때문일 수 있다.

[0026] 일부 양태에서는, 보다 낮은 애노드 연료 이용률 값에서 연료 전지를 작동시킴으로써, 용융 카보네이트 연료 전지를 포함하는 탄소 포획 시스템의 전체 효율을 개선할 수 있다. 통상적으로, 용융 카보네이트 연료 전지는 연료 전지를 작동시키는데 필요한 열과 전지 내에서 소비되는 연료의 균형을 맞추는 연료 이용률로 작동될 수 있다. 종래의 연료 전지의 연료 이용률은 전형적으로 이 열 균형을 유지하면서 가능한 한 높도록 할 수 있다. 대조적으로, 다양한 유형의 발전 시스템 구성에서는, 연료 전지 어레이의 애노드 연료 이용률을 감소시킴으로써 전체 시스템의 발전 효율을 개선할 수 있는 것으로 밝혀졌다.

[0027] 배기 가스 스트림으로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하기 위해 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하는데 따른 다른 어려움은 상업적인 규모의 터빈 또는 다른 제너레이터/발전기로부터의 배기 가스를 취급하는데 전형적으로 요구되는 연료 전지의 큰 면적을 포함할 수 있다. 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 상업적인 규모의 배기 가스 유동을 수용하는 데에는, 충분한 면적의 단일 연료 전지를 구축하기보다는 복수개의 연료 전지를 사용함을 포함할 수 있다. 배기 가스 스트림을 이 복수개의 연료 전지로 전달하기 위하여, 다양한 연료 전지 사이에서 배기 가스를 분할하기 위해 추가의 연결부가 요구될 수 있다. 따라서, 목적하는 양의 이산화탄소를 포획하는데 필요한 연료 전지 면적을 감소시키면 요구되는 유동 연결부의 수 및/또는 복잡성이 상응하게 감소될 수 있다.

[0028] 본 발명의 일부 양태에서는, 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부를 애노드 입구로 다시 재순환시킴으로써, CO<sub>2</sub>-함유 배기 가스 스트림을 처리하는데 요구되는 연료 전지의 면적을 감소시키거나 최소화할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 더 낮은 연료 이용률로 연료 전지를 작동시킬 수 있다. 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드(들) 내로 배기 가스 스트림을 통과시킬 수 있다. 연료 전지의 작동 동안, 하나 이상의 분리 스테이지를 통해

애노드 배기 가스를 통과시킬 수 있다. 이는 H<sub>2</sub>O 및/또는 CO<sub>2</sub>의 제거를 위한 분리 스테이지를 포함할 수 있다. 나머지 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 애노드 투입물로 재순환시킬 수 있다. 하나의 바람직한 실시양태에서는, 애노드 배기 가스가 캐소드로 직접 재순환되는 것을 피할 수 있다. 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 애노드 입구로 재순환시킴으로써, 애노드를 통해 첫 번째로 통과할 때 사용되지 않은 연료의 적어도 일부를 후속 통과시 이용할 수 있다.

[0029] 애노드 배기 가스를 애노드 입구로 재순환시킴 이외에 또는 그러한 재순환에 대한 대안으로서, 애노드 배기 가스중 수소의 적어도 일부를 터빈 또는 다른 연소로부터 동력을 얻는 제너레이터/열 공급원의 연소 대역으로 재순환시킬 수 있다. 애노드 루프의 일부로서의 개질을 통해 발생하는 임의의 수소는 애노드 루프로의 전달에 의해 CO<sub>2</sub>가 이미 포획된 연료를 나타낼 수 있다. 이는 연료 전지의 캐소드 측으로부터 애노드 측으로 전달되어야 할 필요가 있는 CO<sub>2</sub>의 양을 감소시킬 수 있고, 따라서 연료 전지 면적을 감소시킬 수 있다.

[0030] 연료 전지 면적의 감소에 기여할 수 있는 추가적인 또는 다른 특징은 발전에 직접적으로 포함되지 않는 공정에 요구되는 에너지의 양을 감소시키고/시키거나 최소화하는 것일 수 있다. 예를 들면, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 반응은 캐소드와 애노드 사이의 전해질을 가로질러 수송되는 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 이온과 H<sub>2</sub>를 합쳐서 H<sub>2</sub>O와 CO<sub>2</sub>를 생성시킬 수 있다. 애노드 반응 환경이 H<sub>2</sub>를 형성시키기 위한 CH<sub>4</sub> 같은 연료의 일부 개질을 용이하게 할 수 있기는 하지만, 애노드에서 바람직한 반응 속도를 유지하기 위하여 일부 H<sub>2</sub>가 연료에 유리하게 존재할 수 있다. 그 결과, 애노드 자체에 들어가기 전에, 연료(예컨대, 천연 가스/메탄)가 일반적으로 적어도 부분적으로 개질된다. 연료 전지의 애노드 전의 개질 스테이지는 적합한 개질 온도를 유지하기 위하여 추가의 열을 필요로 할 수 있다.

[0031] 본 발명의 일부 양태에서는, 애노드 입구 전의 개질의 양을 감소시키고/시키거나 애노드 입구 전의 개질 스테이지를 없애기 위해 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 애노드 입구로 재순환시킬 수 있다. 애노드에 들어가기 전에 연료 스트림을 개질시키는 대신, 재순환된 애노드 배기 가스가 애노드로의 연료 투입물에 충분한 수소를 제공할 수 있다. 이는 애노드의 투입물 스트림이 별도의 예비-개질 스테이지를 통과하지 않고 애노드 중으로 통과하도록 할 수 있다. 감소된 수소 연료 이용률 수준에서 애노드를 작동시키면, 수소 함량이 증가된 애노드 배기 가스를 제공함으로써, 예비-개질 스테이지의 감소 및/또는 제거를 더 용이하게 할 수 있다. 수소 함량 증가는, 예비-개질이 감소되고/되거나 제거될 수 있도록 애노드로의 공급물에 충분한 수소를 여전히 가지면서, 애노드 배기 가스의 일부가 또한 터빈 연소 대역으로의 투입물로서 사용될 수 있게 한다.

[0032] 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하는데 있어서의 다른 난제는 적절하게 작동되는 가스 터빈의 배기 가스의 비교적 낮은 CO<sub>2</sub> 함량 때문일 수 있다. 예를 들어, CO<sub>2</sub> 함량이 낮은 천연 가스 연료 공급원에 의해 동력을 얻는 가스 터빈은 예를 들어 약 4부피%의 CO<sub>2</sub>를 갖는 배기 가스를 발생시킬 수 있다. 몇몇 유형의 배기 가스 재순환을 이용하면, 이 값을 예컨대 약 6부피%까지 높일 수 있다. 대조적으로, 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로의 투입물에 전형적으로 요구되는 CO<sub>2</sub> 함량은 약 10% 이상일 수 있다. 본 발명의 몇몇 양태에서는, 가스 터빈 또는 다른 연소로부터 동력을 얻는 제너레이터를 여전히 효율적으로 작동시키면서 배기 가스중 CO<sub>2</sub> 함량을 증가시키기 위한 시스템 및 방법을 본원에 제공한다. 본 발명의 일부 양태에서는, 낮은 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 캐소드 배기 가스로 작동되는 경우 연료 전지에 의한 탄소 포획의 효율을 개선하고/하거나 최적화하기 위한 시스템 및 방법을 제공한다.

[0033] 또 다른 난제는 탄소 포획에 의해 야기되는 발전 효율 손실을 감소시키거나 경감시킴을 포함할 수 있다. 상기 나타낸 바와 같이, 종래의 탄소 포획 방법은 소비되는 단위 연료당 발전의 순 효율의 감소를 초래할 수 있다. 본 발명의 몇몇 양태에서는, 전체적인 발전 효율을 개선하기 위한 시스템 및 방법이 제공된다. 또한 또는 다르게는, 본 발명의 몇몇 양태에서는, 상업적으로 가치있는 CO<sub>2</sub> 스트림을 발생시키는데 요구되는 에너지를 감소시키고/시키거나 최소화하는 방식으로 CO<sub>2</sub>를 분리하기 위한 방법을 제공한다.

[0034] 본 발명의 대부분의 양태에서는, 적어도 부분적으로는, 연도 가스 및/또는 연소 반응(들)으로부터의 열도 증기 터빈에 동력을 제공하는데 사용될 수 있는 천연 가스 연료 복합 사이클 발전소 같은 복합 사이클 발전 시스템과 함께 용융 카보네이트 연료 전지를 사용함으로써, 상기 이점중 하나 이상을 달성할 수 있다. 더욱 일반적으로는, 보일러, 연소기, 촉매적 산화기 및/또는 연소로부터 동력을 얻는 제너레이터의 다른 유형 같은 다양한 유형

의 발전 시스템 또는 발열 시스템과 함께 용융 카보네이트 연료 전지를 사용할 수 있다. 본 발명의 일부 양태에서는, MCFC로부터의 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 (CO<sub>2</sub> 분리 후) MCFC 애노드(들)의 투입물 유동으로 재순환시킬 수 있다. 추가적으로 또는 다르게는, MCFC로부터의 애노드 배기 가스의 일부를 발전을 위한 연소 반응의 투입물 유동으로 재순환시킬 수 있다. 하나의 실시양태에서는, MCFC로부터의 애노드 배기 가스의 제 1 부분(CO<sub>2</sub> 분리 후)을 MCFC 애노드(들)의 투입물 유동으로 재순환시킬 수 있고, MCFC로부터의 애노드 배기 가스의 제 2 부분을 발전을 위한 연소 반응의 투입물 유동으로 재순환시킬 수 있다. 애노드 배기 가스중 잔여(미반응) H<sub>2</sub>로 MCFC를 작동시킬 수 있는 양태에서는, 애노드 배기 가스로부터의 H<sub>2</sub>의 일부를 애노드 투입물로 재순환시켜 MCFC를 작동시키는데 필요한 연료를 감소시킬 수 있다. 연소 반응으로 전달되는 H<sub>2</sub> 부분은 유리하게는 연소 반응의 반응 조건을 변경시키고/시키거나 개선하여 더욱 효율적인 발전을 가능케 할 수 있다. 애노드 배기 가스 후의 수성 가스 전화 반응 대역을 임의적으로 이용하여, CO를 더욱 용이하게 분리될 수 있는 CO<sub>2</sub>로 전환시키면서 애노드 배기 가스에 존재하는 H<sub>2</sub>의 양을 추가로 증가시킬 수 있다.

[0035] 본 발명의 다양한 양태에서는, 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 연소 공급원으로부터의 CO<sub>2</sub>를 포획하는 개선된 방법을 제공할 수 있다. 이는 발전 동안 배출가스를 감소시키고/시키거나 경감시키면서 예컨대 터빈을 사용하는 발전 시스템 및 방법(또는 보일러, 연소기 및/또는 촉매적 산화기 같은, 연소에 기초한 다른 발전 또는 발열 방법)을 포함할 수 있다. 이는 임의적으로는, 적어도 부분적으로, 연도 가스 및/또는 연소 반응(들)으로부터의 열도 증기 터빈에 동력을 제공하는데 사용될 수 있는 복합 사이클 발전 시스템을 사용함으로써 달성될 수 있다. 이는 추가로 또는 다르게는, 적어도 부분적으로, 탄소 포획 장치로서뿐만 아니라 추가적인 전력 공급 원으로서 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지(MCFC)를 사용함으로써 달성될 수 있다. 본 발명의 일부 양태에서는, 손실되거나 폐기되는 연료의 양을 감소시키고/시키거나 경감시키면서 연료 전지에서의 탄소 포획을 개선할 수 있는 낮은 연료 이용률 조건 하에서 MCFC를 작동시킬 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연소 연도 가스 스트림의 CO<sub>2</sub> 함량을 목적하는 수준, 예를 들어 1.5부피% 이하 또는 1.0부피% 이하로 감소시키는데 필요한 MCFC의 총 수 및/또는 부피를 감소시키고/시키거나 최소화하도록 MCFC를 작동시킬 수 있다. 이러한 양태에서, 어레이 순서(전형적으로는 적어도 직렬 배열을 포함하거나, 또는 다르게는 최종 캐소드(들)와 최초 캐소드(들)가 동일함)의 최종 캐소드(들)로부터의 캐소드 산출물의 경우, 산출물 조성은 약 2.0부피% 이하(예를 들어, 약 1.5부피% 이하 또는 약 1.2부피% 이하)의 CO<sub>2</sub> 및/또는 약 1.0부피% 이상, 예컨대 약 1.2부피% 이상 또는 약 1.5부피% 이상의 CO<sub>2</sub>를 포함할 수 있다. 이러한 양태는, 적어도 부분적으로는, 애노드 배기 가스를 애노드 입구로 복귀시키기 전에 애노드 배기 가스중 CO<sub>2</sub>의 적어도 일부를 제거하고 애노드로부터의 배기 가스를 애노드의 입구로 다시 재순환시킴으로써 가능해질 수 있다. 예를 들어 극저온 CO<sub>2</sub> 분리를 사용하여 애노드 배기 가스로부터의 CO<sub>2</sub>의 이러한 제거를 달성할 수 있다. 본 발명의 몇몇 임의적인 양태에서는, 애노드 배기 가스가 캐소드 입구로 직접 재순환되도록 하는 경로를 제공하지 않도록 애노드 배기 가스를 애노드 입구로 재순환시킬 수 있다. 애노드 배기 가스가 캐소드 입구로 직접 재순환되지 않도록 함으로써, MCFC를 통해 애노드 재순환 루프로 수송되는 임의의 CO<sub>2</sub>가, CO<sub>2</sub>를 루프의 다른 기체로부터 분리해낼 때까지, 애노드 재순환 루프에 잔류할 수 있다.

[0036] 용융 카보네이트 연료 전지는 독립 방식으로 통상적으로 사용되어 전기를 발생시킨다. 독립 방식에서는, 메탄 같은 연료의 투입물 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 측으로 통과시킬 수 있다. 메탄을 개질시켜 (외부에서 또는 내부에서) H<sub>2</sub> 및 다른 기체를 형성시킬 수 있다. 이어, 연료 전지의 캐소드로부터 전해질을 가로지른 카보네이트 이온과 H<sub>2</sub>를 반응시켜 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O를 형성시킬 수 있다. 연료 전지의 애노드에서의 반응의 경우, 연료 이용률은 전형적으로 약 70% 또는 75%, 또는 그보다 높다. 종래의 구성에서는, 애노드 배기 가스에 잔류하는 연료를 산화시켜(연소시켜), 개질 반응의 흡열 특성을 고려하여, 연료 전지 및/또는 외부 개질기의 온도를 유지하기 위한 열을 발생시킬 수 있다. 공기 및/또는 다른 산소 공급원을 이 산화 동안 첨가하여 연소를 더욱 완벽하게 할 수 있다. 이어, 애노드 배기 가스(산화 후)를 캐소드 내로 통과시킬 수 있다. 이러한 방식으로, 애노드에 들어가는 단일 연료 스트림을 사용하여 애노드 및 캐소드 둘 다의 모든 에너지 및 거의 모든 반응물을 제공할 수 있다. 이 구성은 애노드에서 약 70% 또는 약 75% 또는 그보다 약간 더 많은 연료 이용률을 요구하면서 애노드에 들어가는 모든 연료를 소비하도록 할 수 있다.

[0037] 종래의 시스템에 전형적일 수 있는 상기 독립 방법에서는, 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시키는 목적이 통상 투입 연료 스트림에 기초하여 효율적으로 전기를 발생시키는 것일 수 있다. 대조적으로, 연소로부터 동력을

연는 터빈, 기관 또는 다른 제너레이터와 통합된 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여, 추가적인 효율을 제공할 수 있다. 연료 전지에 의한 고효율 발전은 여전히 바람직하지만, 예를 들어 소정 부피의 연료 전지에 있어서 배기 가스 스트림으로부터 포획되는 CO<sub>2</sub>의 양을 개선하고/하거나 최대화하도록 연료 전지를 작동시킬 수 있다. 이는 연료 전지로부터 여전히 전력을 발생시키면서 CO<sub>2</sub> 포획을 개선시킬 수 있다. 또한, 본 발명의 일부 양태에서, 연료 전지(들)의 애노드(들)로부터의 배기 가스는 여전히 과량의 수소를 함유할 수 있다. 이 과량의 수소를 터빈의 연소 반응에 대한 연료로서 유리하게 사용하여 터빈의 효율을 개선할 수 있다.

[0038] 도 1은 본 발명의 몇몇 양태의 개념에 대한 개략적인 개관을 제공한다. 도 1은 일반적인 개념의 이해를 돕기 위해 제공된 것이며, 따라서 전체 개념의 원리로부터 벗어나지 않으면서 추가적인 공급물, 공정 및/또는 구성이 도 1에 포함될 수 있다. 도 1에 도시된 개관 예에서는, 천연 가스 터빈(110)(또는 연소로부터 동력을 얻는 다른 터빈)을 사용하여, 연료(112)의 연소에 기초하여 전력을 발생시킬 수 있다. 도 1에 도시된 천연 가스 터빈(110)의 경우, 이는 공기 스트림 또는 다른 기상 스트림(111)을 압축하여 압축된 기체 스트림(113)을 생성시킬 수 있다. 이어, 이 압축된 기체 스트림(113)을 연료(112)와 함께 연소 대역(115) 내로 도입할 수 있다. 또한, 애노드(130)로부터의 배기 가스에 존재하는 연료(수소)의 일부를 포함하는 스트림(185)을 또한 연소 대역(115) 내로 도입할 수 있다. 이 추가적인 수소는 향상된 조건 하에서 연소 반응이 작동되도록 할 수 있다. 이어, 생성된 고온 연도 가스 또는 배기 가스(117)를 터빈(110)의 팽창기 부분 내로 통과시켜 전력을 발생시킬 수 있다.

[0039] 팽창(및 임의적인 세정 및/또는 다른 가공 단계) 후, 팽창된 연도 가스를 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 부분(120) 내로 통과시킬 수 있다. 연도 가스는 캐소드에서의 반응에 충분한 산소를 포함할 수 있거나, 또는 필요한 경우 추가적인 산소를 제공할 수 있다. 연료 전지 반응을 용이하게 하기 위하여, 연료(132)를 애노드 배기 가스(135)의 적어도 일부와 함께 연료 전지의 애노드 부분(130) 내로 통과시킬 수 있다. 재순환시키기 전에, 애노드 배기 가스(135)를 몇 개의 추가적인 공정을 통해 통과시킬 수 있다. 하나의 추가적인 공정은 수성 가스 전화 반응 공정(170)을 포함할 수 있거나 수성 가스 전화 반응 공정(170)일 수 있다. 수성 가스 전화 반응(170)을 이용하여 애노드 배기 가스(135)에 존재하는 H<sub>2</sub>O와 CO를 반응시켜, 추가적인 H<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>를 생성시킬 수 있다. 이는 애노드 배기 가스(135)로부터의 탄소의 제거를 개선할 수 있는데, 왜냐하면 CO<sub>2</sub>가 CO에 비해 애노드 배기 가스로부터 더욱 용이하게 분리될 수 있기 때문이다. 이어, (임의적인) 수성 가스 전화 공정(170)으로부터의 산출물(175)을 극저온 이산화탄소 분리기 같은 이산화탄소 분리 시스템(140)을 통해 통과시킬 수 있다. 이는 애노드 배기 가스로부터 CO<sub>2</sub>(147)의 적어도 일부뿐만 아니라 전형적으로는 물(149)의 일부를 제거할 수 있다. CO<sub>2</sub>와 물의 적어도 일부를 제거한 후, 재순환되는 애노드 배기 가스는 여전히 약간의 CO<sub>2</sub>와 물뿐만 아니라 H<sub>2</sub> 형태의 미반응 연료 및/또는 가능하게는 메탄 같은 탄화수소를 함유할 수 있다. 본 발명의 특정 실시양태에서는, CO<sub>2</sub> 분리 스테이지(들)로부터의 산출물의 일부(145)를 애노드(130)로의 투입물 스트림으로서 사용하기 위해 재순환시킬 수 있는 한편, 제 2 부분을 연소 반응(115)으로의 투입물(185)로서 사용할 수 있다. 연료(132)는 수소-함유 스트림 및/또는 메탄 및/또는 개질되어(내부에서 또는 외부에서) H<sub>2</sub>를 형성할 수 있는 다른 탄화수소를 함유하는 스트림을 나타낼 수 있다.

[0040] 이어, 캐소드 배기 가스로부터 열을 회수하여 예컨대 증기 제너레이터(160)에 동력을 제공할 수 있도록, 연료 전지의 캐소드 부분(120)으로부터의 배기 가스를 열 회수 대역(150) 내로 통과시킬 수 있다. 열을 회수한 후, 캐소드 배기 가스는 배기 가스 스트림(156)으로서 시스템에서 나갈 수 있다. 배기 가스 스트림(156)은 환경으로 방출될 수 있거나, 또는 예를 들어 아민 스크러버를 사용하여 스트림(156) 상에서 추가적인 CO<sub>2</sub> 포획을 수행하는 것과 같은 임의적인 추가의 세정 공정을 이용할 수 있다.

[0041] 연료 전지의 작동을 특징화시키는 한 가지 방법은 연료 전지에 의해 받아들여지는 다양한 투입물의 "이용률"을 특징화시키는 것일 수 있다. 예를 들어, 연료 전지의 작동을 특징화시키는 한 가지 통상적인 방법은 연료 전지의 (애노드) 연료 이용률을 명시하는 것일 수 있다.

[0042] 연료 이용률 이외에, 연료 전지의 다른 반응물의 이용률을 특징화시킬 수 있다. 예를 들면, "CO<sub>2</sub> 이용률" 및/또는 "산화제" 이용률과 관련하여 연료 전지의 작동을 추가로 또는 달리 특징화시킬 수 있다. CO<sub>2</sub> 이용률 및/또는 산화제 이용률 값은 유사한 방식으로 명시될 수 있다. CO<sub>2</sub> 이용률의 경우에는, CO<sub>2</sub>가 캐소드로의 투입물 스트림 또는 유동에 존재하는 유일한 연료 성분인(따라서, 유일한 반응이 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>의 형성임) 경우, (CO<sub>2</sub> 유입 속도



-CO<sub>2</sub> 유출 속도)/CO<sub>2</sub> 유입 속도의 간단한 계산을 이용할 수 있다. 유사하게, 산화제 이용률의 경우에는, O<sub>2</sub>가 캐소드로의 투입물 스트림 또는 유동에 존재하는 유일한 산화제인(따라서, 유일한 반응이 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>의 형성임) 경우, 간단한 버전을 이용할 수 있다.

[0043] 복수개의 연료 전지를 사용하는 다른 이유는 연소 배기 가스중 CO<sub>2</sub> 함량을 목적하는 수준으로 감소시키면서 효율적인 연료 전지 작동을 가능케 하는 것일 수 있다. 높은(또는 최적) CO<sub>2</sub> 이용율을 갖도록 연료 전지를 작동시키기보다는, 연소를 목적하는 수준으로 감소시키면서 더 낮은 연료 이용률(들)로 2개(또는 그 이상)의 연료 전지를 작동시킬 수 있다.

[0044] 독립 작동 같은 연료 전지의 통상적인 작동동안, 연료 전지를 작동시키는 목적은 전지에 제공되는 "연료"를 효율적으로 사용하면서 전력을 발생시키는 것일 수 있다. "연료"는 수소(H<sub>2</sub>), 수소를 포함하는 기체 스트림, 및/또는 개질되어 수소를 제공할 수 있는 성분(예를 들어, 메탄, 다른 알칸 또는 탄화수소, 및/또는 반응시 수소를 제공할 수 있는, 탄소와 수소를 함유하는 하나 이상의 다른 유형의 화합물)을 포함하는 기체 스트림에 상응할 수 있다. 이들 개질 반응은 전형적으로 흡열성이고, 따라서 통상 수소 생산에 약간의 열 에너지를 소비한다. 직접 및/또는 반응시 CO를 제공할 수 있는 탄소 공급원을 또한 사용할 수 있는데, 왜냐하면 전형적으로 연료 전지 애노드 촉매 표면이 존재하여 수성 가스 전화 반응(CO+H<sub>2</sub>O=H<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>)이 이루어질 수 있기 때문이다. 이는 CO 공급원으로부터 수소를 생성시키도록 할 수 있다. 이러한 종래의 작동의 경우, 연료 전지 작동의 한 가지 잠재적인 목적은 연료 전지의 바람직한 출력 전압을 유지하면서 전지에 제공되는 연료를 모두 소비하는 것일 수 있으며, 이는 전통적으로 연료 전지 애노드를 약 70% 내지 약 75%의 연료 이용률로 작동시킨 다음 나머지 연료를 연소(예를 들어, 소성)시켜 연료 전지의 온도를 유지시키는 열을 발생시킴으로써 달성될 수 있다. 연료 전지에 들어가는 연료의 엔탈피로 나눈 연료 전지 반응에 사용되는 연료의 총 엔탈피 면에서 연료 이용률을 측정할 수 있다.

[0045] 용융 카보네이트 연료 전지에서는, 연료 전지의 전해질을 가로지르는 카보네이트 이온의 수송이 CO<sub>2</sub>를 제 1 유동 경로로부터 제 2 유동 경로로 수송하는 방법을 제공할 수 있으며, 이 수송 방법은 더 낮은 농도(캐소드)로부터 더 높은 농도(애노드)로의 수송을 가능케 할 수 있고, 이는 따라서 CO<sub>2</sub>의 포획을 용이하게 할 수 있다. CO<sub>2</sub> 분리를 위한 연료 전지의 선택성의 일부는 전지가 전력을 발생시킬 수 있게 하는 전기화학 반응에 기초할 수 있다. 사실상 연료 전지 내에서 전기화학 반응에 참여하지 않는 비반응성 물질(예컨대, N<sub>2</sub>)의 경우, 대수롭지 않은 양의 반응 및 캐소드로부터 애노드로의 수송이 있을 수 있다. 대조적으로, 캐소드와 애노드 사이의 전위(전압) 차이는 연료 전지를 가로지르는 카보네이트 이온의 수송에 대한 강력한 구동력을 제공할 수 있다. 그 결과, 용융 카보네이트 연료 전지에서 카보네이트 이온의 수송은 비교적 높은 선택성으로 CO<sub>2</sub>가 캐소드(더 낮은 CO<sub>2</sub> 농도)로부터 애노드(더 높은 CO<sub>2</sub> 농도)로 수송되도록 할 수 있다. 그러나, 이산화탄소 제거를 위해 용융 카보네이트 연료 전지를 사용함에 있어서의 난제는 비교적 묽은 캐소드 공급물로부터 이산화탄소를 제거하는 연료 전지의 능력이 제한된다는 것일 수 있다. 카보네이트 연료 전지에 의해 발생하는 전압 및/또는 전력은 CO<sub>2</sub> 농도가 약 2.0부피% 미만으로 떨어짐에 따라 급속하게 떨어지기 시작할 수 있다. CO<sub>2</sub> 농도가 일부 시점에 더, 예를 들어 약 1.0부피% 미만까지 떨어짐에 따라, 연료 전지를 가로지르는 전압은 카보네이트의 추가적인 수송이 거의 또는 전혀 이루어지지 않을 수 있고 연료 전지의 작동이 중단되기에 충분히 낮아질 수 있다. 따라서, 적어도 일부 CO<sub>2</sub>는 상업적으로 성공가능한 작동 조건하에서 연료 전지의 캐소드 스테이지로부터의 배기 가스에 존재할 것이다.

[0046] 연료 전지 캐소드(들)로 전달되는 이산화탄소의 양은 캐소드 입구에 대한 공급원의 CO<sub>2</sub> 함량에 기초하여 결정될 수 있다. 캐소드 투입물 유동으로서 사용하기 적합한 CO<sub>2</sub>-함유 스트림의 일례는 연소 공급원으로부터의 산출물 또는 배기 가스 유동일 수 있다. 연소 공급원의 예는 천연 가스의 연소, 석탄의 연소 및/또는 다른 탄화수소-유형의 연료(생물로부터 유도되는 연료 포함)의 연소에 기초한 공급원을 포함하지만, 이들로 국한되지는 않는다. 추가적인 또는 다른 공급원은 다른 유형의 보일러, 직화식 히터, 로 및/또는 다른 성분(예컨대, 물 또는 공기)을 가열하기 위하여 탄소-함유 연료를 태우는 다른 유형의 장치를 포함할 수 있다. 대략, 연료 공급원으로부터의 산출물 유동의 CO<sub>2</sub> 함량은 유동의 적은 부분일 수 있다. 석탄-연료(fired) 연소 공급원으로부터의 산출물 같은 더 높은 CO<sub>2</sub> 함량의 배기 가스 유동의 경우에도, 대부분의 상업적인 석탄-연료 발전소로부터의 CO<sub>2</sub>

함량은 약 15부피% 이하일 수 있다. 더욱 일반적으로, 연소 공급원으로부터의 산출물 또는 배기 가스 유동의 CO<sub>2</sub> 함량은 약 1.5부피% 이상, 또는 약 1.6부피% 이상, 또는 약 1.7부피% 이상, 또는 약 1.8부피% 이상, 또는 약 1.9부피% 이상, 또는 2부피% 이상, 또는 약 4부피% 이상, 또는 약 5부피% 이상, 또는 약 6부피% 이상, 또는 약 8부피% 이상일 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연소 공급원으로부터의 산출물 또는 배기 가스 유동의 CO<sub>2</sub> 함량은 약 20부피% 이하, 예컨대 약 15부피% 이하, 또는 약 12부피% 이하, 또는 약 10부피% 이하, 또는 약 9부피% 이하, 또는 약 8부피% 이하, 또는 약 7부피% 이하, 또는 약 6.5부피% 이하, 또는 약 6부피% 이하, 또는 약 5.5부피% 이하, 또는 약 5부피% 이하, 또는 약 4.5부피% 이하일 수 있다. 상기 주어진 농도는 건조 기준이다. 배기 가스 재순환 루프를 포함할 수 있거나 포함하지 않을 수 있는 발전 시스템의 일부인 제너레이터 같은 몇몇 천연 가스 또는 메탄 연소 공급원으로부터의 배기 가스에 더 낮은 CO<sub>2</sub> 함량 값이 존재할 수 있음에 주목한다.

[0047] 애노드 부분 및 애노드 재순환 루프의 작동

[0048] 본 발명의 다양한 양태에서는, 연료 전지의 애노드 부분에서 더 낮은 연료 이용률을 허용하는 조건하에서 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시킬 수 있다. 이는, 연료 전지의 작동의 일부로서 연료 전지에 전달되는 연료의 70% 이상을 소비하도록 하기 위하여 연료 이용률이 전형적으로 선택될 수 있는 연료 전지의 종래의 작동과 대조될 수 있다. 종래의 작동에서는, 연료의 거의 전부가 전형적으로 연료 전지의 애노드 내에서 소비되거나 또는 연소되어 연료 전지로의 공급물 스트림에 감지가 가능한 열을 제공할 수 있다.

[0049] 도 3은 종래의 (독립) 조건 하에서 작동되는 연료 전지의 연료 이용률과 산출 전력 사이의 관계의 일례를 도시한다. 도 3에 도시된 도식은 연료 전지 작동의 두 제한 경우를 보여준다. 하나의 제한 경우는 연료 전지에 전달되는 연료의 100%에 근접하는 연료(예를 들어, H<sub>2</sub> 또는 H<sub>2</sub>로 개질되는 메탄)의 양을 소비하도록 작동하는 연료 전지의 한계를 포함한다. 효율의 관점에서, 연료 전지의 작동 동안 연료를 폐기시키지 않도록 연료 전지에 전달되는 연료의 약 100%를 소비하는 것은 바람직하다. 그러나, 전지에 전달되는 연료의 약 80%보다 많은 양을 소비하도록 연료 전지를 작동시키는 데에는 두 가지 잠재적인 단점이 있다. 첫째, 소비되는 연료의 양이 100%에 근접함에 따라, 연료 전지에 의해 제공되는 전압이 급격하게 감소될 수 있다. 100%에 근접하는 연료의 양을 소비하기 위하여, 연료 전지(또는 적어도 애노드 근처)의 연료의 농도는 연료 전지의 작동의 적어도 일부 동안 거의 정의에 의해 거의 0에 근접해야 한다. 0에 근접하는 연료 농도로 연료 전지의 애노드를 작동시키면, 연료 전지의 전해질을 가로질러 카보네이트를 수송하기 위한 구동력이 점점 더 낮아질 수 있다. 이는 전압의 상응하는 하락을 초래할 수 있어서, 전압은 잠재적으로는 애노드에 제공되는 모든 연료를 소비하는 진정한 제한 경우에서 0에 근접하게 된다.

[0050] 두 번째 단점은 또한 비교적 높은 연료 이용률 값(약 80%보다 큼)에 관련된다. 도 3에 도시되어 있는 바와 같이, 약 75% 이하의 연료 이용률 값에서는, 연료 전지에 의해 발생하는 전압이 연료 이용률과 대략 직선 관계를 갖는다. 도 3에서, 약 75% 연료 이용률에서는, 발생하는 전압이 약 0.7볼트일 수 있다. 도 3에서, 약 80% 이상의 연료 이용률 값에서는, 전압 대 이용률 곡선이 기하급수적인 관계 또는 거듭제곱형 관계를 취하는 것으로 보인다. 공정 안정성의 관점에서는, 관계가 직선인 전압 대 이용률 곡선 부분에서 연료 전지를 작동시키는 것이 바람직할 수 있다.

[0051] 도 3에 도시된 다른 제한 경우에서, 용융 카보네이트 연료 전지에 의해 발생된 전압은 연료 이용률이 감소됨에 따라 온화하게 증가하는 것으로 보인다. 그러나, 종래의 작동시에는, 감소된 이용률에서 연료 전지를 작동시키면 다양한 어려움을 부과할 수 있다. 예를 들면, 애노드 배기 가스/산출물 스트림에 잔류하는 연료가 연료 전지 온도를 유지하기 위해 적절한 양의 열(추가적인 연소시)을 여전히 제공할 수 있도록, 더 낮은 연료 이용률을 이용하여 종래 방식으로 작동되는 연료 전지에 전달되는 연료의 총량이 감소되어야 할 필요가 있을 수 있다. 연료 전지로 전달되는 연료의 양을 조정하지 않고 연료 이용률을 감소시키면, 연료 전지에 요구되는 온도보다 더 높은 온도에서 미사용 연료의 산화가 이루어질 수 있다. 적어도 이러한 제한 경우에 대한 고려에 기초하여, 종래의 연료 전지는 전형적으로 연료의 완전한 이용으로 열 균형을 달성하기 위하여 약 70% 내지 약 75%의 연료 이용률로 작동된다.

[0052] 다른 구성은 연료 전지 애노드로부터의 배기 가스의 적어도 일부를 연료 전지 애노드의 투입물로 재순환시키는 것일 수 있다. MCFC 애노드로부터의 산출물 스트림은 주요 산출물 성분으로서 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, 임의적으로는 CO, 및 임의적이지만 전형적으로는 미반응 연료(예컨대, H<sub>2</sub> 또는 CH<sub>4</sub>)를 포함할 수 있다. 개질 반응을 위한 열을 제공하기 위하여 연료 공급원으로서 이 산출물 스트림을 사용하는 대신, 잠재적인 열량값(fuel value)을 갖는 성분,



예컨대 H<sub>2</sub> 및/또는 CO로부터 CO<sub>2</sub>를 분리해내기 위하여 애노드 산출물 스트림 상에서 분리를 1회 이상 수행할 수 있다. 이어, 열량값을 갖는 성분을 애노드의 투입물로 재순환시킬 수 있다.

[0053] 이 유형의 구성은 하나 이상의 이점을 제공할 수 있다. 첫째, 예를 들어 극저온 CO<sub>2</sub> 분리기를 사용함으로써 애노드 산출물로부터 CO<sub>2</sub>를 분리해낼 수 있다. 애노드 산출물의 성분중 몇 가지(H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>)는 용이하게 응축될 수 없는 성분인 한편, CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O는 응축된 상으로서 개별적으로 분리될 수 있다. 실시양태에 따라, 애노드 산출물의 CO<sub>2</sub>중 약 90부피% 이상을 분리해내어 비교적 고 순도 CO<sub>2</sub> 산출물 스트림을 생성시킬 수 있다. 분리 후, 애노드 산출물의 나머지 부분은 주로 열량값을 갖는 성분, 및 감소된 양의 CO<sub>2</sub> 및/또는 H<sub>2</sub>O에 상응할 수 있다. 분리 후 애노드 산출물의 이 부분을 추가적인 연료와 함께 애노드 투입물의 일부로서 사용하기 위해 재순환시킬 수 있다. 이 유형의 구성에서는, MCFC(들)를 통한 1회 통과시의 연료 이용률은 낮을 수 있지만, 애노드를 통한 또 다른 1회의 통과를 위해 미사용 연료를 유리하게 재순환시킬 수 있다. 그 결과, 미연소 연료의 환경으로의 손실(배출)을 피하면서 1회 통과 연료 이용률이 감소된 수준으로 될 수 있다.

[0054] 애노드 배기 가스중 일부를 애노드 투입물로 재순환시킴 이외에 또는 다르게는, 다른 구성 옵션은 애노드 배기 가스중 일부를 터빈 또는 다른 연소 전력 공급원의 연소 반응을 위한 투입물로서 사용하는 것일 수 있다. 애노드 투입물로 및/또는 연소 대역으로의 투입물로서 재순환되는 애노드 배기 가스의 상대적인 양은 임의의 편리하거나 바람직한 양일 수 있다. 애노드 배기 가스를 애노드 투입물과 연소 대역중 하나에만 재순환시키는 경우, 재순환의 양은 예를 들어 CO<sub>2</sub> 및/또는 H<sub>2</sub>O를 제거하기 위한 임의의 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스 부분의 100% 이하 같은 임의의 편리한 양일 수 있다. 애노드 배기 가스중 일부를 애노드 투입물 및 연소 대역 둘 다에 재순환시키는 경우, 정의에 의해 재순환되는 총량은 애노드 배기 가스의 나머지 부분의 100% 이하일 수 있다. 다르게는, 애노드 배기 가스의 임의의 편리한 스플릿(split)을 사용할 수 있다. 본 발명의 다양한 실시양태에서, 애노드 투입물로의 재순환 양은 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스의 약 10% 이상, 예를 들어 약 25% 이상, 약 40% 이상, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 약 75% 이상 또는 약 90% 이상일 수 있다. 이들 실시양태 이외에 또는 이들 실시양태와는 달리, 애노드 투입물로의 재순환 양은 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스의 약 90% 이하, 예컨대 약 75% 이하, 약 60% 이하, 약 50% 이하, 약 40% 이하, 약 25% 이하 또는 약 10% 이하일 수 있다. 또한 추가로 또는 다르게는, 본 발명의 다양한 실시양태에서, 연소 대역(터빈)으로의 재순환 양은 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스의 약 10% 이상, 예를 들어 약 25% 이상, 약 40% 이상, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 약 75% 이상 또는 약 90% 이상일 수 있다. 이들 실시양태 이외에 또는 이들 실시양태와는 달리, 연소 대역(터빈)으로의 재순환 양은 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스의 약 90% 이하, 예를 들어 약 75% 이하, 약 60% 이하, 약 50% 이하, 약 40% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 10% 이하일 수 있다.

[0055] 애노드 배기 가스에 존재하는 임의의 H<sub>2</sub>는 CO<sub>2</sub>를 발생시키지 않으면서 연소될 수 있는 연료를 나타낼 수 있다. 적어도 일부의 H<sub>2</sub>가 연소 전지(들)의 애노드 부분의 일부로서 발생될 수 있기 때문에, 시스템의 애노드 부분에서의 CO<sub>2</sub> 분리 스테이지(들)에 의해 개질 동안 발생하는 CO<sub>2</sub>를 주로 제거할 수 있다. 그 결과, 연소 반응의 연료중 일부로서 애노드 배기 가스로부터의 H<sub>2</sub>를 사용하면, 막을 가로질러 CO<sub>2</sub>를 수송해야 하는 것과는 대조적으로, 연료의 "연소"로부터 발생하는 CO<sub>2</sub>가 시스템의 애노드 부분에서 형성될 수 있는 상황을 허용할 수 있다.

[0056] 애노드 배기 가스로부터의 H<sub>2</sub>를 연소 반응으로 재순환시키면, 배기 가스 재순환(EGR) 구성을 포함하는 터빈(또는 다른 연소 시스템)에 상승효과적인 이점을 제공할 수 있다. EGR 구성에서는, 연소 반응으로부터의 CO<sub>2</sub>-함유 배기 가스중 일부를 재순환시키고 터빈으로의 투입 기체 유동의 일부로서 사용할 수 있다. 연소로부터 동력을 얻는 터빈의 작동 동안 연소 반응 내로 도입하기 전에 산화제(예컨대, 공기 또는 산소가 풍부한 공기)의 투입 기체 유동을 압축시킬 수 있다. 연소 반응으로의 투입물 유동에 사용되는 압축기는 전형적으로는 기체의 질량에 무관하게 비슷한 몰수의 기체를 압축시킬 수 있도록 부피 제한되는 경향이 있을 수 있다. 그러나, 더 높은 질량을 갖는 기체는 더 높은 열 용량을 갖는 경향이 있고/있거나 터빈의 팽창기 부분을 가로질러 더 큰 압력 비를 허용할 수 있다. CO<sub>2</sub>가 풍부한 배기 가스 스트림은 연소 반응으로부터의 에너지를 터빈으로부터의 전력으로 더욱 개선되게 전환시킬 수 있는 더 높은 분자량의 성분을 갖는 기체 스트림의 편리한 공급원을 제공할 수 있다. CO<sub>2</sub>가 풍부한 스트림을 연소 반응 내로 도입하면 몇몇 이점을 제공할 수 있으나, 연소 반응에 상당한(부정적인) 영향을 주지 않으면서 첨가될 수 있는 CO<sub>2</sub>가 풍부한 스트림의 양에 대해 효과적인 제한이 있을 수 있다. CO<sub>2</sub>가 풍부한 스트림 자체는 전형적으로 "연료"를 함유하지 않기 때문에, 스트림은 주로 연소 반응 내에서 희석제로서

작용할 수 있다. 그 결과, 재순환될 수 있는 CO<sub>2</sub>의 양은 적어도 부분적으로는 적절한 인화성의 범위 내에서 연소 반응의 조건을 유지하는데 기초하여 한정될 수 있다.

[0057] 애노드 배기 가스로부터의 H<sub>2</sub>의 재순환은 하나 이상의 방식으로 EGR 구성을 보충할 수 있다. 첫째, H<sub>2</sub>의 연소는 직접적으로 CO<sub>2</sub>를 발생시키지 않을 수 있다. 대신, 상기 나타낸 바와 같이, H<sub>2</sub>가 생성될 때 발생하는 CO<sub>2</sub>가 애노드 루프에서 발생될 수 있다. 이는 소정 수준의 발전에 있어서 캐소드로부터 애노드로 전달될 필요가 있는 CO<sub>2</sub>의 양을 감소시킬 수 있다. 또한, H<sub>2</sub>는 또한 목적하는 연소 반응을 여전히 유지시키면서 더 높은 CO<sub>2</sub> 농도가 허용될 수 있도록, 인화성의 범위를 변화시킴에 의해서와 같이 연소 공급원의 작동을 변화시키는 이점을 가질 수 있다. 인화성의 범위를 확장시킬 수 있으면, 연소 배기 가스중 CO<sub>2</sub>의 농도를 증가시킬 수 있고, 따라서 연료 전지의 캐소드로의 투입물중 CO<sub>2</sub>를 증가시킬 수 있다.

[0058] 연료 전지 캐소드로의 투입물중 CO<sub>2</sub> 농도를 증가시킬 수 있는 경우의 이점은 용융 카보네이트 연료 전지가 작동되는 방식의 본질에 관련이 있을 수 있다. 아래 상세히 기재되는 바와 같이, 캐소드 배기 가스 스트림으로부터 MCFC에 의해 분리될 수 있는 CO<sub>2</sub>의 양에 실제적인 제한이 있을 수 있다. 작동 조건에 따라, MCFC는 캐소드 배기 가스 스트림의 CO<sub>2</sub> 함량을 약 2.0부피% 이하, 예를 들어 약 1.5부피% 이하, 또는 약 1.2부피% 이하로 낮출 수 있다. 이 제한으로 인해, 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하는 경우 CO<sub>2</sub> 제거의 효율은 캐소드 투입물중 CO<sub>2</sub>의 양에 따라 달라질 수 있다. 연료로서 천연 가스를 사용하는 연소 반응의 경우, 연소 배기 가스중 CO<sub>2</sub>의 양은 약 4부피% 이상의 캐소드 투입물에서의 CO<sub>2</sub> 농도에 상응할 수 있다. 배기 가스 재순환을 이용하면, 캐소드 투입물에서의 CO<sub>2</sub>의 양을 약 5부피% 이상, 예를 들어 약 6부피% 이상으로 증가시킬 수 있다. 연료의 일부로서 H<sub>2</sub>를 사용하는 경우 제공될 수 있는 인화성의 범위 증가로 인해, 배기 가스 재순환을 통해 첨가되는 CO<sub>2</sub>의 양도 더 증가하여, 약 7.5부피% 이상 또는 약 8부피% 이상의 캐소드 투입물에서의 CO<sub>2</sub>의 농도를 획득할 수 있다. 캐소드 배기 가스에서 약 1.5부피%의 제거 한도에 기초하여, 캐소드 투입물에서 CO<sub>2</sub> 함량을 약 5.5부피%에서 약 7.5부피%로 증가시키는 것은, 연료 전지를 이용하여 포획될 수 있고 궁극적인 CO<sub>2</sub> 분리를 위해 애노드 루프로 수송될 수 있는 CO<sub>2</sub>의 양 면에서 약 50%의 증가에 상당한다.

[0059] 예를 들어 수성 가스 전화 반응기를 사용하여 애노드 산출물에 존재하는 H<sub>2</sub>O와 CO를 H<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>로 전환시킴으로써, 애노드 산출물에 존재하는 H<sub>2</sub>의 양을 증가시킬 수 있다. 물은 애노드에서 이루어지는 반응의 예상되는 산출물이고, 따라서 애노드 산출물은 전형적으로 애노드 산출물에 존재하는 CO의 양에 비해 과량의 H<sub>2</sub>O를 가질 수 있다. CO는 개질 조건 또는 애노드 반응 동안 존재하는 조건 하에서 개질 동안의 불안정한 탄소 연소로 인해 및/또는 H<sub>2</sub>O, CO, H<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub>의 평형상태 균형 반응(즉, 수성 가스 전화 평형)으로 인해 애노드 산출물에 존재할 수 있다. CO와 H<sub>2</sub>O를 소비하고 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>를 형성시키는 방향으로 평형상태가 더 이동하도록 하는 조건하에서 수성 가스 전화 반응기를 작동시킬 수 있다. 더 높은 온도는 CO와 H<sub>2</sub>O의 형성에 바람직한 경향이 있을 수 있다. 그러므로, 수성 가스 전화 반응기를 작동시키기 위한 한 가지 옵션은 적합한 온도, 예를 들어 약 190℃ 내지 약 210℃에서 산화철, 산화아연, 산화아연 상의 구리 등을 포함하는 촉매 같은 적합한 촉매에 애노드 산출물 스트림을 노출시키는 것일 수 있다. 임의적으로는, 수성 가스 전화 반응기는 애노드 산출물 스트림중 CO 농도를 감소시키기 위한 두 스테이지를 포함할 수 있는데, 더욱 고온의 제 1 스테이지는 약 300℃ 내지 약 375℃에서 작동되고, 더욱 저온의 제 2 스테이지는 약 225℃ 이하, 예컨대 약 180℃ 내지 약 210℃에서 작동된다. 애노드 산출물에 존재하는 H<sub>2</sub>의 양을 증가시키는데 덧붙여, 수성 가스 전화 반응은 또한 CO를 소비하고 CO<sub>2</sub>의 양을 증가시킬 수 있다. 이는 제거하기 어려운 일산화탄소(CO)를, 응축(예컨대, 극저온 제거), 화학 반응(예컨대, 아민 제거) 및/또는 다른 CO<sub>2</sub> 제거 방법에 의해 더욱 용이하게 제거될 수 있는 이산화탄소로 바꿀 수 있다.

[0060] 본 발명의 일부 양태에서는, CO<sub>2</sub>(및 H<sub>2</sub>O)(중 일부)의 제거 후 잔류하는 애노드 산출물 스트림을 모두 또는 실질적으로 모두 연료 전지 애노드(들)의 투입물로서 및/또는 연소로부터 동력을 얻는 제너레이터의 연료 투입물로서 사용하기 위해 재순환시킬 수 있다. 그러므로, 수성 가스 전화 반응, CO<sub>2</sub> 제거 및/또는 H<sub>2</sub>O 제거 후 잔류하는 애노드 산출물 스트림 부분의 경우, 잔류 함량의 약 90% 이상을 연료 전지 애노드(들)의 투입물로서 또는 연소로부터 동력을 얻는 제너레이터의 연료 투입물로서 유리하게 사용할 수 있다. 다르게는, 제거 후 애노드 산

출물 스트림을 하나보다 많은 목적을 위해 사용할 수 있으나, 애노드 산출물 스트림의 임의의 부분을 캐소드로의 직접 투입물로서 및/또는 연료 전지를 가열하기 위하여 산화기로의 투입물로서 사용하기 위해 재순환시키는 것은 유리하게 피할 수 있다.

[0061] 도 4는 본 발명에 따른 제너레이터/연료 전지 시스템의 애노드 유동 경로 부분의 일례를 도시한다. 도 4에서는, 최초 연료 스트림(405)을 임의적으로 개질시켜(410) 메탄(또는 다른 유형의 연료)과 물을 H<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>로 전환시킬 수 있다. 다르게는, 개질 스테이지와 연료 전지 애노드(420) 둘 다를 포함하는 어셈블리의 일부인 개질 스테이지에서 개질 반응을 수행할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연료 스트림(405)의 적어도 일부는 수소 가스에 상응하여, 애노드(420)에 연료를 제공하는데 필요한 개질의 양을 감소시키고/시키거나 최소화할 수 있다. 이어, 임의적으로 개질된 연료(415)를 애노드(420) 내로 통과시킬 수 있다. 애노드 배기 가스(425)로부터의 연료 성분을 포함하는 재순환 스트림(455)은 또한 애노드(420)로의 투입물로서의 역할도 할 수 있다. 연료 전지(도시되지 않음)의 캐소드 부분으로부터의 카보네이트 이온(422)의 유동은 애노드 연료 전지 반응에 필요한 나머지 반응물을 제공할 수 있다. 애노드(420)에서의 반응에 기초하여, 생성되는 애노드 배기 가스(425)는 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, 미반응 연료에 상응하는 하나 이상의 성분(H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> 등) 및 임의적으로는 N<sub>2</sub> 및/또는 연료 스트림(405)의 일부인 다른 오염물질 같은 하나 이상의 추가적인 비반응성 성분을 포함할 수 있다. 이어, 애노드 배기 가스(425)를 CO<sub>2</sub>(및 임의적으로는 H<sub>2</sub>O)의 제거를 위해 하나 이상의 분리 스테이지(430) 내로 통과시킬 수 있다. 극저온 CO<sub>2</sub> 제거 시스템은 적합한 유형의 분리 스테이지의 일례일 수 있다. 임의적으로는, 애노드 배기 가스를 먼저 수성 가스 전화 반응기(440)를 통해 통과시켜 애노드 배기 가스에 존재하는 임의의 CO(일부 H<sub>2</sub>O와 함께)를 임의적으로 수성 가스 전화된 애노드 배기 가스(445) 중에서 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>로 전환시킬 수 있다.

[0062] 분리 스테이지(들)(430)의 초기 부분을 이용하여 애노드 배기 가스(425)에 존재하는 대부분의 H<sub>2</sub>O를 H<sub>2</sub>O 산출 스트림(432)으로서 제거할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 극저온 분리 시스템과는 독립적인 열 회수 증기 발생기 시스템 또는 다른 열 교환기를 이용하여 H<sub>2</sub>O의 일부를 제거할 수 있다. 이어, 극저온 CO<sub>2</sub> 제거 시스템은 CO<sub>2</sub>의 대부분을 고순도 CO<sub>2</sub> 스트림(434)으로서 제거할 수 있다. 요구되는 경우, 퍼지 스트림(도시되지 않음)도 존재하여 애노드 재순환 루프 내에 불활성 기체가 축적되는 것을 방지할 수 있다. 이어, 애노드 배기 스트림의 잔여 성분을 애노드(420) 입구로의 재순환된 투입물(455)로서 또는 연소로부터 동력을 얻는 터빈의 투입물 스트림(485)으로서 사용할 수 있다.

[0063] 통상적으로는, 임의의 연료가 연료 전지에 들어가기 전에 적어도 일부의 개질을 수행한다. 초기/예비 개질은 연료 전지(들) 또는 연료 전지 스택(들)의 외부에 있는 개질기에서 수행될 수 있다. 다르게는, 연료 전지 스택의 어셈블리는 스택 내에 그러나 스택 내의 연료 전지의 애노드 전에 위치하는 하나 이상의 개질 대역을 포함할 수 있다. 이 초기 개질은 전형적으로 애노드에 들어가기 전에 적어도 일부의 연료를 수소로 전환시켜, 애노드에 들어가는 스트림이 애노드 반응을 유지하기에 충분한 수소를 가질 수 있도록 한다. 이 초기 개질이 없으면, 특정 실시양태에서는, 애노드의 수소 함량이 너무 낮아서 CO<sub>2</sub>를 캐소드로부터 애노드로 거의 또는 전혀 수송할 수 없다. 대조적으로, 일부 실시양태에서는, 충분한 수소가 애노드 배기 가스의 재순환된 부분에 존재하기 때문에, 연료 전지 어레이의 연료 전지(들)를 외부 개질 없이, 즉 연료 전지의 애노드 부분 내에서의 개질에만 기초하여 작동시킬 수 있다. H<sub>2</sub>의 형태로 애노드에 전달되는 연료의 약 10부피% 이상 같은 충분한 양의 H<sub>2</sub>가 애노드 공급물에 존재하는 경우에는, 애노드에서의 반응 조건으로 인해 추가적인 개질이 애노드 자체 내에서 이루어지도록 할 수 있는데, 이는 유동 경로에 따라 본 발명에 따른 방법에서 애노드 투입물(들) (전의) 외부 개질 스테이지의 필요성을 감소시키고/시키거나 없앨 수 있다. 애노드 공급물이 충분한 양의 수소를 함유하지 않는 경우에는, 애노드 반응의 속도가 늦어질 수 있고, 애노드에서의 개질 활성 및/또는 다른 반응이 감소되거나, 최소화되거나, 또는 완전히 중지될 수 있다. 그 결과, 애노드 공급물에 존재하는 H<sub>2</sub>의 양이 불충분한 실시양태에서는, 애노드 투입물(들) (전의) 외부 개질 스테이지가 있는 것이 바람직할(또는 필요할) 수 있다.

[0064] 캐소드 부분의 작동

[0065] 본 발명에 따른 다양한 양태에서는, 탄소 포획을 위해 이용되는 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시켜, 발전 용량을 향상시키는 것이 아니라(심지어는 발전 용량을 훼손시켜가면서까지), 연료 전지의 탄소 포획 양태를 개선하거나 향상시킬 수 있다. 통상적으로는, 애노드에 전달되는 연료 스트림의 연료를 모두 소비하면서 목적하는 전압을 제공함에 기초하여 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시킬 수 있다. 이는 통상적으로는 부분적으로

애노드 배기 가스를 캐소드 투입물 스트림의 적어도 일부로서 사용함으로써 달성될 수 있다. 대조적으로, 본 발명은 애노드 투입물 및 캐소드 투입물에 대해 별도의/상이한 공급원을 사용한다. 애노드 투입물 유동과 캐소드 투입물 유동의 조성 사이의 연결을 제거함으로써, 이산화탄소의 포획을 개선하도록 연료 전지를 작동시키는 데 추가적인 옵션을 이용할 수 있게 된다.

[0066] 이산화탄소 제거를 위해 용융 카보네이트 연료 전지를 사용함에 있어서의 한 가지 초기 난제는 연료 전지가 비교적 묽은 캐소드 공급물로부터 이산화탄소를 제거하는 능력이 한정되어 있다는 것일 수 있다. 도 5는 캐소드 투입물 가스중 CO<sub>2</sub>의 농도에 기초하여 1) 전압과 CO<sub>2</sub> 농도 및 2) 전력과 CO<sub>2</sub> 농도 사이의 관계의 일례를 보여준다. 도 5에 도시된 바와 같이, 카보네이트 연료 전지에 의해 발생하는 전압 및/또는 전력은 CO<sub>2</sub> 농도가 약 2.0 부피% 미만으로 떨어짐에 따라 급격하게 하락하기 시작할 수 있다. 일부 지점에서 CO<sub>2</sub> 농도가 더, 예컨대 1.0 부피% 미만으로 떨어짐에 따라, 연료 전지를 가로지르는 전압은 카보네이트의 추가적인 수송이 거의 또는 전혀 이루어지지 않을 수 있을 정도로 충분히 낮아질 수 있다. 따라서, 작동 조건에 무관하게, 적어도 일부 CO<sub>2</sub>는 연료 전지의 캐소드 스테이지로부터의 배기 가스에 존재할 것이다.

[0067] 연료 전지 작동 조건의 한 가지 변형은 상기 기재된 바와 같이 애노드에서 낮은 연료 이용률로 작동시키는 것과 같이 애노드에서 과량의 이용가능한 반응물을 갖도록 연료 전지를 작동시키는 것일 수 있다. 연료 전지의 애노드 반응에 과량의 반응물을 제공함으로써, 캐소드 반응에서의 CO<sub>2</sub>의 이용가능성을 반응의 속도 제한 변수로서 사용할 수 있다.

[0068] 탄소 포획량을 향상시키도록 MCFC를 작동시키는 경우, 균형을 이루는 인자는 연료 이용률을 개선하고자 시도하는 경우와는 상이할 수 있다. 구체적으로, 연료 전지에 전달되는 이산화탄소의 양은 CO<sub>2</sub>-함유 스트림을 제공하는 연소 제너레이터로부터의 산출물 유동에 기초하여 결정될 수 있다. 대략적으로, 연소 제너레이터로부터의 산출물 유동의 CO<sub>2</sub> 함량은 유동중 소량일 수 있다. 석탄-연료 연소 제너레이터로부터의 산출물 같은 CO<sub>2</sub> 함량이 더 높은 배기 가스 유동의 경우에도, 대부분의 상업적인 석탄 연료 발전소로부터의 CO<sub>2</sub> 함량은 약 15부피% 이하일 수 있다. 캐소드 반응을 수행하기 위하여, 이는 가능하게는 CO<sub>2</sub>와 반응하여 카보네이트 이온을 형성하는데 사용되는 산소를 약 5% 내지 약 15%, 전형적으로는 약 7% 내지 약 9% 포함할 수 있다. 그 결과, 캐소드로의 투입물 스트림의 약 25부피% 미만이 전형적으로 캐소드 반응에 의해 소비될 수 있다. 캐소드 유동의 나머지 약 75% 이상의 부분은 임의의 미반응 CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub>와 함께, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, 및 다른 전형적인 산화제(공기) 성분 같은 불활성/비반응성 물질로 구성될 수 있다.

[0069] 캐소드 반응에 대한 캐소드로의 투입물 유동의 특성에 기초하여, 캐소드에서 소비 및 제거되는 캐소드 투입물 부분은 천연 가스 공급원 같은 더욱 깨끗한 연료 공급원의 연소에 기초한 투입물 유동의 경우 약 25부피% 이하, 예를 들어 약 10부피% 이하일 수 있다. 정확한 양은 사용되는 연료, 투입물 연료중 희석제 함량(예를 들어, N<sub>2</sub>가 작은 비율로 천연 가스에 전형적으로 존재함), 및 연소기가 작동되는 산화제(공기) 대 연료 비(이들 모두는 변할 수 있으나, 전형적으로는 상업적인 작동에 대해 널리 공지되어 있음)에 기초하여 변할 수 있다. 그 결과, 연료 전지의 캐소드 부분으로의 총 가스 유동은 탄소 포획을 위해 이용되는 연료 전지의 전체 어레이를 가로질러 비교적 예측될 수 있다(일정할 수 있다). 연료 전지의 어레이를 제공하여 탄소 포획을 향상/개선/최적화하기 위하여, 몇 가지 가능한 구성을 이용할 수 있다. 하기 구성 옵션을 단독으로, 또는 탄소 포획을 개선하기 위한 전략의 일부로서 함께 이용할 수 있다.

[0070] 제 1 구성 옵션은 복수개의 연료 전지 사이에서 CO<sub>2</sub>-함유 스트림을 분할하는 것일 수 있다. 상업적인 제너레이터로부터의 CO<sub>2</sub>-함유 산출물 스트림은 전형적으로 온당한 크기의 단일 MCFC에 바람직한 작동 조건에 비해 큰 유동 부피에 상응할 수 있다. 단일 MCFC에서 전체 유동을 처리하는 대신에, 각 단위장치에서의 유속이 목적하는 유동 범위 내에 있을 수 있도록, 복수개의 MCFC 단위장치(통상적으로 이들중 적어도 일부는 병렬임) 사이에서 유동을 분할할 수 있다.

[0071] 제 2 구성 옵션은 연료 전지를 직렬로 사용하여 유동 스트림으로부터 CO<sub>2</sub>를 연속적으로 제거하는 것일 수 있다. CO<sub>2</sub>-함유 스트림이 분배될 수 있는 최초 연료 전지(병렬)의 수와 무관하게, 각각의 최초 연료 전지 다음에는 하나 이상의 추가적인 전지가 직렬로 연결되어 추가적인 CO<sub>2</sub>를 추가로 제거할 수 있다. 애노드로의 H<sub>2</sub> 투입에 대한 도 3에 도시된 상황과 유사하게, 단일 연료 전지의 스트림 내에서 CO<sub>2</sub>를 제거하고자 시도하면 낮고/낮거나 예



측할 수 없는 산출 전압을 야기할 수 있다. 단일 연료 전지에서 CO<sub>2</sub>를 목적하는 수준까지 제거하고자 시도하기 보다는, 연속적인 전지에서 목적하는 수준이 달성될 수 있을 때까지 CO<sub>2</sub>를 제거할 수 있다. 예를 들면, 일련의 연료 전지의 각 전지를 이용하여 연료 스트림에 존재하는 CO<sub>2</sub>중 일부(예컨대, 약 50%)를 제거할 수 있다. 이러한 예에서, 3개의 연료 전지가 직렬로 사용되는 경우, CO<sub>2</sub> 농도는 감소될 수 있다(예를 들어, 존재하는 원래의 양의 약 15% 이하까지, 이는 직렬 연결된 3개의 연료 전지 코스에 걸쳐 CO<sub>2</sub> 농도를 약 6%에서 약 1% 이하로 감소시키는데 상응할 수 있음).

[0072] 다른 구성에서는, 목적하는 산출 전압을 제공하도록 직렬로 연결된 초기 연료 스테이지에서 작동 조건을 선택할 수 있는 한편, 탄소 포획의 목적하는 수준을 달성하도록 스테이지의 어레이를 선택할 수 있다. 예로서, 직렬로 연결된 3개의 연료 전지를 갖는 연료 전지의 어레이를 이용할 수 있다. 직렬로 연결된 처음 두 개의 연료 전지를 사용하여 목적하는 산출 전압을 유지하면서 CO<sub>2</sub>를 제거할 수 있다. 이어, 마지막 연료 전지를 작동시켜 CO<sub>2</sub>를 목적하는 농도까지 제거할 수 있다.

[0073] 또 다른 구성에서, 연료 전지 어레이의 애노드 및 캐소드는 별도로 연결될 수 있다. 예를 들어, 연료 전지 어레이가 직렬로 연결된 연료 캐소드를 포함하는 경우, 상응하는 애노드는 예컨대 이들의 상응하는 캐소드와 동일한 배열로 반드시 배치되지 않고 임의의 편리한 방식으로 연결될 수 있다. 이는 예를 들어 각 애노드가 동일한 유형의 연료 공급물을 받아들일도록 애노드를 병렬로 연결하고/하거나 애노드에서의 최고 연료 농도가 최저 CO<sub>2</sub> 농도를 갖는 캐소드에 상응할 수 있도록 애노드를 역-직렬로 연결함을 포함할 수 있다.

[0074] 수소 또는 합성 가스 포획

[0075] 수소 또는 합성 가스를 애노드 배기 가스로부터 화학적 에너지 산출물로서 회수할 수 있다. 수소는 타거나 연소될 때 온실 가스를 발생시키지 않으면서 청정 연료로서 사용될 수 있다. 대신, 탄화수소(또는 탄화수소질 화합물)의 개질에 의해 발생하는 수소의 경우, CO<sub>2</sub>가 이미 애노드 루프에 "포획"된다. 또한, 수소는 다양한 정제 공정 및/또는 다른 합성 공정의 중요한 투입물질일 수 있다. 합성 가스도 다양한 공정의 중요한 투입물질일 수 있다. 열량값을 갖는데 덧붙여, 예컨대 피셔-트롭쉬 합성 및/또는 메탄올 합성 공정용 투입물로서 합성 가스를 사용함으로써, 다른 더욱 고가의 생성물을 생성시키기 위한 공급원료로서 합성 가스를 사용할 수 있다.

[0076] 다양한 양태에서, 애노드 배기 가스는 약 1.5:1 내지 약 10:1, 예를 들어 약 3.0:1 이상, 약 4.0:1 이상, 또는 약 5.0:1 이상 및/또는 약 8.0:1 이하 또는 약 6.0:1 이하의 H<sub>2</sub> 대 CO의 비를 가질 수 있다. 합성 가스 스트림을 애노드 배기 가스로부터 회수할 수 있다. 다양한 양태에서, 애노드 배기 가스로부터 회수된 합성 가스 스트림은 약 0.9:1 이상, 예컨대 약 1.0:1 이상, 또는 약 1.2:1 이상, 또는 약 1.5:1 이상, 또는 약 1.7:1 이상, 또는 약 1.8:1 이상, 또는 약 1.9:1 이상의 H<sub>2</sub>의 몰 대 CO의 몰의 비를 가질 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 애노드 배기 가스로부터 회수된 합성 가스의 H<sub>2</sub> 대 CO의 몰비는 약 3.0:1 이하, 예를 들어 약 2.7:1 이하, 또는 약 2.5:1 이하, 또는 약 2.3:1 이하, 또는 약 2.2:1 이하, 또는 약 2.1:1 이하일 수 있다. 회수된 합성 가스 스트림중 더 높은 H<sub>2</sub> 대 CO의 비는 캐소드 배기 가스중 CO<sub>2</sub>의 양에 비해 CO의 양을 감소시키는 경향이 있을 수 있음에 주목한다. 그러나, 많은 유형의 합성 가스 용도는 약 1.5:1 내지 약 2.5:1의 H<sub>2</sub> 대 CO의 몰비를 갖는 합성 가스로부터 이점을 취하며, 따라서 예컨대 약 1.7:1 내지 약 2.3:1의 H<sub>2</sub> 대 CO 함량의 몰비를 갖는 합성 가스 스트림을 형성시키는 것이 몇몇 용도에 바람직할 수 있다.

[0077] 임의의 편리한 방법에 의해 애노드 배기 가스로부터 합성 가스를 회수할 수 있다. 몇몇 양태에서는, 애노드 배기 가스 상에서 분리를 수행하여 H<sub>2</sub> 및 CO와는 상이한 애노드 배기 가스중의 성분의 적어도 일부를 제거함으로써, 애노드 배기 가스로부터 합성 가스를 회수할 수 있다. 예를 들면, 애노드 배기 가스를 먼저 임의적인 수성 가스 전화 스테이지를 통해 통과시켜 H<sub>2</sub>와 CO의 상대적인 양을 조정할 수 있다. 이어, 하나 이상의 분리 스테이지를 이용하여 애노드 배기 가스로부터 H<sub>2</sub>O 및/또는 CO<sub>2</sub>를 제거할 수 있다. 이어, 애노드 배기 가스중 나머지 부분은 합성 가스 스트림에 상응할 수 있는데, 이를 임의의 편리한 방식으로 사용하기 위해 회수할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 회수된 합성 가스 스트림을 하나 이상의 수성 가스 전화 스테이지를 통해 통과시키고/시키거나 하나 이상의 분리 스테이지를 통해 통과시킬 수 있다.

[0078] 회수되는 합성 가스중 H<sub>2</sub> 대 CO의 몰비를 변화시키는 추가적인 또는 다른 방법은 예를 들어 막 분리를 수행함으

로써 애노드 배기 가스 및/또는 합성 가스로부터 H<sub>2</sub> 스트림을 분리시키는 것일 수 있음에 주목한다. 수성 가스 전화 반응 스테이지를 통해 애노드 배기 가스를 통과시키기 전 및/또는 후, 또한 H<sub>2</sub> 및 CO와는 상이한 애노드 배기 가스의 성분을 제거하기 위한 하나 이상의 분리 스테이지를 통해 애노드 배기 가스를 통과시키기 전 및/또는 후 같은 임의의 편리한 위치에서, 별도의 H<sub>2</sub> 산출물 스트림을 형성시키기 위한 이러한 분리를 수행할 수 있다. 임의적으로는, 애노드 배기 가스로부터 H<sub>2</sub> 스트림을 분리하기 전 및 후 둘 다에서 수성 가스 전화 스테이지를 이용할 수 있다. 추가적인 또는 다른 실시양태에서는, 회수된 합성 가스 스트림으로부터 H<sub>2</sub>를 임의적으로 분리할 수 있다. 몇몇 양태에서, 분리된 H<sub>2</sub> 스트림은 약 90부피% 이상의 H<sub>2</sub>, 예컨대 약 95부피% 이상의 H<sub>2</sub> 또는 약 99부피% 이상의 H<sub>2</sub>를 함유하는 H<sub>2</sub> 스트림 같은 고순도 H<sub>2</sub> 스트림에 상응할 수 있다.

[0079] 몇몇 양태에서는, 중간 또는 낮은 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 캐소드 투입 공급물을 사용하여 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시킬 수 있다. 탄소 분리 및 포획에 바람직한 다양한 스트림은 중간 내지 낮은 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 스트림을 포함할 수 있다. 예를 들어, 캐소드 입구에 가능한 투입물 스트림은 약 20부피% 이하, 예를 들어 약 15부피% 이하, 또는 약 12부피% 이하, 또는 약 10부피% 이하의 CO<sub>2</sub> 함량을 가질 수 있다. 석탄-연료 또는 천연 가스-연료 터빈 같은 연소 제너레이터에 의해 이러한 CO<sub>2</sub>-함유 스트림을 생성시킬 수 있다. 중간 또는 낮은 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 캐소드 투입물 스트림 상에서 목적하는 CO<sub>2</sub> 이용률 수준을 달성하면, 캐소드 투입물 스트림으로서 스트림을 사용하기 전에 스트림에 CO<sub>2</sub>를 풍부하게 할 필요 없이 더 낮은 CO<sub>2</sub> 함량의 스트림을 사용하도록 할 수 있다. 다양한 양태에서, 연료 전지의 CO<sub>2</sub> 이용률은 약 50% 이상, 예를 들어 약 55% 이상 또는 약 60% 이상일 수 있다. 또한 또는 다르게는, CO<sub>2</sub> 이용률은 약 98% 이하, 예컨대 약 97% 이하, 또는 약 95% 이하, 또는 약 90% 이하일 수 있거나, 또는 다르게는 연료 전지의 효율적인 또는 목적하는 작동을 허용하기에 충분한 CO<sub>2</sub>가 캐소드 배기 가스에 잔류하도록 충분히 높을 수 있다. 본원에 사용되는 CO<sub>2</sub> 이용률은 캐소드 입구의 CO<sub>2</sub> 몰수로 나눈, 캐소드 산출물 스트림중 CO<sub>2</sub>의 몰수와 캐소드 입구 스트림중 CO<sub>2</sub>의 몰수의 차이일 수 있다. 수학적으로 표현하면, CO<sub>2</sub> 이용률=(CO<sub>2(캐소드 입구)</sub>-CO<sub>2(캐소드 출구)</sub>)/CO<sub>2(캐소드 입구)</sub>.

[0080] 작동 전략

[0081] 본원에 기재되는 연료 전지 작동 전략에 추가적으로, 보충하여 및/또는 대안으로, 용융 카보네이트 연료 전지 (예컨대, 연료 전지 어셈블리)는 캐소드 배기 가스 스트림중 연료 전지에서 나가는 CO<sub>2</sub>의 양을 감소 또는 최소화시키면서 합성 가스(또는 수소)를 더 많이 생성시키도록 작동될 수 있다. 합성 가스는 다양한 공정의 중요한 투입물일 수 있다. 열량값을 가짐 이외에, 예컨대 피셔-트롭쉬 합성 및/또는 메탄올 합성 공정의 투입물로서 합성 가스를 사용함으로써 다른 더욱 고가의 생성물을 생성시키기 위한 원료로서 합성 가스를 사용할 수 있다. 합성 가스를 제조하는 한 가지 옵션은 탄화수소, 또는 메탄 또는 천연 가스 등의 탄화수소-같은 연료를 개질시키는 것일 수 있다. 많은 유형의 산업상 공정에 있어서는, 2:1(또는 그보다 더 낮은)에 가까운 H<sub>2</sub> 대 CO의 비를 갖는 합성 가스가 흔히 바람직할 수 있다. 애노드에서 생성되는 것과 같이 추가적인 CO<sub>2</sub>를 이용할 수 있다면, 수성 가스 전화 반응을 이용하여 합성 가스의 H<sub>2</sub> 대 CO 비를 감소시킬 수 있다.

[0082] 용융 카보네이트 연료 전지의 사용과 합성 가스 발생을 통합함으로써 제공되는 전체적인 이점을 특징화시키는 한 가지 방법은 캐소드 배기 가스중 연료 전지로부터 나가는 CO<sub>2</sub>의 양에 대한 애노드 배기 가스중 연료 전지로부터 나가는 합성 가스의 순량의 비에 기초할 수 있다. 이 특징화는 저공해 및 고효율(전기 및 화학적인 면 둘 다에서)로 전력을 생성시키는 효과를 측정한다. 이 기재에서, 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순량은 애노드 입구에 존재하는 H<sub>2</sub> 및 CO의 양에 의해 상쇄되는, 애노드 배기 가스에 존재하는 H<sub>2</sub>의 몰수와 CO의 몰수의 합으로서 정의된다. 이 비가 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순량에 기초하기 때문에, 단순히 과량의 H<sub>2</sub>를 애노드 내로 통과시키는 것만으로는 비의 값이 변하지 않는다. 그러나, 애노드에서의 개질 및/또는 애노드에 수반되는 내부 개질 스테이지에서의 개질으로 인해 발생하는 H<sub>2</sub> 및/또는 CO는 더 높은 비의 값을 초래할 수 있다. 애노드에서 산화된 수소는 비를 낮출 수 있다. 수성 가스 전화 반응은 H<sub>2</sub>를 CO로 바꿀 수 있으며, 따라서 H<sub>2</sub>와 CO의 합쳐진 몰수는 합성 가스중 H<sub>2</sub> 대 CO의 궁극적인 목적하는 비와 무관하게 애노드 배기 가스중의 가능한 총 합성



가스를 나타냄에 주목한다. 애노드 배기 가스중 합성 가스 함량( $H_2+CO$ )을 캐소드 배기 가스중  $CO_2$  함량과 비교할 수 있다. 이는 탄소 포획량을 설명할 수 있는 유형의 효율 값을 제공할 수 있다. 이는 다음과 같은 방정식으로 동일하게 표현될 수 있다:

[0083] 애노드 배기 가스중 순 합성 가스 대 캐소드  $CO_2$ 의 비= $(H_2+CO)_{\text{애노드}}$ 의 순 몰수/ $(CO_2)_{\text{캐소드}}$ 의 몰수

[0084] 다양한 양태에서, 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 캐소드 배기 가스중  $CO_2$ 의 몰수의 비는 약 2.0 이상, 예를 들어 약 3.0 이상, 또는 약 4.0 이상, 또는 약 5.0 이상일 수 있다. 일부 양태에서, 애노드 배기 가스중 순 합성 가스 대 캐소드 배기 가스중  $CO_2$ 의 양의 비는 예를 들어 약 10.0 이상, 또는 약 15.0 이상, 또는 약 20.0 이상으로 더 높을 수 있다. 약 40.0 이하, 예컨대 약 30.0 이하, 또는 약 20.0 이하의 비 값을 또한 또는 다르게 달성할 수 있다. 캐소드 입구에서의  $CO_2$ 의 양이 약 6.0부피% 이하, 예를 들어 약 5.0부피% 이하인 양태에서는, 약 1.5 이상의 비 값이 충분하고/하거나 현실적일 수 있다. 애노드 배기 가스중 순 합성 가스 대 캐소드 배기 가스중  $CO_2$ 의 양의 이러한 몰비 값은 종래 방식으로 작동되는 연료 전지의 값보다 더 클 수 있다.

[0085] 본원에 기재되는 연료 전지 작동 전략에 추가적으로, 보충하여 및/또는 대안으로, 용융 카보네이트 연료 전지(예컨대, 연료 전지 어셈블리)는 예컨대 약 60% 이상의 높은  $CO_2$  이용률 값을 가지면서 예컨대 약 50% 이하의 연료 이용률 같은 감소된 연료 이용률 값에서 작동될 수 있다. 이러한 유형의 구성에서, 용융 카보네이트 연료 전지는 탄소 포획에 효과적일 수 있는데, 왜냐하면  $CO_2$  이용률이 유리하게는 충분히 높을 수 있기 때문이다. 전기 효율을 최대화시키고자 시도하기보다는, 이러한 유형의 구성에서는 합쳐진 전기 효율과 화학적 효율에 기초하여 연료 전지의 총 효율을 개선 또는 증가시킬 수 있다. 화학적 효율은 다른 공정에서의 사용을 위한 산출물로서 애노드 배기 가스로부터 수소 및/또는 합성 가스 스트림을 회수하는데 기초할 수 있다. 전기 효율은 몇몇 종래의 구성에 비해 감소될 수 있으나, 애노드 배기 가스중 화학 에너지 산출물을 사용하여 연료 전지의 목적하는 총 에너지 효율을 가능케 할 수 있다.

[0086] 다양한 양태에서, 연료 전지 애노드에서의 연료 이용률은 약 50% 이하, 예컨대 약 40% 이하, 또는 약 30% 이하, 또는 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하일 수 있다. 다양한 양태에서, 적어도 일부 전력을 발생시키기 위하여, 연료 전지에서의 연료 이용률은 약 5% 이상, 예를 들어 약 10% 이상, 또는 약 15% 이상 또는 약 20% 이상, 또는 약 25% 이상, 또는 약 30% 이상일 수 있다. 추가로 또는 다르게는,  $CO_2$  이용률은 약 60% 이상, 예를 들어 약 65% 이상, 또는 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상일 수 있다.

[0087] 본원에 기재되는 연료 전지 작동 전략에 추가적으로, 보충하여 및/또는 대안으로, 용융 카보네이트 연료 전지는 연료 전지에 대해 목적하는 열 비를 획득하기 위하여 산화량에 대해 개질량을 선택할 수 있도록 작동될 수 있다. 본원에 사용되는 "열 비"는 연료 전지 어셈블리 내에서 이루어지는 개질 반응의 흡열성 열 수요로 나눈, 연료 전지 어셈블리에서의 발열 반응에 의해 생성되는 열로서 정의된다. 수학적으로 표현하면, 열 비  $(TH)=Q_{EX}/Q_{EN}$ 이다. 여기에서,  $Q_{EX}$ 는 발열 반응에 의해 생성되는 열의 합이고,  $Q_{EN}$ 은 연료 전지 내에서 이루어지는 흡열 반응에 의해 소비되는 열의 합이다. 발열 반응에 의해 생성되는 열이 전지 내에서의 개질 반응, 수성 가스 전화 반응 및 전기화학적 반응으로 인한 임의의 열에 상응함에 주목한다. 전기화학적 반응에 의해 발생하는 열은 전해질을 가로지르는 연료 전지 반응의 이상적인 전기화학적 포텐셜에서 연료 전지의 실제 산출 전압을 빼 것에 기초하여 계산될 수 있다. 예를 들어, MCFC에서의 반응의 이상적인 전기화학적 포텐셜은 전지에서 이루어지는 순 반응에 기초하여 약 1.04V인 것으로 생각된다. MCFC의 작동 동안, 전지는 전형적으로 다양한 손실로 인해 1.04V 미만의 산출 전압을 갖는다. 예를 들어, 통상적인 산출/작동 전압은 약 0.7V일 수 있다. 발생하는 열은 [전지의 전기화학적 포텐셜(즉, 약 1.04V)-작동 전압]과 같다. 예를 들어, 전지에서 전기화학적 반응에 의해 생성되는 열은 산출 전압이 약 0.7V일 때 약 0.34V이다. 그러므로, 이 시나리오에서, 전기화학적 반응은 약 0.7V의 전류 및 약 0.34V의 열 에너지를 생성시킨다. 이러한 예에서, 약 0.7V의 전기 에너지는  $Q_{EX}$ 의 일부로서 포함되지 않는다. 달리 말해, 열 에너지는 전기 에너지가 아니다.

[0088] 다양한 양태에서, 연료 전지 스택, 연료 전지 스택 내의 개별적인 연료 전지, 통합된 개질 스테이지를 갖는 연료 전지 스택, 통합된 흡열 반응 스테이지를 갖는 연료 전지 스택, 또는 이들이 조합 같은 임의의 편리한 연료 전지 구조에 대해 열 비를 결정할 수 있다. 예를 들어 연료 전지의 어셈블리 또는 연료 전지 스택 같은 연료 전지 스택 내의 상이한 단위 장치에 대해 열 비를 계산할 수 있다. 예를 들면, 단일 연료 전지 내의 단일 애노

드, 연료 전지 스택 내의 애노드 구역, 또는 열 통합의 관점에서 통합되는 애노드 구역에 충분히 근접하는 통합된 개질 스테이지 및/또는 통합된 흡열 반응 스테이지 요소와 함께 연료 전지 스택 내의 애노드 구역에 대해 열 비를 계산할 수 있다. 본원에 사용되는 용어 "애노드 구역"은 공통 입구 또는 출구 매니폴드를 공유하는 연료 전지 스택 내의 애노드를 포함한다.

[0089] 본 발명의 다양한 양태에서, 연료 전지의 작동은 열 비에 기초하여 특징화될 수 있다. 연료 전지가 목적하는 열 비를 갖도록 작동되는 경우에, 용융 카보네이트 연료 전지는 약 1.5 이하, 예를 들어 약 1.3 이하, 또는 약 1.15 이하, 또는 약 1.0 이하, 또는 약 0.95 이하, 또는 약 0.90 이하, 또는 약 0.85 이하, 또는 약 0.80 이하, 또는 약 0.75 이하의 열 비를 갖도록 작동될 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 열 비는 약 0.25 이상, 또는 약 0.35 이상, 또는 약 0.45 이상, 또는 약 0.50 이상일 수 있다. 또한 또는 다르게는, 일부 양태에서, 연료 전지는 약 40°C 이하, 예컨대 약 20°C 이하, 또는 약 10°C 이하의 애노드 투입물과 애노드 산출물 사이의 온도 상승을 갖도록 작동될 수 있다. 또한 추가로 또는 다르게는, 연료 전지는 애노드 입구 온도보다 약 10°C 더 낮은 온도에서 약 10°C 더 높은 온도까지의 애노드 출구 온도를 갖도록 작동될 수 있다. 또한 추가로 또는 다르게는, 애노드 출구 온도보다 높은, 예를 들어 약 5°C 이상 더 높거나, 또는 약 10°C 이상 더 높거나, 또는 약 20°C 이상 더 높거나, 또는 약 25°C 이상 더 높은 애노드 입구 온도를 갖도록 연료 전지를 작동시킬 수 있다. 또한 추가로 또는 다르게는, 애노드 출구 온도보다 약 100°C 이하, 예컨대 약 80°C 이하, 또는 약 60°C 이하, 또는 약 50°C 이하, 또는 약 40°C 이하, 또는 약 30°C 이하, 또는 20°C 이하만큼 더 높은 애노드 입구 온도를 갖도록 연료 전지를 작동시킬 수 있다.

[0090] 본원에 기재되는 연료 전지 작동 전략에 추가적으로, 보충하여 및/또는 대안으로, 용융 카보네이트 연료 전지(예컨대, 연료 전지 어셈블리)는 연료 전지의 애노드에서 반응하는 수소의 양에 비해 과량의 개질가능한 연료를 갖도록 작동될 수 있다. 연료 전지의 전기 효율을 개선하거나 최대화하도록 연료 전지의 작동 조건을 선택하는 대신, 과량의 개질가능한 연료를 연료 전지의 애노드 내로 통과시켜 연료 전지의 화학적 에너지 산출을 증가시킬 수 있다. 임의적으로, 그러나 바람직하게는, 이는 연료 전지의 전기 효율과 화학적 효율을 합한 것에 기초하여 연료 전지의 총 효율을 증가시킬 수 있다.

[0091] 일부 양태에서, 애노드 및/또는 애노드에 수반되는 개질 스테이지로 전달되는 투입물 스트림중 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량은 애노드에서 산화되는 수소의 양보다 약 50% 이상, 예를 들어 약 75% 이상 또는 약 100% 이상 더 클 수 있다. 다양한 양태에서, 애노드에서 반응하는 수소의 양에 대한 연료 스트림중 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량의 비는 약 1.5:1 이상, 또는 약 2.0:1 이상, 또는 약 2.5:1 이상, 또는 약 3.0:1 이상일 수 있다. 또한 또는 다르게는, 애노드에서 반응하는 수소의 양에 대한 연료 스트림중 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량의 비는 약 20:1 이하, 예를 들어 약 15:1 이하 또는 약 10:1 이하일 수 있다. 하나의 양태에서는, 애노드 입구 스트림중 개질가능한 수소 함량의 100% 미만을 수소로 전환시킬 수 있는 것으로 생각된다. 예를 들어, 애노드 입구 스트림중 개질가능한 수소 함량의 약 80% 이상, 예를 들어 약 85% 이상, 또는 약 90% 이상을 애노드 및/또는 그에 수반되는 개질 스테이지에서 수소로 전환시킬 수 있다.

[0092] 본원에 기재되는 연료 전지 작동 전략에 추가적으로, 보충하여 및/또는 대안으로, 용융 카보네이트 연료 전지(예를 들어, 연료 전지 어셈블리)는 또한 연료 전지의 합쳐진 전기 효율 및 화학적 효율을 개선하거나 최적화할 수 있는 조건에서 작동될 수 있다. 연료 전지의 전기 효율을 최대화하기 위한 종래의 조건을 선택하는 대신, 작동 조건은 연료 전지의 애노드 배기 가스중 과량의 합성 가스 및/또는 수소의 산출을 가능케 할 수 있다. "청정" 연료로서 사용하기 위한 수소의 화학적 합성 공정 및 수집을 비롯한 다양한 용도에 합성 가스 및/또는 수소를 사용할 수 있다. 본 발명의 양태에서는, 전기 효율을 감소시켜 높은 전체적인 효율을 달성할 수 있는데, 이 전체적인 효율은 연료 전지의 연료 투입물의 에너지 값에 대해 생성되는 합성 가스 및/또는 수소의 화학적 에너지 값에 기초한 화학적 효율을 포함한다.

[0093] 일부 양태에서, 연료 전지의 작동은 전기 효율에 기초하여 특징화될 수 있다. 연료 전지가 낮은 전기 효율(EE)을 갖도록 작동되는 경우, 용융 카보네이트 연료 전지는 약 40% 이하, 예컨대 약 35% EE 이하, 약 30% EE 이하, 약 25% EE 이하, 또는 약 20% EE 이하, 약 15% EE 이하, 또는 약 10% EE 이하의 전기 효율을 갖도록 작동될 수 있다. 추가로 또는 다르게는, EE는 약 5% 이상, 또는 약 10% 이상, 또는 약 15% 이상, 또는 약 20% 이상일 수 있다. 또한 추가로 또는 다르게는, 연료 전지의 작동은 연료 전지의 합쳐진 전기 효율 및 화학적 효율 같은 총 연료 전지 효율(TFCE)에 기초하여 특징화될 수 있다. 연료 전지가 높은 총 연료 전지 효율을 갖도록 작동되는 경우, 용융 카보네이트 연료 전지는 약 55% 이상, 예를 들어 약 60% 이상, 또는 약 65% 이상, 또는 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상, 또는 약 80% 이상, 또는 약 85% 이상의 TFCE(및/또는 합쳐진 전기 효율 및 화학적 효율)를 갖도록 작동될 수 있다. 총 연료 전지 효율 및/또는 합쳐진 전기 효율 및 화학적 효율에 있어서, 연료

전지에 의해 발생하는 과량의 열의 사용으로부터 발생하는 임의의 추가적인 전기는 효율 계산에서 제외될 수 있다.

[0094] 본 발명의 다양한 양태에서, 연료 전지의 작동은 약 40% 이하의 목적하는 전기 효율 및 약 55% 이상의 목적하는 총 연료 전지 효율에 기초하여 특징화될 수 있다. 연료 전지가 목적하는 전기 효율 및 목적하는 총 연료 전지 효율을 갖도록 작동되는 경우, 용융 카보네이트 연료 전지는 약 40% 이하의 전기 효율 및 약 55% 이상의 TFCE, 예를 들어 약 35% 이하의 EE 및 약 60% 이상의 TFCE, 약 30% 이하의 EE 및 약 65% 이상의 TFCE, 약 25% 이하의 EE 및 약 70% 이상의 TFCE, 약 20% 이하의 EE 및 약 75% 이상의 TFCE, 약 15% 이하의 EE 및 약 80% 이상의 TFCE, 또는 약 10% 이하의 EE 및 약 85% 이상의 TFCE를 갖도록 작동될 수 있다.

[0095] 본원에 기재되는 연료 전지 작동 전략에 추가적으로, 보충하여 및/또는 대안으로, 용융 카보네이트 연료 전지 (예를 들어, 연료 전지 어셈블리)는 전력 밀도를 증가시킬 수 있는 조건 하에서 작동될 수 있다. 연료 전지의 전력 밀도는 전류 밀도 I로 곱한 실제 작동 전압  $V_A$ 에 상응한다. 전압  $V_A$ 에서 작동되는 용융 카보네이트 연료 전지의 경우, 연료 전지는 또한 폐열을 발생시키는 경향이 있을 수 있으며, 폐열은 전류 밀도 I를 제공하는 연료 전지의  $V_A$ 와 이상적인 전압  $V_0$  사이의 차이에 기초하여  $(V_0 - V_A) \cdot I$ 로서 정의된다. 연료 전지의 애노드 내에서 개질가능한 연료를 개질시킴으로써 이 폐열의 일부를 소비할 수 있다. 이 폐열의 나머지 부분은 주위의 연료 전지 구조체 및 가스 유동에 의해 흡수되어, 연료 전지를 가로지르는 온도 차이가 발생될 수 있다. 종래의 작동 조건하에서, 연료 전지의 전력 밀도는 연료 전지의 일체성을 희생시키지 않으면서 연료 전지가 허용할 수 있는 폐열의 양에 기초하여 제한될 수 있다.

[0096] 다양한 양태에서, 연료 전지가 허용할 수 있는 폐열의 양은 연료 전지 내에서 효과량의 흡열 반응을 수행함으로써 증가될 수 있다. 흡열 반응의 일례는 연료 전지 애노드 내에서 및/또는 연료 전지 스택의 통합된 개질 스테이지 같은 그에 수반되는 개질 스테이지에서 개질가능한 연료의 증기 개질을 포함한다. 연료 전지의 애노드(또는 통합된/수반되는 개질 스테이지)에 추가적인 개질가능한 연료를 제공함으로써, 추가적인 폐열이 소비될 수 있도록 추가적인 개질을 수행할 수 있다. 이는 연료 전지를 가로지르는 온도 차이의 양을 감소시켜, 연료 전지가 더 많은 양의 폐열이 있는 작동 조건 하에서 작동되도록 할 수 있다. 전기 효율의 손실은 시스템의 전력 범위를 더욱 확장시키는 추가적인 발전을 비롯한 다양한 목적에 사용될 수 있는 합성 가스 및/또는  $H_2$  같은 추가적인 생성물 스트림의 형성에 의해 상쇄될 수 있다.

[0097] 다양한 양태에서, 상기 정의된 바와 같은 연료 전지에 의해 발생하는 폐열의 양  $(V_0 - V_A) \cdot I$ 는 약  $30\text{mW/cm}^2$  이상, 예를 들어 약  $40\text{mW/cm}^2$  이상, 또는 약  $50\text{mW/cm}^2$  이상, 또는 약  $60\text{mW/cm}^2$  이상, 또는 약  $70\text{mW/cm}^2$  이상, 또는 약  $80\text{mW/cm}^2$  이상, 또는 약  $100\text{mW/cm}^2$  이상, 또는 약  $120\text{mW/cm}^2$  이상, 또는 약  $140\text{mW/cm}^2$  이상, 또는 약  $160\text{mW/cm}^2$  이상, 또는 약  $180\text{mW/cm}^2$  이상일 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연료 전지에 의해 발생하는 폐열의 양은  $250\text{mW/cm}^2$  미만, 예컨대 약  $200\text{mW/cm}^2$  미만, 또는 약  $180\text{mW/cm}^2$  미만, 또는 약  $165\text{mW/cm}^2$  미만, 또는 약  $150\text{mW/cm}^2$  미만일 수 있다.

[0098] 발생하는 폐열의 양이 비교적 높을 수 있어도, 이러한 폐열이 반드시 불량한 효율로 연료 전지를 작동시킴을 나타내지 않을 수 있다. 대신, 폐열은 높은 전력 밀도에서 연료 전지를 작동시킴으로써 발생될 수 있다. 연료 전지의 전력 밀도의 개선의 일부는 충분히 높은 전류 밀도에서 연료 전지를 작동시킴을 포함할 수 있다. 다양한 양태에서, 연료 전지에 의해 발생하는 전류 밀도는 약  $150\text{mA/cm}^2$  이상, 예를 들어 약  $160\text{mA/cm}^2$  이상, 또는 약  $170\text{mA/cm}^2$  이상, 또는 약  $180\text{mA/cm}^2$  이상, 또는 약  $190\text{mA/cm}^2$  이상, 또는 약  $200\text{mA/cm}^2$  이상, 또는 약  $225\text{mA/cm}^2$  이상, 또는 약  $250\text{mA/cm}^2$  이상일 수 있다. 또한 또는 다르게는, 연료 전지에 의해 발생하는 전류 밀도는 약  $500\text{mA/cm}^2$  이하, 예를 들어  $450\text{mA/cm}^2$  이하, 또는  $400\text{mA/cm}^2$  이하, 또는  $350\text{mA/cm}^2$  이하, 또는  $300\text{mA/cm}^2$  이하일 수 있다.

[0099] 다양한 양태에서, 발전을 증가시키고 폐열 발생을 증가시키면서 연료 전지를 작동시키기 위하여, 효과량의 흡열 반응(예컨대, 개질 반응)을 수행할 수 있다. 다르게는, 애노드 작동에 관련되지 않는 다른 흡열 반응을 이용하여, 애노드 또는 캐소드와 열 연통되도록(그러나 유체 연통되지는 않음) 연료 전지 어레이 내로 "플레이트" 또는 스테이지를 배치함으로써 폐열을 활용할 수 있다. 수반되는 개질 스테이지, 통합된 개질 스테이지, 흡열 반

응을 수행하기 위한 통합된 스택 요소, 또는 이들의 조합에서 효과량의 흡열 반응을 수행할 수 있다. 효과량의 흡열 반응은 연료 전지 입구로부터 연료 전지 출구까지의 온도 증가를 약 100°C 이하, 예를 들어 약 90°C 이하, 또는 약 80°C 이하, 또는 약 70°C 이하, 또는 약 60°C 이하, 또는 약 50°C 이하, 또는 약 40°C 이하, 또는 약 30°C 이하로 감소시키기에 충분한 양에 상응할 수 있다. 또한 또는 다르게는, 효과량의 흡열 반응은 약 100°C 이하, 예를 들어 약 90°C 이하, 또는 약 80°C 이하, 또는 약 70°C 이하, 또는 약 60°C 이하, 또는 약 50°C 이하, 또는 약 40°C 이하, 또는 약 30°C 이하, 또는 약 20°C 이하, 또는 약 10°C 이하의 연료 전지 입구로부터 연료 전지 출구까지의 온도 감소를 야기하기에 충분한 양에 상응할 수 있다. 효과량의 흡열 반응이 발생하는 폐열을 초과하는 경우에, 연료 전지 입구로부터 연료 전지 출구까지 온도 감소가 발생할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 이는 연료 전지에 의해 발생하는 폐열의 약 40% 이상을 소비하는, 예를 들어 폐열의 약 50% 이상, 또는 폐열의 약 60% 이상, 또는 폐열의 약 75% 이상을 소비하는 흡열 반응(들)(예컨대, 개질 및 다른 흡열 반응의 조합)을 갖는 것에 상응할 수 있다. 또한 추가로 또는 다르게는, 흡열 반응(들)은 폐열의 약 95% 이하, 예를 들어 폐열의 약 90% 이하, 또는 폐열의 약 85% 이하를 소비할 수 있다.

[0100] 정의

[0101] **합성 가스:** 이 정의에서, 합성 가스는 H<sub>2</sub>와 CO의 임의의 비의 혼합물로서 정의된다. 임의적으로는, H<sub>2</sub>O 및/또는 CO<sub>2</sub>가 합성 가스에 존재할 수 있다. 임의적으로는, 불활성 화합물(예컨대, 질소) 및 잔류하는 개질가능한 연료 화합물이 합성 가스에 존재할 수 있다. H<sub>2</sub>와 CO 외의 성분이 합성 가스에 존재하는 경우, 합성 가스중 H<sub>2</sub>와 CO의 합쳐진 부피 백분율은 합성 가스의 총 부피에 대해 25부피% 이상, 예컨대 40부피% 이상, 또는 50부피% 이상, 또는 60부피% 이상일 수 있다. 또한 또는 다르게는, 합성 가스중 H<sub>2</sub>와 CO의 합쳐진 부피 백분율은 100부피% 이하, 예컨대 95부피% 이하 또는 90부피% 이하일 수 있다.

[0102] **개질가능한 연료:** 개질가능한 연료는 개질되어 H<sub>2</sub>를 발생시킬 수 있는 탄소-수소 결합을 함유하는 연료로서 정의된다. 다른 탄화수소질 화합물(예컨대, 알콜)이 그러하듯이 탄화수소가 개질가능한 연료의 일례이다. CO와 H<sub>2</sub>O가 수성 가스 전화 반응에 참여하여 수소를 형성할 수 있으나, CO는 이 정의 하에서 개질가능한 연료로 간주되지 않는다.

[0103] **개질가능한 수소 함량:** 연료의 개질가능한 수소 함량은 연료를 개질시킨 후 수성 가스 전화 반응이 완결되도록 하여 H<sub>2</sub> 생성을 최대화함으로써 연료로부터 유도될 수 있는 H<sub>2</sub> 분자의 수로서 정의된다. 이 정의에 의한 H<sub>2</sub>는 1의 개질가능한 수소 함량을 갖지만, H<sub>2</sub> 자체는 본원에서 개질가능한 연료로서 정의되지 않음에 주목한다. 유사하게, CO는 1의 개질가능한 수소 함량을 갖는다. CO는 엄격하게는 개질가능하지 않지만, 수성 가스 전화 반응이 완결되도록 함으로써 CO를 H<sub>2</sub>로 변하게 한다. 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량의 일례로서, 메탄의 개질가능한 수소 함량은 4개의 H<sub>2</sub> 분자인 한편, 에탄의 개질가능한 수소 함량은 7개의 H<sub>2</sub> 분자이다. 더욱 일반적으로, 연료가 C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub>의 조성을 갖는다면, 100% 개질 및 수성 가스 전화시 이 연료의 개질가능한 수소 함량은 n(최대 개질 H<sub>2</sub>)=2x+y/2-z이다. 이 정의에 기초하여, 전지 내의 연료 이용률은 n(산화 H<sub>2</sub>)/n(최대 개질 H<sub>2</sub>)로서 표현될 수 있다. 물론, 성분의 혼합물의 개질가능한 수소 함량은 개별 성분의 개질가능한 수소 함량에 기초하여 결정될 수 있다. 산소, 황 또는 질소 같은 다른 헤테로원자를 함유하는 화합물의 개질가능한 수소 함량도 유사한 방식으로 계산될 수 있다.

[0104] **산화 반응:** 이 논의에서, 연료 전지의 애노드 내에서의 산화 반응은 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>와의 반응에 의해 H<sub>2</sub>를 산화시켜 H<sub>2</sub>O와 CO<sub>2</sub>를 생성시킴에 상응하는 반응으로서 정의된다. 탄소-수소 결합을 함유하는 화합물이 H<sub>2</sub>와 CO 또는 CO<sub>2</sub>로 전환되는 애노드 내에서의 개질 반응은 애노드에서의 산화 반응의 이 정의로부터 제외됨에 주목한다. 수성 가스 전화 반응도 유사하게 산화 반응의 이 정의에서 제외된다. 연소 반응의 인용은 연소로부터 동력을 얻는 제너레이터의 연소 대역 같은 비-전기화학적 버너에서 H<sub>2</sub> 또는 탄소-수소 결합(들)을 함유하는 화합물이 O<sub>2</sub>와 반응하여 H<sub>2</sub>O와 이산화탄소를 형성시키는 반응의 인용으로서 정의됨에 또한 주목한다.

[0105] 본 발명의 양태는 애노드 연료 매개변수를 조정하여 연료 전지의 목적하는 작동 범위를 달성할 수 있다. 애노드 연료 매개변수는 직접적으로 및/또는 하나 이상의 비의 형태로 다른 연료 전지 공정과 관련하여 특정화될 수 있다. 예를 들어, 애노드 연료 매개변수를 제어하여 연료 이용률, 연료 전지 발열량 이용률, 연료 과잉 비, 개질가능한 연료 과잉 비, 개질가능한 수소 함량 연료 비 및 이들의 조합을 비롯한 하나 이상의 비를 획득할 수



있다.

- [0106] **연료 이용률:** 연료 이용률은 연료 전지의 연료 이용률을 정의하는데 사용될 수 있는 투입물 스트림의 개질가능한 수소 함량에 대한 산화된 연료의 양에 기초하여 애노드의 작동을 특징화하는 옵션이다. 이 논의에서, "연료 이용률"은 발전(상기 기재된 바와 같음)을 위해 애노드에서 산화되는 수소의 양 대 애노드 투입물(임의의 수반되는 개질 스테이지 포함)의 개질가능한 수소 함량의 비로서 정의된다. 개질가능한 수소 함량은 연료를 개질시킨 후 수성 가스 전화 반응이 완결되도록 하여 H<sub>2</sub> 생성을 최대화함으로써 연료로부터 유도될 수 있는 H<sub>2</sub> 분자의 수로서 상기에서 정의되었다. 예를 들어, 애노드 내로 도입되어 증기 개질 공정에 노출되는 각 메탄은 최대 생산시 4개의 H<sub>2</sub> 분자를 발생시킨다. (개질 및/또는 애노드 조건에 따라, 개질 생성물은 수성 가스 전화되지 않은 생성물에 상응할 수 있으며, 이 때 하나 이상의 H<sub>2</sub> 분자가 CO 분자의 형태로 대신 존재한다.) 그러므로, 메탄은 4개의 H<sub>2</sub> 분자의 개질가능한 수소 함량을 갖는 것으로 정의된다. 다른 예로서, 이 정의 하에서 에탄은 H<sub>2</sub> 분자 7개의 개질가능한 수소 함량을 갖는다.
- [0107] 애노드에서의 연료의 이용률은, 애노드 및/또는 애노드에 수반되는 개질 스테이지로 전달되는 모든 연료의 저위 발열량(Lower Heating Value)에 대한, 연료 전지 애노드 반응으로 인해 애노드에서 산화되는 수소의 저위 발열량의 비에 기초하여 발열량 이용률을 정의함으로써 또한 특징화될 수 있다. 본원에 사용되는 "연료 전지 발열량 이용률"은 연료 전지 애노드에 들어가고 나가는 연료 성분의 유속 및 저위 발열량(LHV)을 사용하여 산출될 수 있다. 이로써, 연료 전지 발열량 이용률은 (LHV(애노드 입구)-LHV(애노드 출구))/LHV(애노드 입구)로서 산출될 수 있으며, 여기에서 LHV(애노드 입구) 및 LHV(애노드 출구)는 각각 애노드 입구 및 출구 스트림 또는 유동중 연료 성분(예를 들어, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 및/또는 CO)의 LHV를 가리킨다. 이 정의에서, 스트림 또는 유동의 LHV는 투입물 및/또는 산출물 스트림중 각 연료 성분의 값의 합으로서 산출될 수 있다. 합에 대한 각 연료 성분의 기여분은 연료 성분의 LHV(예를 들어, J/몰)로 곱한 연료 성분의 유속(예를 들어, 몰/시간)에 상응할 수 있다.
- [0108] **저위 발열량:** 저위 발열량은 연료 성분이 기상의 완전 산화된 생성물(즉, 기상 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O 생성물)로 연소됨에 있어서의 엔탈피로서 정의된다. 예를 들어, 애노드 투입물 스트림에 존재하는 임의의 CO<sub>2</sub>는 애노드 투입물의 연료 함량에 기여하지 않는데, 왜냐하면 CO<sub>2</sub>는 이미 완전히 산화되어 있기 때문이다. 이 정의에서, 애노드 연료 전지 반응으로 인해 애노드에서 발생하는 산화의 양은 상기 정의된 바와 같이 애노드에서의 전기화학적 반응의 일부로서의 애노드에서의 H<sub>2</sub> 산화로서 정의된다.
- [0109] 애노드 투입물 유동의 유일한 연료가 H<sub>2</sub>인 특수한 경우에 있어서, 애노드에서 일어날 수 있는 연료 성분을 포함하는 유일한 반응은 H<sub>2</sub>의 H<sub>2</sub>O로의 전환을 나타냄에 주목한다. 이 특수한 경우에서, 연료 이용률은 (H<sub>2</sub>의 입구 속도-H<sub>2</sub>의 출구 속도)/H<sub>2</sub>의 입구 속도로 단순화된다. 이 경우, H<sub>2</sub>는 유일한 연료 성분이고, 따라서 H<sub>2</sub> LHV는 방정식에서 빠지게 된다. 더욱 일반적인 경우, 애노드 공급물은 예컨대 CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> 및 CO를 다양한 양으로 함유할 수 있다. 이들 물질이 전형적으로는 애노드 출구에서 상이한 양으로 존재하기 때문에, 상기 기재된 합이 연료 이용률을 결정하는데 필요할 수 있다.
- [0110] 연료 이용률과는 다르게 또는 연료 이용률 이외에, 연료 전지의 다른 반응물의 이용률을 특징화할 수 있다. 예를 들어, 연료 전지의 작동은 추가로 또는 다르게는 "CO<sub>2</sub> 이용률" 및/또는 "산화제" 이용률과 관련하여 특징화될 수 있다. CO<sub>2</sub> 이용률 및/또는 산화제 이용률 값도 유사한 방식으로 규정될 수 있다.
- [0111] **연료 과잉 비:** 용융 카보네이트 연료 전지에서 반응을 특징화하는 또 다른 방법은 연료 전지 애노드 반응으로 인해 애노드에서 산화되는 수소의 저위 발열량에 대한, 애노드 및/또는 애노드에 수반되는 개질 스테이지로 전달되는 모든 연료의 저위 발열량의 비에 기초하여 이용률을 한정하는 것이다. 이 양은 연료 과잉 비로서 일컬어진다. 이로써, 연료 과잉 비는 (LHV(애노드 입구))/(LHV(애노드 입구)-LHV(애노드 출구))로서 산출될 수 있으며, 여기에서 LHV(애노드 입구) 및 LHV(애노드 출구)은 각각 애노드 입구 및 출구 스트림 또는 유동중 연료 성분(예를 들어, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 및/또는 CO)의 LHV를 가리킨다. 본 발명의 다양한 양태에서, 용융 카보네이트 연료 전지는 약 1.0 이상, 예를 들어 약 1.5 이상, 또는 약 2.0 이상, 또는 약 2.5 이상, 또는 약 3.0 이상, 또는 약 4.0 이상의 연료 과잉 비를 갖도록 작동될 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연료 과잉 비는 약 25.0 이하일 수 있다.
- [0112] 애노드의 투입물 스트림중 개질가능한 연료 모두가 개질될 수 있는 것은 아님에 주목한다. 바람직하게는, 애노

드(및/또는 수반되는 개질 스테이지)로의 투입물 스트림중 개질가능한 연료의 약 90% 이상, 예를 들어 약 95% 이상 또는 약 98% 이상이 애노드에서 나가기 전에 개질될 수 있다. 몇몇 다른 양태에서, 개질되는 개질가능한 연료의 양은 약 75% 내지 약 90%, 예컨대 약 80% 이상일 수 있다.

[0113] 연료 과잉 비의 상기 정의는 발전을 위해 연료 전지 애노드에서 소비되는 양에 대한, 애노드 및/또는 연료 전지에 수반되는 개질 스테이지(들) 내에서 이루어지는 개질의 양을 특징화하는 방법을 제공한다.

[0114] 임의적으로, 연료 과잉 비는 연료가 애노드 산출물로부터 애노드 투입물로 재순환되는 상황 때문에 변화될 수 있다. 연료(예를 들어, H<sub>2</sub>, CO 및/또는 미개질 또는 부분 개질 탄화수소)가 애노드 산출물로부터 애노드 투입물로 재순환되는 경우, 이러한 재순환된 연료 성분은 다른 목적으로 이용될 수 있는 개질가능한 또는 개질되는 연료의 과잉 양을 나타내지 않는다. 대신, 이러한 재순환된 연료 성분은 단지 연료 전지에서 연료 이용률을 감소시키고자 하는 요구를 나타낸다.

[0115] **개질가능한 연료 과잉 비:** 개질가능한 연료 과잉 비를 계산하는 것은 이러한 재순환된 연료 성분을 설명하기 위한 하나의 옵션이고, 개질가능한 연료의 LHV만이 애노드로의 투입물 스트림에 포함되도록 과잉 연료의 정의를 좁히는 것이다. 본원에 사용되는 "개질가능한 연료 과잉 비"는 연료 전지 애노드 반응으로 인해 애노드에서 산화되는 수소의 저위 발열량에 대한, 애노드 및/또는 애노드에 수반되는 개질 스테이지로 전달되는 개질가능한 연료의 저위 발열량으로서 정의된다. 개질가능한 연료 과잉 비의 정의 하에서, 애노드 투입물중 임의의 H<sub>2</sub> 또는 CO의 LHV는 제외된다. 이러한 개질가능한 연료의 LHV는 연료 전지 애노드에 들어가는 실제 조성을 특징화시킴으로써 측정될 수 있으며, 따라서 재순환된 성분과 새로운 성분을 구분할 필요가 없다. 일부 미개질 또는 부분 개질된 연료도 재순환될 수 있지만, 대부분의 양태에서, 애노드로 재순환되는 연료의 대부분은 H<sub>2</sub> 또는 CO 같은 개질된 생성물에 상응할 수 있다. 수학적으로 표현하자면, 개질가능한 연료 과잉 비(R<sub>RFS</sub>)=LHV<sub>RF</sub>/LHV<sub>OH</sub>이며, 여기서 LHV<sub>RF</sub>는 개질가능한 연료의 저위 발열량(LHV)이고, LHV<sub>OH</sub>는 애노드에서 산화된 수소의 저위 발열량(LHV)이다. 애노드에서 산화된 수소의 LHV는 애노드 입구 스트림의 LHV에서 애노드 출구 스트림의 LHV를 뺀으로써 [예를 들어, LHV(애노드 입구)-LHV(애노드 출구)] 계산될 수 있다. 본 발명의 다양한 양태에서, 용융 카보네이트 연료 전지는 약 0.25 이상, 예컨대 약 0.5 이상, 또는 약 1.0 이상, 또는 약 1.5 이상, 또는 약 2.0 이상, 또는 약 2.5 이상, 또는 약 3.0 이상, 또는 약 4.0 이상의 개질가능한 연료 과잉 비를 갖도록 작동될 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 개질가능한 연료 과잉 비는 약 25.0 이하일 수 있다. 애노드에서의 산화 양에 대한 애노드로 전달되는 개질가능한 연료의 양에 기초한 이 더 좁은 정의는 낮은 연료 이용률을 갖는 두 가지 유형의 연료 전지 작동 방법을 구분할 수 있음에 주목한다. 몇몇 연료 전지는 상당량의 애노드 산출물을 애노드 투입물로 다시 재순환시킴으로써 낮은 연료 이용률을 달성한다. 이 재순환은 애노드 투입물중 임의의 수소가 애노드로의 투입물로서 다시 사용될 수 있게 할 수 있다. 이는 개질의 양을 감소시킬 수 있는데, 왜냐하면 연료 전지를 통해 1회 통과시키는 경우 연료 이용률이 낮아도 미사용 연료중 적어도 일부가 후속 통과에서 사용되기 위해 재순환되기 때문이다. 그러므로, 다양한 연료 이용률 값을 갖는 연료 전지는 애노드 개질 스테이지(들)로 전달되는 개질가능한 연료 대 애노드 반응에서 산화되는 수소의 동일한 비를 가질 수 있다. 애노드 개질 스테이지로 전달되는 개질가능한 연료 대 애노드에서의 산화 양의 비를 변화시키기 위해서는, 개질되지 못하는 연료의 자연적인 함량을 갖는 애노드 공급물을 확인할 필요가 있거나, 또는 애노드 산출물중 미사용 연료를 다른 용도를 위해 회수해야 할 필요가 있거나, 또는 둘 다가 필요하다.

[0116] **개질가능한 수소 과잉 비:** 연료 전지의 작동을 특징화하는 또 다른 옵션은 "개질가능한 수소 과잉 비"에 기초한다. 상기 정의된 개질가능한 연료 과잉 비는 개질가능한 연료 성분의 저위 발열량에 기초하여 정의된다. 개질가능한 수소 과잉 비는 연료 전지 애노드 반응으로 인해 애노드에서 반응하는 수소에 대한, 애노드 및/또는 애노드에 수반되는 개질 스테이지에 전달되는 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량으로서 정의된다. 이로써, "개질가능한 수소 과잉 비"는 (RFC(개질가능한 애노드 입구))/(RFC(개질가능한 애노드 입구)-RFC(애노드 출구))로서 산출될 수 있으며, 이 때 RFC(개질가능한 애노드 입구)는 애노드 입구 스트림 또는 유동중 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량을 일컫는 한편, RFC(애노드 출구)는 애노드 입구 및 출구 스트림 또는 유동중 연료 성분(예를 들어, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 및/또는 CO)의 개질가능한 수소 함량을 가리킨다. RFC는 몰/초, 몰/시간 등으로 표현될 수 있다. 애노드 개질 스테이지(들)로 전달되는 개질가능한 연료 대 애노드에서의 산화 양의 큰 비로 연료 전지를 작동시키는 방법의 일례는 연료 전지에서의 열의 발생 및 소비의 균형을 맞추기 위하여 과도한 개질을 수행하는 방법일 수 있다. 개질가능한 연료를 개질시켜 H<sub>2</sub>와 CO를 형성시키는 것은 흡열 반응이다. 연료 전지에서의 전류의 발생에 의해 이 흡열 반응에 대항할 수 있는데, 상기 전류 발생은 애노드 산화 반응과 카보네이트



트 형성 반응에 의해 발생하는 열의 양과 전류의 형태로 연료 전지에서 나가는 에너지 사이의 차이에 (대략) 상응하는 과량의 열을 생성시킬 수 있다. 애노드 산화 반응/카보네이트 생성 반응에 포함되는 수소 1몰당 과량의 열은 개질에 의해 수소 1몰을 발생시키는데 흡수되는 열보다 더 클 수 있다. 그 결과, 종래의 조건 하에 작동되는 연료 전지는 입구로부터 출구까지 온도 증가를 나타낼 수 있다. 이러한 유형의 종래의 작동 대신, 애노드에 수반되는 개질 스테이지에서 개질되는 연료의 양을 증가시킬 수 있다. 예를 들면, 발열성 연료 전지 반응에 의해 발생하는 열이 개질에서 소비되는 열과 (거의) 균형을 이룰 수 있도록, 또는 심지어 개질에 의해 소비되는 열이 연료 산화에 의해 발생하는 과량의 열을 초과하여 연료 전지를 가로지르는 온도 하락이 발생할 수 있도록, 추가적인 연료를 개질시킬 수 있다. 이는 발전에 필요한 양에 비해 상당한 과량의 수소를 생성시킬 수 있다. 일례로서, 연료 전지의 애노드 입구 또는 수반되는 개질 스테이지로의 공급물은 상당히 순수한 메탄 공급물 같은 개질가능한 연료로 실질적으로 구성될 수 있다. 이러한 연료를 사용하여 발전시키기 위해 종래의 방식으로 작동시키는 동안, 용융 카보네이트 연료 전지는 약 75%의 연료 이용률로 작동될 수 있다. 이는 애노드로 전달되는 연료 함량의 약 75%(또는 ¾)가 사용되어 수소를 형성함을 의미하고, 이 수소는 애노드에서 카보네이트 이온과 추후 반응하여 H<sub>2</sub>O와 CO<sub>2</sub>를 형성한다. 종래의 작동에서, 연료 함량의 나머지 약 25%는 연료 전지 내에서 H<sub>2</sub>로 개질된(또는 연료중 임의의 CO 또는 H<sub>2</sub>의 경우 반응하지 않은 채로 연료 전지를 통해 통과할 수 있음) 후, 연료 전지 외부에서 연소되어 H<sub>2</sub>O와 CO<sub>2</sub>를 형성함으로써 연료 전지로의 캐소드 입구의 열을 제공할 수 있다. 이 상황에서 개질가능한 수소 과잉 비는 4/(4-1)=4/3일 수 있다.

[0117] **전기 효율:** 본원에 사용되는 용어 "전기 효율"("EE")은 연료 전지로의 연료 투입물의 저위 발열량("LHV") 비로 나눈 연료 전지에 의해 생성되는 전기화학적 전력으로서 정의된다. 연료 전지로의 연료 투입물은 애노드로 전달되는 연료뿐만 아니라 연료 전지의 온도를 유지하는데 사용되는 임의의 연료(예컨대, 연료 전지에 수반되는 버너로 전달되는 연료) 둘 다를 포함한다. 이 기재에서, 연료에 의해 생성되는 전력은 LHV(e1) 연료 속도 면에서 기재될 수 있다.

[0118] **전기화학적 전력:** 본원에 사용되는 용어 "전기화학적 전력" 또는 LHV(e1)는 연료 전지에서 캐소드를 애노드에 연결하고 연료 전지의 전해질을 가로질러 카보네이트 이온을 전달하는 회로에 의해 발생하는 동력이다. 전기화학적 전력은 연료 전지 상류 또는 하류의 기기에 의해 생성되거나 소비되는 전력을 제외한다. 예를 들면, 연료 전지 배기 가스 스트림에서의 열로부터 생성되는 전류는 전기화학적 전력의 일부로서 간주되지 않는다. 유사하게, 연료 전지 상류의 가스 터빈 또는 다른 기기에 의해 발생하는 전력은 발생하는 전기화학적 전력의 일부가 아니다. "전기화학적 전력"은 연료 전지의 작동 동안 소비되는 전력을 고려하지 않거나, 또는 직류의 교류로의 전환에 의해 야기되는 임의의 손실을 고려하지 않는다. 달리 말해, 연료 전지 작동에 공급되거나 또는 달리 연료 전지를 작동시키는데 사용되는 전력은 연료 전지에 의해 생성되는 직류 전압으로부터 빼지 않는다. 본원에 사용되는 전력 밀도는 전압을 곱한 전류 밀도이다. 본원에 사용되는 용어 총 연료 전지 전력은 연료 전지 면적을 곱한 전력 밀도이다.

[0119] **연료 투입물:** LHV(애노드 입구)로서 지칭되는, 본원에 사용되는 용어 "애노드 연료 투입물"은, 애노드 입구 스트림 내의 연료의 양이다. LHV(입구)로서 지칭되는 용어 "연료 투입물"은 애노드 입구 스트림 내의 연료의 양 및 연료 전지의 온도를 유지하는데 사용되는 연료의 양 둘 다를 포함하는, 연료 전지로 전달되는 연료의 총량이다. 연료는 본원에 제공되는 개질가능한 연료의 정의에 기초하여, 개질가능한 연료 및 개질불가능한 연료 둘 다를 포함할 수 있다. 연료 투입물은 연료 이용률과 동일하지 않다.

[0120] **총 연료 전지 효율:** 본원에 사용되는 용어 "총 연료 전지 효율"("TFCE")은 연료 전지에 의해 발생하는 전기화학적 전력과 연료 전지에 의해 생성되는 합성 가스의 LHV의 비를 애노드로의 연료 투입물의 LHV의 비로 나눈 값으로서 정의된다. 달리 말해, TFCE=(LHV(e1)+LHV(sg net))/LHV(애노드 입구)이며, 이 때 LHV(애노드 입구)는 애노드로 전달되는 연료 성분(예를 들어, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 및/또는 CO)의 LHV 비를 가리키고, LHV(sg net)는 애노드에서 합성 가스(H<sub>2</sub>, CO)가 생성되는 속도를 가리키며, 이는 애노드로의 합성 가스 투입물과 애노드로부터의 합성 가스 산출물의 차이이다. LHV(e1)은 연료 전지의 전기화학적 발전을 기재한다. 총 연료 전지 효율은 연료 전지의 외부에서 유리하게 사용되는, 연료 전지에 의해 발생하는 열을 제외시킨다. 작동시, 연료 전지에 의해 발생하는 열은 하류의 기기에 의해 유리하게 사용될 수 있다. 예를 들어, 열을 사용하여 추가적인 전기를 발생시키거나 물을 가열할 수 있다. 연료 전지와 별도로 이루어지는 경우 이들 용도는 이 용어가 본원에 사용될 때 총 연료 전지 효율의 일부가 아니다. 총 연료 전지 효율은 연료 전지 작동에만 적용되는 것이고, 발전, 또는 연료 전지 상류 또는 하류에서의 소비를 포함하지 않는다.

- [0121] **화학적 효율:** 본원에 사용되는 용어 "화학적 효율"은 연료 투입물 또는 LHV(in)으로 나눈, 연료 전지의 애노드 배기 가스중 H<sub>2</sub> 및 CO의 저위 발열량 또는 LHV(sg out)으로서 정의된다.
- [0122] 전기 효율도 총 시스템 효율도 상류 또는 하류 공정의 효율을 고려하지 못한다. 예를 들면, 터빈 배기 가스를 연료 전지 캐소드의 CO<sub>2</sub>의 공급원으로서 사용하는 것이 유리할 수 있다. 이러한 배열에서, 터빈의 효율은 전기 효율 또는 총 연료 전지 효율 계산의 일부로 간주되지 않는다. 유사하게, 연료 전지의 산출물은 연료 전지로의 투입물로서 재순환될 수 있다. 1회 통과 방식에서 전기 효율 또는 총 연료 전지 효율을 계산할 때 재순환 루프는 고려되지 않는다.
- [0123] **생성되는 합성 가스:** 본원에 사용되는 용어 "생성되는 합성 가스"는 애노드로의 합성 가스 투입물과 애노드로부터의 합성 가스 산출물 사이의 차이이다. 합성 가스는 적어도 부분적으로는 애노드의 투입물 또는 연료로서 사용될 수 있다. 예를 들어, 시스템은 애노드 배기 가스로부터의 합성 가스를 애노드 입구(여기에서, 합성 가스는 천연 가스 또는 다른 적합한 연료로 보충됨)로 복귀시키는 애노드 재순환 루프를 포함할 수 있다. 생성되는 합성 가스 LHV(sg net)=(LHV(sg out)-LHV(sg in))이며, 여기에서 LHV(sg in) 및 LHV(sg out)은 각각 애노드 입구에서의 합성 가스의 LHV 및 애노드 출구 스트림 또는 유동에서의 합성 가스의 LHV를 가리킨다. 애노드 내에서의 개질 반응에 의해 생성되는 합성 가스의 적어도 일부는 전형적으로 애노드에서 사용되어 전기를 생성시킬 수 있음에 주목한다. 전기를 생성시키는데 사용되는 수소는 애노드에서 나가지 않으므로 "생성된 합성 가스"의 정의에 포함되지 않는다. 본원에 사용되는 용어 "합성 가스 비"는 애노드로의 연료 투입물의 LHV로 나눈 생성된 순 합성 가스의 LHV, 또는 LHV(sg net)/LHV(애노드 입구)이다. 합성 가스 및 연료의 몰 유속을 LHV 대신 사용하여 몰에 기초한 합성 가스 비 및 몰에 기초한 생성된 합성 가스를 표현할 수 있다.
- [0124] **증기 대 탄소 비(S/C):** 본원에 사용되는 증기 대 탄소 비(S/C)는 유동중 증기 대 유동중 개질가능한 탄소의 몰 비이다. CO 및 CO<sub>2</sub> 형태의 탄소는 이 정의에서 개질가능한 탄소에 포함되지 않는다. 시스템의 상이한 지점에서 증기 대 탄소 비를 측정하고/하거나 제어할 수 있다. 예를 들어, 애노드 입구 증기의 조성을 조작하여 애노드에서의 개질에 적합한 S/C를 획득할 수 있다. S/C는 H<sub>2</sub>O의 몰 유속을 연료의 몰 유속과 연료중 탄소 원자의 수(예를 들어, 메탄의 경우 하나)의 곱으로 나눈 값으로서 주어질 수 있다. 그러므로,  $S/C = f_{H_2O} / (f_{CH_4} \times \#C)$ 이고, 여기에서,  $f_{H_2O}$ 는 물의 몰 유속이고,  $f_{CH_4}$ 는 메탄(또는 다른 연료)의 몰 유속이며, #C는 연료중 탄소의 수이다.
- [0125] **EGR 비:** 본 발명의 양태는 연료 전지와 협력하여 터빈을 사용할 수 있다. 통합된 연료 전지와 터빈 시스템은 배기 가스 재순환("EGR")을 포함할 수 있다. EGR 시스템에서는, 터빈에 의해 발생된 배기 가스중 적어도 일부를 열 회수 제너레이터로 보낼 수 있다. 배기 가스의 다른 부분은 연료 전지로 보낼 수 있다. EGR 비는 연료 전지로 보내지는 배기 가스 대 연료 전지 또는 열 회수 제너레이터로 보내지는 총 배기 가스의 양을 기재한다. 본원에 사용되는 "EGR 비"는 연료 전지 관련 부분과 회수 관련 부분(이는 열 회수 제너레이터로 보내짐)의 합쳐진 유속으로 나눈, 배기 가스의 연료 전지 관련 부분의 유속이다.
- [0126] 본 발명의 다양한 양태에서는, 용융 카보네이트 연료 전지(MCFC)를 이용하여 추가적인 전력을 또한 발생시키면서 CO<sub>2</sub>-함유 스트림으로부터의 CO<sub>2</sub>의 분리를 용이하게 할 수 있다. 투입 공급물의 적어도 일부를 연료 전지의 캐소드 부분에 제공할 수 있는 연소에 기초한 발전기와의 상승작용의 이점을 취함으로써 CO<sub>2</sub> 분리를 추가로 향상시킬 수 있다.
- [0127] **연료 전지 및 연료 전지 구성요소:** 본 논의에서, 연료 전지는 전해질에 의해 분리된 애노드와 캐소드를 갖는 단일 전지에 상응할 수 있다. 애노드와 캐소드는 투입 가스 유동을 받아들여 전해질을 가로지르는 전하 수송 및 발전을 위한 개별적인 애노드 및 캐소드 반응을 용이하게 할 수 있다. 연료 전지 스택은 통합된 단위체에서의 복수개의 전지를 나타낼 수 있다. 연료 전지 스택이 다수개의 연료 전지를 포함할 수 있기는 하지만, 연료 전지는 전형적으로 병렬 연결될 수 있으며 (거의) 전체가 더 큰 크기의 단일 연료 전지인 것처럼 작용할 수 있다. 산출물 유동이 연료 전지 스택의 애노드 또는 캐소드로 전달될 때, 연료 전지 스택은 스택의 각 전지 사이에서 투입물 유동을 분할하기 위한 유동 채널 및 개별적인 전지로부터의 산출물 유동을 합치기 위한 유동 채널을 포함할 수 있다. 이 논의에서는, 연료 전지 어레이를 사용하여 직렬로, 병렬로, 또는 임의의 다른 편리한 방식으로(예를 들어, 직렬과 병렬의 조합으로) 배열되는 복수개의 연료 전지(예컨대, 복수개의 연료 전지 스택)를 가리킬 수 있다. 연료 전지 어레이는 연료 전지 및/또는 연료 전지 스택의 하나 이상의 스테이지를 포함할 수 있으며, 이 때 제 1 스테이지로부터의 애노드/캐소드 산출물은 제 2 스테이지의 애노드/캐소드 투입물로서의 역할

을 할 수 있다. 연료 전지 어레이의 애노드는 어레이의 캐소드와 동일한 방식으로 연결될 필요가 없음에 주목한다. 편의상, 연료 전지 어레이의 제 1 애노드 스테이지로의 투입물은 어레이의 애노드 투입물로서 일컬어질 수 있고, 연료 전지 어레이의 제 1 캐소드 스테이지로의 투입물은 어레이의 캐소드 투입물로서 일컬어질 수 있다. 유사하게, 최종 애노드/캐소드 스테이지로부터의 산출물은 어레이로부터의 애노드/캐소드 산출물로 일컬어질 수 있다.

[0128] 본원에서 연료 전지의 사용에 대한 인용은 전형적으로 개별적인 연료 전지로 구성된 "연료 전지 스택"을 가리키고, 더욱 일반적으로는 유체 연통되는 하나 이상의 연료 전지 스택의 사용을 가리킨다는 것을 알아야 한다. 개별적인 연료 전지 요소(플레이트)는 전형적으로 "연료 전지 스택"으로 일컬어지는 직사각형 어레이로 함께 "적층"될 수 있다. 이 연료 전지 스택은 전형적으로 공급물 스트림을 가질 수 있고, 개별적인 연료 전지 요소 모두 사이에 반응물을 분배할 수 있으며, 이들 각 요소로부터 생성물을 수집할 수 있다. 단위체로서 보는 경우, 작동되는 연료 전지 스택은 다수개(흔히 10개 또는 100개)의 개별적인 연료 전지 요소로 구성됨에도 불구하고 전체로서 취해질 수 있다. 이들 개별적인 연료 전지 요소는 전형적으로 유사한 전압을 가질 수 있고(왜냐하면, 반응물 및 생성물 농도가 유사하기 때문에), 총 전력 산출량은 요소가 직렬로 전기적으로 연결되는 경우 모든 전지 요소에서의 모든 전류의 합으로부터 발생될 수 있다. 스택은 또한 높은 전압을 생성시키도록 직렬 배열로 배열될 수도 있다. 병렬 배열은 전류를 승압시킬 수 있다. 충분히 큰 부피의 연료 전지 스택을 이용하여 소정 배기 가스 유동을 처리하는 경우에는, 단일 용융 카보네이트 연료 전지 스택으로 본원에 기재된 시스템 및 방법을 이용할 수 있다. 본 발명의 다른 양태에서는, 다양한 이유로 복수개의 연료 전지 스택이 바람직하거나 필요할 수 있다.

[0129] 본 발명에서는, 달리 명시되지 않는 한, 용어 "연료 전지"는 단일 투입물 및 산출물이 존재하는 하나 이상의 개별적인 연료 전지 요소의 세트에 구성된 연료 전지 스택에 대한 인용을 가리키고/가리키거나 이러한 인용을 포함하는 것으로 정의됨을 알아야 한다(왜냐하면, 이것이 연료 전지가 전형적으로 실제로 사용되는 방식이기 때문이다). 유사하게, 용어 연료 전지(복수개)는 달리 명시되지 않는 한 복수개의 별도의 연료 전지 스택을 가리키고/가리키거나 이들을 포함하는 것으로 정의됨을 알아야 한다. 달리 말해, 본원 내에서의 모든 인용은 달리 구체적으로 표시되지 않는 한 연료 전지 스택의 "연료 전지"로서의 작동을 호환성있게 가리킬 수 있다. 예를 들어, 상업적 규모의 연소 제너레이터에 의해 발생하는 배기 가스의 부피는 종래의 크기의 연료 전지(즉, 단일 스택)에 의해 처리되기에는 너무 클 수 있다. 전체 배기 가스를 처리하기 위하여, 복수개의 연료 전지(즉, 2개 이상의 별도의 연료 전지 또는 연료 전지 스택)를 병렬로 배열하여 각각의 연료 전지가 (대략) 동량의 연소 배기 가스를 처리하게 할 수 있다. 다수개의 연료 전지가 사용될 수 있지만, 각각의 연료 전지는 (거의) 동량의 연소 배기 가스를 감안할 때 전형적으로 대략 유사한 방식으로 작동될 수 있다.

[0130] "내부 개질" 및 "외부 개질": 연료 전지 또는 연료 전지 스택은 하나 이상의 내부 개질 구역을 포함할 수 있다. 본원에 사용되는 용어 "내부 개질"은 연료 전지 본체, 연료 전지 스택, 또는 다르게는 연료 전지 어셈블리 내에서 이루어지는 연료 개질을 말한다. 흔히 연료 전지와 함께 사용되는 외부 개질은 연료 전지 스택 외부에 위치하는 별도의 기기에서 이루어진다. 달리 말해, 외부 개질기 본체는 연료 전지 또는 연료 전지 스택의 본체와 물리적으로 직접 접촉하지 않는다. 전형적인 셋업에서는, 외부 개질기로부터의 산출물을 연료 전지의 애노드 입구에 공급할 수 있다. 구체적으로 달리 표시되지 않는 한, 본원에 기재되는 개질은 내부 개질이다.

[0131] 내부 개질은 연료 전지 애노드 내에서 일어날 수 있다. 내부 개질은 추가로 또는 다르게는 연료 전지 어셈블리 내에 통합된 내부 개질 요소 내에서 이루어질 수 있다. 통합된 개질 요소는 연료 전지 스택 내에서 연료 전지 요소 사이에 위치할 수 있다. 달리 말해, 스택의 트레이중 하나는 연료 전지 요소 대신 개질 구역일 수 있다. 한 양태에서, 연료 전지 스택 내에서의 유동 배열은 연료를 내부 개질 요소로, 이어 연료 전지의 애노드 부분 내로 유도한다. 그러므로, 유동의 관점에서, 내부 개질 요소 및 연료 전지 요소는 연료 전지 스택 내에서 직렬로 배열될 수 있다. 본원에 사용되는 용어 "애노드 개질"은 애노드 내에서 이루어지는 연료 개질이다. 본원에 사용되는 용어 "내부 개질"은 애노드 구역에서가 아니라 통합된 개질 요소 내에서 이루어지는 개질이다.

[0132] 일부 양태에서, 연료 전지 어셈블리에 대해 내부인 개질 스테이지는 연료 전지 어셈블리에서 애노드(들)에 수반되는 것으로 생각될 수 있다. 몇몇 다른 양태에서는, 애노드에 수반될(예컨대, 다수개의 애노드에 수반될) 수 있는 연료 전지 스택의 개질 스테이지의 경우, 개질 스테이지로부터의 산출물 유동이 하나 이상의 애노드 내로 통과하도록 유동 경로를 이용할 수 있다. 이는 전해질과 접촉하지 않는 연료 전지 플레이트의 초기 구역을 갖는 것에 상응할 수 있고, 대신 개질 촉매로서의 역할을 할 수 있다. 수반되는 개질 스테이지의 다른 옵션은 연료 전지 스택의 요소중 하나로서 별도의 통합된 개질 스테이지를 갖는 것일 수 있으며, 이 때 통합된 개질 스테

이지로부터의 산출물은 연료 전지 스택중 하나 이상의 연료 전지의 투입물 측으로 복귀될 수 있다.

[0133] 열 통합 관점에서, 연료 전지 스택의 특징적인 높이는 개별적인 연료 전지 스택 요소의 높이일 수 있다. 별도의 개질 스테이지 및/또는 별도의 흡열 반응 스테이지가 스택에서 연료 전지와는 상이한 높이를 가질 수 있음에 주목한다. 이러한 시나리오에서는, 연료 전지 요소의 높이를 특징적인 높이로서 사용할 수 있다. 몇몇 양태에서, 통합된 흡열 반응 스테이지가 흡열 반응의 열원으로서 연료 전지로부터의 열을 사용할 수 있도록, 통합된 흡열 반응 스테이지는 하나 이상의 연료 전지와 열 통합되는 스테이지로서 정의될 수 있다. 이러한 통합된 흡열 반응 스테이지는 통합된 스테이지에 열을 제공하는 임의의 연료 전지로부터의 스택 요소의 높이의 5배 미만으로 위치하는 것으로 정의될 수 있다. 예를 들어, 통합된 흡열 반응 스테이지(예컨대, 개질 스테이지)는 열 통합되는 임의의 연료 전지로부터의 스택 요소의 높이의 5배 미만, 예를 들어 스택 요소의 높이의 3배 미만으로 위치될 수 있다. 이 논의에서, 연료 전지 요소에 인접한 스택 요소를 나타내는 통합된 개질 스테이지 및/또는 통합된 흡열 반응 스테이지는 인접한 연료 전지 요소로부터 떨어진 약 1개의 스택 요소 높이 이하인 것으로 정의될 수 있다.

[0134] 일부 양태에서, 연료 전지 요소와 열 통합되는 별도의 개질 스테이지는 연료 전지 요소에 수반되는 개질 스테이지에 상응할 수 있다. 이러한 양태에서, 통합된 연료 전지 요소는 수반되는 개질 스테이지에 열의 적어도 일부를 제공할 수 있고, 수반되는 개질 스테이지는 통합된 연료 전지에 개질 스테이지 산출물의 적어도 일부를 연료 스트림으로서 제공할 수 있다. 다른 양태에서는, 별도의 개질 스테이지를 연료 전지에 수반시키지 않으면서 열 교환을 위한 연료 전지와 통합시킬 수 있다. 이러한 유형의 상황에서, 별도의 개질 스테이지는 연료 전지로부터의 열을 받아들일 수 있지만, 개질 스테이지의 산출물을 연료 전지의 투입물로서 사용하지 않는 것으로 결정될 수 있다. 대신, 산출물을 애노드 배기 가스 스트림에 직접 첨가하고/하거나 연료 전지 어셈블리로부터 별도의 산출물 스트림을 형성하는 것과 같은 다른 목적으로 이러한 개질 스테이지의 산출물을 사용하고자 결정할 수 있다.

[0135] 더욱 일반적으로는, 연료 전지 스택의 별도의 스택 요소를 사용하여, 통합된 연료 전지 스택 요소에 의해 제공되는 폐열의 이점을 취할 수 있는 임의의 편리한 유형의 흡열 반응을 수행할 수 있다. 탄화수소 연료 스트림 상에서 개질 반응을 수행하는데 적합한 플레이트 대신, 별도의 스택 요소는 다른 유형의 흡열 반응을 촉진하는데 적합한 플레이트를 가질 수 있다. 연료 전지 스택의 매니폴드 또는 입구 도관의 다른 배열을 이용하여, 적절한 투입물 유동을 각 스택 요소에 제공할 수 있다. 유사한 매니폴드 또는 출구 도관의 다른 배열을 추가로 또는 달리 사용하여, 각 스택 요소로부터의 산출물 유동을 회수할 수 있다. 임의적으로는, 산출물 유동을 연료 전지 애노드를 통해 통과시키지 않으면서, 스택의 흡열 반응 스테이지로부터의 산출물 유동을 연료 전지 스택으로부터 회수할 수 있다. 이러한 임의적인 양태에서는, 따라서, 발열 반응의 생성물이 연료 전지 애노드를 통해 통과하지 않고 연료 전지 스택으로부터 나갈 수 있다. 연료 전지 스택의 스택 요소에서 수행될 수 있는 다른 유형의 흡열 반응의 예는 에틸렌을 형성하기 위한 에탄올 탈수 및 에탄 분류를 포함할 수 있다(이것으로 한정되지는 않음).

[0136] **재순환:** 본원에 정의되는 연료 전지 산출물(예를 들어, 애노드 배기 가스 또는 애노드 배기 가스로부터 분리되거나 회수된 스트림)의 일부를 연료 전지 입구로 재순환시키는 것은 직접 또는 간접 재순환 스트림에 상응할 수 있다. 연료 전지 입구로의 스트림의 직접 재순환은 중간 공정을 통해 통과시키지 않는 스트림의 재순환으로서 정의되는 한편, 간접 재순환은 하나 이상의 중간 공정을 통해 스트림을 통과시킨 후의 재순환을 포함한다. 예를 들어, 애노드 배기 가스가 재순환되기 전에 CO<sub>2</sub> 분리 스테이지를 통해 통과하면, 이는 애노드 배기 가스의 간접 재순환으로 생각된다. 애노드 배기 가스로부터 회수된 H<sub>2</sub> 스트림 같은 애노드 배기 가스의 일부가, 석탄을 연료 전지의 도입에 적합한 연료로 전환시키기 위한 기화기 내로 통과되면, 이것도 또한 간접 재순환으로 생각된다.

[0137] 애노드 투입물 및 산출물

[0138] 본 발명의 다양한 양태에서, MCFC 어레이에는, 예를 들어 수소 및 메탄(또는 다르게는 C 및 H가 아닌 헥세로원자를 함유할 수 있는 탄화수소질 또는 탄화수소 같은 화합물) 같은 탄화수소 둘 다를 포함하는, 애노드 입구에서 받아들여지는 연료가 공급될 수 있다. 애노드로 공급되는 메탄(또는 다른 탄화수소질 또는 탄화수소 같은 화합물)의 대부분은 전형적으로 새로운 메탄일 수 있다. 이 기체에서, 새로운 메탄 같은 새로운 연료는 다른 연료 전지 공정으로부터 재순환되지 않은 연료를 말한다. 예를 들어, 애노드 출구 스트림으로부터 애노드 입구로 다시 재순환된 메탄은 "새로운" 메탄으로 생각될 수 없고, 대신 재생된 메탄으로 기재될 수 있다. 사용되는



연료 공급원은, 연료 공급원의 일부를 사용하여 캐소드 투입물에 CO<sub>2</sub>-함유 스트림을 제공하는 터빈 같은 다른 구성요소와 공유될 수 있다. 연료 공급원 투입물은 수소를 발생시키는 개질 구역에서 탄화수소(또는 탄화수소 같은) 화합물을 개질시키는데 적절한 연료에 비례하여 물을 포함할 수 있다. 예를 들어, H<sub>2</sub>를 발생시키는 개질에 대한 연료 투입물이 메탄인 경우, 물 대 연료의 몰비는 약 1:1 내지 약 10:1, 예를 들어 약 2:1 이상일 수 있다. 외부 개질에는 4:1 이상의 비가 전형적이지만, 내부 개질에는 더 낮은 값이 전형적일 수 있다. H<sub>2</sub>가 연료 공급원의 일부인 정도까지, 일부 임의적인 양태에서는, 연료에 추가적인 물을 필요로 하지 않을 수 있는데, 왜냐하면 애노드에서 H<sub>2</sub>의 산화가 연료의 개질에 사용될 수 있는 H<sub>2</sub>O를 생성시키는 경향이 있을 수 있기 때문이다. 연료 공급원은 또한 임의적으로 연료 공급원에 부수적인 성분을 함유할 수 있다(예를 들어, 천연 가스 공급물은 추가적인 성분으로서 약간의 CO<sub>2</sub> 함량을 함유할 수 있다). 예를 들어, 천연 가스 공급물은 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, 및/또는 추가 성분으로서 다른 불활성 가스(영속 가스)를 함유할 수 있다. 임의적으로는, 몇몇 양태에서, 연료 공급원은 애노드 배기 가스의 재순환된 부분으로부터의 CO 같은 CO를 또한 함유할 수 있다. 연료 전지 어셈블리 내로의 연료중 CO의 추가적인 또는 다른 가능한 공급원은 연료 전지 어셈블리에 들어가기 전에 연료 상에서 수행되는 탄화수소 연료의 증기 개질에 의해 발생하는 CO일 수 있다.

[0139] 더욱 일반적으로는, 다양한 유형의 연료 스트림이 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 투입물 스트림으로서 사용하기에 적합할 수 있다. 일부 연료 스트림은 탄화수소 및/또는 C 및 H와는 상이한 헤테로원자를 또한 포함할 수 있는 탄화수소 같은 화합물을 함유하는 스트림에 상응할 수 있다. 이 논의에서는, 달리 명시되지 않는 한, MCFC 애노드를 위한 탄화수소를 함유하는 연료 스트림에 대한 인용은 이러한 탄화수소 같은 화합물을 함유하는 연료 스트림을 포함하는 것으로 정의된다. 탄화수소(탄화수소 같은 화합물 포함) 연료 스트림의 예는 천연 가스, C1-C4 탄소 화합물(예컨대, 메탄 또는 에탄)을 함유하는 스트림, 및 더욱 중질의 C5+ 탄화수소(탄화수소 같은 화합물 포함)를 함유하는 스트림뿐만 아니라 이들의 조합을 포함한다. 애노드 투입물에 사용하기 위한 연료 스트림의 또 다른 추가적인 또는 다른 예는 유기 물질의 천연(생물학적) 분해로부터 생성되는 메탄 같은 바이오 가스-유형의 스트림을 포함할 수 있다.

[0140] 일부 양태에서는, 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 희석제 화합물의 존재로 인해 낮은 에너지 함량을 갖는 천연 가스 및/또는 탄화수소 스트림 같은 투입물 연료 스트림을 처리할 수 있다. 예를 들어, 메탄 및/또는 천연 가스의 몇몇 공급원은 상당량의 CO<sub>2</sub> 또는 다른 불활성 분자(예컨대, 질소, 아르곤 또는 헬륨)를 포함할 수 있는 공급원이다. 많아진 양의 CO<sub>2</sub> 및/또는 불활성 화합물의 존재로 인해, 공급원에 기초한 연료 스트림의 에너지 함량이 감소될 수 있다. 연소 반응에(예를 들어, 연소에 의해 동력을 얻는 터빈에 동력을 제공하는데) 에너지 함량이 낮은 연료를 사용하는 데에는 어려움이 있을 수 있다. 그러나, 용융 카보네이트 연료 전지는 연료 전지의 효율에 영향을 적게 또는 최소한으로 끼치면서 에너지 함량이 낮은 연료 공급원에 기초하여 전력을 발생시킬 수 있다. 추가적인 가스 부피의 존재는 연료의 온도를 개질 및/또는 애노드 반응의 온도까지 높이기 위해 추가적인 열을 필요로 할 수 있다. 또한, 연료 전지 애노드 내에서의 수성 가스 전화 반응의 평형상태 특성으로 인해, 추가적인 CO<sub>2</sub>의 존재는 애노드 산출물에 존재하는 H<sub>2</sub>와 CO의 상대적인 양에 대해 영향을 끼칠 수 있다. 그러나, 불활성 화합물은 개질 및 애노드 반응에 대해 직접적인 영향을 최소한으로만 가질 수 있다. 존재하는 경우, 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 스트림중 CO<sub>2</sub> 및/또는 불활성 화합물의 양은 약 1부피% 이상, 예를 들어 약 2부피% 이상, 또는 약 5부피% 이상, 또는 약 10부피% 이상, 또는 약 15부피% 이상, 또는 약 20부피% 이상, 또는 약 25부피% 이상, 또는 약 30부피% 이상, 또는 약 35부피% 이상, 또는 약 40부피% 이상, 또는 약 45부피% 이상, 또는 약 50부피% 이상, 또는 약 75부피% 이상일 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 스트림중 CO<sub>2</sub> 및/또는 불활성 화합물의 양은 약 90부피% 이하, 예컨대 약 75부피% 이하, 또는 약 60부피% 이하, 또는 약 50부피% 이하, 또는 약 40부피% 이하, 또는 약 35부피% 이하일 수 있다.

[0141] 애노드 투입물 스트림에 가능한 공급원의 또 다른 예는 정련 및/또는 다른 산업상의 공정 산출물 스트림에 상응할 수 있다. 예를 들면, 코크스화는 중질 화합물을 저비등 범위로 전환시키기 위해 다수의 정련에서 통상적인 공정이다. 코크스화는 전형적으로 CO 및 다양한 C1-C4 탄화수소를 비롯한, 실온에서 기체인 다양한 화합물을 함유하는 오프-가스(off-gas)를 생성시킨다. 이 오프-가스를 애노드 투입물 스트림의 적어도 일부로서 사용할 수 있다. 분류 또는 다른 정련 공정 동안 발생하는 경질 말단(C1-C4) 같은 다른 정련 오프-가스 스트림이 추가로 또는 다르게는 애노드 투입물 스트림에 포함시키는데 적합할 수 있다. 또 다른 적합한 정련 스트림은 추가로 또는 다르게는 H<sub>2</sub> 및/또는 개질가능한 연료 화합물도 함유하는 CO 또는 CO<sub>2</sub> 함유 정련 스트림을 포함할 수 있

다.

- [0142] 애노드 투입물의 다른 가능한 공급원은 추가로 또는 다르게는 물 함량이 높은 스트림을 포함할 수 있다. 예를 들어, 에탄올 플랜트(또는 다른 유형의 발효 공정)로부터의 에탄올 산출물 스트림은 최종 증류 전에 상당량의 H<sub>2</sub>O를 포함할 수 있다. 이러한 H<sub>2</sub>O는 전형적으로 연료 전지의 작동에 최소한의 영향만을 야기할 수 있다. 그러므로, 알콜(또는 다른 발효 생성물)과 물의 발효 혼합물을 애노드 투입물 스트림의 적어도 일부로서 사용할 수 있다.
- [0143] 바이오가스, 또는 소화조 가스는 애노드 투입물의 추가적인 또는 다른 가능한 공급원이다. 바이오가스는 주로 메탄과 CO<sub>2</sub>를 포함할 수 있고, 전형적으로는 유기 물질의 파괴 또는 소화에 의해 생성된다. 혐기성 세균을 이용하여 유기 물질을 소화시키고 바이오가스를 생성시킬 수 있다. 애노드 투입물로서 사용하기 전에, 황-함유 화합물 같은 불순물을 바이오가스로부터 제거할 수 있다.
- [0144] MCFC 애노드로부터의 산출물 스트림은 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CO 및 H<sub>2</sub>를 포함할 수 있다. 임의적으로는, 애노드 산출물 스트림은 또한 추가적인 산출물 성분으로서 공급물 중에 미반응 연료(예컨대, H<sub>2</sub> 또는 CH<sub>4</sub>), 또는 불활성 화합물을 가질 수 있다. 개질 반응을 위한 열을 제공하는 연료 공급원으로서 또는 전지를 가열하기 위한 연소 연료로서 이 산출물 스트림을 사용하는 대신, 애노드 산출물 스트림 상에서 하나 이상의 분리를 수행하여, H<sub>2</sub> 또는 CO 같은 다른 공정으로의 투입물로서의 기대 가치를 갖는 성분으로부터 CO<sub>2</sub>를 분리할 수 있다. H<sub>2</sub> 및/또는 CO를 화학적 합성을 위한 합성 가스로서, 화학적 반응을 위한 수소 공급원으로서, 및/또는 온실 가스 배출이 감소된 연료로서 사용할 수 있다.
- [0145] 다양한 양태에서, 애노드로부터의 산출물 스트림의 조성은 몇 가지 인자에 의해 영향을 받을 수 있다. 애노드 산출물 조성에 영향을 끼칠 수 있는 인자는 애노드의 투입물 스트림의 조성, 연료 전지에 의해 발생하는 전류의 양, 및/또는 애노드의 출구에서의 온도를 포함할 수 있다. 애노드 출구에서의 온도는 수성 가스 전화 반응의 평형상태 특성으로 인해 관련될 수 있다. 전형적인 애노드에서는, 애노드의 벽을 형성하는 플레이트중 하나 이상이 수성 가스 전화 반응을 촉진시키는데 적합할 수 있다. 그 결과, a) 애노드 투입물 스트림의 조성을 알고, b) 애노드 투입물 스트림중 개질가능한 연료의 개질 정도를 알고, c) 캐소드로부터 애노드로 수송되는 카보네이트의 양(발생되는 전류의 양에 상응함)을 알면, 수성 가스 전화 반응의 평형 상수에 기초하여 애노드 산출물의 조성을 결정할 수 있다:
- [0146] 
$$K_{eq} = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]}$$
- [0147] 상기 방정식에서, K<sub>eq</sub>는 소정 온도 및 압력에서 반응의 평형 상수이고, [X]는 성분 X의 분압이다. 수성 가스 전화 반응에 기초하여, 애노드 투입물중 증가된 CO<sub>2</sub> 농도가 추가적인 CO 형성(H<sub>2</sub>를 소비하면서)을 야기하는 경향이 있을 수 있는 한편, 증가된 H<sub>2</sub>O 농도가 추가적인 H<sub>2</sub> 형성(CO를 소비하면서)을 야기하는 경향이 있을 수 있음을 알 수 있다.
- [0148] 애노드 산출물에서의 조성을 결정하기 위하여, 애노드 투입물의 조성을 출발 지점으로서 사용할 수 있다. 이어, 애노드 내에서 일어날 수 있는 임의의 개질가능한 연료의 개질 정도를 반영하도록 이 조성을 변화시킬 수 있다. 이러한 개질은 수소 및 CO<sub>2</sub> 증가 대신 애노드 투입물의 탄화수소 함량을 감소시킬 수 있다. 이어, 생성되는 전류의 양에 기초하여, 추가적인 H<sub>2</sub>O 및 CO<sub>2</sub> 대신 애노드 투입물중 H<sub>2</sub>의 양을 감소시킬 수 있다. 이어, 수성 가스 전화 반응의 평형 상수에 기초하여 이 조성을 조정함으로써, H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O의 출구 농도를 결정할 수 있다.
- [0149] 표 1은 전형적인 유형의 연료의 상이한 연료 이용률에서의 애노드 배기 가스 조성을 보여준다. 애노드 배기 가스 조성은 애노드 개질 반응, 수성 가스 전화 반응 및 애노드 산화 반응의 합쳐진 결과를 반영할 수 있다. 약 2:1의 증기(H<sub>2</sub>O) 대 탄화수소(개질가능한 연료) 비를 갖는 것으로 애노드 투입물 조성을 추정함으로써, 표 1의 산출물 조성 값을 계산하였다. 개질가능한 연료는 메탄인 것으로 추정하였고, 이는 100% 수소로 개질되는 것으로 추정하였다. 애노드 투입물중 최초 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub> 농도는 무시할만한 것으로 추정한 한편, 투입물 N<sub>2</sub> 농도는 약 0.5%였다. 표에서 보이는 바와 같이 연료 이용률 U<sub>f</sub>(본원에 정의된 바와 같음)는 약 35%에서 약 70%까지 변화될 수 있었다. 연료 전지 애노드의 출구 온도는 올바른 평형 상수 값을 결정하기 위하여 약 650°C인 것으로 추



정하였다.

표 1

Uf	%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%
애노드 배기 가스 조성									
H <sub>2</sub> O	%, 습윤	32.5%	34.1%	35.5%	36.7%	37.8%	38.9%	39.8%	40.5%
CO <sub>2</sub>	%, 습윤	26.7%	29.4%	32.0%	34.5%	36.9%	39.3%	41.5%	43.8%
H <sub>2</sub>	%, 습윤	29.4%	26.0%	22.9%	20.0%	17.3%	14.8%	12.5%	10.4%
CO	%, 습윤	10.8%	10.0%	9.2%	8.4%	7.5%	6.7%	5.8%	4.9%
N <sub>2</sub>	%, 습윤	0.5%	0.5%	0.5%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%
CO <sub>2</sub>	%, 건조	39.6%	44.6%	49.6%	54.5%	59.4%	64.2%	69.0%	73.7%
H <sub>2</sub>	%, 건조	43.6%	39.4%	35.4%	31.5%	27.8%	24.2%	20.7%	17.5%
CO	%, 건조	16.1%	15.2%	14.3%	13.2%	12.1%	10.9%	9.7%	8.2%
N <sub>2</sub>	%, 건조	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%
H <sub>2</sub> /CO		2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1
(H <sub>2</sub> -CO <sub>2</sub> )/ (CO+CO <sub>2</sub> )		0.07	-0.09	-0.22	-0.34	-0.44	-0.53	-0.61	-0.69

[0150]

[0151]

표 1은 특정 조건 세트 및 애노드 투입물 조성에 있어서의 애노드 산출물 조성을 보여준다. 더욱 일반적으로는, 다양한 양태에서, 애노드 산출물은 약 10부피% 내지 약 50부피%의 H<sub>2</sub>O를 포함할 수 있다. H<sub>2</sub>O의 양은 크게 변할 수 있는데, 왜냐하면 애노드중의 H<sub>2</sub>O는 애노드 산화 반응에 의해 생성될 수 있기 때문이다. 개질에 필요한 것보다 과량의 H<sub>2</sub>O가 애노드 내로 도입되면, 과량의 H<sub>2</sub>O는 전형적으로 연료 개질 및 수성 가스 전화 반응으로 인해 소비되는(또는 발생하는) H<sub>2</sub>O를 제외하고는 대부분 반응하지 않은 채로 통과할 수 있다. 애노드 산출물중 CO<sub>2</sub> 농도는 광범위하게, 예를 들어 CO<sub>2</sub> 약 20부피% 내지 약 50부피%로 변할 수 있다. CO<sub>2</sub>의 양은 발생하는 전류의 양뿐만 아니라 애노드 투입물 유동중 CO<sub>2</sub>의 양에 의해 영향을 받을 수 있다. 애노드 산출물중 H<sub>2</sub>의 양은 추가로 또는 다르게는 애노드에서의 연료 이용률에 따라 H<sub>2</sub> 약 10부피% 내지 H<sub>2</sub> 약 50부피%일 수 있다. 애노드 산출물에서, CO의 양은 약 5부피% 내지 약 20부피%일 수 있다. 소정 연료 전지의 애노드 산출물중 H<sub>2</sub>의 양에 대한 CO의 양은 연료 전지에 존재하는 온도 및 압력에서 수성 가스 전화 반응의 평형 상수에 의해 부분적으로 결정될 수 있음에 주목한다. 애노드 산출물은 추가로 또는 다르게는 N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>(또는 다른 미반응 탄소-함유 연료) 및/또는 다른 성분 같은 다양한 다른 성분을 5부피% 이하로 포함할 수 있다.

[0152]

임의적으로는, 요구되는 경우, 애노드 산출물 후에 하나 이상의 수성 가스 전화 반응을 포함시켜 애노드 산출물중의 CO 및 H<sub>2</sub>O를 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>로 전환시킬 수 있다. 애노드 산출물에 존재하는 H<sub>2</sub>의 양은 예를 들어 더욱 저온에서 수성 가스 전화 반응을 이용하여 애노드 산출물에 존재하는 H<sub>2</sub>O 및 CO를 H<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub>로 전환시킴으로써 증가될 수 있다. 다르게는, 온도를 상승시킬 수 있고 수성 가스 전화 반응을 역전시켜, H<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>로부터 더 많은 CO와 H<sub>2</sub>O를 생성시킬 수 있다. 물은 애노드에서 이루어지는 반응의 예측되는 산출물이고, 따라서 애노드 산출물은 전형적으로 애노드 산출물에 존재하는 CO의 양에 비해 과량의 H<sub>2</sub>O를 가질 수 있다. 다르게는, 애노드 출구 후에, 그러나 수성 가스 전화 반응 전에, H<sub>2</sub>O를 스트림에 첨가할 수 있다. CO는 개질 동안 불완전한 탄소 전환으로 인해 및/또는 개질 조건 또는 애노드 반응 동안 존재하는 조건 하에서 H<sub>2</sub>O, CO, H<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub> 사이에서의 반응의 평형상태 균형(즉, 수성 가스 전화 평형)으로 인해 애노드 산출물에 존재할 수 있다. 수성 가스 전화 반응은 CO와 H<sub>2</sub>O를 소비하면서 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>를 형성시키는 방향으로 평형상태를 더 이동시키도록 하는 조건 하에서 작동될 수 있다. 더 높은 온도는 CO와 H<sub>2</sub>O의 형성에 바람직한 경향이 있을 수 있다. 그러므로, 수성 가스 전화 반응을 작동시키기 위한 하나의 옵션은 적합한 온도, 예를 들어 약 190°C 내지 약 210°C에서 애노드 산출물 스트림을 산화철, 산화아연, 산화아연 상의 구리 등을 비롯한 촉매 같은 적합한 촉매에 노출시키는 것일 수 있다. 임의적으로는, 수성 가스 전화 반응기는 애노드 산출물 스트림중 CO 농도를 감소시키기 위한 두 스테이지를 포함할 수 있는데, 더욱 고온의 제 1 스테이지는 약 300°C 내지 약 375°C에서 작동되고, 더욱 저온의 제 2 스테이지는

약 225℃ 이하, 예컨대 약 180℃ 내지 약 210℃에서 작동된다. 애노드 산출물에 존재하는 H<sub>2</sub>의 양을 증가시키는데 덧붙여, 수성 가스 전화 반응은 또한 또는 다르게는 CO를 소비하고 CO<sub>2</sub>의 양을 증가시킬 수 있다. 이는 제거하기 어려운 일산화탄소(CO)를 응축(예컨대, 극저온 제거), 화학 반응(예컨대, 아민 제거) 및/또는 다른 CO<sub>2</sub> 제거 방법에 의해 더욱 용이하게 제거될 수 있는 이산화탄소로 바꿀 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 목적하는 H<sub>2</sub> 대 CO 비를 획득하기 위하여 애노드 배기 가스에 존재하는 CO 함량을 증가시키는 것이 바람직할 수 있다.

[0153] 임의적인 수성 가스 전화 반응 스테이지를 통해 통과시킨 후, 애노드 산출물 스트림으로부터 물 및/또는 CO<sub>2</sub>를 제거하기 위하여 하나 이상의 분리 스테이지를 통해 애노드 산출물을 통과시킬 수 있다. 예를 들면, 하나 이상의 방법을 개별적으로 또는 함께 이용하여 애노드 산출물 상에서 CO<sub>2</sub> 분리를 수행함으로써 하나 이상의 CO<sub>2</sub> 산출 스트림을 형성시킬 수 있다. 이러한 방법을 이용하여, 90부피% 이상, 예를 들어 95부피% 이상 또는 98부피% 이상의 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 CO<sub>2</sub> 산출물 스트림(들)을 생성시킬 수 있다. 이러한 방법은 애노드 산출물의 CO<sub>2</sub> 함량의 약 70% 이상, 예를 들어 애노드 산출물의 CO<sub>2</sub> 함량의 약 80% 이상, 또는 약 90% 이상을 회수할 수 있다. 다르게는, 몇몇 양태에서는, 애노드 산출물 스트림 내에서 CO<sub>2</sub>의 적어도 일부분을 회수하는 것이 바람직할 수 있는데, 회수되는 CO<sub>2</sub> 부분은 애노드 산출물중 CO<sub>2</sub>의 약 33% 내지 약 90%, 예를 들어 약 40% 이상, 또는 약 50% 이상이다. 예를 들면, 후속 수성 가스 전화 스테이지에서 목적하는 조성이 달성될 수 있도록 애노드 산출물 유동에 일부 CO<sub>2</sub>를 보유하는 것이 바람직할 수 있다. 적합한 분리 방법은 물리적 용매[예를 들어, 셀렉솔(Selexol)<sup>TM</sup> 또는 렉티솔(Rectisol)<sup>TM</sup>]; 아민 또는 다른 염기(예를 들어, MEA 또는 MDEA); 동결(예를 들어, 극저온 분리); 압력 변동 흡착; 진공 변동 흡착; 및 이들의 조합의 이용을 포함할 수 있다. 극저온 CO<sub>2</sub> 분리가 적합한 분리의 일례일 수 있다. 애노드 산출물이 냉각됨에 따라, 애노드 산출물중 물의 대부분이 응축된(액체) 상으로서 분리될 수 있다. 물이 고갈된 애노드 산출물 유동을 추가로 냉각 및/또는 가압하면 고순도 CO<sub>2</sub>를 분리시킬 수 있는데, 왜냐하면 애노드 산출물 유동의 다른 잔류 성분(예컨대, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>)은 용이하게 응축된 상을 형성하지 않는 경향이 있기 때문이다. 극저온 CO<sub>2</sub> 분리는 작동 조건에 따라 유동에 존재하는 CO<sub>2</sub>의 약 33% 내지 약 90%를 회수할 수 있다.

[0154] CO<sub>2</sub> 분리 전에, CO<sub>2</sub> 분리 동안 또는 CO<sub>2</sub> 분리를 수행한 후에, 애노드 배기 가스로부터 물을 제거하여 하나 이상의 물 산출물 스트림을 형성하는 것이 또한 유리할 수 있다. 애노드 산출물중 물의 양은 선택되는 작동 조건에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, 애노드 입구에서 확립된 증기 대 탄소 비는 애노드 배기 가스중 물 함량에 영향을 끼칠 수 있는데, 높은 증기 대 탄소 비는 전형적으로 미반응인 채로 및/또는 애노드에서 수성 가스 전화 평형으로 인해 반응한 채로 애노드를 통해 통과할 수 있는 물을 다량 생성시킨다. 양태에 따라, 애노드 배기 가스중 물 함량은 애노드 배기 가스의 부피의 약 30% 이상에 상응할 수 있다. 또한 또는 다르게는, 물 함량은 애노드 배기 가스의 부피의 약 80% 이하일 수 있다. 압축 및/또는 생성되는 응축으로 인한 냉각에 의해 이러한 물을 제거할 수 있으나, 이러한 물의 제거는 추가의 압축기 동력 및/또는 열교환 표면적 및 과도한 냉각수를 필요로 할 수 있다. 이 과량의 물의 일부를 제거하는 한 가지 유리한 방법은, 애노드 공급물에 추가적인 물을 제공하기 위하여, 다습한 애노드 유출물로부터 습기를 포획할 수 있고 건조 애노드 공급물 가스를 이용하여 '재생'될 수 있는 흡착제 상의 사용에 기초할 수 있다. HVAC-스타일(가열, 통기 및 공기 컨디셔닝) 흡착 휠 디자인을 적용할 수 있는데, 왜냐하면 애노드 배기 가스 및 입구는 압력 면에서 유사할 수 있고, 하나의 스트림으로부터 다른 스트림으로의 미소한 누출은 전체 공정에 최소한의 영향을 가질 수 있기 때문이다. 극저온 공정을 이용하여 CO<sub>2</sub> 제거를 수행하는 실시양태에서는, 트라이에틸렌글라이콜(TEG) 시스템 및/또는 건조제에 의한 제거를 비롯한, CO<sub>2</sub> 제거 전 또는 동안의 물의 제거가 바람직할 수 있다. 대조적으로, CO<sub>2</sub> 제거에 아민 세척을 이용하는 경우에는, CO<sub>2</sub> 제거 스테이지 하류에서 애노드 배기 가스로부터 물을 제거할 수 있다.

[0155] CO<sub>2</sub> 산출물 스트림 및/또는 물 산출물 스트림과는 달리 또는 그 이외에, 애노드 산출물을 사용하여 목적하는 화합물 또는 연료 생성물을 함유하는 하나 이상의 생성물 스트림을 형성시킬 수 있다. 이러한 생성물 스트림 또는 스트림들은 합성 가스 스트림, 수소 스트림, 또는 합성 가스 생성물과 수소 생성물 스트림 둘 다에 상응할 수 있다. 예를 들어, 약 70부피% 이상의 H<sub>2</sub>, 예를 들어 약 90부피% 이상의 H<sub>2</sub> 또는 약 95부피% 이상의 H<sub>2</sub>를 함유하는 수소 생성물 스트림을 형성시킬 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 합쳐서 약 70부피% 이상의 H<sub>2</sub>와 CO,

예를 들어 약 90부피%의 H<sub>2</sub>와 CO를 함유하는 합성 가스 스트림을 형성시킬 수 있다. 하나 이상의 생성물 스트림은 애노드 산출물중 합쳐진 H<sub>2</sub>와 CO 기체 부피의 약 75부피% 이상, 예를 들어 합쳐진 H<sub>2</sub>와 CO 기체 부피의 약 85% 이상 또는 약 90% 이상에 상응하는 기체 부피를 가질 수 있다. 생성물 스트림중 H<sub>2</sub>와 CO의 상대적인 양은 생성물 사이에서 전환시키기 위한 수성 가스 전화 반응 스테이지의 사용에 기초한 애노드 산출물 중의 H<sub>2</sub> 대 CO 비와 상이할 수 있음에 주목한다.

[0156] 일부 양태에서는, 애노드 산출물에 존재하는 H<sub>2</sub>의 일부를 제거 또는 분리하는 것이 바람직할 수 있다. 예를 들면, 일부 양태에서 애노드 배기 가스중 H<sub>2</sub> 대 CO 비는 약 3.0:1 이상일 수 있다. 대조적으로, 피셔-트롭쉬 합성 같은 합성 가스를 사용하는 공정은 2:1에 근접하는 비 같은 상이한 비로 H<sub>2</sub>와 CO를 소비할 수 있다. 한 가지 대안은 수성 가스 전화 반응을 이용하여 목적하는 합성 가스 조성에 더욱 근접한 H<sub>2</sub> 대 CO 비를 갖도록 애노드 산출물의 함량을 변화시키는 것일 수 있다. 다른 대안은 막 분리를 이용하여 목적하는 H<sub>2</sub> 대 CO 비를 획득하도록 애노드 산출물에 존재하는 H<sub>2</sub>의 일부를 제거하거나, 또는 다르게는 막 분리와 수성 가스 전화 반응의 조합을 이용하는 것일 수 있다. 애노드 산출물에서 H<sub>2</sub>의 일부만을 제거하는데 막 분리를 이용하는 한 가지 이점은 비교적 온화한 조건 하에서 목적하는 분리를 수행할 수 있는 것일 수 있다. 한 가지 목적이 여전히 상당한 H<sub>2</sub> 함량을 갖는 보유물(retentate)를 생성시키는 것일 수 있기 때문에, 극심한 조건을 필요로 하지 않으면서 막 분리에 의해 고순도 수소의 투과물(permeate)을 생성시킬 수 있다. 예를 들면, 막의 투과물 측에 약 100kPa 이하 (예컨대, 주위 압력)의 압력을 갖기보다는, 막 분리를 수행하기에 충분한 구동력을 여전히 가지면서 투과물 측이 주위 압력보다는 승압에 있을 수 있다. 추가적으로 또는 다르게는, 메탄 같은 스위프(sweep) 가스를 사용하여 막 분리를 위한 구동력을 제공할 수 있다. 이는 H<sub>2</sub> 투과물 스트림의 순도를 감소시킬 수 있으나, 투과물 스트림의 목적하는 용도에 따라 유리할 수 있다.

[0157] 본 발명의 다양한 양태에서는, 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부(바람직하게는 CO<sub>2</sub> 및/또는 H<sub>2</sub>O의 분리 후)를 연료 전지 외부의 공정 및 수반되는 개질 스테이지의 공급물로서 사용할 수 있다. 다양한 양태에서, 애노드 배기 가스는 약 1.5:1 내지 약 10:1, 예를 들어 약 3.0:1 이상, 또는 약 4.0:1 이상, 또는 약 5.0:1 이상의 H<sub>2</sub> 대 CO의 비를 가질 수 있다. 애노드 배기 가스로부터 합성 가스 스트림을 발생시키거나 회수할 수 있다. 임의적으로는 CO<sub>2</sub> 및/또는 H<sub>2</sub>O의 분리 후, 또한 임의적으로는 수성 가스 전화 반응 및/또는 막 분리를 수행하여 과량의 수소를 제거한 후, 애노드 배기 가스는 상당량의 H<sub>2</sub> 및/또는 CO를 함유하는 스트림에 상응할 수 있다. H<sub>2</sub> 대 CO의 비가 약 3:1 이상인 스트림 같은 비교적 낮은 CO 함량을 갖는 스트림의 경우에는, 애노드 배기 가스가 H<sub>2</sub> 공급물로 사용하기에 적합할 수 있다. H<sub>2</sub> 공급물로부터의 이점을 취할 수 있는 공정의 예는 정련 공정, 암모니아 합성 플랜트, 또는 (상이한) 발전 시스템에서의 터빈, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이들로 한정되는 것은 아니다. 용도에 따라, 더 낮은 CO<sub>2</sub> 함량이 바람직할 수 있다. 약 2.2:1 미만이고 약 1.9:1보다 큰 H<sub>2</sub> 대 CO 비를 갖는 스트림의 경우, 스트림은 합성 가스 공급물로 사용하기에 적합할 수 있다. 합성 가스 공급물의 이점을 취할 수 있는 공정의 예는 가스 액화 연료 플랜트(예를 들어, 비-형태 변환 촉매를 갖는 피셔-트롭쉬 공정을 이용하는 플랜트) 및/또는 메탄올 합성 플랜트를 포함할 수 있으나, 이들로 한정되지는 않는다. 외부 공정의 공급물로서 사용되는 애노드 배기 가스의 양은 임의의 편리한 양일 수 있다. 임의적으로는, 애노드 배기 가스중 일부를 외부 공정의 공급물로서 사용하는 경우, 애노드 배기 가스의 제 2 부분을 애노드 투입물로 재순환시키고/시키거나 연소에 의해 동력을 얻는 제너레이터의 연소 대역으로 재순환시킬 수 있다.

[0158] 상이한 유형의 피셔-트롭쉬 합성 공정에 유용한 투입물 스트림은 애노드 산출물로부터 생성시키는 것이 바람직할 수 있는 상이한 유형의 생성물 스트림의 일례를 제공할 수 있다. 철-계 촉매 같은 형태 변환 촉매를 사용하는 피셔-트롭쉬 합성 반응 시스템에서, 반응 시스템으로의 목적하는 투입물 스트림은 H<sub>2</sub>와 CO 이외에 CO<sub>2</sub>를 포함할 수 있다. 충분한 양의 CO<sub>2</sub>가 투입물 스트림에 존재하지 않는 경우에는, 수성 가스 전화 활성을 갖는 피셔-트롭쉬 촉매가 추가적인 CO<sub>2</sub>를 생성시키기 위하여 CO를 소비함으로써 CO가 부족할 수 있는 합성 가스를 생성시킬 수 있다. 이러한 피셔-트롭쉬 공정을 MCFC 연료 전지와 통합시키기 위하여, 합성 가스 생성물중 CO<sub>2</sub>(및 임의적으로는 H<sub>2</sub>O)의 목적하는 양을 유지시키도록 애노드 산출물의 분리 스테이지를 작동시킬 수 있다. 대조적으로,

비-형태 변환 촉매에 기초한 피셔-트롭쉬 촉매의 경우에는, 생성물 스트림에 존재하는 임의의 CO<sub>2</sub>가 피셔-트롭쉬 반응 시스템에서 불활성 성분으로서의 역할을 할 수 있다.

[0159] 막 스위프 가스 같은 스위프 가스로 막을 스위핑하는 양태에서, 막 스위프 가스는 애노드 연료로서 또는 보일러, 로, 가스 터빈 또는 다른 연료-소비 장치 같은 상이한 저압 공정에서 사용되는 메탄 스트림에 상응할 수 있다. 이러한 양태에서, 막을 가로지르는 낮은 CO<sub>2</sub> 투과는 최소한의 결과를 가질 수 있다. 막을 가로질러 투과될 수 있는 이러한 CO<sub>2</sub>는 애노드 내에서의 반응에 최소한의 효과를 가질 수 있으며, 이러한 CO<sub>2</sub>는 애노드 생성물에 함유된 채로 유지될 수 있다. 그러므로, 투과로 인해 막을 가로질러 손실된 CO<sub>2</sub>(존재하는 경우)는 MCFC 전해질을 가로질러 다시 전달될 필요가 없다. 이는 수소 투과 막에서의 분리 선택성 조건을 크게 감소시킬 수 있다. 이는 예를 들어 더 낮은 선택성을 갖는 더 높은 투과성의 막을 사용할 수 있게 하며, 이는 더 낮은 압력 및/또는 감소된 막 표면적을 이용할 수 있게 할 수 있다. 본 발명의 이러한 양태에서, 스위프 가스의 부피는 애노드 배기 가스중 수소 부피의 몇 배일 수 있고, 이는 투과물 측 상의 유효 수소 농도를 0에 가깝게 유지하도록 할 수 있다. 이렇게 분리된 수소를 터빈-공급되는 막 내에 혼입시킬 수 있으며, 여기에서 이는 상기 기재된 바와 같이 터빈 연소 특징을 향상시킬 수 있다.

[0160] 애노드에서 생성된 과량의 H<sub>2</sub>는 온실 가스가 이미 분리된 연료를 나타낼 수 있음에 주목한다. 애노드 산출물중 임의의 CO<sub>2</sub>는 예를 들어 아민 세척, 극저온 CO<sub>2</sub> 분리기 및/또는 압력 또는 진공 변동 흡착 공정을 이용함으로써 애노드 산출물로부터 용이하게 분리될 수 있다. 애노드 산출물의 성분중 몇 가지(H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>)는 용이하게 제거되지 않는데 반해, CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O는 통상 용이하게 제거될 수 있다. 실시양태에 따라, 애노드 산출물중 CO<sub>2</sub>의 약 90부피% 이상이 분리되어 비교적 고순도 CO<sub>2</sub> 산출물 스트림을 형성시킬 수 있다. 그러므로, 애노드에서 발생된 임의의 CO<sub>2</sub>를 효율적으로 분리하여 고순도 CO<sub>2</sub> 산출물 스트림을 형성할 수 있다. 분리 후, 애노드 산출물의 나머지 부분은 주로 화학적 가치 및/또는 열량값을 갖는 성분뿐만 아니라 감소된 양의 CO<sub>2</sub> 및/또는 H<sub>2</sub>O에 상응할 수 있다. 원래 연료(개질 전)에 의해 발생된 CO<sub>2</sub>의 상당량이 분리되었을 수 있기 때문에, 애노드 산출물의 나머지 부분의 후속 연소에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub>의 양이 감소될 수 있다. 특히, 애노드 산출물의 나머지 부분의 연료가 H<sub>2</sub>인 한도까지, 이 연료의 연소에 의해 추가적인 온실 가스가 전형적으로 생성되지 않을 수 있다.

[0161] 애노드 배기 가스를, 수성 가스 전화 및 서로로부터의 성분의 분리를 비롯한 다양한 가스 가공 옵션에 적용시킬 수 있다. 두 일반적인 애노드 가공 방법이 도 6 및 도 7에 도시되어 있다.

[0162] 도 6은 화학적 합성 공정과 함께 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 전지 어레이를 작동시키기 위한 반응 시스템의 일례를 개략적으로 도시한다. 도 6에서는, 연료 전지 어레이에서 연료 전지 스택의 일부인 연료 전지 같은 연료 전지(620)의 애노드(627)에 수반되는 개질 스테이지(또는 스테이지들)(610)에 연료 스트림(605)을 공급한다. 연료 전지(620)에 수반되는 개질 스테이지(610)는 연료 전지 어셈블리 내부에 있을 수 있다. 일부 임의적인 양태에서는, 외부 개질 스테이지(도시되지 않음)를 또한 사용하여, 투입물 스트림이 연료 전지 어셈블리 내로 통과하기 전에 투입물 스트림중 개질가능한 연료의 일부를 개질시킬 수 있다. 연료 스트림(605)은 바람직하게는 메탄, 다른 탄화수소 및/또는 다른 탄화수소 같은 화합물(예컨대, 탄소-수소 결합을 함유하는 유기 화합물) 등의 개질가능한 연료를 포함할 수 있다. 연료 스트림(605)은 또한 임의적으로는 임의적인 애노드 재순환 스트림(685)에 의해 제공되는 H<sub>2</sub> 및/또는 CO 같은 H<sub>2</sub> 및/또는 CO를 함유할 수 있다. 애노드 재순환 스트림(685)은 임의적이고, 다수의 양태에서 애노드 배기 가스(625)로부터 애노드(627)로 직접적으로 또는 연료 스트림(605) 또는 개질된 연료 스트림(615)과의 조합을 통해 간접적으로 재순환되는 스트림이 제공되지 않음에 주목한다. 개질 후, 개질된 연료 스트림(615)을 연료 전지(620)의 애노드(627) 내로 통과시킬 수 있다. CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub>-함유 스트림(619)을 또한 캐소드(629) 내로 통과시킬 수 있다. 연료 전지의 캐소드 부분(629)으로부터의 카보네이트 이온(622) CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>의 유동은 애노드 연료 전지 반응에 필요한 나머지 반응물을 제공할 수 있다. 애노드(627)에서의 반응에 기초하여, 생성되는 애노드 배기 가스(625)는 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, 불완전하게 반응한 연료에 상응하는 하나 이상의 성분(H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, 또는 개질가능한 연료에 상응하는 다른 성분), 및 임의적으로는 연료 스트림(605)의 일부인 N<sub>2</sub> 및/또는 다른 오염물질 같은 하나 이상의 추가적인 비반응성 성분을 포함할 수 있다. 이어, 애노드 배기 가스(625)를 하나 이상의 분리 스테이지 내로 통과시킬 수 있다. 예를 들면, CO<sub>2</sub> 제거 스테이지



(640)는 극저온 CO<sub>2</sub> 제거 시스템, CO<sub>2</sub> 같은 산 기체를 제거하기 위한 아민 세척 스테이지, 또는 애노드 배기 가스로부터 CO<sub>2</sub> 산출물 스트림(643)을 분리하기 위한 다른 적합한 유형의 CO<sub>2</sub> 분리 스테이지에 상응할 수 있다. 임의적으로는, 애노드 배기 가스를 먼저 수성 가스 전화 반응기(630)를 통해 통과시켜, 애노드 배기 가스에 존재하는 임의의 CO(일부 H<sub>2</sub>O와 함께)를 임의적으로는 수성 가스 전화된 애노드 배기 가스(635)에서 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>로 전환시킬 수 있다. CO<sub>2</sub> 제거 스테이지의 특성에 따라, 애노드 배기 가스로부터 물 산출물 스트림(653)을 제거하는데 물 응축 또는 제거 스테이지(650)가 바람직할 수 있다. 도 6에는 CO<sub>2</sub> 분리 스테이지(640) 후에 도시되어 있으나, 이는 임의적으로는 대신 CO<sub>2</sub> 분리 스테이지(640) 전에 위치할 수 있다. 또한, H<sub>2</sub>를 분리하기 위한 임의적인 막 분리 스테이지(660)를 이용하여 H<sub>2</sub>의 고순도 투과물 스트림(663)을 생성시킬 수 있다. 이어, 생성된 보유물 스트림(666)을 화학적 합성 공정으로의 투입물로서 사용할 수 있다. 스트림(666)을 추가로 또는 다르게는 제 2 수성 가스 전화 반응기(631)에서 전하시켜, H<sub>2</sub>, CO 및 CO<sub>2</sub> 함량을 상이한 비로 조정함으로써, 화학적 합성 공정에 추가로 사용하기 위한 산출물 스트림(668)을 생성시킬 수 있다. 도 6에서는, 애노드 재순환 스트림(685)이 보유물 스트림(666)으로부터 회수되는 것으로 도시되어 있으나, 애노드 재순환 스트림(685)은 또한 또는 다르게는 다양한 분리 스테이지에서 또는 다양한 분리 스테이지 사이에서 다른 편리한 위치로부터 회수될 수 있다. 분리 스테이지 및 전화 반응기(들)는 또한 또는 다르게는 상이한 순서대로 및/또는 병렬 구성으로 구성될 수 있다. 마지막으로, 감소된 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 스트림(639)을 캐소드(629)로부터의 산출물로서 생성시킬 수 있다. 간단하게 하기 위하여, 공정에 유용한 압축 및 열 부가/제거의 다양한 스테이지뿐만 아니라 증기 추가 또는 제거는 도시되지 않는다.

[0163] 상기 나타낸 바와 같이, 애노드 배기 가스 상에서 수행되는 다양한 유형의 분리를 임의의 편리한 순서대로 수행할 수 있다. 도 7은 애노드 배기 가스 상에서 분리를 수행하는 다른 순서의 예를 보여준다. 도 7에서는, 애노드 배기 가스(625)를 먼저, 애노드 배기 가스(625)로부터 수소 함량의 일부(763)를 제거하기 위한 분리 스테이지(760) 내로 통과시킬 수 있다. 이는 예를 들어 애노드 배기 가스의 H<sub>2</sub> 함량을 감소시켜 2:1에 근접하는 H<sub>2</sub> 대 CO의 비를 갖는 보유물(766)을 제공할 수 있다. 이어, 수성 가스 전화 스테이지(730)에서 H<sub>2</sub> 대 CO의 비를 더 조정하여 목적하는 값을 획득할 수 있다. 이어, 수성 가스 전화된 산출물(735)을 CO<sub>2</sub> 분리 스테이지(740) 및 물 제거 스테이지(750)를 통해 통과시켜, 목적하는 화학적 합성 공정으로의 투입물로서 사용하기 적합한 산출물 스트림(775)을 생성시킬 수 있다. 임의적으로는, 산출물 스트림(775)을 추가적인 수성 가스 전화 스테이지(도시되지 않음)에 노출시킬 수 있다. 산출물 스트림(775)의 일부를 임의적으로 애노드 산출물로 재순환시킬 수 있다(도시되지 않음). 물론, 또 다른 분리 스테이지의 조합 및 순서를 이용하여 목적하는 조성을 갖는 애노드 산출물에 기초한 스트림을 생성시킬 수 있다. 간단하게 하기 위하여, 공정에 유용한 압축 및 열 부가/제거의 다양한 스테이지뿐만 아니라 증기 첨가 또는 제거는 도시되지 않는다.

[0164] 캐소드 투입물 및 산출물

[0165] 통상적으로는, 애노드에 전달되는 연료 스트림중 연료의 일부를 소비하면서 목적하는 부하에 기초하여 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시킬 수 있다. 연료 전지의 전압은 부하, 애노드로의 연료 투입물, 캐소드에 제공되는 공기 및 CO<sub>2</sub>, 및 연료 전지의 내부 저항에 의해 결정될 수 있다. 부분적으로는 애노드 배기 가스를 캐소드 투입물 스트림의 적어도 일부로서 사용함으로써 캐소드로의 CO<sub>2</sub>를 통상적으로 제공할 수 있다. 대조적으로, 본 발명은 애노드 투입물 및 캐소드 투입물에 대해 별도의/상이한 공급원을 사용할 수 있다. 애노드 투입물 유동과 캐소드 투입물 유동의 조성 사이의 임의의 직접적인 연결을 제거함으로써, 특히 과량의 합성 가스를 발생시키고/시키거나 이산화탄소의 포획을 개선하고/하거나 연료 전지의 총 효율(전기+화학적 동력)을 개선하기 위하여 연료 전지를 작동시키는데 추가적인 옵션을 이용할 수 있게 된다.

[0166] 용융 카보네이트 연료 전지에서, 연료 전지의 전해질을 가로지르는 카보네이트 이온의 수송은 CO<sub>2</sub>를 제 1 유동 경로로부터 제 2 유동 경로로 수송하는 방법을 제공할 수 있으며, 이 때 수송 방법은 더 낮은 농도(캐소드)로부터 더 높은 농도(애노드)로의 수송을 가능케 하며, 이는 따라서 CO<sub>2</sub>의 포획을 용이하게 할 수 있다. CO<sub>2</sub> 분리를 위한 연료 전지의 선택성의 일부는 전지가 전력을 발생시키도록 하는 전기화학적 반응에 기초할 수 있다. 연료 전지 내에서 전기화학적 반응에 효과적으로 참여하지 않는 비반응성 물질(예컨대, N<sub>2</sub>)의 경우, 반응 및 캐소드로부터 애노드로의 수송이 미미한 양으로 존재할 수 있다. 대조적으로, 캐소드와 애노드 사이의 포텐셜(전압) 차이는 연료 전지를 가로지르는 카보네이트 이온의 수송에 대한 강력한 구동력을 제공할 수 있다. 그 결과, 용융

카보네이트 연료 전지에서 카보네이트 이온의 수송은 비교적 높은 선택성으로 CO<sub>2</sub>를 캐소드(더 낮은 CO<sub>2</sub> 농도)로부터 애노드(더 높은 CO<sub>2</sub> 농도)로 수송하도록 할 수 있다. 그러나, 이산화탄소 제거를 위해 용융 카보네이트 연료 전지를 이용함에 있어서의 난점은 연료 전지가 비교적 묽은 캐소드 공급물로부터 이산화탄소를 제거하는 능력이 제한된다는 것일 수 있다. 카보네이트 연료 전지에 의해 발생하는 전압 및/또는 전력은 CO<sub>2</sub> 농도가 약 2.0부피% 미만으로 떨어짐에 따라 급락하기 시작할 수 있다. 일부 지점에서 CO<sub>2</sub> 농도가 더, 예를 들어 약 1.0 부피% 미만으로 하락함에 따라, 연료 전지를 가로지르는 전압은 카보네이트의 추가적인 수송이 거의 또는 전혀 이루어지지 않고 연료 전지가 작동을 중지할 정도로 충분히 낮아질 수 있다. 그러므로, 적어도 일부 CO<sub>2</sub>는 상업적으로 가능성 있는 작동 조건 하에서 연료 전지의 캐소드 스테이지로부터의 배기 가스에 존재할 것이다.

[0167] 연료 전지 캐소드(들)에 전달되는 이산화탄소의 양은 캐소드 입구의 공급원의 CO<sub>2</sub> 함량에 기초하여 결정될 수 있다. 캐소드 투입물 유동으로서 사용하기 적합한 CO<sub>2</sub>-함유 스트림의 일례는 연소 공급원으로부터의 산출물 또는 배기 가스 유동일 수 있다. 연소 공급원의 예는 천연 가스의 연소, 석탄의 연소, 및/또는 다른 탄화수소-유형의 연료(생물로부터 유도되는 연료 포함)의 연소에 기초한 공급원을 포함하지만, 이들로 한정되지는 않는다. 추가적인 또는 다른 공급원은 다른 유형의 보일러, 직화식 히터, 로, 및/또는 다른 성분(예컨대, 물 또는 공기)을 가열하기 위하여 탄소-함유 연료를 태우는 다른 유형의 장치를 포함할 수 있다. 대략, 연소 공급원으로부터의 산출물 유동의 CO<sub>2</sub> 함량은 유동중 소량일 수 있다. 석탄-연료 연소 공급원 같은 더 높은 CO<sub>2</sub> 함량의 배기 가스 유동의 경우에도, 대부분의 상업적인 석탄-연료 발전소로부터의 CO<sub>2</sub> 함량은 약 15부피% 이하일 수 있다. 더욱 일반적으로, 연소 공급원으로부터의 산출물 또는 배기 가스 유동중 CO<sub>2</sub> 함량은 약 1.5부피% 이상, 또는 약 1.6부피% 이상, 또는 약 1.7부피% 이상, 또는 약 1.8부피% 이상, 또는 약 1.9부피% 이상, 또는 2부피% 이상, 또는 약 4부피% 이상, 또는 약 5부피% 이상, 또는 약 6부피% 이상, 또는 약 8부피% 이상일 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연소 공급원으로부터의 산출물 또는 배기 가스의 CO<sub>2</sub> 함량은 약 20부피% 이하, 예를 들어 약 15부피% 이하, 또는 약 12부피% 이하, 또는 약 10부피% 이하, 또는 약 9부피% 이하, 또는 약 8부피% 이하, 또는 약 7부피% 이하, 또는 약 6.5부피% 이하, 또는 약 6부피% 이하, 또는 약 5.5부피% 이하, 또는 약 5부피% 이하, 또는 약 4.5부피% 이하일 수 있다. 상기 주어진 농도는 건조 기준이다. 배기 가스 재순환 루프에 포함될 수 있거나 포함되지 않을 수 있는 발전 시스템의 일부인 제너레이터 같은 일부 천연 가스 또는 메탄 연소 공급원으로부터의 배기 가스에는 더 낮은 CO<sub>2</sub> 함량 값이 존재할 수 있음에 주목한다.

[0168] 캐소드 투입물 스트림의 다른 가능한 공급원은 추가로 또는 다르게는 생물-생성된 CO<sub>2</sub>의 공급원을 포함할 수 있다. 이는 예를 들어 에탄올 생성 동안 발생하는 CO<sub>2</sub> 같이 생물-유도되는 화합물의 가공 동안 발생하는 CO<sub>2</sub>를 포함할 수 있다. 추가적인 또는 다른 예는 리그노셀룰로스의 연소 같은 생물-생성된 연료의 연소에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub>를 포함할 수 있다. 또 다른 추가적인 또는 다른 가능한 CO<sub>2</sub> 공급원은 강, 시멘트 및/또는 종이를 제조하기 위한 플랜트에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub>-함유 스트림 같은 다양한 산업상의 공정으로부터의 산출물 또는 배기 가스 스트림에 상응할 수 있다.

[0169] CO<sub>2</sub>의 또 다른 추가적인 또는 다른 가능한 공급원은 연료 전지로부터의 CO<sub>2</sub>-함유 스트림일 수 있다. 연료 전지로부터의 CO<sub>2</sub>-함유 스트림은 상이한 연료 전지로부터의 캐소드 산출물 스트림, 상이한 연료 전지로부터의 애노드 산출물 스트림, 연료 전지의 캐소드 산출물로부터 캐소드 투입물로의 재순환 스트림, 및/또는 연료 전지의 애노드 산출물로부터 캐소드 투입물로의 재순환 스트림에 상응할 수 있다. 예를 들면, 종래의 조건 하에 독립 방식으로 작동되는 MCFC는 약 5부피% 이상의 CO<sub>2</sub> 농도를 갖는 캐소드 배기 가스를 생성시킬 수 있다. 이러한 CO<sub>2</sub>-함유 캐소드 배기 가스를 본 발명의 양태에 따라 작동되는 MCFC의 캐소드 투입물로서 사용할 수 있다. 더욱 일반적으로는, 캐소드 배기 가스로부터 CO<sub>2</sub> 산출물을 발생시키는 연료 전지의 다른 유형뿐만 아니라 "연소" 반응에 의해 및/또는 연소에 의해 동력을 받는 제너레이터에 의해 발생되지 않는 CO<sub>2</sub>-함유 스트림의 다른 유형을 추가로 또는 달리 사용할 수 있다. 임의적이지만 바람직하게는, 다른 연료 전지로부터의 CO<sub>2</sub>-함유 스트림은 다른 용융 카보네이트 연료 전지로부터일 수 있다. 예를 들면, 캐소드와 관련하여 직렬로 연결되는 용융 카보네이트 연료 전지의 경우, 제 1 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로부터의 산출물을 제 2 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로의 투입물로서 사용할 수 있다.

[0170] 연소 공급원 외의 공급원으로부터의 다양한 유형의 CO<sub>2</sub>-함유 스트림에 있어서, 스트림의 CO<sub>2</sub> 함량은 광범위하게 변할 수 있다. 캐소드로의 투입물 스트림중 CO<sub>2</sub> 함량은 약 2부피% 이상, 예컨대 약 4부피% 이상, 또는 약 5부피% 이상, 또는 약 6부피% 이상, 또는 약 8부피% 이상의 CO<sub>2</sub>를 함유할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 캐소드로의 투입물 스트림중 CO<sub>2</sub> 함량은 약 30부피% 이하, 예컨대 약 25부피% 이하, 또는 약 20부피% 이하, 또는 약 15부피% 이하, 또는 약 10부피% 이하, 또는 약 8부피% 이하, 또는 약 6부피% 이하, 또는 약 4부피% 이하일 수 있다. 일부 더 높은 CO<sub>2</sub> 함량의 스트림에 있어서, CO<sub>2</sub> 함량은 잔량의 다른 화합물과 CO<sub>2</sub>로 실질적으로 구성되는 스트림과 같이 약 30부피%보다 더 클 수 있다. 예로서, 배기 가스 재순환이 없는 가스-연료 터빈은 약 4.2부피%의 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 배기 가스 스트림을 생성시킬 수 있다. EGR을 이용하여, 가스-연료 터빈은 약 6 내지 8부피%의 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 배기 가스 스트림을 생성시킬 수 있다. 메탄의 화학량론적 연소는 약 11부피%의 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 배기 가스 스트림을 생성시킬 수 있다. 석탄의 연소는 약 15 내지 20부피%의 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 배기 가스 스트림을 생성시킬 수 있다. 정련 오프-가스를 사용하는 직화식 히터는 약 12 내지 15부피%의 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 배기 가스 스트림을 생성시킬 수 있다. 임의의 EGR 없이 낮은 BTU 가스 상에서 작동되는 가스 터빈은 약 12부피%의 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 배기 가스 스트림을 생성시킬 수 있다.

[0171] CO<sub>2</sub> 이외에, 캐소드 투입물 스트림은 캐소드 반응에 필요한 성분을 제공하기 위하여 O<sub>2</sub>를 포함해야 한다. 일부 캐소드 투입물 스트림은 구성성분으로서 공기를 가짐에 기초할 수 있다. 예를 들어, 공기의 존재하에서 탄화수소 연료를 연소시킴으로써 연소 배기 가스 스트림을 형성시킬 수 있다. 이러한 연소 배기 가스 스트림 또는 공기의 포함에 기초한 산소 함량을 갖는 다른 유형의 캐소드 투입물 스트림은 약 20부피% 이하, 예컨대 약 15부피% 이하, 또는 약 10부피% 이하의 산소 함량을 가질 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 캐소드 투입물 스트림의 산소 함량은 약 4부피% 이상, 예컨대 약 6부피% 이상, 또는 약 8부피% 이상일 수 있다. 더욱 일반적으로, 캐소드 투입물 스트림은 캐소드 반응을 수행하는데 적합한 산소 함량을 가질 수 있다. 일부 양태에서, 이는 약 5부피% 내지 약 15부피%, 예를 들어 약 7부피% 내지 약 9부피%의 산소 함량에 상응할 수 있다. 많은 유형의 캐소드 투입물 스트림에 있어서, CO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>의 합쳐진 양은 투입물 스트림의 약 21부피% 미만, 예컨대 스트림의 약 15부피% 미만, 또는 스트림의 약 10부피% 미만에 상응할 수 있다. 산소를 함유하는 공기 스트림을, 낮은 산소 함량을 갖는 CO<sub>2</sub> 공급원과 합칠 수 있다. 예를 들어, 석탄을 태움으로써 발생하는 배기 가스 스트림은 공기와 혼합하여 캐소드 입구 스트림을 형성할 수 있는 낮은 산소 함량을 포함할 수 있다.

[0172] CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub> 이외에, 캐소드 투입물 스트림은 또한 N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, 및 다른 전형적인 산화제(공기) 성분 같은 불활성/비반응성 물질로 구성될 수 있다. 예를 들면, 연소 반응으로부터의 배기 가스로부터 유도되는 캐소드 투입물의 경우, 공기를 연소 반응의 산화제 공급원의 일부로서 사용하면, 배기 가스는 N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, 및 공기에 존재하는 미량의 다른 화합물 같은 공기의 전형적인 성분을 포함할 수 있다. 연소 반응의 연료 공급원의 특성에 따라, 연료 공급원에 기초한 연소 후 존재하는 추가적인 물질은 H<sub>2</sub>O, 질소의 산화물(NO<sub>x</sub>) 및/또는 황의 산화물(SO<sub>x</sub>), 및 CO 같은 연료에 존재하고/하거나 연료에 존재하는 화합물의 부분 또는 완전 연소 생성물인 다른 화합물중 하나 이상을 포함할 수 있다. 이들 물질은 전체적인 캐소드 활성을 감소시킬 수 있으나 캐소드 촉매 표면을 오염시키지 않는 양으로 존재할 수 있다. 성능의 이러한 차이는 허용될 수 있거나, 또는 캐소드 촉매와 상호작용하는 물질을 공지의 오염물질 제거 기법에 의해 허용되는 수준까지 감소시킬 수 있다.

[0173] 캐소드 투입물 스트림(예를 들어, 연소 배기 가스에 기초한 캐소드 투입물 스트림)에 존재하는 O<sub>2</sub>의 양은 유리하게는 연료 전지의 캐소드 반응에 필요한 산소를 제공하기에 충분할 수 있다. 그러므로, O<sub>2</sub>의 부피 백분율은 유리하게는 배기 가스중 CO<sub>2</sub> 양의 0.5배 이상일 수 있다. 임의적으로는, 필요에 따라, 추가적인 공기를 캐소드 투입물에 첨가하여 캐소드 반응에 충분한 산화제를 제공할 수 있다. 일부 유형의 공기를 산화제로서 사용하는 경우, 캐소드 배기 가스중 N<sub>2</sub>의 양은 약 78부피% 이상, 예를 들어 약 88부피% 이상, 및/또는 약 95부피% 이하일 수 있다. 일부 양태에서, 캐소드 투입물 스트림은 추가로 또는 다르게는 통상 오염물질로 보여지는 성분(예컨대, H<sub>2</sub>S 또는 NH<sub>3</sub>)을 함유할 수 있다. 다른 양태에서는, 캐소드 투입물 스트림을 세정하여 이러한 오염물질의 함량을 감소시키거나 최소화할 수 있다.

[0174] 전해질을 가로질러 수송하기 위한 카보네이트 이온을 형성하는 반응 이외에, 캐소드의 조건은 또한 질소 산화물

의 나이트레이트 및/또는 나이트레이트 이온으로의 전환에도 적합할 수 있다. 이후, 편의상 나이트레이트 이온만 일컫는다. 생성되는 나이트레이트 이온도 애노드에서의 반응을 위해 전해질을 가로질러 수송될 수 있다. 캐소드 투입물 스트림중 NO<sub>x</sub> 농도는 전형적으로 ppm의 수준일 수 있으며, 따라서 이 나이트레이트 수송 반응은 전해질을 가로질러 수송되는 카보네이트의 양에 대해 최소한의 영향을 가질 수 있다. 그러나, 이 NO<sub>x</sub> 제거 방법은 가스 터빈으로부터의 연소 배기 가스에 기초한 캐소드 투입물 스트림에 유리할 수 있는데, 왜냐하면 이는 NO<sub>x</sub> 배출을 감소시키기 위한 메카니즘을 제공할 수 있기 때문이다. 캐소드의 조건은 추가로 또는 다르게는 미연소 탄화수소(캐소드 투입물 스트림중 O<sub>2</sub>와 함께)의 전형적인 연소 생성물(예컨대, CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O)로의 전환에 적합할 수 있다.

[0175] MCFC의 작동에 적합한 온도는 약 450°C 내지 약 750°C, 예컨대 약 500°C 이상일 수 있으며, 입구 온도는 약 550°C이고, 출구 온도는 약 625°C이다. 캐소드에 들어가기 전에, 필요한 경우 연소 배기 가스에 열을 가하거나 연소 배기 가스로부터 열을 제거하여, 애노드의 연료 투입물의 개질 같은 다른 공정을 위한 열을 제공할 수 있다. 예를 들어, 캐소드 투입물 스트림의 공급원이 연소 배기 가스 스트림인 경우, 연소 배기 가스 스트림은 캐소드 입구의 목적하는 온도보다 더 높은 온도를 가질 수 있다. 이러한 양태에서는, 캐소드 투입물 스트림으로서 사용하기 전에 연소 배기 가스로부터 열을 제거할 수 있다. 다르게는, 연소 배기 가스는 예를 들어 석탄-연료 보일러 상에서의 습윤 기체 스크러버 후에 매우 낮은 온도일 수 있는데, 이 경우 연소 배기 가스는 약 100°C 미만일 수 있다. 다르게는, 연소 배기 가스는 복합 사이클 방식으로 작동되는 가스 터빈의 배기 가스일 수 있으며, 복합 사이클 방식에서는 가스를 상승 증기에 의해 냉각시켜 추가적인 발전을 위해 증기 터빈을 작동시킬 수 있다. 이 경우, 가스는 약 50°C 미만일 수 있다. 요구되는 것보다 더 차가운 연소 배기 가스에 열을 가할 수 있다.

[0176] 연료 전지 배열

[0177] 다양한 양태에서, 연료 전지의 구성 옵션(예컨대, 복수개의 연료 전지 스택을 함유하는 연료 전지 어레이)은 복수개의 연료 전지 사이에서 CO<sub>2</sub>-함유 스트림을 분할하는 것일 수 있다. CO<sub>2</sub>-함유 스트림의 몇몇 유형의 공급원은 개별 연료 전지의 용량에 비해 큰 부피 유속을 생성시킬 수 있다. 예를 들어, 산업용 연소 공급원으로부터의 CO<sub>2</sub>-함유 산출물 스트림은 전형적으로 적당한 크기의 단일 MCFC에 바람직한 작동 조건에 비해 큰 유동 부피에 상응할 수 있다. 단일 MCFC에서 전체 유동을 처리하는 대신, 유동을 복수개의 MCFC 단위장치(통상 이들중 적어도 일부는 병렬 연결될 수 있음) 사이에서 분할할 수 있어서, 각 단위장치에서의 유속이 목적하는 유동 범위 내에 있을 수 있도록 할 수 있다.

[0178] 제 2 구성 옵션은 연료 전지를 직렬로 이용하여, 유동 스트림으로부터 CO<sub>2</sub> 를 연속적으로 제거할 수 있다. CO<sub>2</sub>-함유 스트림을 분배할 수 있는 병렬 연결된 최초 연료 전지의 수에 무관하게, 각각의 최초 연료 전지 후에는 하나 이상의 추가적인 전지가 직렬로 연결되어 추가적인 CO<sub>2</sub>를 추가로 제거할 수 있다. 캐소드 산출물중 CO<sub>2</sub>의 요구되는 양이 충분히 낮은 경우, 단일 연료 전지 또는 연료 전지 스테이지에서 캐소드 투입물 스트림으로부터 CO<sub>2</sub>를 목적하는 수준으로 제거하고자 하는 시도는 연료 전지에 낮은 및/또는 예기치 못한 전압 산출물을 야기할 수 있다. 단일 연료 전지 또는 연료 전지 스테이지에서 CO<sub>2</sub>를 목적하는 수준까지 제거하고자 시도하기보다는, 목적하는 수준이 달성될 때까지 연속적인 전지에서 CO<sub>2</sub>를 제거할 수 있다. 예를 들어, 일련의 연료 전지의 각 전지를 사용하여 연료 스트림에 존재하는 CO<sub>2</sub>의 일부(예를 들어, 약 50%)를 제거할 수 있다. 이러한 예에서, 3개의 연료 전지를 직렬로 사용하면, CO<sub>2</sub> 농도를 감소시킬 수 있다(예를 들어, 존재하는 원래 양의 약 15% 이하까지, 이는 3개의 연료 전지가 직렬인 코스에 걸쳐 CO<sub>2</sub> 농도를 약 6%에서 약 1% 이하로 감소시키는데 상응할 수 있음).

[0179] 다른 구성에서는, 목적하는 산출 전압을 제공하도록 직렬 연결된 초기 연료 스테이지에서 작동 조건을 선택할 수 있는 한편, 목적하는 탄소 분리 수준을 획득하도록 스테이지의 어레이를 선택할 수 있다. 예로서, 3개의 연료 전지가 직렬 연결된 연료 전지의 어레이를 사용할 수 있다. 처음 두 직렬 연결된 연료 전지를 사용하여 목적하는 산출 전압을 유지하면서 CO<sub>2</sub>를 제거할 수 있다. 이어, 더 낮은 전압에서 목적하는 농도까지 CO<sub>2</sub>를 제거하도록 마지막 연료 전지를 작동시킬 수 있다.

[0180] 또 다른 구성에서는, 연료 전지 어레이에서 애노드 및 캐소드는 별도로 연결될 수 있다. 예를 들면, 연료 전지



어레이가 직렬로 연결된 연료 캐소드를 포함하는 경우, 상응하는 애노드는 예컨대 그에 상응하는 캐소드와 동일한 배열로 반드시 배치될 필요 없이 임의의 편리한 방식으로 연결될 수 있다. 이는 예를 들어 각 애노드가 동일한 유형의 연료 공급물을 받아들이도록 애노드를 병렬 연결하고/하거나 애노드의 최고 연료 농도가 최저 CO<sub>2</sub> 농도를 갖는 캐소드에 상응할 수 있도록 애노드를 역-직렬 연결함을 포함할 수 있다.

[0181] 또 다른 구성에서는, 연료 전지 어레이의 성능을 개선하기 위하여, 하나 이상의 애노드 스테이지로 전달되는 연료의 양 및/또는 하나 이상의 캐소드 스테이지로 전달되는 CO<sub>2</sub>의 양을 제어할 수 있다. 예를 들어, 연료 전지 어레이는 복수개의 직렬 연결된 캐소드 스테이지를 가질 수 있다. 직렬 연결된 3개의 캐소드 스테이지를 포함하는 어레이에서, 이는 제 1 캐소드 스테이지로부터의 산출물이 제 2 캐소드 스테이지의 투입물에 상응할 수 있고, 제 2 캐소드 스테이지로부터의 산출물이 제 3 캐소드 스테이지의 투입물에 상응할 수 있음을 의미할 수 있다. 이 유형의 구성에서, CO<sub>2</sub> 농도는 각각의 연속적인 캐소드 스테이지에서 감소될 수 있다. 이 감소되는 CO<sub>2</sub> 농도를 보충하기 위하여, 추가적인 수소 및/또는 메탄을 후속 캐소드 스테이지에 상응하는 애노드 스테이지로 전달할 수 있다. 후속 캐소드 스테이지에 상응하는 애노드에서의 추가적인 수소 및/또는 메탄은 감소된 CO<sub>2</sub> 농도에 의해 야기되는 전압 및/또는 전류의 손실을 적어도 부분적으로 상쇄할 수 있으며, 이는 연료 전지에 의해 생성되는 전압, 따라서 순 전력을 증가시킬 수 있다. 다른 예에서, 연료 전지 어레이의 캐소드는 일부는 직렬로 또한 일부는 병렬로 연결될 수 있다. 이 유형의 예에서는, 전체 연소 산출물을 제 1 캐소드 스테이지의 캐소드 내로 통과시키는 대신, 연소 배기 가스의 적어도 일부를 후속 캐소드 스테이지 내로 통과시킬 수 있다. 이는 후속 캐소드 스테이지에서 증가된 CO<sub>2</sub> 함량을 제공할 수 있다. 요구되는 경우 애노드 스테이지 또는 캐소드 스테이지로의 다양한 공급물을 사용하는 또 다른 옵션을 이용할 수 있다.

[0182] 연료 전지의 캐소드는 이미 기재된 바와 같이 연료 전지 어레이로부터의 복수개의 캐소드에 상응할 수 있다. 일부 양태에서는, 캐소드로부터 애노드로 전달되는 탄소의 양을 개선하거나 최대화하도록 연료 전지 어레이를 작동시킬 수 있다. 이러한 양태에서, 어레이 순서(전형적으로는 적어도 직렬 배열을 포함함, 또는 최종 캐소드(들)와 최초 캐소드(들)는 동일함)에서 최종 캐소드(들)로부터의 캐소드 산출물에 있어서, 산출물 조성은 약 2.0부피% 이하(예를 들어, 약 1.5부피% 이하 또는 약 1.2부피% 이하)의 CO<sub>2</sub> 및/또는 약 1.0부피% 이상, 예를 들어 약 1.2부피% 이상 또는 약 1.5부피% 이상의 CO<sub>2</sub>를 포함할 수 있다. 이 제한으로 인해, 용융 카보네이트 연료 전지를 이용하는 경우 CO<sub>2</sub> 제거의 순 효율은 캐소드 투입물중 CO<sub>2</sub>의 양에 따라 달라질 수 있다. 약 6부피% 이상, 예컨대 약 8% 이상의 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 캐소드 투입물 스트림에 있어서, 제거될 수 있는 CO<sub>2</sub>의 양에 대한 제한은 극심하지 않다. 그러나, 전형적으로 가스 터빈에서 발견되는 것과 같이, 연료로서 천연 가스를 사용하는 과량의 공기와의 연소 반응에 있어서, 연소 배기 가스중 CO<sub>2</sub>의 양은 약 5부피% 미만의 캐소드 투입물에서의 CO<sub>2</sub> 농도에 상응할 수 있다. 배기 가스 재순환을 이용하여, 캐소드 투입물에서의 CO<sub>2</sub>의 양을 약 5부피% 이상, 예를 들어 약 6부피% 이상까지 증가시킬 수 있다. 연료로서 천연 가스를 사용하여 약 6부피%를 초과하는 CO<sub>2</sub> 농도를 생성시키는 경우 EGR이 증가하면, 연소기의 인화성이 감소될 수 있고, 가스 터빈이 불안정해질 수 있다. 그러나, H<sub>2</sub>가 연료에 첨가되는 경우, 인화성의 범위가 상당히 증가하여, 배기 가스 재순환의 양을 추가로 증가시킴으로써, 약 7.5부피% 이상 또는 약 8부피% 이상의 캐소드 투입물에서의 CO<sub>2</sub> 농도를 달성할 수 있다. 예로서, 캐소드 배기 가스에서의 약 1.5부피%의 제거 한계에 기초하여, 캐소드 투입물에서의 CO<sub>2</sub> 함량을 약 5.5부피%에서 약 7.5부피%까지 증가시키는 것은 궁극적인 CO<sub>2</sub> 분리를 위해 연료 전지를 사용하여 포획될 수 있고 애노드 루프로 수송될 수 있는 CO<sub>2</sub>의 양의 약 10% 증가에 상응할 수 있다. 캐소드 산출물중 O<sub>2</sub>의 양은 추가로 또는 다르게는 전형적으로 제거되는 CO<sub>2</sub>의 양에 비례하는 양으로 감소될 수 있으며, 이는 캐소드 출구에서 다른 (비-캐소드-반응성) 물질의 양(들)을 상응하게 소량 증가시킬 수 있다.

[0183] 다른 양태에서는, 연료 전지의 에너지 산출물, 예컨대 총 에너지 산출물, 전기 에너지 산출물, 합성 가스 화학 에너지 산출물 또는 이들의 조합을 개선하거나 최대화하도록 연료 전지 어레이를 작동시킬 수 있다. 예를 들어, 다양한 상황에서, 예를 들어 화합물 합성 플랜트에 사용하기 위한 합성 가스 스트림의 생성 및/또는 고순도 수소 스트림의 생성을 위해, 과량의 개질가능한 연료를 사용하여 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시킬 수 있다. 합성 가스 스트림 및/또는 수소 스트림은 합성 가스 공급원으로서, 수소 공급원으로서, 청정 연료 공급원으로서 및/또는 임의의 다른 편리한 용도에 사용될 수 있다. 이러한 양태에서, 캐소드 배기 가스중 CO<sub>2</sub>의 양

은 캐소드 투입물 스트림중 CO<sub>2</sub>의 양 및 연료 전지 에너지 산출물을 개선하거나 최대화하는데 요구되는 작동 조건에서의 CO<sub>2</sub> 이용률에 관련될 수 있다.

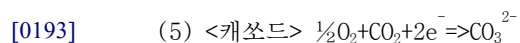
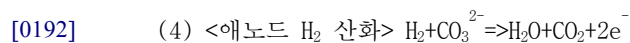
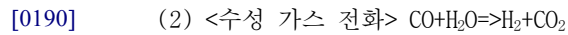
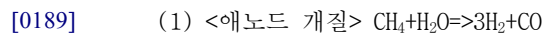
[0184] 추가로 또는 다르게는, 작동 조건에 따라, MCFC는 캐소드 배기 가스 스트림중 CO<sub>2</sub> 함량을 약 5.0부피% 이하, 예를 들어 약 4.0부피% 이하, 또는 약 2.0부피% 이하, 또는 약 1.5부피% 이하, 또는 약 1.2부피% 이하까지 낮출 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 캐소드 배기 가스 스트림중 CO<sub>2</sub> 함량은 약 0.9부피% 이상, 예컨대 약 1.0부피% 이상, 또는 약 1.2부피% 이상, 또는 약 1.5부피% 이상일 수 있다.

[0185] 용융 카보네이트 연료 전지 작동

[0186] 일부 양태에서, 연료 전지는 1회 통과 또는 관류 방식으로 작동될 수 있다. 1회 통과 방식에서는, 애노드 배기 가스중 개질된 생성물이 애노드 출구로 복귀되지 않는다. 그러므로, 1회 통과 작동에서는 합성 가스, 수소 또는 애노드 산출물로부터의 몇몇 다른 생성물을 직접 애노드 입구로 재순환시키지 않는다. 더욱 일반적으로, 1회 통과 작동에서는, 예컨대 개질된 생성물을 사용하여 애노드 입구로 후속 도입되는 연료 스트림을 처리함으로써와 같이, 애노드 배기 가스중 개질된 생성물을 애노드 입구로 간접적으로도 복귀시키지 않는다. 임의적으로는, 1회 통과 방식으로 MCFC를 작동시키는 동안에는 애노드 출구로부터의 CO<sub>2</sub>를 캐소드 입구로 재순환시킬 수 있다. 더욱 일반적으로, 몇몇 다른 양태에서, 1회 통과 방식으로 MCFC를 작동시키는 경우 애노드 출구로부터 캐소드 입구로 재순환이 이루어질 수 있다. 1회 통과 방식에서는 애노드 배기 가스 또는 산출물로부터의 열을 추가로 또는 다르게는 재순환시킬 수 있다. 예를 들어, 애노드 산출물 유동을, 애노드 산출물을 냉각시키고 다른 스트림, 예컨대 애노드 및/또는 캐소드의 투입물 스트림을 가온시키는 열 교환기를 통해 통과시킬 수 있다. 애노드로부터의 열을 연료 전지로 재순환시키는 것은 1회 통과 또는 관류 작동에서 일관된다. 임의적으로, 그러나 바람직하지 못하게는, 애노드 산출물의 구성성분을 연소시켜, 1회 통과 방식 동안 연료 전지에 열을 제공할 수 있다.

[0187] 도 2는 전력을 발생시키기 위한 MCFC의 작동의 개략적인 예를 도시한다. 도 2에서, 연료 전지의 애노드 부분은 투입물로서 연료와 수증기(H<sub>2</sub>O)를 받아들일 수 있고, 물, CO<sub>2</sub>, 및 임의적으로는 과량의 H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>(또는 다른 탄화수소) 및/또는 CO의 산출물을 갖는다. 연료 전지의 캐소드 부분은 투입물로서 CO<sub>2</sub>와 약간의 산화제(예컨대, 공기/O<sub>2</sub>)를 받아들일 수 있고, O<sub>2</sub>가 고갈된 산화제(공기) 중에 감소된 양의 CO<sub>2</sub>에 상응하는 산출물을 갖는다. 연료 전지 내에서는, 캐소드 측에서 형성된 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 이온을 전해질을 가로질러 수송하여, 애노드에서 이루어지는 반응에 필요한 카보네이트 이온을 제공할 수 있다.

[0188] 도 2에 도시된 예시적인 연료 전지 같은 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 몇 가지 반응이 이루어질 수 있다. 개질 반응은 임의적일 수 있고, 충분한 H<sub>2</sub>가 애노드에 직접 제공된다면 개질 반응이 감소되거나 제거될 수 있다. 하기 반응은 CH<sub>4</sub>에 기초한 것이지만, 다른 연료가 연료 전지에 사용되는 경우 유사한 반응이 일어날 수 있다.



[0194] 반응 (1)은 연료 전지의 애노드에 사용하기 위한 H<sub>2</sub>를 발생시키는 기본 탄화수소 개질 반응을 나타낸다. 반응 (1)에서 생성된 CO를 수성 가스 전화 반응 (2)에 의해 H<sub>2</sub>로 전환시킬 수 있다. 반응 (1)과 (2)의 결합이 반응 (3)으로 보여진다. 반응 (1)과 (2)는 연료 전지 외부에서 일어날 수 있고/있거나 개질은 애노드 내부에서 수행될 수 있다.

[0195] 각각 애노드 및 캐소드에서의 반응 (4) 및 (5)는 연료 전지 내에서 전력을 발생시킬 수 있는 반응을 나타낸다. 반응 (4)는 공급물에 존재하거나 또는 임의적으로 반응 (1) 및/또는 (2)에 의해 발생되는 H<sub>2</sub>를 카보네이트 이온

과 결합시켜 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, 및 회로로의 전자를 형성시킨다. 반응 (5)는 O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, 및 회로로부터의 전자를 결합시켜 카보네이트 이온을 생성시킨다. 반응 (5)에 의해 생성된 카보네이트 이온을 연료 전지의 전해질을 가로질러 수송하여 반응 (4)에 필요한 카보네이트 이온을 제공할 수 있다. 전해질을 가로지르는 카보네이트 이온의 수송과 함께, 애노드와 캐소드 사이에 전기적 연결을 제공함으로써, 폐쇄된 전류 루프를 형성시킬 수 있다.

[0196] 다양한 실시양태에서, 연료 전지 작동의 목적은 연료 전지의 총 효율 및/또는 연료 전지와 통합된 화학적 합성 공정의 총 효율을 개선하는 것일 수 있다. 이는 전형적으로 발전을 위해 전지에 제공되는 연료를 사용하기 위하여 높은 전기 효율로 연료 전지를 작동시키는 것이 목적일 수 있는 연료 전지의 종래의 작동과 대조된다. 상기 정의된 바와 같이, 연료 전지의 전기 산출물과 연료 전지 산출물의 저위 발열량의 합을 연료 전지의 투입물 성분의 저위 발열량으로 나눔으로써 총 연료 전지 효율을 결정할 수 있다. 달리 말해,  $TFCE=(LHV(e1)+LHV(sg out))/LHV(in)$ 이며, 이 때 LHV(in) 및 LHV(sg out)은 각각 연료 전지에 전달된 연료 성분(예컨대, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 및/또는 CO) 및 애노드 출구 스트림 또는 유동의 합성 가스(H<sub>2</sub>, CO 및/또는 CO<sub>2</sub>)의 LHV를 말한다. 이는 연료 전지 및/또는 통합된 화학적 공정에 의해 발생하는 전기 에너지와 화학 에너지의 합의 척도를 제공할 수 있다. 총 효율의 이러한 정의 하에서, 연료 전지 내에서 사용되고/되거나 통합된 연료 전지/화학적 합성 시스템에서 사용되는 열 에너지는 총 효율에 기여할 수 있음에 주목한다. 그러나, 연료 전지 또는 통합된 연료 전지/화학적 합성 시스템으로부터 교환되거나 달리 회수되는 임의의 과량의 열은 이 정의에서 제외된다. 그러므로, 예컨대 증기 터빈에 의한 발전을 위해 증기를 생성시키기 위하여 연료 전지로부터 과량의 열을 사용하는 경우, 이러한 과량의 열은 총 효율의 정의에서 제외된다.

[0197] 몇 가지 작동 매개변수를 조작하여 과량의 개질가능한 연료로 연료 전지를 작동시킬 수 있다. 몇몇 매개변수는 연료 전지 작동에 현재 권장되는 매개변수와 유사할 수 있다. 일부 양태에서, 캐소드 조건 및 연료 전지로의 온도 투입물은 문헌에서 권장되는 것과 유사할 수 있다. 예를 들어, 용융 카보네이트 연료 전지에 통상적인 연료 전지 작동 온도 범위에서 목적하는 전기 효율 및 목적하는 총 연료 전지 효율을 달성할 수 있다. 전형적인 작동시, 온도는 연료 전지를 가로질러 증가될 수 있다.

[0198] 다른 양태에서는, 연료 전지의 작동 매개변수를 전형적인 조건으로부터 이탈시켜, 온도가 애노드 입구로부터 애노드 출구로 및/또는 캐소드 입구로부터 캐소드 출구로 감소되도록 연료 전지를 작동시킬 수 있다. 예를 들면, 탄화수소를 H<sub>2</sub>와 CO로 전환시키는 개질 반응은 흡열 반응이다. 전류를 발생시키는 수소의 산화량에 비해 충분한 양의 개질이 연료 전지 애노드에서 수행되는 경우, 연료 전지에서의 순 열 평형은 흡열성일 수 있다. 이는 연료 전지의 입구와 출구 사이에서 온도 하락을 초래할 수 있다. 흡열성 작동 동안, 연료 전지에서의 온도 하락을 제어하여 연료 전지 내의 전해질이 용융된 상태로 유지되도록 할 수 있다.

[0199] 현재 권장되는 것과 상이하도록 하는 방식으로 조작될 수 있는 매개변수는 애노드에 제공되는 연료의 양, 애노드에 제공되는 연료의 조성, 및/또는 애노드 배기 가스로부터의 합성 가스의 애노드 투입물 또는 캐소드 투입물로의 상당한 재순환이 없는 애노드 산출물중 합성 가스의 분리 및 포획을 포함할 수 있다. 일부 양태에서는, 애노드 배기 가스로부터의 합성 가스 또는 수소를 애노드 투입물 또는 캐소드 투입물로 직접 또는 간접적으로 재순환시키지 않을 수 있다. 추가적인 또는 다른 양태에서는, 한정된 양의 재순환이 이루어질 수 있다. 이러한 양태에서, 애노드 배기 가스로부터 애노드 투입물 및/또는 캐소드 투입물로 재순환되는 양은 애노드 배기 가스의 약 10부피% 미만, 예컨대 약 5부피% 미만 또는 약 1부피% 미만일 수 있다.

[0200] 추가로 또는 다르게는, 연료 전지의 작동 목적은 발전을 허용하는데 덧붙여 연소 반응 또는 CO<sub>2</sub> 산출물 스트림을 생성시키는 다른 공정의 산출물 스트림으로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하는 것일 수 있다. 이러한 양태에서는, 연소 반응(들)을 이용하여 하나 이상의 제너레이터 또는 터빈에 동력을 제공할 수 있는데, 이는 통합된 제너레이터/연료 전지 시스템에 의해 발생하는 전력의 대부분을 제공할 수 있다. 연료 전지에 의한 발전을 최적화하도록 연료 전지를 작동시키기보다는, 이산화탄소 포획에 요구되는 연료 전지의 수를 감소시키거나 최소화하면서 연소에 의해 동력을 얻는 제너레이터로부터의 이산화탄소의 포획을 개선하도록 시스템을 작동시킬 수 있다. 연료 전지의 투입물 유동 및 산출물 유동에 대한 적절한 구성을 선택하고 또한 연료 전지에 적절한 작동 조건을 선택함으로써, 총 효율과 탄소 포획의 바람직한 조합을 가능케 할 수 있다.

[0201] 일부 실시양태에서는, 연료 전지(예컨대, 연료 전지 스택)의 단일 스테이지만이 존재할 수 있도록 연료 전지 어레이의 연료 전지를 배열할 수 있다. 이러한 유형의 실시양태에서, 단일 스테이지의 애노드 연료 이용률은 어레이의 애노드 연료 이용률을 나타낼 수 있다. 다른 옵션은 연료 전지 어레이가 다수개의 애노드 스테이지 및 다수개의 캐소드 스테이지를 가질 수 있는 것일 수 있으며, 이 때 각각의 애노드 스테이지는 동일한 범위 내의

연료 이용률을 갖는데, 예를 들면 각각의 애노드 스테이지는 명시된 값의 10% 이내, 예컨대 명시된 값의 5% 이내의 연료 이용률을 갖는다. 또 다른 옵션은 각각의 애노드 스테이지가 명시된 값과 동일한 연료 이용률 또는 소정량 미만만큼 명시된 값보다 낮은 연료 이용률을 갖는 것일 수 있는데, 예를 들어 각각의 애노드 스테이지가 10% 이하만큼, 예컨대 5% 이하만큼 명시된 값보다 더 낮은 값을 갖는다. 예시적인 예로서, 복수개의 애노드 스테이지를 갖는 연료 전지 어레이는 50% 연료 이용률의 약 10% 이내로 각각의 애노드 스테이지를 가질 수 있으며, 이는 각각의 애노드 스테이지가 약 40% 내지 약 60%의 연료 이용률을 갖는데 상응한다. 다른 예로서, 복수개의 스테이지를 갖는 연료 전지 어레이는 약 5% 미만의 최대 편차를 가지면서 60% 애노드 연료 이용률 이하로 각각의 애노드 스테이지를 가질 수 있으며, 이는 각각의 애노드 스테이지가 약 55% 내지 약 60%의 연료 이용률을 갖는데 상응한다. 또 다른 예에서, 연료 전지 어레이중 연료 전지의 하나 이상의 스테이지는 약 30% 내지 약 50%의 연료 이용률로 작동될 수 있으며, 예를 들어 어레이의 복수개의 연료 전지 스테이지가 약 30% 내지 약 50%의 연료 이용률로 작동된다. 더욱 일반적으로, 상기 유형의 임의의 범위는 본원에 규정된 임의의 애노드 연료 이용률 값과 병행될 수 있다.

[0202] 또 다른 추가적인 또는 다른 옵션은 애노드 스테이지의 일부에 대해 연료 이용률을 명시함을 포함할 수 있다. 예를 들면, 본 발명의 일부 양태에서는, 씨리즈의 제 1 애노드 스테이지, 씨리즈의 제 2 애노드 스테이지, 씨리즈의 최종 애노드 스테이지, 또는 씨리즈의 임의의 다른 편리한 애노드 스테이지에 대해 애노드 연료 이용률을 명시할 수 있도록 연료 전지/스택을 하나 이상의 씨리즈 배열로 적어도 부분적으로 배열할 수 있다. 본원에 사용되는 씨리즈의 "제 1" 스테이지는 투입물이 연료 공급원(들)으로부터 직접 공급되는 스테이지(또는 스테이지 세트, 배열이 병렬 스테이지를 또한 함유하는 경우)에 상응하고, 후속("제 2", "제 3", "최종" 등) 스테이지는 개별적인 연료 공급원(들)으로부터 직접 공급되는 것이 아니라 하나 이상의 이전 스테이지로부터의 산출물이 공급되는 스테이지를 나타낸다. 이전 스테이지로부터 산출물이, 또한 연료 공급원(들)으로부터 직접 투입물이 스테이지로 함께 공급되는 경우, "제 1" 스테이지(또는 스테이지들의 제 1 세트) 및 "최종" 스테이지(또는 스테이지들의 최종 세트)는 존재할 수 있으나, 다른 스테이지("제 2", "제 3" 등)는 이들 사이에서 순서를 확립하기가 곤란할 수 있다(예를 들어, 이러한 경우에는, 최고 농도인 "제 1"로부터 최저 농도인 "최종"까지, 복합 투입 공급물 조성중 하나 이상의 성분, 예컨대 CO<sub>2</sub>의 농도 수준에 의해 통상적인 순서를 결정할 수 있으며, 대략 유사한 조성 차이는 동일한 순서 수준을 나타낸다).

[0203] 또 다른 추가적인 또는 다른 옵션은 특정 캐소드 스테이지에 상응하는 애노드 연료 이용률을 규정하는 것일 수 있다(다시, 연료 전지/스택을 적어도 부분적으로는 하나 이상의 씨리즈 배열로 배열할 수 있다). 상기 나타낸 바와 같이, 애노드 및 캐소드 내에서의 유동의 방향에 기초하여, 제 1 캐소드 스테이지는 제 1 애노드 스테이지(로부터 동일한 연료 전지 막을 가로지르는데)에 상응하지 않을 수 있다. 그러므로, 본 발명의 몇몇 양태에서는, 씨리즈의 제 1 캐소드 스테이지, 씨리즈의 제 2 캐소드 스테이지, 씨리즈의 최종 캐소드 스테이지, 또는 씨리즈의 임의의 다른 편리한 캐소드 스테이지에 대해 애노드 연료 이용률을 명시할 수 있다.

[0204] 또 다른 추가적인 또는 다른 옵션은 연료 전지 어레이의 모든 연료 전지에 걸쳐 연료 이용률의 전체 평균을 규정하는 것일 수 있다. 다양한 양태에서, 연료 전지 어레이의 연료 이용률의 전체 평균은 약 65% 이하, 예를 들어 약 60% 이하, 약 55% 이하, 약 50% 이하, 또는 약 45% 이하일 수 있다(추가로 또는 다르게는, 연료 전지 어레이의 연료 이용률의 전체 평균은 약 25% 이상, 예컨대 약 30% 이상, 약 35% 이상, 또는 약 40% 이상일 수 있다). 이러한 평균 연료 이용률은, 연료 전지의 어레이가 목적하는 연료 이용률을 충족시키는 한, 임의의 단일 스테이지에 대해 반드시 연료 이용률을 한정할 필요가 없다.

[0205] 포획 후 CO<sub>2</sub> 산출물의 용도

[0206] 본 발명의 다양한 양태에서, 상기 기재된 시스템 및 방법은 가압된 유체로서 이산화탄소를 생성시킬 수 있다. 예를 들어, 극저온 분리 스테이지로부터 발생되는 CO<sub>2</sub>는 처음에는 약 90% 이상, 예를 들어 약 95% 이상, 약 97% 이상, 약 98% 이상, 또는 약 99% 이상의 순도를 갖는 가압된 CO<sub>2</sub> 액체에 상응할 수 있다. 예컨대 이차적인 정유에서와 같이 오일 또는 가스 회수를 추가로 향상시키기 위하여 유정으로의 주입에 이 가압된 CO<sub>2</sub> 스트림을 사용할 수 있다. 가스 터빈을 포괄하는 설비 부근에서 수행되는 경우, 전체 시스템은 전력/기계적 동력의 사용 및/또는 전체 시스템과의 열 통합을 통해 추가적인 상승작용의 이점을 가질 수 있다.

[0207] 다르게는, 석유 회수 증진(EOR) 용도 전용(즉, 엄격한 조성 기준을 가지면서 파이프라인 시스템과 혼합되지 않음) 시스템의 경우, CO<sub>2</sub> 분리 조건은 실질적으로 완화될 수 있다. EOR 용도는 O<sub>2</sub>의 존재에 감수성일 수 있으며,



따라서 O<sub>2</sub>는 일부 실시양태에서 EOR에 사용하고자 하는 CO<sub>2</sub> 스트림에 존재하지 않을 수 있다. 그러나, EOR 용도는 용해된 CO, H<sub>2</sub> 및/또는 CH<sub>4</sub>에 대해 낮은 감수성을 갖는 경향이 있을 수 있다. 또한, CO<sub>2</sub>를 수송하는 파이프라인은 이들 불순물에 감수성일 수 있다. 이들 용해된 기체는 전형적으로 EOR에 사용되는 CO<sub>2</sub>의 가용화능에 감지하기 힘든 영향만을 가질 수 있다. EOR 가스로서 CO, H<sub>2</sub> 및/또는 CH<sub>4</sub> 같은 기체를 주입하면 열량값 회수에 약간의 손실을 야기할 수 있으나, 이러한 기체는 EOR 용도에 상용가능하다.

[0208] 추가로 또는 다르게는, 가압된 액체로서의 CO<sub>2</sub>의 가능한 용도는 조류 재배/수확 같은 생물학적 공정에서의 영양소일 수 있다. CO<sub>2</sub> 분리를 위한 MCFC의 이용은 대부분의 생물학적으로 중요한 오염물질을 허용가능하게 낮은 수준으로 감소시켜, 광합성 생물체의 성장에 실질적으로 불리한 영향을 끼칠 수 없는 미량의 다른 "오염" 기체(예를 들어, CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 등 및 이들의 조합)를 갖는 CO<sub>2</sub>-함유 스트림을 생성시킬 수 있다. 이는 대부분의 산업적인 공급원에 의해 발생하는 산출물 스트림(이는 흔히 중금속 같은 매우 독성일 수 있는 물질을 함유할 수 있음)과는 극명하게 대조될 수 있다.

[0209] 본 발명의 이러한 유형의 양태에서는, 애노드 루프에서의 CO<sub>2</sub>의 분리에 의해 발생되는 CO<sub>2</sub> 스트림을 사용하여 생물 연료 및/또는 화합물뿐만 아니라 이들의 전구물질을 생성시킬 수 있다. 또한 추가로 또는 다르게는, CO<sub>2</sub>를 조밀한 유체로서 생성시켜, 펌핑 및 예컨대 광합성 생물체의 큰 영역으로 먼 거리를 가로지르는 수송을 훨씬 더 용이하게 할 수 있다. 종래의 배출 공급원은 다른 기체 및 오염물질과 혼합된 중간 정도의 양의 CO<sub>2</sub>(약 4 내지 15%)를 함유하는 고온 가스를 방출시킬 수 있다. 이들 물질은 통상 조류 연료 또는 생물 연료 "농장"으로 회석된 가스로서 펌핑될 필요가 있다. 대조적으로, 본 발명에 따른 MCFC 시스템은 95%+(예를 들어, 96%+, 97%+, 98%+, 또는 99%+)까지 더 농축될 수 있고 용이하게 액화될 수 있는 농축된 CO<sub>2</sub> 스트림(건조 기준으로 약 60 내지 70부피%)을 생성시킬 수 있다. 이어, 이 스트림을 비교적 저렴한 비용으로 긴 거리에 걸쳐 용이하고 효율적으로 수송할 수 있고 넓은 면적에 걸쳐 효과적으로 분배할 수 있다. 이들 실시양태에서, 연소 공급원/MCFC로부터의 잔류 열은 전체 시스템 내로 통합될 수 있다.

[0210] CO<sub>2</sub> 공급원/MCFC와 생물학적/화학적 생산지가 함께 위치하는 경우 다른 실시양태를 적용할 수 있다. 이 경우에는, 최소한의 압축만이 필요할 수 있다(즉, 생물학적 생산에 이용하기에 충분한 CO<sub>2</sub> 압력, 예를 들어 약 15psig 내지 약 150psig를 제공하는데). 몇 가지 신규 배열이 이 경우에 가능할 수 있다. 애노드 배기 가스에 대해 2차 개질을 임의적으로 적용시켜 CH<sub>4</sub> 함량을 감소시킬 수 있고, 임의적으로는 추가로 또는 달리 수성 가스 전화를 수행하여 임의의 잔류 CO를 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>로 만들 수 있다.

[0211] 애노드 산출물 스트림 및/또는 캐소드 산출물 스트림으로부터의 성분을 다양한 목적으로 사용할 수 있다. 하나의 옵션은 상기 기재된 바와 같이 애노드 산출물을 수소의 공급원으로서 사용하는 것일 수 있다. 정련소와 통합되거나 함께 위치하는 MCFC의 경우에는, 수소를 가수소처리 같은 다양한 정련 공정의 수소 공급원으로서 사용할 수 있다. 다른 옵션은 연소로부터의 CO<sub>2</sub>가 이미 "포획"된 경우 추가로 또는 달리 수소를 연료 공급원으로서 사용하는 것일 수 있다. 이러한 수소를 정련소 또는 다른 산업 설비에서 보일러, 로 및/또는 직화식 히터용 연료로서 사용할 수 있고/있거나, 수소를 터빈 같은 발전기용 공급물로서 사용할 수 있다. MCFC 연료 전지로부터의 수소는 가능하게는 연료 전지에 의해 동력을 얻는 차량을 비롯하여 투입물로서 수소를 필요로 하는 다른 유형의 연료 전지용 투입물 스트림으로서 추가로 또는 달리 사용될 수 있다. 또 다른 옵션은 MCFC 연료 전지로부터의 산출물로서 발생된 합성 가스를 발효 투입물로서 추가로 또는 달리 사용하는 것일 수 있다.

[0212] 다른 옵션은 애노드 산출물로서 발생된 합성 가스를 추가로 또는 달리 사용하는 것일 수 있다. 물론, 연료에 기초한 합성 가스가 연료로서 탈 때 여전히 일부 CO<sub>2</sub> 생성을 야기할 수 있으나, 합성 가스를 연료로서 사용할 수 있다. 다른 양태에서는, 합성 가스 산출물 스트림을 화학적 합성 공정용 투입물로서 사용할 수 있다. 한 가지 옵션은 피셔-트롭쉬 유형의 공정, 및/또는 합성 가스 투입물로부터 더 큰 탄화수소 분자가 형성되는 다른 공정에 합성 가스를 추가로 또는 달리 사용하는 것일 수 있다. 다른 옵션은 메탄올 같은 중간체 생성물을 형성시키기 위해 합성 가스를 추가로 또는 달리 사용하는 것일 수 있다. 메탄올을 최종 생성물로서 사용할 수 있으나, 다른 양태에서는 합성 가스로부터 생성된 메탄올을 사용하여 가솔린, 올레핀, 방향족 화합물 및/또는 다른 생성물 같은 더 큰 화합물을 생성시킬 수 있다. 메탄올 합성 공정 및/또는 형태 변환 촉매를 사용하는 피셔-트롭쉬 공정으로의 합성 가스 공급물에 소량의 CO<sub>2</sub>가 허용될 수 있음에 주목한다. 하이드로포밀화는 합성 가스 투입물

을 사용할 수 있는 또 다른 합성 공정의 추가적인 또는 다른 예이다.

[0213] MCFC를 사용하여 합성 가스를 생성시키는데 대한 한 가지 변형은 궁극적인 시장과 상당한 거리가 있는 연안 석유 굴착용 플랫폼 또는 다른 생산 시스템에 의해 회수된 메탄 및/또는 천연 가스를 가공하기 위한 시스템의 일부로서 MCFC 연료 전지를 사용하는 것일 수 있음에 주목한다. 기상 산출물을 유정으로부터 수송하고자 시도하거나, 또는 기상 생성물을 장기간 저장하고자 시도하는 대신에, 유정으로부터의 기상 산출물을 MCFC 연료 전지 어레이로의 투입물로서 사용할 수 있다. 이는 다양한 이점을 야기할 수 있다. 첫째, 연료 전지 어레이로부터 발생된 전력을 플랫폼용 전력 공급원으로서 사용할 수 있다. 추가로, 연료 전지 어레이로부터의 합성 가스 산출물을 생산지에서 피셔-트롭쉬 공정용 투입물로서 사용할 수 있다. 이는 파이프라인, 배 또는 기동차에 의해 생산지로부터 예컨대 육지의 공장 또는 더 큰 터미널로 더욱 용이하게 수송되는 액체 탄화수소 생성물이 형성되도록 할 수 있다.

[0214] 또 다른 통합 옵션은 더욱 고순도의 가열된 질소의 공급원으로써 캐소드 산출물을 사용함을 추가로 또는 달리 포함할 수 있다. 캐소드 투입물은 흔히 다량의 공기를 포함할 수 있는데, 이는 상당량의 질소가 캐소드 투입물에 포함될 수 있음을 의미한다. 연료 전지는 전해질을 가로질러 캐소드로부터 애노드로 CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub>를 수송하고, 캐소드 산출물은 더 낮은 농도의 CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub>, 따라서 공기에서 발견되는 것보다 더 높은 농도의 N<sub>2</sub>를 가질 수 있다. 잔류 O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub>의 후속 제거와 함께, 암모니아, 또는 다른 질소-함유 화합물(예컨대, 우레아, 질산암모늄, 및/또는 질산)을 생성시키기 위한 투입물로서 이 질소 산출물을 사용할 수 있다. 우레아 합성에는 애노드 산출물로부터 분리된 CO<sub>2</sub>를 투입 공급물로서 추가로 또는 달리 사용할 수 있음에 주목한다.

[0215] 통합 예: 연소 터빈과의 통합의 용도

[0216] 본 발명의 몇몇 양태에서는, 전력을 발생시키기 위한 또는 CO<sub>2</sub>-함유 배기 가스를 배기시키기 위한 연소 공급원을 용융 카보네이트 연료 전지의 작동과 통합시킬 수 있다. 적합한 연소 공급원의 예는 가스 터빈이다. 바람직하게는, 가스 터빈은 증기 발생 및 추가적인 효율을 위한 열 회수와 통합된 복합 사이클 방식으로 천연 가스, 메탄 가스, 또는 다른 탄화수소 가스를 연소시킬 수 있다. 현재 천연 가스 복합 사이클 효율은 가장 크고 가장 최신의 디자인에서 약 60%이다. MCFC 작동과 양립가능한 승온, 예컨대 300°C 내지 700°C, 바람직하게는 500°C 내지 650°C에서 생성되는 CO<sub>2</sub>-함유 배기 가스 스트림을 생성시킬 수 있다. 터빈에 도입하기 전에, MCFC를 오염시킬 수 있는 황 같은 오염물질을 가스 공급원으로부터 임의적으로 그러나 바람직하게 세정할 수 있다. 다르게는, 가스 공급원은 석탄-연료 제너레이터일 수 있으며, 이 경우에는 배기 가스중 더 높은 수준의 오염물질 때문에 전형적으로 연소 후에 배기 가스를 세정시킨다. 이러한 대안에서는, 저온에서 세정을 가능케 하기 위하여 가스로의/가스로부터의 약간의 열 교환이 필요할 수 있다. 추가적인 또는 다른 실시양태에서, CO<sub>2</sub>-함유 배기 가스의 공급원은 보일러, 연소기, 또는 탄소가 풍부한 연료를 태우는 다른 열 공급원일 수 있다. 다른 추가적인 또는 다른 실시양태에서, CO<sub>2</sub>-함유 배기 가스의 공급원은 다른 공급원과 합쳐진 생물-생성된 CO<sub>2</sub> 일 수 있다.

[0217] 연소 공급원과 통합시키기 위하여, 연료 전지 애노드를 처리하기 위한 몇 가지 다른 구성이 바람직할 수 있다. 예를 들면, 다른 구성은 연료 전지 애노드로부터의 배기 가스의 적어도 일부를 연료 전지 애노드의 투입물로 재순환시키는 것일 수 있다. MCFC 애노드로부터의 산출물 스트림은 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, 임의적으로는 CO, 및 임의적으로 그러나 전형적으로는 미반응 연료(예컨대, H<sub>2</sub> 또는 CH<sub>4</sub>)를 주요 산출물 성분으로서 포함할 수 있다. 다른 공정과의 통합을 위해 이 산출물 스트림을 외부 연료 스트림 및/또는 투입물 스트림으로서 사용하는 대신에, 잠재적인 열량값을 갖는 성분(예를 들어, H<sub>2</sub> 또는 CO)으로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하기 위하여 애노드 산출물 스트림 상에서 하나 이상의 분리를 수행할 수 있다. 이어, 열량값을 갖는 성분을 애노드 투입물로 재순환시킬 수 있다.

[0218] 이 유형의 구성은 하나 이상의 이점을 제공할 수 있다. 첫째, 예를 들어 극저온 CO<sub>2</sub> 분리기를 사용함으로써 애노드 산출물로부터 CO<sub>2</sub>를 분리할 수 있다. 애노드 산출물의 성분중 몇 가지(H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>)는 용이하게 응축될 수 없는 성분인 반면, CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O는 응축된 상으로서 개별적으로 분리될 수 있다. 실시양태에 따라, 애노드 산출물중 CO<sub>2</sub>의 약 90부피% 이상을 분리하여, 비교적 고순도 CO<sub>2</sub> 산출물 스트림을 형성시킬 수 있다. 다르게는, 몇몇 양태에서는, 더 적은 CO<sub>2</sub>를 애노드 산출물로부터 제거하여 애노드 산출물중 CO<sub>2</sub>의 약 50부피% 내지 약 90부피%, 예컨대 약 80부피% 이하 또는 약 70부피% 이하가 분리될 수 있도록 할 수 있다. 분리 후, 애노드 산출물의 나머지 부분은 주로 열량값을 갖는 성분, 및 감소된 양의 CO<sub>2</sub> 및/또는 H<sub>2</sub>O에 상응할 수 있다. 분리 후 애노드 산

출물의 이 부분을 추가적인 연료와 함께 애노드 투입물의 일부로서 사용하기 위해 재순환시킬 수 있다. 이러한 유형의 구성에서는, MCFC(들)를 통한 1회 통과와 연료 이용률은 낮을 수 있으나, 애노드를 통한 다른 1회의 통과를 위해 미사용 연료를 유리하게 재순환시킬 수 있다. 그 결과, 미연소 연료의 환경으로의 손실(배출)을 피하면서, 1회 통과 연료 이용률은 감소된 수준일 수 있다.

[0219] 애노드 배기 가스중 일부를 애노드 투입물로 재순환시킴 이외에 또는 그와는 달리, 다른 구성 옵션은 터빈 또는 다른 연소 장치(예컨대, 보일러, 로 및/또는 직화식 히터)의 연소 반응을 위한 투입물로서 애노드 배기 가스의 일부를 사용하는 것일 수 있다. 애노드 투입물로 및/또는 연소 장치로의 투입물로서 재순환되는 애노드 배기 가스의 상대적인 양은 임의의 편리하거나 바람직한 양일 수 있다. 애노드 배기 가스를 애노드 투입물과 연소 장치중 하나에만 재순환시키는 경우, 재순환의 양은 임의의 편리한 양, 예를 들어 분리하여 CO<sub>2</sub> 및/또는 H<sub>2</sub>O를 제거한 후 잔류하는 애노드 배기 가스 부분의 100%까지일 수 있다. 애노드 배기 가스의 일부를 애노드 투입물 및 연소 장치 둘 다로 재순환시키는 경우, 정의에 의한 재순환되는 총량은 애노드 배기 가스의 나머지 부분의 100% 이하일 수 있다. 다르게는, 애노드 배기 가스의 임의의 편리한 스플릿을 사용할 수 있다. 본 발명의 다양한 실시양태에서, 애노드 투입물로의 재순환 양은 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스의 약 10% 이상, 예를 들어 약 25% 이상, 약 40% 이상, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 90% 이상일 수 있다. 이들 실시양태 이외에 또는 이들 실시양태와는 달리, 애노드 투입물로의 재순환의 양은 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스의 약 90% 이하, 예를 들어 약 75% 이하, 약 60% 이하, 약 50% 이하, 약 40% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 10% 이하일 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 본 발명의 다양한 실시양태에서, 연소 장치로의 재순환의 양은 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스의 약 10% 이상, 예컨대 약 25% 이상, 약 40% 이상, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 90% 이상일 수 있다. 이들 실시양태 이외에 또는 이들 실시양태와는 달리, 연소 장치로의 재순환의 양은 분리 후 잔류하는 애노드 배기 가스의 약 90% 이하, 예컨대 약 75% 이하, 약 60% 이하, 약 50% 이하, 약 40% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 10% 이하일 수 있다.

[0220] 본 발명의 또 다른 양태에서, 연소 장치용 연료는 추가로 또는 달리 불활성이고/이거나 연료에서 희석제로서 작용하는 성분을 증가된 양으로 갖는 연료일 수 있다. CO<sub>2</sub> 및 N<sub>2</sub>는 연소 반응 동안 비교적 불활성일 수 있는, 천연 가스 공급물의 성분의 예이다. 연료 공급물중 불활성 성분의 양이 충분한 수준에 도달하면, 터빈 또는 다른 연소 공급원의 성능이 영향을 받을 수 있다. 영향은 부분적으로는 열을 흡수하는 불활성 성분의 능력(이는 연소 반응을 급랭시키는 경향이 있을 수 있음)에 기인할 수 있다. 충분한 수준의 불활성 성분을 갖는 연료 공급물의 예는 약 20부피% 이상의 CO<sub>2</sub>를 함유하는 연료 공급물, 또는 약 40부피% 이상의 N<sub>2</sub>를 함유하는 연료 공급물, 또는 유사한 급랭능을 제공하기에 충분한 불활성 열용량을 갖는 CO<sub>2</sub> 와 N<sub>2</sub>의 조합을 함유하는 연료 공급물을 포함할 수 있다. (CO<sub>2</sub>가 N<sub>2</sub>보다 더 큰 열용량을 갖고, 따라서 더 낮은 CO<sub>2</sub> 농도가 더 높은 N<sub>2</sub> 농도와 유사한 영향을 가질 수 있음에 주목한다. CO<sub>2</sub>는 또한 N<sub>2</sub>보다 더 용이하게 연소 반응에 참여할 수 있고, 그렇게 하는 동안 연소로부터 H<sub>2</sub>를 제거할 수 있다. 이러한 H<sub>2</sub>의 소비는 화염 속도를 감소시키고 공기와 연료 혼합물의 인화성 범위를 좁힘으로써 연료의 연소에 큰 영향을 끼칠 수 있다.) 더욱 일반적으로, 연료 공급물의 인화성에 영향을 끼치는 불활성 성분을 함유하는 연료 공급물의 경우, 연료 공급물중 불활성 성분은 약 20부피% 이상, 예컨대 약 40부피% 이상, 또는 약 50부피% 이상, 또는 약 60부피% 이상일 수 있다. 바람직하게는, 연료 공급물중 불활성 성분의 양은 약 80부피% 이하일 수 있다.

[0221] 충분한 양의 불활성 성분이 연료 공급물에 존재하는 경우, 생성되는 연료 공급물은 공급물의 연료 성분의 인화성의 범위 외부에 존재할 수 있다. 이러한 유형의 상황에서는, 애노드 배기 가스의 재순환된 부분으로부터의 H<sub>2</sub>를 제너레이터의 연소 대역으로 첨가하여 연료 공급물과 H<sub>2</sub>의 조합의 인화성의 범위를 확장시킬 수 있으며, 이는 예를 들어 약 20부피% 이상의 CO<sub>2</sub> 또는 약 40부피% 이상의 N<sub>2</sub>(또는 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>의 다른 조합)를 함유하는 연료 공급물이 성공적으로 연소되도록 할 수 있다.

[0222] 연소 대역으로 전달되는 연료 공급물과 H<sub>2</sub>의 총 부피에 대해, 인화성의 범위를 확장시키기 위한 H<sub>2</sub>의 양은 연료 공급물과 H<sub>2</sub>의 총 부피의 약 5부피% 이상, 예컨대 약 10부피% 이상 및/또는 약 25부피% 이하일 수 있다. 인화성의 범위를 확장시키기 위해 첨가되는 H<sub>2</sub>의 양을 특징화시키는 다른 옵션은 H<sub>2</sub> 첨가 전에 연료 공급물에 존재하는 연료 성분의 양에 기초할 수 있다. 연료 성분은 메탄, 천연 가스, 다른 탄화수소, 및/또는 연소에 의해 동력을 얻는 터빈 또는 다른 제너레이터의 연료로서 통상적으로 보여지는 다른 성분에 상응할 수 있다. 연료 공

공급물에 첨가되는 H<sub>2</sub>의 양은 연료 공급물중 연료 성분의 부피의 약 1/3(1:3의 비의 H<sub>2</sub>:연료 성분), 예를 들어 연료 성분의 부피의 약 1/2(1:2의 비)에 상응할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연료 공급물에 첨가되는 H<sub>2</sub>의 양은 연료 공급물중 연료 성분의 부피와 대략 동일하거나 그보다 적을 수 있다(1:1의 비). 예를 들어, 약 30부피%의 CH<sub>4</sub>, 약 10%의 N<sub>2</sub> 및 약 60%의 CO<sub>2</sub>를 함유하는 공급물의 경우, 약 1:2의 비의 H<sub>2</sub> 대 CH<sub>4</sub>를 획득하기에 충분한 양의 애노드 배기 가스를 연료 공급물에 첨가할 수 있다. H<sub>2</sub>만 함유하는 이상화된 애노드 배기 가스의 경우, 1:2의 비를 획득하기 위한 H<sub>2</sub>의 첨가는 약 26부피%의 CH<sub>4</sub>, 13부피%의 H<sub>2</sub>, 9부피%의 N<sub>2</sub> 및 52부피%의 CO<sub>2</sub>를 함유하는 공급물을 생성시킨다.

[0223] 배기 가스 재순환

[0224] CO<sub>2</sub>의 포획 및 궁극적인 분리를 위해 배기 가스를 연료 전지 어레이에 제공하는 것과는 별도로, 배기 가스의 추가적인 또는 다른 가능한 용도는 연소 반응으로 다시 재순환시켜 CO<sub>2</sub> 함량을 증가시키는 것일 수 있다. 연료 전지 어레이의 애노드 배기 가스로부터의 수소 같은 연소 반응에 첨가하기 위한 수소를 이용할 수 있다면, 재순환된 배기 가스를 사용하여 연소 반응 내에서의 CO<sub>2</sub> 함량을 증가시킴으로써 더 많은 이점을 얻을 수 있다.

[0225] 본 발명의 다양한 양태에서, 발전 시스템의 배기 가스 재순환 루프는 연소로부터 배기 가스의 제 1 부분을 받아들일 수 있는 한편 연료 전지 어레이는 제 2 부분을 받아들일 수 있다. 발전 시스템의 연소 대역으로 재순환되는 연소로부터의 배기 가스의 양은 임의의 편리한 양, 예를 들어 약 15%(부피 기준) 이상, 예컨대 약 25% 이상, 약 35% 이상, 약 45% 이상, 또는 약 50% 이상일 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연소 대역으로 재순환되는 연소 배기 가스의 양은 약 65%(부피 기준) 이하, 예컨대 약 60% 이하, 약 55% 이하, 약 50% 이하, 또는 약 45% 이하일 수 있다.

[0226] 본 발명의 하나 이상의 양태에서는, 산화제(예컨대, 공기 및/또는 산소가 풍부한 공기)와 연료의 혼합물을 연소시키고, (동시에) 재순환된 배기 가스 스트림과 혼합할 수 있다. 통상 CO<sub>2</sub> 같은 연소 생성물을 포함할 수 있는 재순환된 배기 가스 스트림을 희석제로서 사용하여 연소의 온도 및 후속 팽창기에 들어갈 수 있는 배기 가스의 온도를 제어하거나 조정하거나 또는 달리 적절하게 만들 수 있다. 산소가 풍부한 공기를 사용한 결과, 재순환된 배기 가스는 증가된 CO<sub>2</sub> 함량을 가짐으로써 팽창기가 동일한 입구 및 방출 온도에 대해 더 높은 팽창비에서 작동하도록 하여 상당히 증가된 전력 생산을 가능케 할 수 있다.

[0227] 가스 터빈 시스템은 재순환된 배기 가스를 사용하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 발전 시스템의 일례를 나타낼 수 있다. 가스 터빈 시스템은 샤프트(shaft)를 통해 팽창기에 연결된 제 1/주 압축기를 가질 수 있다. 샤프트는 기계적, 전기적 또는 다른 동력 통로일 수 있음으로써 팽창기에 의해 발생된 기계적 에너지의 일부가 주 압축기를 구동시키도록 할 수 있다. 가스 터빈 시스템은 또한 연료와 산화제의 혼합물을 연소시키도록 구성된 연소 챔버를 포함할 수 있다. 본 발명의 다양한 양태에서, 연료는 합성 가스, 천연 가스, 메탄, 에탄, 프로판, 부탄, 나프타 디젤, 케로센, 항공기 연료, 석탄에서 유도된 연료, 생물 연료, 산소화된 탄화수소 공급원료 또는 이들의 임의의 조합 같은 임의의 적합한 탄화수소 기체/액체를 포함할 수 있다. 일부 실시양태에서, 산화제는 연소 챔버와 유체 연결되고 공급물 산화제를 압축하는데 적합화된 제 2 또는 입구 압축기로부터 유도될 수 있다. 본 발명의 하나 이상의 실시양태에서, 공급물 산화제는 대기중 공기 및/또는 농축(enriched) 공기를 포함할 수 있다. 산화제가 농축 공기만 또는 대기중 공기와 농축 공기의 혼합물을 포함하는 경우, 농축 공기는 입구 압축기에 의해 압축될 수 있다(혼합물에서는, 대기중 공기와 혼합되기 전 또는 후에). 농축 공기 및/또는 공기-농축 공기 혼합물은 약 25부피% 이상, 예를 들어 약 30부피% 이상, 약 35부피% 이상, 약 40부피% 이상, 약 45부피% 이상, 또는 약 50부피% 이상의 전체 산소 농도를 가질 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 농축 공기 및/또는 공기-농축 공기 혼합물은 약 80부피% 이하, 예컨대 약 70부피% 이하의 전체 산소 농도를 가질 수 있다.

[0228] 농축 공기는 몇몇 공급원중 임의의 하나 이상으로부터 유도될 수 있다. 예를 들면, 농축 공기는 막 분리, 압력 변동 흡착, 온도 변동 흡착, 질소 플랜트-부산물 스트림, 및/또는 이들의 조합 같은 분리 기술로부터 유도될 수 있다. 농축 공기는 추가로 또는 다르게는 압력 유지 또는 다른 목적을 위한 질소 생성을 위해 극저온 공기 분리 단위장치(ASU) 같은 ASU로부터 유도될 수 있다. 본 발명의 특정 실시양태에서, 이러한 ASU로부터의 반류(reject stream)는 약 50부피% 내지 약 70부피%의 전체 산소 함량을 갖는 것과 같이 산소가 풍부할 수 있으며, 농축 공기의 적어도 일부로서 사용될 수 있고, 필요한 경우 가공되지 않은 대기중 공기로 희석되어 목적하는 산소 농도를 획득할 수 있다.



- [0229] 연료와 산화제 이외에, 연소 챔버는 임의적으로 주로 CO<sub>2</sub> 및 질소 성분을 갖는 배기 가스 재순환 같은 압축된 재순환 배기 가스도 받아들일 수 있다. 압축된 재순환 배기 가스는 예컨대 주 압축기로부터 유래될 수 있고, 예를 들어 연소 생성물의 온도를 적절하게 함으로써 산화제와 연료의 연소가 용이하도록 돕는데 적합화될 수 있다. 알 수 있는 바와 같이, 배기 가스 재순환은 CO<sub>2</sub> 농도를 증가시키는 역할을 할 수 있다.
- [0230] 팽창기의 입구로 유도되는 배기 가스는 연소 반응의 생성물로서 생성될 수 있다. 배기 가스는 적어도 부분적으로는 재순환되는 배기 가스를 연소 반응 내로 도입함에 기초하여 높아진 CO<sub>2</sub> 함량을 가질 수 있다. 배기 가스가 팽창기를 통해 팽창됨에 따라, 이는 주 압축기를 구동시키고/시키거나 발전기를 구동시키고/시키거나 다른 설비에 동력을 제공하는 기계적 동력을 생성시킬 수 있다.
- [0231] 발전 시스템은 다수의 실시양태에서 배기 가스 재순환(EGR) 시스템을 또한 포함할 수 있다. 본 발명의 하나 이상의 양태에서, EGR 시스템은 열 회수 증기 발생기(HRSG) 및/또는 증기 가스 터빈에 유체 연결되는 다른 유사한 장치를 포함할 수 있다. 하나 이상의 실시양태에서, HRSG와 증기 가스 터빈의 조합은 동력-생성 폐쇄 랭킨(Rankine) 사이클로서 특징지어질 수 있다. 가스 터빈 시스템과의 조합에서, HRSG와 증기 가스 터빈은 천연 가스 통합-사이클(NGCC) 플랜트 같은 복합-사이클 발전소의 일부를 형성할 수 있다. 증기 및 냉각된 배기 가스를 생성시키기 위하여 기상 배기 가스를 HRSG로 도입할 수 있다. HRSG는 배기 가스 스트림으로부터 물을 분리 및/또는 응축시키고/키시거나, 열을 전달하여 증기를 형성시키고/시키거나, 스트림의 압력을 목적하는 수준으로 변화시키기 위한 다양한 단위장치를 포함할 수 있다. 특정 실시양태에서는, 증기를 증기 가스 터빈으로 보내어 추가적인 전력을 생성시킬 수 있다.
- [0232] HRSG를 통해 통과시키고 적어도 일부의 H<sub>2</sub>O를 임의적으로 제거한 후, CO<sub>2</sub>-함유 배기 가스 스트림은 일부 실시양태에서 연소 반응으로의 투입물로서 사용하기 위해 재순환될 수 있다. 상기 나타낸 바와 같이, 배기 가스 스트림을 압축시켜(또는 감압시켜) 연소 반응용 용기 내에서 목적하는 반응 압력을 매치시킬 수 있다.
- [0233] 통합 시스템의 예
- [0234] 도 8은 터빈에 동력을 제공하기 위한 연소 반응에 CO<sub>2</sub>-함유 재순환 배기 가스 및 연료 전지 애노드 배기 가스로부터의 H<sub>2</sub> 또는 CO 둘 다를 도입함을 포함하는 통합 시스템의 일례를 도시한다. 도 8에서, 터빈은 압축기(802), 샤프트(804), 팽창기(806), 및 연소 대역(815)을 포함할 수 있다. 산소 공급원(811)(예컨대, 공기 및/또는 산소가 풍부한 공기)을 재순환된 배기 가스(898)와 합치고, 연소 대역(815)에 들어가기 전에 압축기(802)에서 압축시킬 수 있다. CH<sub>4</sub> 같은 연료(812) 및 임의적으로는 H<sub>2</sub> 또는 CO를 함유하는 스트림(887)을 연소 대역에 전달할 수 있다. 연료와 산화제를 대역(815)에서 반응시키고, 임의적으로 그러나 바람직하게는 팽창기(806)를 통해 통과시켜 전력을 발생시킬 수 있다. 팽창기(806)로부터의 배기 가스를 사용하여 2개의 스트림, 예를 들어 CO<sub>2</sub>-함유 스트림(822)(연료 전지 어레이(825)의 투입 공급물로서 사용될 수 있음) 및 다른 CO<sub>2</sub>-함유 스트림(892)(예를 들어 증기 터빈(894)을 이용하여 추가적인 전기를 발생시키도록 할 수 있는 열 회수 및 증기 발생기 시스템(890)의 투입물로서 사용될 수 있음)을 형성시킬 수 있다. CO<sub>2</sub>-함유 스트림으로부터 H<sub>2</sub>O의 일부를 임의적으로 제거하면서 열 회수 시스템(890)을 통해 통과시킨 후, 산출물 스트림(898)을 압축기(802) 또는 도시되지 않은 제 2 압축기에서의 압축을 위해 재순환시킬 수 있다. 연소 대역(815)으로 첨가하기 위해 요구되는 CO<sub>2</sub>의 양에 기초하여, CO<sub>2</sub>-함유 스트림(892)에 사용되는 팽창기(806)로부터의 배기 가스의 분량을 결정할 수 있다.
- [0235] 본원에 사용되는 EGR 비는 연료 전지 관련 부분과 회수 관련 부분(이는 열 회수 제너레이터로 보내어짐)의 합쳐진 유속으로 나누어진 배기 가스의 연료 전지 관련 부분의 유속이다. 예를 들어, 도 8에 도시된 유동의 EGR 비는 스트림(822, 892)의 합쳐진 유속으로 나누어진 스트림(822)의 유속이다.
- [0236] CO<sub>2</sub>-함유 스트림(822)을 용융 카보네이트 연료 전지(825)의 캐소드 부분(도시되지 않음) 내로 통과시킬 수 있다. 연료 전지 어레이(825) 내에서의 반응에 기초하여, CO<sub>2</sub>를 스트림(822)로부터 분리하고 연료 전지 어레이(825)의 애노드 부분(도시되지 않음)으로 수송할 수 있다. 이는 CO<sub>2</sub>가 고갈된 캐소드 산출물 스트림(824)을 생성시킬 수 있다. 이어, 캐소드 산출물 스트림(824)을, 열 교환의 발생 및/또는 증기 터빈(854)(이는 임의적으로는 전술한 증기 터빈(894)과 동일할 수 있음)을 이용하여 추가적으로 전기를 발생시키기 위한 열 교환(및 임의적인 증기 제너레이터) 시스템(850) 내로 통과시킬 수 있다. 열 교환 및 증기 제너레이터 시스템(850)을 통해 통과시킨 후, 생성된 연도 가스 스트림(856)을 환경으로 배출시키고/시키거나 아민 스크러머 같은 다른 유형

의 탄소 포획 기술을 통해 통과시킬 수 있다.

- [0237] 연료 전지 어레이(825)의 캐소드 측으로부터 애노드 측으로 CO<sub>2</sub>를 수송한 후, 애노드 산출물(835)을 임의적으로 는 수성 가스 전화 반응기(870) 내로 통과시킬 수 있다. 수성 가스 전화 반응기(870)를 이용하여 애노드 산출물(835)에 존재하는 CO(및 H<sub>2</sub>O)를 소비하여 추가적인 H<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>를 생성시킬 수 있다. 이어, 임의적인 수성 가스 전화 반응기(870)로부터의 산출물을 저온 박스 또는 극저온 분리기 같은 하나 이상의 분리 스테이지(840) 내로 통과시킬 수 있다. 이는 애노드 산출물의 나머지 부분으로부터 H<sub>2</sub>O 스트림(847)과 CO<sub>2</sub> 스트림(849)를 분리시킬 수 있다. 애노드 산출물의 나머지 부분(885)은 연료 전지 어레이(825)에서 개질에 의해 발생되지만 소비되지 않은 미반응 H<sub>2</sub>를 포함할 수 있다. H<sub>2</sub>-함유 스트림(885)의 제 1 부분(845)을 연료 전지 어레이(825)의 애노드(들)에 대한 투입물로 재순환시킬 수 있다. 스트림(885)의 제 2 부분(887)을 연소 대역(815)의 투입물로서 사용할 수 있다. 제 3 부분(865)을 다른 목적에서와 같이 사용하고/하거나 다른 후속 사용을 위해 처리할 수 있다. 도 8 및 본원의 기재가 세 부분까지 개략적으로 상세하게 설명하지만, 이들 세 부분중 하나만 이용할 수 있거나, 둘만 이용할 수 있거나, 또는 셋 모두를 본 발명에 따라 이용할 수 있는 것으로 생각된다.
- [0238] 도 8에서, 배기 가스 재순환 루프의 배기 가스는 제 1 열 회수 및 증기 제너레이터 시스템(890)에 의해 제공되는 한편, 제 2 열 회수 및 증기 제너레이터 시스템(850)은 연료 전지 어레이(825)의 캐소드 산출물로부터 과량의 열을 포획하는데 사용될 수 있다.
- [0239] 도 9는 연료 전지 어레이 산출물을 처리하는데 사용되는 동일한 열 회수 증기 제너레이터에 의해 배기 가스 재순환 루프가 제공되는 다른 실시양태를 도시한다. 도 9에서, 재순환된 배기 가스(998)는 열 회수 및 증기 제너레이터 시스템(950)에 의해 연도 가스 스트림(956)의 일부로서 제공된다. 이는 터빈에 수반되는 별도의 열 회수 및 증기 제너레이터 시스템을 없앨 수 있다.
- [0240] 본 발명의 다양한 실시양태에서, 공정은 터빈, 내연 기관, 또는 연소 반응에 의해 발생하는 열 및/또는 압력이 다른 동력 형태로 전환될 수 있는 다른 시스템에 동력을 제공하기 위한 연소 반응으로 시작되는 것으로 접근될 수 있다. 연소 반응의 연료는 수소, 탄화수소, 및/또는 산화되어(연소되어) 에너지를 방출할 수 있는 다른 탄소 함유 화합물을 포함할 수 있거나 이러한 화합물일 수 있다. 연료가 수소만 함유하는 경우를 제외하고는, 연소 반응으로부터의 배기 가스의 조성은 반응의 특성에 따라 광범위한 CO<sub>2</sub> 함량(예를 들어, 약 2부피% 내지 약 25부피%)을 가질 수 있다. 그러므로, 연료가 탄소질인 특정 실시양태에서, 배기 가스의 CO<sub>2</sub> 함량은 약 2부피% 이상, 예를 들어 약 4부피% 이상, 약 5부피% 이상, 약 6부피% 이상, 약 8부피% 이상, 또는 약 10부피% 이상일 수 있다. 또한 또는 다르게는, 이러한 탄소질 연료 실시양태에서, CO<sub>2</sub> 함량은 약 25부피% 이하, 예를 들어 약 20부피% 이하, 약 15부피% 이하, 약 10부피% 이하, 약 7부피% 이하, 또는 약 5부피% 이하일 수 있다. 더 낮은 상대적인 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 배기 가스(탄소질 연료의 경우)는 천연 가스 같은 연료 상에서의 연소 반응[회박(과량의 공기) 연소]으로부터의 배기 가스에 상응할 수 있다. 더 높은 상대적인 CO<sub>2</sub> 함량의 배기 가스(탄소질 연료의 경우)는 배기 가스 재순환을 갖는 연소 및/또는 석탄 같은 연료의 연소 등, 최적화된 천연 가스 연소 반응에 상응할 수 있다.
- [0241] 본 발명의 일부 양태에서, 연소 반응의 연료는 5개 이하의 탄소를 함유하는 화합물을 약 90부피% 이상, 예를 들어 약 95부피% 이상 함유할 수 있다. 이러한 양태에서, 배기 가스의 CO<sub>2</sub> 함량은 약 4부피% 이상, 예를 들어 약 5부피% 이상, 약 6부피% 이상, 약 7부피% 이상, 또는 약 7.5부피% 이상일 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 배기 가스의 CO<sub>2</sub> 함량은 약 13부피% 이하, 예를 들어 약 12부피% 이하, 약 10부피% 이하, 약 9부피% 이하, 약 8부피% 이하, 약 7부피% 이하, 또는 약 6부피% 이하일 수 있다. 배기 가스의 CO<sub>2</sub> 함량은 연소에 의해 동력을 얻는 제너레이터의 구성에 따라 달라지는 값의 범위를 나타낼 수 있다. 배기 가스의 재순환은 약 6부피% 이상의 CO<sub>2</sub> 함량을 획득하는데 유리할 수 있는 한편, 연소 반응으로의 수소의 첨가는 CO<sub>2</sub> 함량을 추가로 증가시켜 약 7.5부피% 이상의 CO<sub>2</sub> 함량을 달성할 수 있도록 한다.
- [0242] 다른 구성-고 강도율(severity) NO<sub>x</sub> 터빈
- [0243] 가스 터빈은 몇 가지 인자에 의해 그의 작동이 제한될 수 있다. 한 가지 전형적인 제한은 연소 대역에서의 최대 온도가 배출가스 규제 한계를 충족시키기 위하여 질소 산화물(NO<sub>x</sub>)의 충분히 낮은 농도를 달성하도록 특정 한

도 미만으로 제어될 수 있다는 것일 수 있다. 배출가스 규제 한계는 연소 배기 가스가 환경으로 배출될 때 약 20vppm 이하, 가능하게는 10vppm 이하의 NO<sub>x</sub> 농도를 갖기를 요구할 수 있다.

[0244] 천연 가스-연료 연소 터빈에서의 NO<sub>x</sub> 형성은 온도 및 체류 시간의 함수일 수 있다. NO<sub>x</sub>를 형성시키는 반응은 약 1500°F의 화염 온도 미만에서는 그 중요성이 감소되고/되거나 최소일 수 있지만, 온도가 이 지점을 지나 증가함에 따라 NO<sub>x</sub> 생성이 급격하게 증가할 수 있다. 가스 터빈에서는, 최초 연소 생성물을 추가의 공기와 혼합하여 혼합물을 약 1200°F로 냉각시킬 수 있고, 이 온도는 팽창기 블레이드의 금속학적 특징에 의해 제한될 수 있다. 초기 가스 터빈은 전형적으로는 온도가 1500°F보다 더 높은 화학량론적 대역을 갖는 확산 화염에서 연소를 수행하여 더 높은 NO<sub>x</sub> 농도를 생성시켰다. 더욱 최근에는, '건조 저 NO<sub>x</sub>'(DLN) 버너의 현행 세대에서 특수한 예비 혼합된 버너를 사용하여 더욱 저온의 희박(화학량론적 양보다 더 적은 연료) 조건에서 천연 가스를 연소시킬 수 있다. 예를 들어, 더 많은 희석 공기를 최초 화염 층으로 혼합할 수 있고, 더 적은 희석 공기를 후속 혼합하여 온도를 약 1200°F의 터빈-팽창기 입구 온도까지 낮출 수 있다. DLN 버너의 단점은 턴다운(turndown)시 불량한 성능, 더 높은 유지 비용, 좁은 작동 범위 및 불량한 연료 융통성을 포함할 수 있다. 불량한 연료 융통성은 문제가 될 수 있는데, 왜냐하면 DLN 버너는 다양한 품질의 연료에 적용하기가 더욱 어려울(또는 액체 연료에 적용하기가 어려울) 수 있기 때문이다. 높은 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는 연료 같은 낮은 BTU 연료의 경우에는, DLN 버너가 전형적으로 사용되지 못하고, 대신 확산 버너가 사용될 수 있다. 또한, 더 높은 터빈-팽창기 입구 온도를 사용함으로써 가스 터빈 효율을 증가시킬 수 있다. 그러나, 한정된 양의 희석 공기가 있을 수 있고, 이 양이 터빈-팽창기 입구 온도 증가에 따라 감소될 수 있기 때문에, DLN 버너는 가스 터빈의 효율이 개선됨에 따라 낮은 NO<sub>x</sub>를 유지하는데 덜 효과적이 될 수 있다.

[0245] 본 발명의 다양한 양태에서, 가스 터빈을 탄소 포획을 위한 연료 전지와 통합하는 시스템은 추가적인 NO<sub>x</sub> 배출을 감소시키고/시키거나 최소화하면서 더 높은 연소 대역 온도의 사용을 허용할 수 있을 뿐만 아니라 현재 DLN 버너와 양립불가능한 터빈 연료의 사용을 통해 DLN-같은 NO<sub>x</sub> 억제를 가능케 할 수 있다. 이러한 양태에서, 터빈은 더 높은 동력에서(즉, 더 높은 온도에서) 작동되어 더 높은 NO<sub>x</sub> 배출을 야기할 뿐만 아니라 더 높은 산출 동력 및 가능하게는 더 높은 효율을 야기할 수 있다. 본 발명의 일부 양태에서, 연소 배기 가스중 NO<sub>x</sub>의 양은 약 20vppm 이상, 예컨대 약 30vppm 이상 또는 약 40ppm 이상일 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연소 배기 가스중 NO<sub>x</sub>의 양은 약 1000vppm 이하, 예를 들어 약 500vppm 이하, 또는 약 250vppm 이하, 또는 약 150vppm 이하, 또는 약 100vppm 이하일 수 있다. NO<sub>x</sub> 수준을 규제에 의해 요구되는 수준까지 감소시키기 위하여, 몇 가지 메카니즘 중 하나를 통한 열에 의한 NO<sub>x</sub> 파괴에 의해, 예를 들어 기상에서의 단순 열 파괴, 연료 전지 어레이에서 니켈 캐소드 촉매로부터 촉진되는 파괴, 및/또는 소량의 암모니아, 우레아 또는 다른 환원제를 주입함으로써 연료 전지 전에 이루어지는 보조 열 파괴에 의해, 생성되는 NO<sub>x</sub>를 평형화시킬 수 있다. 애노드 배기 가스로부터 유래되는 수소를 도입함으로써 이를 보조할 수 있다. NO<sub>x</sub>를 캐소드 표면에서 반응시킬 수 있고 파괴시킬 수 있는 전기 화학적 파괴를 통해, 연료 전지의 캐소드에서 NO<sub>x</sub>를 추가로 감소시킬 수 있다. 이는 막 전해질을 가로질러 애노드로 약간의 질소를 수송할 수 있으며, 애노드에서 이는 암모니아 또는 다른 환원된 질소 화합물을 형성할 수 있다. MCFC를 포함하는 NO<sub>x</sub> 감소 방법과 관련하여, 연료 전지/연료 전지 어레이로부터 예상되는 NO<sub>x</sub> 감소는 연료 전지 캐소드로의 투입물중 NO<sub>x</sub>의 약 80% 이하, 예를 들어 약 70% 이하, 및/또는 약 5% 이상일 수 있다. 황 화물 부식도 온도를 제한하고 종래의 시스템에서 터빈 블레이드의 금속학적 특성에 영향을 끼칠 수 있음에 주목한다. 그러나, MCFC 시스템의 황 제한은 전형적으로는 감소된 연료 황 수준을 요구하고, 이는 황화물 부식에 관련된 우려를 감소 또는 최소화할 수 있다. MCFC 어레이를 낮은 연료 이용률로 작동시키면 연소 반응의 연료 중 일부가 애노드 배기 가스로부터의 수소에 상응하는 양태에서와 같이 이러한 우려를 추가로 경감시킬 수 있다.

[0246] 낮은 전압에서의 연료 전지의 작동

[0247] 종래의 연료 전지 관행은 용융 카보네이트 및 고체 산화물 연료 전지가 전력 밀도를 최대화하도록 작동되어야 함을 교시한다. 전력 밀도를 최대화하는 능력은 다른 작동 제약, 예컨대 연료 전지를 가로지르는 온도 차이를 충족시켜야 할 필요에 의해 한정될 수 있다. 일반적으로, 연료 전지 매개변수는 다른 제약을 감안할 때 가능한 것보다 훨씬 더 전력 밀도를 최적화하도록 선택된다. 예로서, 문헌[NETL Fuel Cell Handbook]의 도 6 내지 도

13, 및 도 6 내지 도 13에 관한 논의는, 연료 이용률이 감소될 때 발생하는 연료 전환률에서의 감소에 의해 낮은 연료 이용률에서의 연료 전지의 작동이 방해됨을 교시한다. 일반적으로, 전력 밀도를 증가시키기 위해서는 더 높은 작동 전압  $V_A$ 가 요구된다.

[0248] 본 발명의 양태는 낮은 연료 이용률에서 연료 전지를 작동시키고, 전압을 감소시킴으로써 감소되는  $CH_4$  전환률의 문제점을 극복하는 것일 수 있다. 감소된 전압은 전환 반응에 사용하는데 이용될 수 있는 열의 양을 증가시킬 수 있다. 다양한 양태에서, 연료 전지는 약 0.7볼트 미만, 예를 들어 약 0.68V 미만, 약 0.67V 미만, 약 0.66V 미만, 또는 약 0.65V 이하의 전압  $V_A$ 에서 작동될 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연료 전지는 약 0.60 이상, 예를 들어 약 0.61 이상, 약 0.62 이상, 또는 약 0.63 이상의 전압  $V_A$ 에서 작동될 수 있다. 이렇게 할 때, 높은 전압에서 전기 에너지로서 연료 전지를 나가는 에너지가, 전압이 낮아짐에 따라, 전지 내에 열로서 잔류할 수 있다. 이 추가적인 열은 흡열 반응이 더 많이 일어나도록 하여 예컨대  $CH_4$ 의 합성 가스로의 전환을 증가시킬 수 있다.

[0249] 본 발명에 따른 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시키는 이점을 설명하기 위하여 일련의 시뮬레이션을 수행하였다. 구체적으로는, 상이한 연료 이용률에 걸쳐 더 낮은 전압에서 연료 전지를 작동시키는 이점을 설명하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 더 낮은 전압 및 낮은 연료 이용률에서 연료 전지를 작동시키는 영향이 도 16 및 도 17에 도시되어 있다. 도 16는 문헌[NETL Fuel Cell Handbook]의 도 6 내지 도 13과 유사한 표현으로 연료 전지의 모델을 도시한다. 도 16에 도시된 결과를 생성시키는 사용되는 시뮬레이션을 일정한  $CH_4$  유속에서 실행시켰다. 도 16는 상이한 작동 전압의 상이한 연료 이용률(1610)에서 발생될 수 있는 전환률(1620)을 도시한다. 높은 전압(0.8V)(1650)에서는, 연료 이용률이 감소됨에 따라,  $CH_4$  전환률도 낮은 수준으로 감소되는 것으로 밝혀졌다. 전압이 떨어짐(0.7V, 1640, 및 0.6V, 1630)에 따라, 모델링된 각 연료 이용률 지점에서의  $CH_4$  전환률이 0.8V에서의 상응하는 전환률보다 더 높은 것으로 밝혀졌다. 도 16는  $CH_4$  전환률에서의 약간의 백분율 증가만을 나타내지만, 도 17에 도시된 바와 같이 영향은 실제로 매우 상당할 수 있다.

[0250] 도 17에 도시된 결과를 생성시키는데 사용된 시뮬레이션은  $CH_4$ 의 일정한 유속에서 수행되지 않고 대신 일정한 연료 전지 면적에서 실행되었다. 도 17에서는,  $CH_4$  전환률에 기초한 백분율이 아니라 고정된 연료 전지 면적에 대한  $CH_4$ 의 절대 유속에 대한 연료 전지의 동일한 작동을 도시하였다. x-축(1710)은 연료 이용률을 도시하고, y-축(1720)은 정규화된  $CH_4$  전환률을 도시한다. 플롯(1730)은 0.6V에서 생성된 시뮬레이션 결과를 도시한다. 플롯(1740)은 0.7V에서 생성된 시뮬레이션 결과를 보여준다. 플롯(1750)은 0.8V에서 생성된 시뮬레이션 결과를 도시한다. 연료 이용률이 감소됨에 따라, 특히 전압이 감소됨에 따라, 전류 밀도는 도 16 및 도 17에 도시된 데이터에서 5보다 큰 계수만큼 증가하는 것으로 밝혀졌다. 이로써, 본 발명의 양태에 일관된 작동 조건 하에서 작동 전압을 낮춤으로써 전력 밀도를 증가시킬 수 있다. 증가된 전력 밀도 및 더 낮은 전압은 종래의 작동 동안 얻어지는 영향(더 낮은 작동 전압이 전형적으로는 더 낮은 전력 밀도를 생성시킴)과는 대조적인 것으로 보인다. 도 17에 도시된 바와 같이, 총  $CH_4$  전환률에 대한 영향은 상당한 것으로 밝혀졌는데, 전압이 감소될 때 더 낮은 연료 이용률에서 절대 유속으로서 측정된  $CH_4$ 의 훨씬 더 높은 전환률이 달성되었다.

[0251] 추가 실시양태

[0252] 하기 양태는 예시적이며, 본원에 기재되는 다른 양태를 한정하고자 하지 않는다.

[0253] 양태 1. 연소 공급원으로부터의 산출물 스트림을 포획하고; 포획된 산출물 스트림을 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 전지 어레이로 처리하고; 하나 이상의 연료 전지 애노드 내에서 하나 이상의 연료 전지 캐소드로부터의 카보네이트와 연료를 반응시켜 전기를 생산하고; 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 이산화탄소를 분리하며; 애노드 배기 가스 스트림으로부터 이산화탄소를 분리한 후 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부를 애노드로 재순환시킴을 포함하는, 연소 공급원으로부터 이산화탄소를 포획하는 방법으로서, 이 때 상기 포획된 산출물 스트림이 산소와 이산화탄소를 포함하고, 상기 하나 이상의 연료 전지가 각각 애노드와 캐소드를 가지며, 상기 용융 카보네이트 연료 전지가 연료 전지 어레이에서 용융 카보네이트 연료 전지의 하나 이상의 캐소드 입구를 통해 이산화탄소 스트림과 작동가능하게 연결되며, 상기 연료 전지 어레이의 하나 이상의 애노드 출구로부터의 애노드 배기 가스 스트림이 이산화탄소와 수소를 갖고, 카보네이트와 반응하는 연료의 적어도 일부가 애노드 배기 가스 스트림으로부터 재순환된 수소를 포함하는 방법.



- [0254] 양태 2. 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하기 전에 애노드 배기 가스 스트림으로부터 H<sub>2</sub>를 분리함을 추가로 포함하는, 양태 1의 방법.
- [0255] 양태 3. 하나 이상의 연료 스트림과 O<sub>2</sub>-함유 스트림을 반응 대역으로 도입하고; 연소 대역에서 연소 반응을 수행하여 CO<sub>2</sub>를 포함하는 연소 배기 가스를 발생시키고; 연소 배기 가스의 적어도 제 1 부분을 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 전지 어레이로 처리하여, 연료 전지 어레이의 하나 이상의 캐소드 출구로부터의 캐소드 배기 가스 스트림을 형성시키고; 하나 이상의 연료 전지 애노드 내에서 하나 이상의 연료 전지 캐소드로부터의 카보네이트를 수소와 반응시켜 전기를 생산하고; 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하여 CO<sub>2</sub>가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림을 형성시킴을 포함하는, 연소 공급원으로부터 이산화탄소를 포획하는 방법으로서, 상기 하나 이상의 연료 전지가 각각 애노드와 캐소드를 가지며, 상기 용융 카보네이트 연료 전지가 연료 전지 어레이에서 하나 이상의 캐소드 입구를 통해 연소 배기 가스와 작동가능하게 연결되며, 상기 연료 전지 애노드의 하나 이상의 스테이지가 약 65% 이하, 예를 들어 약 60% 이하의 연료 이용률로 작동되며, 상기 연료 전지 어레이의 하나 이상의 애노드 출구로부터의 애노드 배기 가스 스트림이 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>를 포함하는 방법.
- [0256] 양태 4. 하나 이상의 연료 스트림과 O<sub>2</sub>-함유 스트림을 반응 대역으로 도입하고; 연소 대역에서 연소 반응을 수행하여 약 0.5부피% 이상의 NO<sub>x</sub>를 포함하는 연소 배기 가스를 발생시키고; 연소 배기 가스의 적어도 제 1 부분을 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 전지 어레이로 처리하여, 연료 전지 어레이의 하나 이상의 캐소드 출구로부터의 캐소드 배기 가스 스트림을 형성시키고; 하나 이상의 연료 전지 애노드 내에서 하나 이상의 연료 전지 캐소드로부터의 카보네이트를 수소와 반응시켜 전기를 생산하고; 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하여 CO<sub>2</sub>가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림을 형성시킴을 포함하는, 연소 공급원으로부터 이산화탄소를 포획하는 방법으로서, 상기 하나 이상의 연료 전지가 각각 애노드와 캐소드를 가지며, 상기 용융 카보네이트 연료 전지가 연료 전지 어레이에서 하나 이상의 캐소드 입구를 통해 연소 배기 가스와 작동가능하게 연결되며, 상기 연료 전지 어레이의 하나 이상의 애노드 출구로부터의 애노드 배기 가스 스트림이 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>를 포함하는 방법.
- [0257] 양태 5. 연소 배기 가스가 약 1.0부피% 이상, 예를 들어 약 2.0부피% 이상, 또는 약 3.0부피% 이상, 또는 약 4.0부피% 이상, 또는 약 5.0부피% 이상의 NO<sub>x</sub>를 포함하는, 양태 4의 방법.
- [0258] 양태 6. 하나 이상의 연료 스트림과 O<sub>2</sub>-함유 스트림을 반응 대역으로 도입하고; 연소 대역에서 연소 반응을 수행하여 CO<sub>2</sub>를 포함하는 연소 배기 가스를 발생시키고; 연소 배기 가스의 적어도 제 1 부분을 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 전지 어레이로 처리하여, 연료 전지 어레이의 하나 이상의 캐소드 출구로부터의 캐소드 배기 가스 스트림을 형성시키고; 하나 이상의 연료 전지 애노드 내에서 하나 이상의 연료 전지 캐소드로부터의 카보네이트를 수소와 반응시켜 전기를 생산하고; 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하여 CO<sub>2</sub>가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림을 형성시키고; CO<sub>2</sub>가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 제 1 부분을 연소 대역으로 통과시킴을 포함하는, 연소 공급원으로부터 이산화탄소를 포획하는 방법으로서, 상기 하나 이상의 연료 전지가 각각 애노드와 캐소드를 가지며, 상기 용융 카보네이트 연료 전지가 연료 전지 어레이에서 연료 전지의 하나 이상의 캐소드 입구를 통해 연소 배기 가스와 작동가능하게 연결되며, 상기 연료 전지 어레이의 하나 이상의 애노드 출구로부터의 애노드 배기 가스 스트림이 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>를 포함하는 방법.
- [0259] 양태 7. CO<sub>2</sub>가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부(제 2 부분)를 애노드로 재순환시킴을 포함하는, 양태 1 내지 양태 6중 어느 한 양태의 방법.
- [0260] 양태 8. 하나 이상의 연료 스트림과 O<sub>2</sub>-함유 스트림을 반응 대역으로 도입하고; 연소 대역에서 연소 반응을 수행하여 약 10부피% 이하의 CO<sub>2</sub>를 포함하는 연소 배기 가스를 발생시키고; 연소 배기 가스의 적어도 제 1 부분을 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 전지 어레이로 처리하고; 하나 이상의 연료 전지 애노드 내에서 하나 이상의 연료 전지 캐소드로부터의 카보네이트를 수소와 반응시켜 전기를 생산하고; 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하여 CO<sub>2</sub>가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림을

형성시키고; CO<sub>2</sub>가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 제 1 부분을 연소 대역으로 통과시키며; CO<sub>2</sub>가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 제 2 부분을 애노드로 재순환시킴을 포함하는, 연소 공급원으로부터 이산화탄소를 포획하는 방법으로서, 상기 하나 이상의 연료 전지가 각각 애노드와 캐소드를 가지며, 상기 용융 카보네이트 연료 전지가 연료 전지 어레이에서 연료 전지의 하나 이상의 캐소드 입구를 통해 연소 배기 gas와 작동가능하게 연결되며, 상기 연료 전지 어레이의 하나 이상의 캐소드 출구로부터의 캐소드 배기 가스 스트림이 약 2.0부피% 이하의 이산화탄소를 함유하고, 상기 연료 전지 어레이의 하나 이상의 애노드 출구로부터의 애노드 배기 가스 스트림이 CO<sub>2</sub>와 약 5부피% 이상의 H<sub>2</sub>를 포함하며, 카보네이트와 반응하는 H<sub>2</sub>의 적어도 일부가 애노드 배기 가스 스트림으로부터 재순환된 H<sub>2</sub>를 포함하는 방법.

[0261] 양태 9. 연소 공급원으로부터의 산출물 스트림을 포획하고; 포획된 산출물 스트림을 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 전지 어레이로 처리하며; 하나 이상의 연료 전지 애노드 내에서 하나 이상의 연료 전지 캐소드로부터의 카보네이트를 연료와 반응시켜 전기를 생산하고; 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 이산화탄소를 분리하고; 애노드 배기 가스 스트림으로부터 이산화탄소를 분리한 후 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부를 애노드로 재순환시킴을 포함하는, 연소 공급원으로부터 이산화탄소를 포획하는 방법으로서, 상기 포획된 산출물 스트림이 산소와 이산화탄소를 포함하고, 상기 포획된 산출물 스트림의 이산화탄소 함량이 약 10부피% 이하이고, 상기 하나 이상의 연료 전지가 각각 애노드와 캐소드를 가지며, 상기 용융 카보네이트 연료 전지가 연료 전지 어레이에서 용융 카보네이트 연료 전지의 하나 이상의 캐소드 입구를 통해 이산화탄소 스트림과 작동가능하게 연결되며, 상기 연료 전지 어레이의 하나 이상의 애노드 출구로부터의 애노드 배기 가스 스트림이 이산화탄소와 수소를 포함하며, 상기 카보네이트와 반응하는 연료의 적어도 일부가 애노드 배기 가스 스트림으로부터 재순환된 수소를 포함하는 방법.

[0262] 양태 10. 연소 공급원으로부터의 산출물 스트림을 포획하고; 포획된 산출물 스트림을 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 전지 어레이로 처리하며; 하나 이상의 연료 전지 애노드 내에서 약 60% 이하의 연료 이용률로 하나 이상의 연료 전지 캐소드로부터의 카보네이트를 연료와 반응시켜 전기를 생산하고; 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 이산화탄소를 분리하고; 애노드 배기 가스 스트림으로부터 이산화탄소를 분리한 후 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부를 애노드로 재순환시킴을 포함하는, 연소 공급원으로부터 이산화탄소를 포획하는 방법으로서, 상기 포획된 산출물 스트림이 산소와 이산화탄소를 포함하고, 상기 하나 이상의 연료 전지가 각각 애노드와 캐소드를 가지며, 상기 용융 카보네이트 연료 전지가 연료 전지 어레이에서 용융 카보네이트 연료 전지의 하나 이상의 캐소드 입구를 통해 이산화탄소 스트림과 작동가능하게 연결되며, 상기 연료 전지 어레이의 하나 이상의 애노드 출구로부터의 애노드 배기 가스 스트림이 이산화탄소와 수소를 포함하며, 상기 카보네이트와 반응하는 연료의 적어도 일부가 애노드 배기 가스 스트림으로부터 재순환된 수소를 포함하는 방법.

[0263] 양태 11. CO<sub>2</sub>가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부(제 1 부)를 연소 대역으로 재순환시킴을 추가로 포함하는, 양태 1 내지 양태 5, 양태 9 및 양태 10중 어느 한 양태의 방법.

[0264] 양태 12. 약 65% 이하, 예컨대 약 60% 이하의 애노드 연료 이용률을 갖는 하나 이상의 애노드 스테이지가 제 1 캐소드 스테이지를 포함하는, 양태 1 내지 양태 11중 어느 한 양태의 방법.

[0265] 양태 13. 복수개의 애노드 스테이지가 약 65% 이하, 예컨대 약 30% 내지 50%의 애노드 연료 이용률을 갖는, 양태 1 내지 양태 12중 어느 한 양태의 방법.

[0266] 양태 14. 연료 전지 어레이의 평균 연료 이용률이 약 65% 이하, 예를 들어 약 60% 이하인, 양태 1 내지 양태 13중 어느 한 양태의 방법.

[0267] 양태 15. 각각의 애노드 스테이지가 약 65% 이하, 예컨대 약 60% 이하의 애노드 연료 이용률을 갖는, 양태 1 내지 양태 14중 어느 한 양태의 방법.

[0268] 양태 16. 연료 전지 어레이의 연료 전지 애노드의 연료 이용률이 약 55% 이하, 예를 들어 약 50% 이상 또는 약 45% 이상인, 양태 12 내지 양태 15중 어느 한 양태의 방법.

[0269] 양태 17. 하나 이상의 애노드 스테이지의 연료 이용률이 약 30% 이상, 예를 들어 약 35% 이상 또는 약 40% 이상인, 양태 12 내지 양태 16중 어느 한 양태의 방법.

- [0270] 양태 18. 애노드 배기 가스 스트림을 수성 가스 전화 촉매에 노출시킴을 추가로 포함하고, 이 때 상기 수성 가스 전화 촉매에 노출된 후 애노드 배기 가스 스트림의 수소 함량이 노출되기 전의 애노드 배기 가스 스트림의 수소 함량보다 더 큰, 양태 1 내지 양태 17중 어느 한 양태의 방법.
- [0271] 양태 19. 탄소-함유 연료를 하나 이상의 연료 전지 애노드 내로 통과시킴을 추가로 포함하는, 양태 1 내지 양태 18중 어느 한 양태의 방법.
- [0272] 양태 20. 탄소-함유 연료를 개질시켜 수소를 발생시키고, 발생된 수소중 적어도 일부를 하나 이상의 연료 전지 애노드 내로 통과시킴을 추가로 포함하는, 양태 19의 방법.
- [0273] 양태 21. 하나 이상의 연료 전지 애노드에 들어가기 전에 탄소-함유 연료를 개질 스테이지 내로 통과시키지 않고서, 탄소-함유 연료를 하나 이상의 연료 전지 애노드 내로 통과시키는, 양태 19의 방법.
- [0274] 양태 22. 탄소-함유 연료가 CH<sub>4</sub>, 천연 가스 또는 이들의 조합을 포함하는, 양태 19 내지 양태 21중 어느 한 양태의 방법.
- [0275] 양태 23. 연소 배기 가스가 약 10부피% 이하의 CO<sub>2</sub>, 예컨대 약 8부피% 이하의 CO<sub>2</sub>를 포함하고, 연소 배기 가스가 임의적으로 4부피% 이상의 CO<sub>2</sub>를 포함하는, 양태 1 내지 양태 22중 어느 한 양태의 방법.
- [0276] 양태 24. 연소 배기 가스로부터의 CO<sub>2</sub>-함유 스트림을 연소 대역으로 재순환시킴을 추가로 포함하는, 양태 1 내지 양태 23중 어느 한 양태의 방법.
- [0277] 양태 25. 연소 배기 가스로부터의 CO<sub>2</sub>-함유 스트림을 연소 대역으로 재순환시키는 것이, 연소 배기 가스의 제 2 부분과 H<sub>2</sub>O-함유 스트림 사이에서 열교환을 수행하여 증기를 형성시키고, 연소 배기 가스의 제 2 부분으로부터 물을 분리하여 H<sub>2</sub>O가 고갈된 연소 배기 가스 스트림을 형성시킨 후, H<sub>2</sub>O가 고갈된 연소 배기 가스의 적어도 일부를 연소 대역 내로 통과시킴을 포함하는, 양태 24의 방법.
- [0278] 양태 26. 연소 배기 가스가 약 6부피% 이상의 CO<sub>2</sub>를 포함하는, 양태 24 또는 양태 25의 방법.
- [0279] 양태 27. 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO<sub>2</sub>를 제거하기 전 또는 후에 애노드 배기 스트림이 약 5.0부피% 이상, 예를 들어 약 10부피% 이상, 또는 약 15부피% 이상의 H<sub>2</sub>를 포함하는, 양태 1 내지 양태 26중 어느 한 양태의 방법.
- [0280] 양태 28. 애노드 배기 가스 스트림을 수성 가스 전화 촉매에 노출시킴을 추가로 포함하고, 이 때 상기 수성 가스 전화 촉매에 노출시킨 후 애노드 배기 가스 스트림의 수소 함량이 노출 전 애노드 배기 가스 스트림의 수소 함량보다 더 큰, 양태 1 내지 양태 27중 어느 한 양태의 방법.
- [0281] 양태 29. CO<sub>2</sub>가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 제 1 부분이 연소 대역 내로 들어가기 전에, CO<sub>2</sub>가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 제 1 부분을 연료 스트림과 합치는, 양태 1 내지 양태 28중 어느 한 양태의 방법.
- [0282] 양태 30. 캐소드 배기 가스 스트림이 약 2.0부피% 이하, 예를 들어 약 1.5부피% 이하, 또는 약 1.2부피% 이하의 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는, 양태 1 내지 양태 29중 어느 한 양태의 방법.
- [0283] 양태 31. 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하는 것이, 애노드 배기 가스 스트림을 냉각시켜 CO<sub>2</sub>의 응축된 상을 형성시킴을 포함하는, 양태 1 내지 양태 30중 어느 한 양태의 방법.
- [0284] 양태 32. CO<sub>2</sub>의 응축된 상을 형성하기 전에 애노드 배기 가스 스트림으로부터 물을 분리함을 추가로 포함하는, 양태 31의 방법.
- [0285] 양태 33. 애노드 배기 가스 스트림으로부터 분리된 물의 적어도 일부를, 애노드 입구 내로 통과하는 연료 스트림 내로 도입함을 추가로 포함하는, 양태 32의 방법.
- [0286] 양태 34. 애노드 배기 가스로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하기 전에 애노드 배기 가스로부터 H<sub>2</sub>를 분리함을 추가로 포함하는, 양태 1 내지 양태 33중 어느 한 양태의 방법.
- [0287] 양태 35. 애노드 배기 가스로부터 H<sub>2</sub>를 분리하는 것이, 막의 존재하에서 H<sub>2</sub>를 분리하여 CO<sub>2</sub>가 풍부한 보유물을

형성시키고, 막의 보유물 층을 애노드 입구용 연료 스트림, 연소 대역용 연료 스트림 또는 이들의 조합으로 스윕핑하는, 양태 34의 방법.

- [0288] 양태 36. 연소 대역을 약 1400℃ 이상, 예를 들어 약 1500℃ 이상에서 작동시키는, 양태 1 내지 양태 35중 어느 한 양태의 방법.
- [0289] 양태 37. 연료 전지 어레이의 하나 이상의 캐소드 스테이지에서 NO<sub>x</sub>를 N<sub>2</sub>로 전환시킴을 추가로 포함하는, 양태 36의 방법.
- [0290] 양태 38. 연소 배기 가스의 적어도 제 1 부분을 직렬 연결된 연료 전지 어레이의 캐소드 스테이지 내로 통과시키고, 연소 배기 가스의 적어도 제 2 부분을 병렬 연결된 연료 전지 어레이의 캐소드 스테이지 내로 통과시키는, 양태 1 내지 양태 37중 어느 한 양태의 방법.
- [0291] 양태 39. 연소 배기 가스의 적어도 일부를 직렬 연결된 연료 전지 어레이의 캐소드 스테이지 내로 통과시키고, 제 2 캐소드 스테이지에 수반되는 애노드 스테이지 내로 통과되는 연료의 양이 제 1 캐소드 스테이지에 수반되는 애노드 스테이지 내로 통과되는 연료의 양보다 많고, 상기 제 1 캐소드 스테이지가 캐소드 스테이지에서의 일련의 처리를 위해 연소 배기 가스의 일부를 받아들이는 캐소드 스테이지에 상응하는, 양태 1 내지 양태 38중 어느 한 양태의 방법.
- [0292] 양태 40. 연소 배기 가스의 적어도 일부를 직렬 연결된 연료 전지 어레이의 캐소드 스테이지 내로 통과시키고, 제 3 캐소드 스테이지에 수반되는 애노드 스테이지 내로 통과되는 연료의 양이 제 2 캐소드 스테이지에 수반되는 애노드 스테이지 내로 통과되는 연료의 양보다 더 많은, 양태 39의 방법.
- [0293] 양태 41. 애노드 배기 가스 스트림의 제 2 부분의 약 50부피% 이상을 제 1 캐소드 스테이지에 수반되는 애노드 스테이지 내로 통과시키는, 양태 39 또는 양태 40의 방법.
- [0294] 양태 42. 애노드 배기 가스로부터 이산화탄소를 분리하기 전에 애노드 배기 가스 스트림을 수성 가스 전화 반응 스테이지를 통해 통과시키는, 양태 1 내지 양태 41중 어느 한 양태의 방법.
- [0295] 양태 43. CO<sub>2</sub>의 분리 후 애노드 배기 가스 스트림의 H<sub>2</sub> 함량이 약 15부피% 이상, 예를 들어 약 20부피% 이상, 또는 약 25부피% 이상인, 양태 1 내지 양태 42중 어느 한 양태의 방법.
- [0296] 양태 44. CO<sub>2</sub>의 분리 후 애노드 배기 가스 스트림의 H<sub>2</sub> 함량이 약 40부피%, 예를 들어 약 20부피% 이상, 또는 약 25부피% 이상인, 양태 1 내지 양태 43중 어느 한 양태의 방법.
- [0297] 양태 45. CO<sub>2</sub> 분리 단계(들)에서 나가는 스트림이 H<sub>2</sub> 약 15부피% 내지 약 40부피%, CH<sub>4</sub> 약 15부피% 내지 약 40부피%, 및 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 및 N<sub>2</sub> 같은 다른 성분중 한 성분당 약 40중량% 이하, 바람직하게는 다른 성분중 한 성분당 약 25중량% 이하, 더욱 바람직하게는 다른 성분중 한 성분당 약 15중량% 이하를 포함할 수 있는, 양태 1 내지 양태 44중 어느 한 양태의 방법.
- [0298] 양태 46. 분리된 CO<sub>2</sub>를 오일 회수 향상을 위해 사용하는, 양태 1 내지 양태 45중 어느 한 양태의 방법.
- [0299] 양태 47. 분리된 CO<sub>2</sub>를 조류 같은 생물 자원의 생육을 위한 영양소로서 사용하는, 양태 1 내지 양태 46중 어느 한 양태의 방법.
- [0300] 양태 48. 분리되는 CO<sub>2</sub>를 건조 기준으로 약 60부피% 이상, 예컨대 약 70부피% 이상의 CO<sub>2</sub> 농도를 갖는 산출물로서 분리하는, 양태 1 내지 양태 47중 어느 한 양태의 방법.
- [0301] 양태 49. CO<sub>2</sub>-함유 산출물을 약 95% 이상, 예컨대 약 98% 이상의 CO<sub>2</sub> 농도를 갖도록 농축시킴을 추가로 포함하는, 양태 48의 방법.
- [0302] 양태 50. 산화제 투입물을 받아들이고 연소 대역과 유체 연통되는 압축기를 포함하는 연소 터빈; 팽창기 배기 가스 산출물의 제 1 부분과 연소 대역을 유체 연통시키는 배기 가스 재순환 시스템; 하나 이상의 캐소드 투입물, 하나 이상의 캐소드 산출물, 하나 이상의 애노드 투입물, 및 하나 이상의 애노드 산출물을 갖는 연료 전지 어레이; 하나 이상의 이산화탄소 분리 스테이지를 포함하는 애노드 재순환 루프를 포함하는 발전용 시스템으로서, 이 때 상기 연소 대역이 제 1 연료 투입물 및 제 2 연료 투입물을 추가로 받아들이고, 상기 연소 대역이 배기 가스 산출물을 갖는 팽창기와 유체 연통되며, 상기 팽창기 배기 가스 산출물의 제 2 부분이 하나 이상



의 캐소드 투입물과 유체 연통되고, 애노드 재순환 루프 산출물의 제 1 부분을 제 2 연료 투입물의 적어도 일부로서 연소 대역에 제공하는 시스템.

- [0303] 양태 51. 애노드 재순환 루프 산출물의 제 2 부분을 애노드 투입물에 제공하는, 양태 50의 시스템.
- [0304] 양태 52. 애노드 재순환 루프가 수성 가스 전화 반응 대역을 추가로 포함하고, 하나 이상의 이산화탄소 분리 스테이지의 하나 이상의 스테이지 전에 수성 가스 전화 반응 대역을 통해 애노드 투입물을 통과시키는, 양태 50 또는 양태 51의 시스템.
- [0305] 양태 53. 배기 가스 재순환 시스템이 열 회수 증기 발생 시스템을 추가로 포함하는, 양태 50 내지 양태 52중 어느 한 양태의 시스템.
- [0306] 양태 54. 팽창기 배기 가스 산출물의 제 1 부분을 압축기 내로 통과시킴으로써 배기 가스 재순환 시스템이 팽창기 배기 가스 산출물의 제 1 부분과 연소 대역을 유체 연통시키는, 양태 50 내지 양태 53중 어느 한 양태의 시스템.
- [0307] 양태 55. 제 1 연료 투입물과 제 2 연료 투입물을 연소 대역에 들어가기 전에 합치는, 양태 50 내지 양태 54중 어느 한 양태의 시스템.
- [0308] 하기 실시양태가 또한 별도로, 하나 이상의 실시양태와 아래 나타낸 바와 같이 함께, 상기 양태중 하나 이상과 함께, 또는 이들의 조합으로 사용될 수 있다.
- [0309] 실시양태 1. H<sub>2</sub>를 포함하는 재순환된 애노드 배기 가스 연료 스트림, 약 30부피% 이상의 하나 이상의 불활성 기체를 포함하는 저 에너지 함량 연료 스트림, 및 O<sub>2</sub>-함유 스트림을 연소 대역으로 도입하고; 연소 대역에서 연소 반응을 수행하여 연소 배기 가스를 발생시키고; 개질가능한 연료를 포함하는 애노드 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; CO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입한 다음; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 발생시키고; 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 H<sub>2</sub>를 포함하는 애노드 배기 가스를 발생시키고; 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 분리하여, 재순환되는 애노드 배기 가스 연료 스트림을 형성시킴을 포함하는, 전기를 생산하는 방법.
- [0310] 실시양태 2. 저 에너지 함량 연료 스트림이 약 35부피% 이상의 하나 이상의 불활성 기체를 포함하는, 실시양태 1의 방법.
- [0311] 실시양태 3. 저 에너지 함량 연료 스트림중 하나 이상의 불활성 기체가 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 또는 이들의 조합인, 실시양태 1 또는 2의 방법.
- [0312] 실시양태 4. 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 연료 이용률이 약 65% 이하(예컨대, 약 60% 이하)인, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0313] 실시양태 5. 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 연료 이용률이 약 30% 내지 약 50%인, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0314] 실시양태 6. 애노드 배기 가스 스트림의 애노드-재순환 부분을 하나 이상의 연료 전지 애노드로 재순환시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0315] 실시양태 7. 개질가능한 연료가 CH<sub>4</sub>를 포함하는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0316] 실시양태 8. 상기 캐소드 입구 스트림이 연소 배기 가스의 적어도 일부를 포함하는, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0317] 실시양태 9. 연소 배기 가스가 10부피% 이하의 CO<sub>2</sub>(예를 들어, 약 8부피% 이하의 CO<sub>2</sub>)를 포함하고, 연소 배기 가스가 임의적으로 약 4부피% 이상의 CO<sub>2</sub>를 포함하는, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0318] 실시양태 10. 상기 배기 가스 스트림이 약 5.0부피% 이상(예컨대, 약 10부피% 이상 또는 약 15부피% 이상)의 H<sub>2</sub>를 포함하는, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0319] 실시양태 11. 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부를 분리하여 재순환되는 애노드 배기 가스 연료 스트림을

형성시키기 전에, 애노드 배기 가스 스트림을 수성 가스 전화 촉매에 노출시킴을 추가로 포함하고, 이 때 전환된 애노드 배기 가스 스트림의 H<sub>2</sub> 함량이 노출 전의 애노드 배기 가스 스트림의 H<sub>2</sub> 함량보다 큰, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.

[0320] 실시양태 12. 재순환되는 애노드 배기 가스 연료 스트림을 연소 대역 내로 통과시키기 전에, 재순환되는 애노드 배기 가스 연료 스트림을 저 에너지 함량 연료 스트림과 합치는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.

[0321] 실시양태 13. 캐소드 배기 가스 스트림이 약 2.0부피% 이하(예를 들어, 약 1.5부피% 이하, 또는 약 1.2부피% 이하)의 CO<sub>2</sub> 함량을 갖는, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.

[0322] **실시예**

[0323] CO<sub>2</sub> 분리를 위해 연료 전지를 사용하는 개선된 구성을 이용하는 이점을 입증하기 위하여 일련의 시뮬레이션을 실행하였다. 시뮬레이션은 발전 시스템의 다양한 구성요소의 실험적인 모델에 기초하였다. 시뮬레이션은 물질 균형 및 에너지 균형 조건에 기초하여 시스템 내에서 정상 상태 조건을 결정하는데 기초하였다.

[0324] 터빈의 연소 반응의 경우, 모델은 연소 대역으로의 공급물중 각 연료 성분(예컨대, C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> 탄화수소, H<sub>2</sub> 및/또는 CO)에 대해 예상되는 연소 에너지 값 및 예상되는 연소 생성물을 포함하였다. 이를 이용하여 연소 배기 가스 조성을 결정하였다. CH<sub>4</sub>를 H<sub>2</sub>로 전환시키는 "이상화된" 개질 반응을 이용하여 애노드 전의 최초 개질 대역을 작동시킬 수 있다. 애노드 작동 동안의 추가 개질을 수행하게 작동하도록 애노드 반응을 모델링하였다. 애노드의 실험적인 모델은 애노드에서의 개질이 이루어지도록 하는 애노드에서의 초기 H<sub>2</sub> 농도를 필요로 하지 않았음에 주목한다. 모델 투입물로서 선택된 이용률에서 예상되는 투입물을 예상되는 산출물로 전환시키도록 애노드 및 캐소드 반응 둘다를 모델링하였다. 최초 개질 대역 및 애노드/캐소드 반응의 모델은 반응을 수행하는데 필요한 열 에너지의 예측된 양을 포함하였다. 모델은 또한 연료 전지에서 소비되는 반응물의 양에 기초하여 발생하는 전류를 결정하였고, 네른스트(Nernst) 방정식에 기초하여 반응물의 이용률을 결정하였다. 연소 대역 또는 모델링된 구성요소 내에서 반응에 직접 참여하지 않은 애노드/캐소드 연료 전지로 투입되는 물질의 경우, 이 물질을 배기 가스 또는 산출물의 일부로서 모델링된 대역을 통해 통과시켰다.

[0325] 화학 반응 이외에, 시스템의 구성요소는 예상되는 열 투입/산출 값 및 효율을 가졌다. 예를 들면, 극저온 분리기는 분리되는 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O의 부피에 기초하여 요구되는 에너지뿐만 아니라 압축되고 애노드 산출물 유동에 잔류하는 기체의 부피에 기초하여 요구되는 에너지를 가졌다. 존재하는 경우 수성 가스 전화 반응 대역 및 재순환된 배기 가스의 압축에 대해 예상되는 에너지 소비를 또한 결정하였다. 열 교환으로부터 발생하는 증기에 기초하여 발전에 대해 예상되는 효율을 또한 모델에 이용하였다.

[0326] 시뮬레이션에 사용되는 기본 구성은 도 8의 배열과 유사한, 압축기, 연소 대역 및 팽창기를 포함하는 연소 터빈 콤팩트를 포함하였다. 기본 구성에서는, 천연 가스 연료 투입물(812)을 연소 대역(815)에 제공하였다. 천연 가스 투입물은 약 93%의 CH<sub>4</sub>, 약 2%의 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, 약 2%의 CO<sub>2</sub>, 및 약 3%의 N<sub>2</sub>를 포함하였다. 압축기(802)로의 산화제 공급물(811)은 약 70%의 N<sub>2</sub> 및 약 18%의 O<sub>2</sub>를 포함하는 공기로 대표되는 조성을 가졌다. 팽창기(806)를 통해 통과시킨 후, 연소 배기 가스의 일부(892)를 열 회수 증기 발생 시스템(890)을 통해 통과시킨 다음, 압축기(802)로 재순환시켰다. 연소 배기 가스의 나머지 부분(822)을 연료 전지 캐소드 내로 통과시켰다. 연료 전지 캐소드를 통해 통과시킨 후, 캐소드 배기 가스(824)를 시스템에서 방출시켰다. 달리 명시되지 않는 한, 연소 대역으로 다시 재순환된 연소 배기 가스 부분(892)은 약 35%였다. 연소 배기 가스의 이 재순환된 부분은 연소 대역으로부터의 산출물의 CO<sub>2</sub> 함량을 증가시키는 역할을 하였다. 캐소드 산출물중 CO<sub>2</sub> 농도를 약 1.45%의 고정된 값으로 감소시키도록 연료 전지 면적을 선택하였기 때문에, 연소 배기 가스의 재순환은 CO<sub>2</sub> 포획 효율을 개선하는 것으로 밝혀졌다.

[0327] 기본 구성에서는, 연소 배기 가스를 처리하기에 적절한 크기를 갖는 단일 연료 전지로서 연료 전지를 모델링하였다. 모델링된 전지와 동일한 활성 면적을 갖는 병렬로 배열된 상응하는 복수개의 연료 전지(연료 전지 스택)의 사용을 대표하도록 이를 수행하였다. 달리 명시되지 않는 한, 연료 전지의 애노드에서의 연료 이용률은 약 75%로 설정하였다. 선택된 연료 이용률이 약 0.7볼트의 일정한 연료 전지 전압 및 약 1.45부피%의 일정한 CO<sub>2</sub> 캐소드 산출물/배기 가스 농도에서 작동되는 연료 전지를 야기하도록, 연료 전지 면적을 변화시켰다.

- [0328] 화학 반응 이외에, 시스템의 구성요소는 예상되는 열 투입/산출 값 및 효율을 가졌다. 예를 들면, 극저온 분리기는 분리되는 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O의 부피에 기초하여 요구되는 에너지, 및 애노드 산출물 유동에서 압축 및 보유되는 기체의 부피에 기초하여 요구되는 에너지를 가졌다. 존재하는 경우 수성 가스 전화 반응 대역에 대해, 또한 재순환된 배기 가스의 압축에 대해 예상되는 에너지 소비를 또한 결정하였다. 열 교환에 의해 발생하는 증기에 기초한 예상되는 발전 효율도 모델에 사용하였다.
- [0329] 시뮬레이션에 사용되는 기본 구성은 압축기, 연소 대역 및 팽창기를 포함하는 연소 터빈 콤바인을 포함하였다. 기본 구성에서는, 천연 가스 연료 투입물을 연소 대역에 제공하였다. 천연 가스 투입물은 약 93%의 CH<sub>4</sub>, 약 2%의 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, 약 2%의 CO<sub>2</sub> 및 약 3%의 N<sub>2</sub>를 포함하였다. 압축기로의 산화제 공급물은 약 70%의 N<sub>2</sub> 및 약 18%의 O<sub>2</sub>를 포함하여 공기로 대표되는 조성을 가졌다. 팽창기를 통해 통과시킨 후, 연소 배기 가스의 일부를 열 회수 증기 발생 시스템을 통해 통과시킨 다음, 압축기로 재순환시켰다. 연소 배기 가스의 나머지를 연료 전지 캐소드 내로 통과시켰다. 연료 전지 캐소드를 통해 통과시킨 후, 캐소드 배기 가스를 시스템에서 내보냈다. 달리 명시되지 않는 한, 연소 대역으로 다시 재순환된 연소 배기 가스 부분은 약 35%였다. 연소 배기 가스의 이 재순환된 부분은 연소 대역으로부터의 산출물의 CO<sub>2</sub> 함량을 증가시키는 역할을 했다. 캐소드 산출물의 CO<sub>2</sub> 농도를 약 1.45%의 고정된 값까지 감소시키도록 연료 전지 면적을 선택했기 때문에, 연소 배기 가스를 재순환시키면 CO<sub>2</sub> 포획 효율을 개선하는 것으로 밝혀졌다.
- [0330] 기본 구성에서는, 연소 배기 가스를 처리하기에 적절한 크기의 단일 연료 전지로서 연료 전지를 모델링하였다. 이를 수행하여, 모델링된 전지와 동일한 활성 면적을 갖는 병렬로 배열된 복수개의 연료 전지(연료 전지 스택)에 상응하는 용도를 제공하였다. 달리 명시되지 않는 한, 연료 전지의 애노드에서의 연료 이용률은 약 75%로 설정하였다. 선택된 연료 이용률이 약 0.7볼트의 일정한 연료 전지 전압 및 약 1.45부피%의 일정한 CO<sub>2</sub> 캐소드 산출물/배기 가스 농도에서 작동하는 연료 전지를 생성시키도록 연료 전지 면적을 변화시켰다.
- [0331] 기본 구성에서, 애노드 연료 투입물 유동은 애노드로의 공급물로서 상기 기재된 천연 가스 조성물을 제공하였다. 약 2:1의 투입물 연료중 증기 대 탄소 비를 제공하도록 증기도 존재하였다. 임의적으로는, 천연 가스 투입물을 개질시켜, 애노드에 들어가기 전에 천연 가스의 CH<sub>4</sub>의 일부를 H<sub>2</sub>로 전환시킬 수 있다. 예비 개질 스테이지가 존재하는 경우, 애노드에 들어가기 전에 CH<sub>4</sub>의 약 20%를 개질시켜 H<sub>2</sub>를 생성시킬 수 있다. H<sub>2</sub>O 및 CO<sub>2</sub> 제거를 위해 애노드 산출물을 극저온 분리기를 통해 통과시켰다. 분리 후 애노드 산출물의 나머지 부분을 각 실시예의 구성에 따라 처리하였다.
- [0332] 소정 구성에서는, 정상 상태에서 다양한 값을 계산할 수 있다. 연료 전지의 경우에는, 애노드 배기 가스중 CO<sub>2</sub>의 양 및 캐소드 배기 가스중 O<sub>2</sub>의 양을 결정하였다. 연료 전지의 전압을 각 계산시 약 0.7V로 고정시켰다. 더 높은 최대 전압을 야기할 수 있는 조건에서는, 시뮬레이션간의 비교를 용이하게 하기 위하여, 추가적인 전류 대신 전압을 단계적으로 낮추었다. 약 1.45부피%의 최종 캐소드 배기 가스 CO<sub>2</sub> 농도를 달성하는데 필요한 연료 전지의 면적을 또한 결정하여, 연료 전지 면적당 전류 밀도를 결정할 수 있게 하였다.
- [0333] 다른 값 세트는 CO<sub>2</sub> 배출에 관련되었다. 발생한 총 CO<sub>2</sub> 대 극저온 분리기를 통해 포획 및 제거되는 CO<sub>2</sub>의 양(M톤/년)에 기초하여, 시스템에 의해 포획되는 CO<sub>2</sub>의 백분율을 결정하였다. 포획되지 않은 CO<sub>2</sub>는 캐소드 배기 가스의 일부로서 "손실된" CO<sub>2</sub>에 상응하였다. 포획된 CO<sub>2</sub>의 양에 기초하여, 포획되는 CO<sub>2</sub> 1톤당 요구되는 연료 전지의 면적을 또한 결정할 수 있다.
- [0334] 시뮬레이션에서 결정된 다른 값은 탄소의 양에 대한 애노드 공급물중 H<sub>2</sub>의 양 및 애노드 공급물중 N<sub>2</sub>의 양을 포함하였다. 연소 대역 및 애노드 공급물 둘 다에 사용되는 천연 가스는 전형적인 실제 천연 가스 공급물에서 예측되는 바와 같이 N<sub>2</sub>중 일부를 포함하였음에 주목한다. 그 결과, N<sub>2</sub>가 애노드 공급물에 존재하였다. 개질을 위해 애노드 공급물을 가열하는데 요구되는 열(또는 동등하게는 증기)의 양도 결정하였다. 압축 및 극저온 분리 스테이지에서의 분리에 요구되는 전력에 기초하여 유사한 전력 페널티를 결정하였다. 애노드 배기 가스의 일부를 연소 터빈으로 재순환시키는 구성의 경우, H<sub>2</sub>에 상응하는 터빈 연료의 백분율을 또한 결정하였다. 터빈의 작동, 연료 전지 및 발생하는 과량의 증기뿐만 아니라 개질 대역을 가열하고/하거나 압축하고/하거나 분리하는데 소비되는 임의의 전력에 기초하여, 시스템의 총 순 전력을 결정함으로써, 터빈 및 애노드의 투입물로서 사용되

는 천연 가스(또는 다른 연료)의 양에 기초하여 순 전기 효율을 결정할 수 있도록 하였다.

[0335] 도 10, 도 11 및 도 12는 몇 가지 변형 구성에 기초하여 수행된 시뮬레이션으로부터의 결과를 보여준다. 도 10은 기본 구성, 및 애노드 산출물의 일부를 애노드 투입물로 재순환시킨 몇 가지 구성에 상응하는 구성을 도시한다. 도 10에서, 제 1 구성(1a)은 이산화탄소 및 물 분리 스테이지(들) 후 잔류하는 애노드 산출물을 터빈 연소 대역 후에 위치하는 연소기 내로 통과시킴에 기초하였다. 이는 개질 반응용 열을 제공하였고, 또한 캐소드 투입물에 대한 추가적인 이산화탄소도 제공하였다. 구성 1a는 만졸리니 인용문헌이 배기 가스의 재순환을 기재하지 않은 것을 제외하고는 상기 만졸리니 인용문헌 같은 종래의 시스템을 대표하였다. 애노드 산출물을 연소기의 공급물로서 사용하면, 캐소드 산출물중 CO<sub>2</sub>의 함량을 약 1.45부피%로 감소시키기 위해 약 208km<sup>2</sup>의 연료 전지 면적이 예상되었다. 캐소드 배기 가스의 일부로서 손실되는 CO<sub>2</sub>의 양은 약 1111b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. CO<sub>2</sub>를 포획하는데 요구되는 큰 연료 전지 면적 때문에, 발생된 순 전력은 1시간당 약 724MW였다. 이들 값에 기초하여, 1년 작동 동안 CO<sub>2</sub> 1메가톤을 포획하는데 필요한 연료 전지의 면적 같은 고정된 양의 CO<sub>2</sub>를 포획하는데 필요한 연료 전지 면적의 양을 계산할 수 있다. 구성 1a의 경우, 요구되는 연료 전지의 면적은 약 101.4km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발전 시스템에 사용되는 모든 연료의 에너지 함량에 대한 발전의 효율은 약 58.9%였다. 비교에 의해, 임의의 형태의 탄소 포획이 없는 터빈의 전기 효율은 약 61.1%였다.

[0336] 제 2 구성 세트(2a 내지 2e)에서는, 애노드 산출물을 애노드 투입물로 재순환시켰다. 구성 2a는 애노드 투입물의 분리 후 애노드 산출물의 기본 재순환을 나타낸다. 구성 2b는 이산화탄소 분리 스테이지 전에 수성 가스 전화 반응 대역을 포함하였다. 구성 2c는 애노드 투입물 전에 개질 스테이지를 포함하지 않았다. 구성 2d는 개질 스테이지를 포함하였으나, 약 75% 대신 약 50%의 연료 이용률로 작동시켰다. 구성 2e는 약 50%의 연료 이용률로 작동시켰으며, 애노드 전에 개질 스테이지를 갖지 않았다.

[0337] 구성 2a에서 보여지는 바와 같이, 애노드 산출물을 애노드 투입물로 다시 재순환시키면, 요구되는 연료 전지 면적이 약 161km<sup>2</sup>로 감소되었다. 그러나, 캐소드 배기 가스로부터의 CO<sub>2</sub> 손실은 약 1231b CO<sub>2</sub>/MWhr로 증가하였다. 이는, 터빈 후 연소기에서의 애노드 배기 가스의 연소에 의해 추가적인 CO<sub>2</sub>가 캐소드 투입물에 첨가되지 않았다는 사실에 기인하였다. 대신, 캐소드 투입물의 CO<sub>2</sub> 함량은 연소 대역의 CO<sub>2</sub> 산출물에만 기초하였다. 구성 2a에서의 순 결과는 약 87.5km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>의 포획된 CO<sub>2</sub> 1톤당 더 낮은 연료 전지 면적, 그러나 약간 더 높은 CO<sub>2</sub> 배출량이었다. 감소된 연료 전지 면적 때문에, 생성된 총 전력은 약 661MW였다. 구성 2a에서 생성된 순 전력은 구성 1a에서의 순 전력보다 약 10% 더 낮았으나, 연료 전지 면적은 20%보다 더 많이 감소되었다. 전기 효율은 약 58.9%였다.

[0338] 구성 2b에서는, 추가적인 수성 가스 전화 반응 대역이 애노드로 전달되는 수소 함량을 증가시켰으며, 이는 애노드 반응에 필요한 연료의 양을 감소시켰다. 구성 2b에 수성 가스 전화 반응 대역을 포함시킨 결과, 요구되는 연료 전지 면적이 약 152km<sup>2</sup>로 감소되었다. 캐소드 배기 가스로부터의 CO<sub>2</sub> 손실은 약 1231b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. 포획된 CO<sub>2</sub> 1메가톤당 연료 전지의 면적은 약 82.4km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발생된 총 전력은 약 664MW였다. 전기 효율은 약 59.1%였다.

[0339] 구성 2c는 애노드에 들어가기 전에 이루어지는 연료의 개질을 제거함으로써 애노드 재순환중 수소 함량의 추가적인 이점을 취할 수 있다. 구성 2c에서, 개질은 여전히 애노드 자체 내에서 이루어질 수 있다. 그러나, 연료 전지 애노드에 들어가기 전에 별도의 개질 스테이지를 혼입시키는 종래 시스템과는 대조적으로, 구성 2c는 애노드 반응을 지속시키기 위해 최소한의 수소 함량을 제공하기 위한 재순환된 애노드 가스의 수소 함량에 의존한다. 별도의 개질 스테이지가 요구되지 않기 때문에, 개질 스테이지의 온도를 유지하는데 열 에너지를 소비하지 않았다. 구성 2c는 요구되는 연료 전지 면적을 약 149km<sup>2</sup>까지 감소시켰다. 캐소드 배기 가스로부터의 CO<sub>2</sub> 손실은 약 1221b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. 포획된 CO<sub>2</sub> 1톤당 연료 전지의 면적은 약 80.8km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 생성된 총 전력은 약 676MW였다. 전기 효율은 약 60.2%였다. 시뮬레이션 결과에 기초하여, 개질 단계를 없애는 것은 요구되는 연료 전지 면적에 대해 적은 영향을 갖는 것으로 보였으나, 전기 효율은 구성 2b에 비해 약 1%만큼 개선된 것으로 나타났다. 산업적 규모의 발전소의 경우에는, 1%의 효율 개선이라도 발전 면에서 1년에 걸쳐 막대한 이점을 나타내는 것으로 생각된다.



- [0340] 구성 2d에서는, 여전히 개질을 수행하여, 애노드에 들어가기 전에 애노드로의 메탄 투입물의 약 20%를 H<sub>2</sub>로 전환시켰다. 대신, 애노드 내에서의 연료 이용률을 약 75%에서 약 50%로 감소시켰다. 이는 요구되는 연료 전지 면적을 약 113km<sup>2</sup>로 상당히 감소시켰다. 캐소드 배기 가스로부터의 CO<sub>2</sub> 손실은 약 123lb CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. 포획된 CO<sub>2</sub> 1톤당 연료 전지의 면적은 약 61.3km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 생성된 총 전력은 약 660MW였다. 전기 효율은 약 58.8%였다. 시뮬레이션 결과에 기초하여, 연료 이용률을 감소시키면 연료 전지 면적을 상당히 감소시켰다. 추가로, 구성 2b 및 2e와 비교할 때, 구성 2d는 예기치 못하게도 목적하는 CO<sub>2</sub> 제거 수준을 달성하는데 가장 낮은 연료 전지 면적을 제공하였다.
- [0341] 구성 2e는 약 50%의 감소된 연료 이용률 및 애노드 입구 전의 개질 스테이지의 제거를 둘 다 포함하였다. 이 구성은 개선된 전기 효율 및 감소된 연료 전지 면적의 조합을 제공하였다. 그러나, 연료 전지 면적은 구성 2d에서 요구되는 연료 전지 면적보다 약간 더 컸다. 이는 놀라운 일인데, 왜냐하면 구성 2c에서 애노드 입구 전의 개질 스테이지를 제거한 결과 구성 2b에 비해 연료 전지 면적을 감소시켰기 때문이다. 이에 기초하여, 구성 2e는 구성 2d에 비해 연료 전지 면적을 더 감소시킬 것으로 예상되었다. 구성 2e에서, 캐소드 배기 가스로부터의 CO<sub>2</sub> 손실은 약 124lb CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. 포획된 CO<sub>2</sub> 1톤당 연료 전지의 면적은 약 65.0km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발생된 총 전력은 약 672MW였다. 전기 효율은 약 59.8%였다. 구성 2d는 구성 2e보다 전력을 2% 적게 발생시켰지만, 구성 2d의 연료 전지 면적은 구성 2e보다 6% 이상 더 적었음에 주목한다.
- [0342] 구성 2b 내지 2e의 시뮬레이션 결과는 애노드 연료 이용률 감소가 발전 시스템의 총 전기 효율에 영향을 끼칠 수 있는 방식을 비교한다. 구성 2d에서는 약 50%까지 연료 이용률을 감소시켜 구성 2b에 비해 연료 전지 면적을 감소시켰으나, 감소된 애노드 연료 이용률은 또한 전기 효율을 약 59.1%에서 약 58.5%로 감소시켰다. 이는, 시스템에 전달되는 연료를 효율적으로 이용하기 위해 높은 연료 이용률 값을 이용할 수 있는 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 이용률에 대한 종래의 관점과 대체적으로 일치하였다. 구성 2b 내지 2e의 시뮬레이션에서는, 총 전기 효율의 개선을 달성하기 위하여, 구성 2e에 보여지는 바와 같이 낮은 연료 이용률을 개질량 감소 및/또는 제거와 결합시킬 수 있다.
- [0343] 도 11은 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 터빈의 연소 대역으로 재순환시킴을 포함하는 추가적인 구성의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 구성 1b는 구성 1a(도 10에 도시됨)와 유사하였지만, CO<sub>2</sub> 분리 스테이지 전에 수성 가스 전화 반응 스테이지도 포함하였다. 따라서, 구성 1b는 만줄리니 인용문헌이 수성 가스 전화 반응 스테이지 또는 배기 가스의 재순환을 기재하지 않았던 것을 제외하고는 전술한 만줄리니 인용문헌 같은 종래의 시스템을 대표하였다. 약 1.45%의 캐소드 배기 가스중 CO<sub>2</sub> 농도를 획득하기 위해 요구되는 연료 전지 면적은 약 190km<sup>2</sup>였다. 캐소드 배기 가스의 일부로서 손실된 CO<sub>2</sub>의 양은 약 117lb CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. 포획된 CO<sub>2</sub> 1톤당 연료 전지의 면적은 약 97.6km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발생된 총 전력은 약 702MW였다. 전기 효율은 약 59.1%였다.
- [0344] 구성 3a, 3b 및 3d는 애노드 산출물을 터빈의 연소 대역의 투입물로서 사용한 구성에 상응한다. 이들 구성에서는, 애노드 산출물의 H<sub>2</sub> 함량을 터빈 연소 대역에서의 연료로서 사용하기 위해 이용할 수 있었다. 이는 유리한 것으로 밝혀졌는데, 왜냐하면 H<sub>2</sub>를 발생시키는데 사용되는 탄소-함유 연료가 애노드 재순환 루프(여기에서는, 생성되는 CO<sub>2</sub>의 대부분이 극저온 분리 스테이지를 통해 제거될 수 있음)에서 발생되었기 때문이다. 이는 또한 연소 대역으로 전달되는 탄소 함유 연료의 양도 감소시킬 수 있었으나, 연료 대역에서의 탄소-함유 연료의 감소는 또한 캐소드로의 투입물중 CO<sub>2</sub> 농도도 감소시킬 수 있었다.
- [0345] 구성 3a는 구성 1a와 유사한 구성이었으나, 연소 대역에 애노드 배기 가스를 재순환시켰다. 약 1.45%의 캐소드 배기 가스중 CO<sub>2</sub> 농도를 획득하기 위해 요구되는 연료 전지 면적은 약 186km<sup>2</sup>였다. 캐소드 배기 가스의 일부로서 손실된 CO<sub>2</sub>의 양은 약 114lb CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. 포획된 CO<sub>2</sub> 1톤당 연료 전지의 면적은 약 100.3km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발생된 총 전력은 약 668MW였다. 전기 효율은 약 59.7%였다. 구성 1a에 비해, 구성 3a는 더 적은 생성된 CO<sub>2</sub> 총량을 가졌다(구성 1a의 약 2.05M톤/년 대 구성 3a의 약 1.85M톤/년). 이는 연소 대역에 전달되는 탄소-함유 연료의 감소된 양에 기인하는 것으로 생각되었다. 그러나, 이는 또한 캐소드 투입물에 전달되는 CO<sub>2</sub> 농

도의 감소를 야기하는 것으로 밝혀졌으며, 이는 모델이 구성 3a의 경우 감소된 CO<sub>2</sub> 제거 효율을 보이도록 하였다. 그 결과, 캐소드 배기 가스에서 나가는 CO<sub>2</sub>의 순량은 구성 1a와 구성 3a에서 비교될만하였다. 그러나, 구성 3a는 구성 1a에 비해 몇 가지 이점을 갖는 것으로 밝혀졌다. 첫째, 구성 3a는 더 낮은 연료 전지 면적을 필요로 하여, 구성 3a의 시스템은 감소된 비용을 가질 수 있었다. 또한, 구성 3a의 시스템은 개선된 전기 효율을 갖는 것으로 밝혀졌으며, 이는 심지어 구성의 상이한 전력 산출물에 대해 조정된 후에도 더 낮은 연료 사용을 나타낼 수 있다.

[0346] 구성 3b는 구성 3a와 유사하였으나, 극저온 분리 스테이지 전에 수성 가스 전화 반응 대역을 또한 포함하였다. 약 1.45%의 캐소드 배기 가스중 CO<sub>2</sub> 농도를 획득하기 위해 요구되는 연료 전지 면적은 약 173km<sup>2</sup>였다. 캐소드 배기 가스의 일부로서 손실된 CO<sub>2</sub>의 양은 약 1241b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. 포획된 CO<sub>2</sub> 1톤당 연료 전지의 면적은 약 96.1km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발생된 총 전력은 약 658MW였다. 전기 효율은 약 59.8%였다. 구성 3b는 캐소드 배기 가스를 통해 증가된 CO<sub>2</sub> 배출가스를 갖는 것으로 밝혀졌다. 이는 연소 대역으로 전달되는 추가적인 수소에 기인한 것으로 생각되었으며, 이는 캐소드 투입물에 사용되는 연소 배기 가스중 CO<sub>2</sub> 양의 상응하는 감소를 야기할 수 있다. 그러나, 연료 전지 면적은 더 감소되었다.

[0347] 구성 3d는 구성 3b와 유사하였지만, 애노드 연료 이용률이 약 75%에서 약 50%로 감소되었다. 약 1.45%의 캐소드 배기 가스중 CO<sub>2</sub> 농도를 획득하기 위해 요구되는 연료 전지 면적은 약 132km<sup>2</sup>였다. 캐소드 배기 가스의 일부로서 손실된 CO<sub>2</sub>의 양은 약 1281b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. 포획된 CO<sub>2</sub> 1톤당 연료 전지의 면적은 약 77.4km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발생된 총 전력은 약 638MW였다. 전기 효율은 약 60.7%였다. 시뮬레이션 결과에 기초하여, 애노드에서 연료 이용률을 감소시키는 것은 구성 3b에 비해 전기 효율을 상당히 개선시키는 것으로 밝혀졌다. 이는 터빈의 연소 대역으로 전달되는 추가적인 수소 때문인 것으로 생각되었다. 비교하기 위하여, 임의의 탄소 포획이 없는 터빈의 전기 효율은 약 61.1%였다. 그러므로, 애노드 배기 가스의 연소 대역으로의 재순환과 더 낮은 연료 이용률의 조합은 탄소 포획 시스템이 없는 효율에 근접하는 전기 효율을 달성하도록 하는 것으로 밝혀졌다.

[0348] 도 12는 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 터빈의 연소 대역 및 애노드 입구 둘 다로 재순환시킴을 포함하는 추가적인 구성의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 구성 4d, 4e 및 4f는 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O의 분리(제거) 후 잔류하는 애노드 배기 가스를 애노드 산출물로의 재순환과 터빈의 연소 대역으로의 재순환 사이에서 균등하게 분할시킨 구성을 제공한다. 애노드 산출물 및 연소 대역 둘 다에 충분한 수소를 제공하기 위하여, 구성 4d 및 4e의 애노드 연료 이용률을 약 50%로 설정하였다. 구성 4d 및 4e 둘 다는 분리 스테이지 전에 수성 가스 전화 반응 대역을 포함하였다. 구성 4d는 연료가 애노드에 들어가기 전에 애노드로의 추가적인 연료 산출물을 약 20%까지 개질시키기 위한 별도의 개질 스테이지를 포함하였다. 구성 4e는 연료가 애노드 산출물에 들어가기 전에 개질 스테이지를 포함하지 않았다. 구성 4f는 구성 4e의 애노드 연료 이용률이 약 50%인데 반해 구성 4f의 애노드 연료 이용률이 약 33%인 것을 제외하고는 구성 4e와 유사하였다.

[0349] 구성 4d는 애노드 배기 가스를 애노드 투입물 및 연소 대역 둘 다로 재순환시키는 이점을 보여주는 것으로 밝혀졌다. 구성 2d에 비해, 구성 4d는 약 1% 더 큰 전기 효율을 제공하는 것으로 밝혀졌다. 구성 3d에 비해, 구성 4d는 감소된 연료 전지 면적을 제공하였다. 구성 4d에서, 약 1.45%의 캐소드 배기 가스중 CO<sub>2</sub> 농도를 획득하기 위해 요구되는 연료 전지 면적은 약 122km<sup>2</sup>였다. 캐소드 배기 가스의 일부로서 손실된 CO<sub>2</sub>의 양은 약 1261b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. 포획된 CO<sub>2</sub> 1톤당 연료 전지의 면적은 약 63.4km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발생된 총 전력은 약 650MW였다. 전기 효율은 약 59.9%였다.

[0350] 구성 4e에서 예비 개질 스테이지의 제거는 추가적인 이점을 제공하는 것으로 밝혀졌다. 약 1.45%의 캐소드 배기 가스중 CO<sub>2</sub> 농도를 획득하기 위해 요구되는 연료 전지 면적은 약 112km<sup>2</sup>였다. 캐소드 배기 가스의 일부로서 손실된 CO<sub>2</sub>의 양은 약 1261b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. 포획된 CO<sub>2</sub> 1톤당 연료 전지의 면적은 약 63.4km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발생된 총 전력은 약 665MW였다. 전기 효율은 약 61.4%였다. 전기 효율이 임의의

유형의 탄소 포획이 없는 터빈의 효율(약 61.1%)보다 실제로 더 컸음에 주목한다.

[0351] 구성 4f에서 애노드 연료 이용률을 감소시키면 연료 전지 면적을 감소시키고 전기 효율을 증가시키는 것과 관련하여 여전히 추가의 이점을 제공하는 것으로 밝혀졌다. 약 1.45%의 캐소드 배기 가스중 CO<sub>2</sub> 농도를 달성하는데 요구되는 연료 전지 면적은 약 86km<sup>2</sup>이었다. 캐소드 배기 가스의 일부로서 손실된 CO<sub>2</sub>의 양은 약 1261b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. 포획된 CO<sub>2</sub> 1톤당 연료 전지의 면적은 약 50.6km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발생한 총 전력은 약 654MW였다. 전기 효율은 약 62.4%였다. 전기 효율이, 임의의 유형의 탄소 포획이 없는 터빈의 효율(61.1%)보다 실제로 더 큼에 주목한다.

[0352] 구성 5d, 5e 및 5f는 구성 5d, 5e 및 5f에서의 배기 가스 재순환률이 약 45%로 증가된 것을 제외하고는 구성 4d, 4e 및 4f와 유사하였다. 구성 5d, 5e 및 5f는 구성 4d, 4e 및 4f와 비교할 때 유사한 연료 전지 면적을 가졌고, 유사한 전기 효율을 제공하는 것으로 보였다. 그러나, 배기 가스 재순환률을 약 30%에서 약 45%로 증가시킨 경우, 캐소드 배기 가스를 통해 시스템에서 나간 CO<sub>2</sub>의 순량은 약 15% 내지 약 20%만큼 감소하였다.

[0353] 도 13은 몇 가지 변형 구성 및 다른 작동 조건에 기초하여 수행된 시뮬레이션으로부터의 결과를 보여준다. 도 13의 시뮬레이션은 도 10을 참조하여 앞서 설명한 시뮬레이션보다 더 많은 인자를 고려하였다. 다르게는, 도 13에 도시된 시뮬레이션은 몇 가지 변화가 추가되었으나 도 10에 도시된 시뮬레이션과 유사하였다. 예를 들어, 도 10의 시뮬레이션에 사용된 약 0.7볼트 이외에 약 0.65볼트에서 각각의 경우를 시뮬레이션하였다. 또한, 각 구성에 0% EGR의 경우를 추가하였다. 도 13은 기본 구성뿐만 아니라 애노드 산출물의 일부를 애노드 투입물로 재순환시킨 몇 가지 구성에 상응하는 구성을 보여준다. 표시되지 않는 한, 배기 가스 재순환은 도 10에 도시된 시뮬레이션 결과의 경우 약 35%였다. 도 12에서, 각각의 구성은 도시된 바와 같이 약 35% 또는 0% EGR로 실행되었다.

[0354] 상이한 구성 및 다른 작동 조건 이외에, 도 13은 도 10에 도시되지 않은 추가적인 매개변수를 보여준다. 예를 들면, 도 13은 연료 이용률 근사치, 증기 대 탄소 비 근사치, EGR 재순환 %, 애노드 배기 가스를 처리하기 위하여 구성에 수성 가스 전화 반응기가 존재하는지의 여부, 내부 개질 % 근사치, 캐소드 입구의 CO<sub>2</sub> 농도 근사치, 및 캐소드 배기 가스중 O<sub>2</sub> 농도 근사치를 포함한다.

[0355] 도 13에서, 칼럼(1304)에 도시된 제 1 구성(0)은 이산화탄소 및 물 분리 스테이지(들) 후 나머지 애노드 산출물을 터빈 연소 대역 후에 위치하는 연소기 내로 통과시킴에 기초하였다. 이는 개질 반응에 열을 제공하였고, 또한 캐소드 투입물에 추가적인 이산화탄소를 제공하였다. 구성 0은 EGR을 포함하지 않았다. 구성 0은 EGR을 포함하지 않은 다른 시뮬레이션과 비교하는데 유용한 기본 경우를 제공하였다. 구성 0은 전술한 만줄리니 인용문헌 같은 종래의 시스템을 대표하였다. 연소기의 공급물로서 애노드 산출물을 사용하면, 캐소드 산출물의 CO<sub>2</sub> 함량을 약 1.5부피%까지 감소시키기 위하여 약 185km<sup>2</sup>의 연료 전지 면적이 예상되었다. 캐소드 배기 가스의 일부로서 손실된 CO<sub>2</sub>의 양은 약 2121b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. CO<sub>2</sub>를 포획하는데 요구되는 큰 연료 전지 면적 때문에, 발생한 순 전력은 1시간당 약 679MW였다. 이들 값에 기초하여, 1년의 작동 동안 CO<sub>2</sub> 1M톤을 포획하는데 필요한 연료 전지의 면적 같은, 고정된 양의 CO<sub>2</sub>를 포획하는데 필요한 연료 전지 면적의 양을 계산할 수 있다. 구성 0의 경우, 1메가톤을 포획하는데 요구되는 연료 전지의 면적은 약 113.9km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발전 시스템에 사용되는 모든 연료의 에너지 함량에 대한 발전 효율은 약 57.6%였다.

[0356] 도 13에서, 칼럼(1306)에 도시된 제 2 기본 구성(1a)은 이산화탄소 및 물 분리 스테이지(들) 후 나머지 애노드 산출물을 터빈 연소 대역 후에 위치하는 연소기 내로 통과시킴에 기초하였다. 이는 개질 반응에 열을 제공하였고, 또한 캐소드 투입물에 추가적인 이산화탄소를 제공하였다. 구성 1a는 만줄리니 인용문헌이 배기 가스의 재순환을 기재하지 않은 것을 제외하고는 상기 만줄리니 인용문헌 같은 종래의 시스템을 대표하였다. 연소기의 공급물로서 애노드 산출물을 사용하면, 캐소드 산출물의 CO<sub>2</sub> 함량을 약 1.5부피%까지 감소시키기 위하여 약 215km<sup>2</sup>의 연료 전지 면적이 예상되었다. 캐소드 배기 가스의 일부로서 손실된 CO<sub>2</sub>의 양은 약 1481b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. CO<sub>2</sub>를 포획하는데 요구되는 큰 연료 전지 면적 때문에, 발생한 순 전력은 1시간당 약 611MW였다. 이들 값에 기초하여, 1년의 작동 동안 CO<sub>2</sub> 1M톤을 포획하는데 필요한 연료 전지의 면적 같은, 고정된 양의 CO<sub>2</sub>를 포획

하는데 필요한 연료 전지 면적의 양을 계산할 수 있다. 구성 1a의 경우, 1메가톤을 포획하는데 요구되는 연료 전지의 면적은 약  $114.2\text{km}^2$  \*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발전 시스템에 사용되는 모든 연료의 에너지 함량에 대한 발전 효율은 약 51.2%였다. 약 35%로 배기 가스 재순환을 첨가한 결과를 보여주기 위하여 기본 경우 1a를 기본 경우 0과 비교할 수 있다.

[0357] 도 13에서, 칼럼(1308)에 도시된 제 3 기본 구성(1b)은 이산화탄소 및 물 분리 스테이지(들) 후 나머지 애노드 산출물을 터빈 연소 대역 후에 위치하는 연소기 내로 통과시킴에 기초하였다. 이는 개질 반응에 열을 제공하였고, 또한 캐소드 투입물에 추가적인 이산화탄소를 제공하였다. 기본 구성 1b는 이산화탄소 및 물 분리 단계(들) 전에 애노드 배기 가스를 처리하기 위하여 수성 가스 전화 반응기를 포함하였다. 구성 1b는 만줄리니 인용문헌이 배기 가스의 재순환 또는 수성 가스 전화 반응기를 기재하지 않은 것을 제외하고는 만줄리니 인용문헌 같은 종래의 시스템을 대표하였다. 연소기의 공급물로서 애노드 산출물을 사용하면, 캐소드 산출물의 CO<sub>2</sub> 함량을 약 1.5부피%까지 감소시키기 위하여 약  $197\text{km}^2$ 의 연료 전지 면적이 예상되었다. 캐소드 배기 가스의 일부로서 손실된 CO<sub>2</sub>의 양은 약 147.51b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. CO<sub>2</sub>를 포획하는데 요구되는 큰 연료 전지 면적 때문에, 발생된 순 전력은 약 609MW였다. 이들 값에 기초하여, 1년의 작동 동안 CO<sub>2</sub> 1M톤을 포획하는데 필요한 연료 전지의 면적 같은, 고정된 양의 CO<sub>2</sub>를 포획하는데 필요한 연료 전지 면적의 양을 계산할 수 있다. 구성 1b의 경우, 1메가톤을 포획하는데 요구되는 연료 전지의 면적은 약  $107.6\text{km}^2$  \*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발전 시스템에 사용되는 모든 연료의 에너지 함량에 대한 발전 효율은 약 52.1%였다. 수성 가스 전화 반응기를 추가한 결과를 보여주기 위하여 기본 경우 1b를 기본 경우 1a와 비교할 수 있다. 수성 가스 전화 반응기 추가 및 약 35% 배기 가스 재순환의 결과를 보여주기 위하여, 기본 경우 1b를 기본 경우 0과 비교할 수 있다.

[0358] 구성의 제 2 세트(2a 내지 2e)에서는, 애노드 산출물을 애노드 투입물로 재순환시켰다. 구성 2a는 물 및 이산화탄소 분리 후 애노드 산출물을 애노드 투입물로 기본 재순환시킴을 나타내었다. 구성 2b는 이산화탄소 분리 스테이지 전에 수성 가스 전화 반응 대역을 포함하였다. 구성 2c는 애노드 투입물 전에 개질 스테이지를 포함하지 않았다. 구성 2d는 개질 스테이지를 포함하였으나, 약 75% 대신 약 50%의 연료 이용률로 작동시켰다. 구성 2e는 약 50%의 연료 이용률로 작동시켰으나, 애노드 전에 개질 스테이지를 갖지 않았다. 구성 2g는 개질 스테이지를 포함하였고, 구성 2b 및 2d와 유사하였으나, 약 30%의 연료 이용률로 작동시켰다.

[0359] 2a 구성에 대한 세 가지 변형을 시뮬레이션하였다. 칼럼(1310)에 도시된 2a 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함한 구성에 기초한 한편, 칼럼(1312)에 도시된 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하지 않은 구성에 기초하였다. 칼럼(1312)에 도시된 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하지 않고 약 0.65의 작동 전압을 유지시킨 구성에 기초하였다. 칼럼(1310, 1312)의 시뮬레이션에서는, 약 0.65의 작동 전압을 유지하였다.

[0360] 구성 2a에 도시된 바와 같이, 애노드 산출물을 애노드 투입물로 다시 재순환시키면, 관련 기본 경우에 비해 요구되는 연료 전지 면적이 감소되었다. 칼럼(1310)에서, 요구되는 연료 전지 면적은 약  $174\text{km}^2$ 였고, 칼럼(1312)에서 요구되는 연료 전지 면적은 약  $169\text{km}^2$ 였으며, 칼럼(1314)에서 요구되는 연료 전지 면적은 약  $131\text{km}^2$ 였다. 볼 수 있는 바와 같이, 더 낮은 전압에서 더 낮은 연료 전지 면적이 생성되었다.

[0361] 2a 구성은 캐소드 배기 가스로부터의 CO<sub>2</sub> 배출을 변화시켰다. 칼럼(1310)에서 CO<sub>2</sub> 배출은 약 1411b CO<sub>2</sub>/MWhr 이었고, 칼럼(1312)에서 CO<sub>2</sub> 배출은 약 217.91b CO<sub>2</sub>/MWhr 이었고, 칼럼(1314)에서 CO<sub>2</sub> 배출은 약 1411b CO<sub>2</sub>/MWhr 이었다.

[0362] 구성 2b에서는, 물 및 이산화탄소 제거 전에 애노드 출구 유동을 처리하기 위하여 수성 가스 전화 반응 대역을 포함하였다. 2b 구성에 대한 세 가지 변형을 시뮬레이션하였다. 칼럼(1316)에서 보여지는 2b 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함한 구성에 기초한 한편, 칼럼(1318)에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하지 않는 구성에 기초하였다. 칼럼(1320)에 도시된 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하지 않고 약 0.65의 작동 전압을 유지한 구성에 기초하였다. 칼럼(1316, 1318)의 시뮬레이션에서는 약 0.65의 작동 전압을 유지하였다.

[0363] 구성 2b에서, 추가적인 수성 가스 전화 반응 대역은 애노드로 전달되는 수소 함량을 증가시켰고, 이는 애노드 반응에 필요한 연료의 양을 감소시켰다. 구성 2b에 수성 가스 전화 반응 대역을 포함시키면, 칼럼(1316)에서는 약  $168\text{km}^2$ , 칼럼(1318)에서는 약  $164\text{km}^2$ , 칼럼(1320)에서는 약  $129\text{km}^2$ 의 연료 전지 면적을 요구하였다. 캐소드



배기 가스로부터의 CO<sub>2</sub> 손실은 칼럼(1316)에서 약 1431b CO<sub>2</sub>/MWhr이었고, 칼럼(1318)에서 약 217.51b CO<sub>2</sub>/MWhr이었고, 칼럼(1320)에서 약 218.71b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. 포획된 CO<sub>2</sub> 1메가톤당 연료 전지의 면적은 칼럼(1316)에서 약 101.1km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였고, 칼럼(1318)에서 약 114.9km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였고, 칼럼(1320)에서 약 90.1km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다.

[0364] 구성 2c는 애노드에 들어가기 전에 이루어지는 연료의 개질을 제거함으로써 애노드 재순환중 수소 함량의 추가적인 이점을 취할 수 있다. 구성 2c에서, 개질은 여전히 애노드 자체 내에서 이루어질 수 있다. 그러나, 연료 전지 애노드에 들어가기 전에 별도의 개질 스테이지를 혼입하는 종래의 시스템과는 대조적으로, 구성 2c는 애노드 반응을 지속시키기 위한 최소 수소 함량을 제공하기 위해 재순환된 애노드 가스의 수소 함량에 의존하였다. 별도의 개질 스테이지가 요구되지 않기 때문에, 개질 스테이지의 온도를 유지하기 위해 열 에너지를 소비하지 않았다.

[0365] 2c 구성에 대한 네 가지 변형을 시뮬레이션하였다. 칼럼(1322, 1324)에서 보여지는 2c 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하는 구성에 기초한 반면, 칼럼(1326, 1328)에 도시된 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하지 않는 구성에 기초하였다. 칼럼(1322, 1326)에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 약 0.70의 작동 전압을 유지시킨 시뮬레이션에 기초하였다. 칼럼(1324, 1328)에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 약 0.65의 작동 전압을 유지한 시뮬레이션에 기초하였다.

[0366] 구성 2c는 칼럼(1322)의 경우 약 161km<sup>2</sup>, 칼럼(1324)의 경우 약 126km<sup>2</sup>, 칼럼(1326)의 경우 약 157km<sup>2</sup>, 및 칼럼(1328)의 경우 약 126km<sup>2</sup>의 연료 전지 면적을 요구하였다. 캐소드 배기 가스로부터의 CO<sub>2</sub> 손실은 칼럼(1322)의 경우 약 142.51b CO<sub>2</sub>/MWhr이었고, 칼럼(1324)에서 약 143.51b CO<sub>2</sub>/MWhr이었고, 칼럼(1326)에서 약 223.71b CO<sub>2</sub>/MWhr이었고, 칼럼(1328)에서 약 225.51b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다.

[0367] 구성 2d에서는, 여전히 개질을 수행하여 구성 2b와 유사한 배열에서 애노드에 들어가기 전에 애노드로의 메탄 투입물의 약 20%를 H<sub>2</sub>로 전환시켰다. 2b와는 대조적으로, 애노드 내에서의 연료 이용률은 약 75%에서 약 50%로 감소시켰다.

[0368] 2d 구성에 대한 네 가지 변형을 시뮬레이션하였다. 칼럼(1330, 1332)에 도시된 2d 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함한 구성에 기초한 반면, 칼럼(1334, 1336)에 도시된 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하지 않은 구성에 기초하였다. 칼럼(1330, 1334)에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 약 0.70의 작동 전압을 유지시킨 시뮬레이션에 기초하였다. 칼럼(1332, 1336)에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 약 0.65의 작동 전압을 유지한 시뮬레이션에 기초하였다.

[0369] 구성 2e는 2d의 감소된 연료 이용률(약 50%) 및 2c의 애노드 입구 전의 개질 스테이지의 제거를 둘 다 포함하였다. 2e 구성에 대한 네 가지 변형을 시뮬레이션하였다. 칼럼(1338, 1340)에 도시된 2e 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함한 구성에 기초한 반면, 칼럼(1342, 1344)에 도시된 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하지 않은 구성에 기초하였다. 칼럼(1338, 1342)에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 약 0.70의 작동 전압을 유지시킨 시뮬레이션에 기초하였다. 칼럼(1340, 1344)에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 약 0.65의 작동 전압을 유지한 시뮬레이션에 기초하였다.

[0370] 구성 2g에서는, 여전히 개질을 수행하여 구성 2b 및 2d와 유사한 배열에서 애노드에 들어가기 전에 애노드로의 메탄 투입물의 약 20%를 H<sub>2</sub>로 전환시켰다. 2b 및 2d와는 대조적으로, 애노드 내에서의 연료 이용률은 약 75% 또는 약 50%에서 약 30%로 감소시켰다.

[0371] 칼럼(1350)은 도 9에 도시된 구성과 유사한 구성으로 수행된 시뮬레이션의 결과를 기재한다. 도 9에서, EGR(998)은 먼저 캐소드, 이어 HRSG(854)를 통해 진행된다. 이 구성의 기본 경우 시뮬레이션을 수행하였다. 기본 경우로부터의 시뮬레이션 결과가 칼럼(1309)에 기재되어 있다. 기본 경우와는 대조적으로, 칼럼(1350)의 시뮬레이션된 결과는 약 75%보다는 약 50%의 연료 이용률에 기초하였다. 또한, 칼럼(1350)의 시뮬레이션 결과는 여전히 개질을 수행하여 구성 2b 및 2d와 유사한 배열에서 애노드에 들어가기 전에 애노드로의 메탄 투입물의 약 20%를 H<sub>2</sub>로 전환시킨 구성에 기초하였다.

[0372] 도 14는 몇 가지 변형 구성 및 다른 작동 조건에 기초하여 실행된 시뮬레이션으로부터의 결과를 보여준다. 도

14의 시뮬레이션은 도 11을 인용하여 앞서 설명한 시뮬레이션보다 더 많은 인자를 고려하였다. 다르게는, 도 14에 도시된 시뮬레이션은 몇 가지 변형이 가해진 것을 제외하고는 도 11에 도시된 시뮬레이션과 유사하였다. 예를 들어, 도 11의 시뮬레이션에 사용된 약 0.7볼트 이외에 약 0.65볼트에서 각각의 경우를 시뮬레이션하였다. 또한, 각 구성에 0% EGR의 경우를 첨가하였다. 도 14는 기본 구성뿐만 아니라 애노드 산출물의 일부를 터빈의 연소 대역으로 재순환시킨 몇 가지 구성에 상응하는 구성을 보여준다. 표시되지 않는 한, 배기 가스 재순환은 도 11에 도시된 시뮬레이션 결과의 경우 약 35%였다. 도 14에서, 각각의 구성은 도시된 바와 같이 35% 또는 0% EGR로 실행되었다.

[0373] 상이한 구성 및 다른 작동 조건 이외에, 도 14는 도 11에 도시되지 않은 추가적인 매개변수를 보여준다. 예를 들면, 도 14는 연료 이용률 근사치, 증기 대 탄소 비 근사치, EGR %, 애노드 배기 가스를 처리하기 위하여 구성에 수성 가스 전화 반응기가 존재하는지의 여부, 내부 개질 % 근사치, 캐소드 입구의 CO<sub>2</sub> 농도 근사치, 및 캐소드 배기 가스중 O<sub>2</sub> 농도 근사치를 포함한다.

[0374] 도 14는 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 터빈의 연소 대역으로 재순환시킴을 포함하는 추가적인 구성의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 도 14에서, 구성 1b(칼럼 1404)는 구성 1a(칼럼 1406)와 유사하지만, CO<sub>2</sub> 분리 스테이지 전에 수성 가스 전화 반응 스테이지를 포함하였다. 따라서, 구성 1b는 만졸리니 인용문헌이 수성 가스 전화 반응 스테이지 또는 배기 가스의 재순환을 기재하지 않은 것을 제외하고는 상기 만졸리니 인용문헌 같은 종래의 시스템을 대표하였다. 1b 구성의 경우, 약 1.45%의 캐소드 배기 가스중 CO<sub>2</sub> 함량을 획득하는데 요구되는 연료 전지 면적은 약 197km<sup>2</sup>였다. 캐소드 배기 가스의 일부로서 손실된 CO<sub>2</sub>의 양은 약 1471b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. CO<sub>2</sub>의 1톤당 연료 전지의 면적은 약 107.6km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 발생된 총 전력은 약 609MW였다. 전기 효율은 약 52.1%였다.

[0375] 구성 3a, 3b 및 3d는 애노드 산출물을 터빈의 연소 대역의 투입물로서 사용한 구성에 상응한다. 이들 구성에서는, 터빈 연소 대역의 연료로서 사용하기 위하여 애노드 산출물의 H<sub>2</sub> 함량을 이용할 수 있었다. 이는 유리한 것으로 밝혀졌는데, 왜냐하면 H<sub>2</sub>를 생성시키는데 사용된 탄소-함유 염료가 애노드 재순환 루프에서 생성되었기 때문이다. 이 루프에서 생성되는 CO<sub>2</sub>의 대부분은 극저온 분리 스테이지를 통해 제거될 수 있다. 이는 또한 연소 대역으로 전달되는 탄소 함유 연료의 양을 감소시킬 수 있으나, 연소 대역에서 탄소-함유 연료의 감소는 또한 캐소드로의 투입물중 CO<sub>2</sub>의 농도를 감소시킬 수 있었다.

[0376] 구성 3a는 구성 1a와 유사한 구성이었으나, 애노드 배기 가스의 연소 대역으로의 재순환을 가졌다. 3a 구성에 대한 네 가지 변형을 시뮬레이션하였다. 칼럼(1410, 1412)에 도시된 3a 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함한 구성에 기초한 반면, 칼럼(1414, 1416)에 도시된 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하지 않는 구성에 기초하였다. 칼럼(1410, 1414)에 도시된 시뮬레이션 결과는 약 0.70의 작동 전압을 유지한 시뮬레이션에 기초하였다. 칼럼(1412, 1416)에 도시된 시뮬레이션 결과는 약 0.65의 작동 전압을 유지한 시뮬레이션에 기초하였다.

[0377] 칼럼(1410)은 칼럼(1406)에 도시된 1a 기본 경우와 가장 유사한 구성으로부터 생성된 시뮬레이션 결과를 보여준다. 약 1.45%의 캐소드 배기 가스중 CO<sub>2</sub> 농도를 획득하는데 요구되는 연료 전지 면적은 약 179km<sup>2</sup>였다. 캐소드 배기 가스의 일부로서 손실된 CO<sub>2</sub>의 양은 약 150.41b CO<sub>2</sub>/MWhr이었다. 포획된 CO<sub>2</sub> 1톤당 연료 전지의 면적은 약 116.3km<sup>2</sup>\*년/M톤-CO<sub>2</sub>였다. 생성된 총 전력은 약 599MW였다. 전기 효율은 약 55.5%였다. 구성 1a에 비해 구성 3a는 더 낮은 포획된 CO<sub>2</sub> 총량(구성 1a의 약 1.88M톤/년 대 구성 3a의 약 1.54M톤/년)을 가졌다. 이는 연소 대역으로 전달되는 탄소-함유 연료의 감소된 양에 기인하는 것으로 생각되었다. 그러나, 이는 또한 캐소드 투입물로 전달되는 CO<sub>2</sub> 농도를 감소시키는 것으로 밝혀졌으며, 이는 모델이 구성 3a의 경우 감소된 CO<sub>2</sub> 제거 효율을 나타내도록 하였다. 구성 3a는 구성 1a에 비해 몇 가지 이점을 갖는 것으로 밝혀졌다. 첫째, 구성 3a는 더 낮은 연료 전지 면적을 요구하여, 구성 3a의 시스템이 감소된 비용을 가질 수 있었다. 또한, 구성 3a의 시스템은 개선된 전기 효율을 갖는 것으로 밝혀졌으며, 이는 구성의 상이한 전력 산출에 대해 조정된 후에도 더 낮은 연료 이용률을 나타낼 수 있다.

[0378] 구성 3b는 구성 3a와 유사하였지만, 또한 극저온 분리 스테이지 전에 수성 가스 전화 반응 대역을 포함하였다. 3b 구성에 대한 네 가지 변형을 시뮬레이션하였다. 칼럼(1418, 1420)에서 보여지는 3b 시뮬레이션 결과는 EGR

을 포함한 구성에 기초한 한편, 칼럼(1422, 1424)에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하지 않는 구성에 기초하였다. 칼럼(1418, 1422)에 도시된 시뮬레이션 결과는 약 0.70의 작동 전압을 유지한 구성에 기초하였다. 칼럼(1420, 1424)에 도시된 시뮬레이션 결과는 약 0.65의 작동 전압을 유지한 시뮬레이션에 기초하였다.

[0379] 도 11에 도시된 시뮬레이션에서와 같이, 구성 3b는 캐소드 배기 가스를 통해 증가된 CO<sub>2</sub> 배출을 갖는 것으로 밝혀졌다. 이는 연소 대역으로 전달되는 추가적인 수소에 기인하는 것으로 생각되며, 이는 캐소드 투입물에 사용되는 CO<sub>2</sub> 연소 배기 가스의 양의 상응하는 감소를 초래할 수 있다. 그러나, 연료 전지 면적은 추가로 감소되었다.

[0380] 구성 3d는 구성 3b와 유사하였으나, 애노드 연료 이용률을 약 75%에서 약 50%로 감소시켰다. 3d 구성에 대한 네 가지 변형을 시뮬레이션하였다. 칼럼(1426, 1428)에서 보여지는 3d 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하는 구성에 기초한 반면, 칼럼(1430, 1432)에 도시된 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하지 않는 구성에 기초하였다. 칼럼(1426, 1430)에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 약 0.70의 작동 전압을 유지시킨 시뮬레이션에 기초하였다. 칼럼(1428, 1432)에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 약 0.65의 작동 전압을 유지한 시뮬레이션에 기초하였다.

[0381] 구성 3g는 구성 3b와 유사하였으나, 애노드 연료 이용률을 약 75%에서 약 30%로 감소시켰다.

[0382] 칼럼(1436)은 도 9에 도시된 구성과 유사한 구성으로 수행된 시뮬레이션의 결과를 도시한다. 도 9에서, EGR(998)은 먼저 캐소드, 이어 HRSG(854)를 통해 진행된다. 이 구성의 기본 경우 1a 시뮬레이션을 수행하였다. 기본 경우 1a로부터의 시뮬레이션 결과가 도 13의 칼럼(1309)에 기재되어 있다. 기본 경우와는 대조적으로, 칼럼(1436)의 시뮬레이션된 결과는 여전히 개질을 수행하여 구성 3b 및 3d와 유사한 배열에서 애노드에 들어가기 전에 애노드로의 메탄 투입물의 약 20%를 H<sub>2</sub>로 전환시킨 구성에 기초하였다.

[0383] 도 15는 몇 가지 변형 구성 및 다른 작동 조건에 기초하여 실행된 시뮬레이션으로부터의 결과를 보여준다. 도 15의 시뮬레이션은 도 12를 인용하여 앞서 설명한 시뮬레이션보다 더 많은 인자를 고려하였다. 구성 4d 및 4e는 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O 분리(제거) 후 나머지 애노드 배기 가스를 애노드 투입물로의 재순환과 터빈의 연소 대역으로의 재순환 사이에서 균일하게 분할한 구성을 나타낸다. 애노드 투입물 및 연소 대역 둘 다에 충분한 수소를 제공하기 위하여, 구성 4d 및 4e의 애노드 연료 이용률을 약 50%로 설정하였다. 구성 4d 및 4e는 둘 다 분리 스테이지 전에 수성 가스 전화 반응 대역을 포함하였다. 구성 4d는 연료가 애노드에 들어가기 전에 애노드로의 추가적인 연료 투입물의 약 20%를 개질시키기 위하여 별도의 개질 스테이지를 포함하였다. 구성 4e는 연료가 애노드 투입물에 들어가기 전에 개질 스테이지를 포함하지 않았다.

[0384] 4d 구성에 대한 네 가지 변형을 시뮬레이션하였다. 칼럼(1510, 1512)에 도시된 4d 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하는 구성에 기초한 반면, 칼럼(1514, 1516)에 도시된 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하지 않는 구성에 기초하였다. 칼럼(1510, 1514)에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 약 0.70의 작동 전압을 유지한 시뮬레이션에 기초하였다. 칼럼(1512, 1516)의 시뮬레이션 결과는 약 0.65의 작동 전압을 유지한 시뮬레이션에 기초하였다.

[0385] 4e 구성에 대한 다섯 가지 변형을 시뮬레이션하였다. 칼럼(1520, 1522)에 도시된 4e 시뮬레이션 결과는 약 35%의 EGR을 포함하는 구성에 기초한 반면, 칼럼(1524, 1526)에 도시된 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하지 않는 구성에 기초하였다. 칼럼(1528)의 4e 시뮬레이션은 약 45% EGR을 포함하는 구성이었다. 칼럼(1520, 1524 및 1528)에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 약 0.70의 작동 전압을 유지한 시뮬레이션에 기초하였다. 칼럼(1522, 1526)에 도시된 시뮬레이션 결과는 약 0.65의 작동 전압을 유지한 시뮬레이션에 기초하였다.

[0386] 구성 4f는 구성 4e에서의 약 50% 이용률과는 대조적으로 구성 4f에서의 애노드 연료 이용률이 약 33%인 것을 제외하고는 구성 4e와 유사하였다. 4e 구성에 대한 네 가지 변형을 시뮬레이션하였다. 칼럼(1530, 1532)에서 보여지는 4f 시뮬레이션 결과는 약 35% EGR을 포함한 구성에 기초한 것인 반면, 칼럼(1534, 1536)에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 EGR을 포함하지 않는 구성에 기초하였다. 칼럼(1530, 1534)에 도시된 시뮬레이션 결과는 약 0.70의 작동 전압을 유지시킨 시뮬레이션에 기초하였다. 칼럼(1532, 1536)에 도시된 시뮬레이션 결과는 약 0.65의 작동 전압을 유지한 시뮬레이션에 기초하였다.

[0387] 칼럼(1538)은 도 9에 도시된 구성과 유사한 구성으로 실행된 시뮬레이션의 결과를 기재한다. 도 9에서, EGR(998)은 먼저 캐소드, 이어 HRSG(854)를 통해 진행된다. 이 구성의 기본 경우 1a' 시뮬레이션을 수행하였다. 기본 경우 1a'으로부터의 시뮬레이션 결과가 도 13의 칼럼(1209)에 기재되어 있다. 기본 경우와는 대조적으로, 칼럼(1438)의 시뮬레이션된 결과는 약 75%보다는 약 50%의 연료 이용률에 기초하였다. 또한,

칼럼(1438)의 시물레이션 결과는 여전히 개질을 수행하여 구성 4b 및 4d와 유사한 배열에서 애노드에 들어가기 전에 애노드로의 메탄 투입물의 약 20%를 H<sub>2</sub>로 전환시킨 구성에 기초하였다.

[0388] 실시예 - 터빈 및 MCFC에서의 저 BTU 가스의 사용

[0389] 도 18A 및 도 18B는 캐소드 배기 가스의 일부를 제공하기 위하여 MCFC 및 연소 터빈 둘 다를 포함하는 다양한 구성에서 수행된 추가적인 시물레이션으로부터의 데이터를 제공한다. 도 18A 및 도 18B에 도시된 시물레이션 결과에서는, MCFC 애노드, 연소 터빈 또는 둘 다에 전달되는 연료의 적어도 일부를 약 20%의 불활성 물질(CO<sub>2</sub> 또는 N<sub>2</sub>) 또는 약 35%의 불활성 물질(CO<sub>2</sub>)을 함유하는 "저 BTU 연료"로서 시물레이션하였다. 도 18A 및 도 18의 각 컬럼 꼭대기 근처의 "경우" 표시는 상기 제공된 경우의 표기에 상응한다.

[0390] 도 18A에서, 데이터는 연소 터빈으로의 연료의 적어도 일부가 약 20%의 불활성 물질을 함유한, 수행된 시물레이션에 상응한다. 처음 4개의 칼럼은 CO<sub>2</sub>가 불활성 화합물인 시물레이션에 상응한 한편, 다음 4개의 칼럼은 N<sub>2</sub>가 불활성 화합물인 시물레이션에 상응한다. 4개의 칼럼은 애노드 배기 가스(H<sub>2</sub>를 함유함)를 a) 캐소드에 열을 제공하기 위하여 버너로, b) 애노드로, c) 연소 터빈 제너레이터(CTG)의 연소 대역으로, 또한 d) 애노드와 연소 터빈 제너레이터 둘 다로 재순환시킨 구성에 상응한다. 도 18A에 도시된 바와 같이, 약 20%의 불활성 물질을 갖는 연료를 사용하면 연소 터빈의 작동에 온화한 영향만을 갖는 것으로 밝혀졌다. 불활성 물질이 연료에서 희석제로서 작용하지만, 터빈 및/또는 MCFC는 터빈으로의 연료가 더 낮은 불활성 화합물 함량을 갖는 시물레이션에서의 터빈 및 MCFC의 성능과 유사한 방식으로 성능을 발휘한 것으로 밝혀졌다. 애노드 입구 및/또는 연소 터빈의 연소 대역으로의 애노드 재순환의 영향은 다른 시물레이션과 비교할 때 도 18A에 도시된 시물레이션에서의 영향과 유사한 것으로 밝혀졌다.

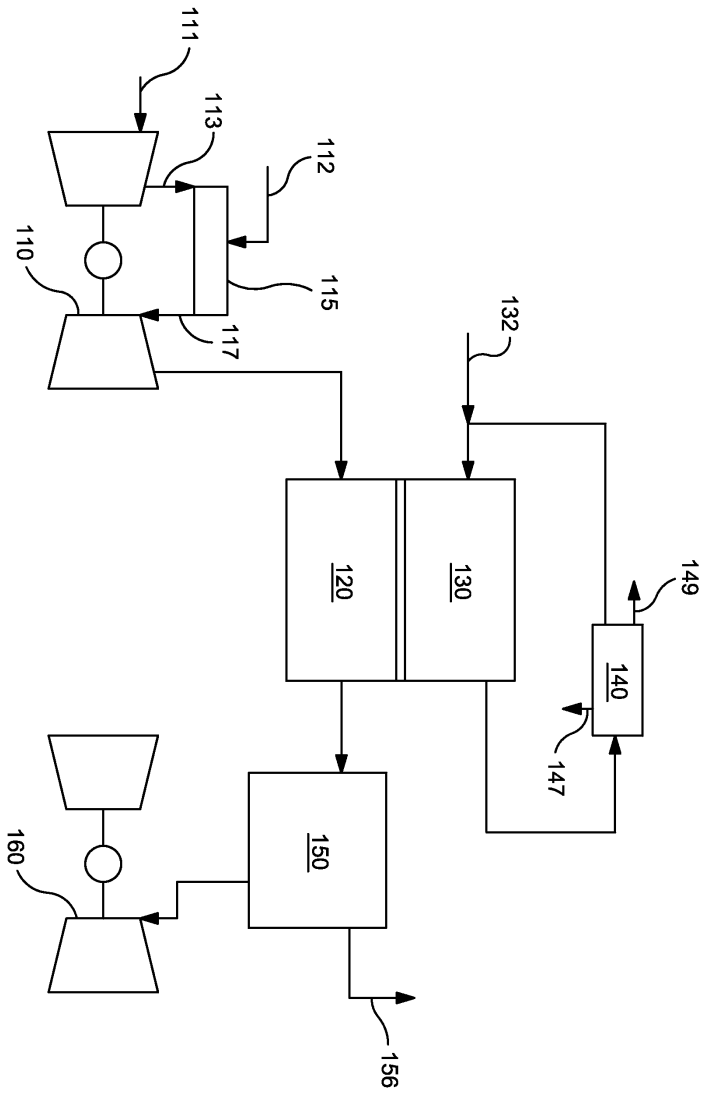
[0391] 도 18B에서, 데이터는 터빈으로의 연료가 약 35부피%의 CO<sub>2</sub>를 함유하거나, 애노드 입구로의 연료가 약 35부피%의 CO<sub>2</sub>를 함유하거나, 또는 애노드 입구 및 터빈 둘 다로의 연료가 약 35부피%의 CO<sub>2</sub>를 함유하는, 수행된 시물레이션에 상응한다. 약 35부피%의 CO<sub>2</sub>를 함유한 연료를 연소 터빈용 연료로서 사용하는 구성의 경우에는, 칼럼 2개의 결과만이 도 18B에 기재되어 있다. 도 18B에 기재된 칼럼은 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 연소 터빈으로 재순환시킨 구성에 상응한다. 대조용 구성 및 애노드 배기 가스를 애노드 입구로만 재순환시킨 구성의 경우에는 데이터 칼럼이 도 18B에 기재되어 있지 않은데, 왜냐하면 이 시물레이션이 약 35부피%의 CO<sub>2</sub>를 함유하는 연료로는 터빈의 연소 반응이 유지될 수 없음을 나타내었기 때문이다. 그러나, 애노드 배기 가스의 일부가 연소 대역으로 재순환된 구성의 경우, 도 18B에서의 시물레이션은 애노드 배기 가스의 재순환된 부분의 H<sub>2</sub> 함량이 터빈의 인화성의 범위를 확장시켰음을 보여주었다. 이들 시물레이션에서, 확장된 인화성의 범위는 터빈이 저 BTU 연료를 연소시키도록 한 것으로 밝혀졌고, 이는 정상 상태로 수렴되는 시물레이션을 허용하였다. 그 결과, 도 18B는 MCFC를 연소 터빈과 통합하는 잠재적인 이점을 입증하는 것으로 보인다. 몇몇 양태에서, 높은 불활성 화합물 수준을 갖는 연료의 경우, 애노드 배기 가스로부터의 H<sub>2</sub>의 일부를 연소 터빈 내로 도입함으로써 연소 터빈이 작동되도록 할 수 있다. 이는 MCFC-연소 시스템이 불리해진 연료 공급원에 기초하여 전기를 발생시키도록 할 수 있다. 도 18B에서, 약 35부피%의 CO<sub>2</sub>를 함유하는 연료를 애노드 입구용 연료로서 사용한 시물레이션의 경우, 불활성 물질이 희석제로서 작용하는 것으로 보이는 시물레이션을 나타내었다. 시물레이션은 불활성 물질의 희석제 효과가 MCFC의 효율을 감소시키는 것으로 밝혀졌음에도 불구하고, MCFC가 저 BTU 연료를 이용하여 작동될 수 있음을 보여주는 것으로 밝혀졌다.

[0392] 본 발명을 구체적인 실시양태의 면에서 기재하였으나, 이들로 한정되지는 않는다. 특정 조건하에서의 작동에 적합한 변화/변형은 당 업자에게 명백하다. 따라서, 하기 특허청구범위는 본원의 진정한 원리/영역에 속하는 이러한 변화/변형을 모두 포괄하는 것으로 해석되어야 한다.

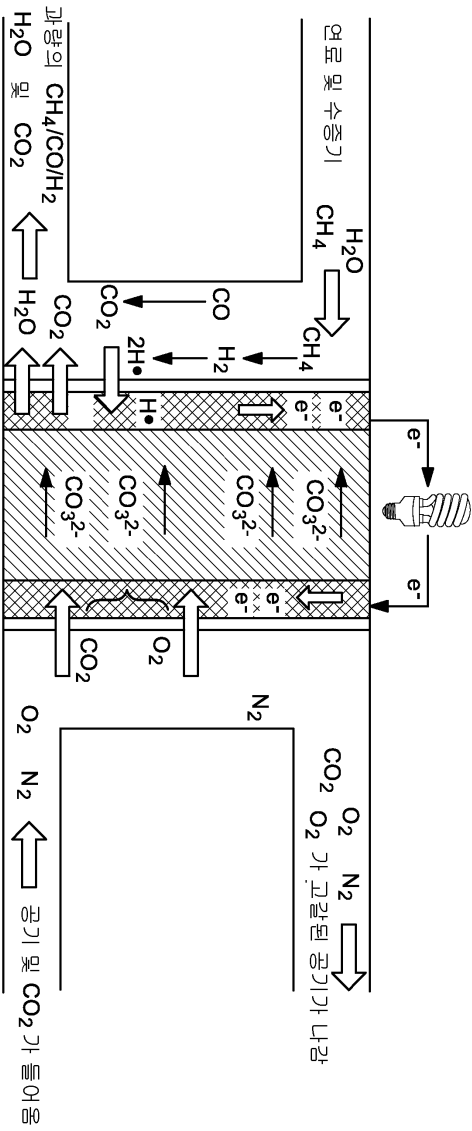


도면

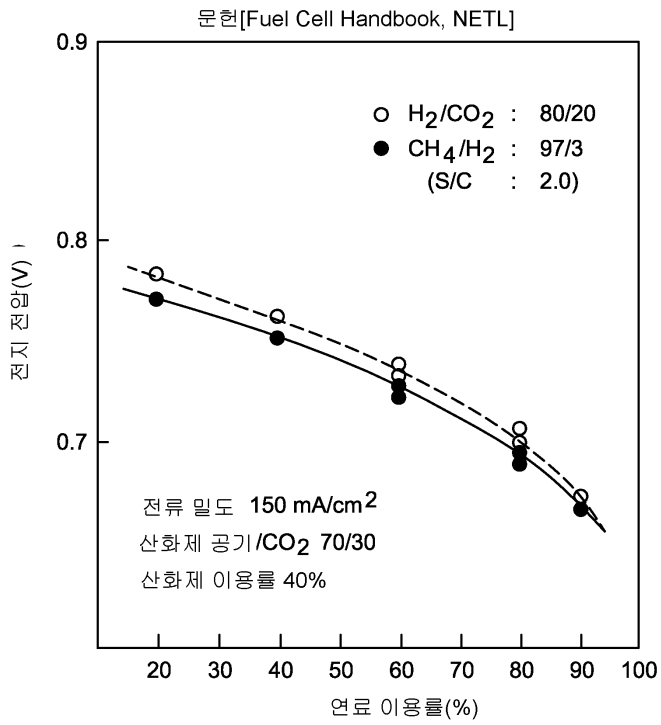
도면1



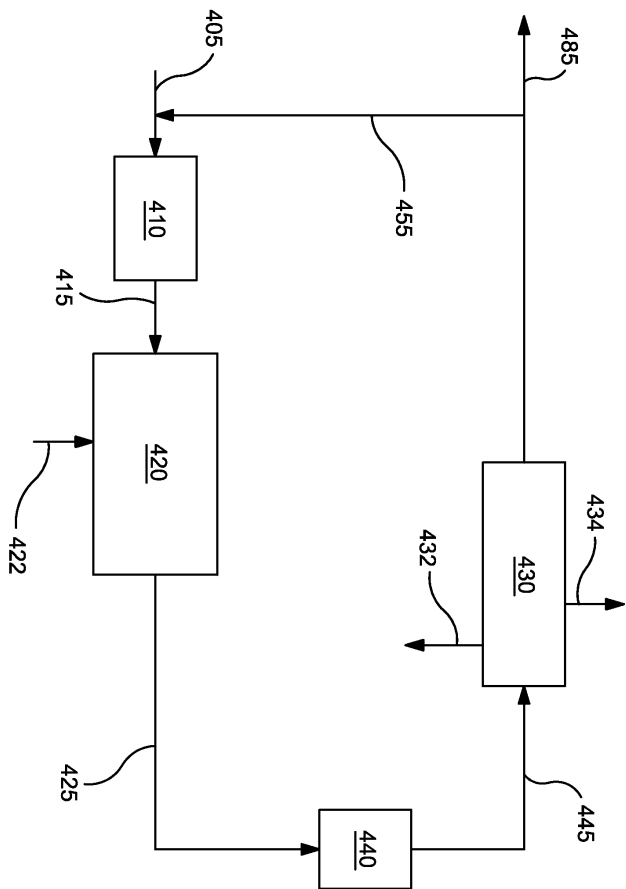
도면2



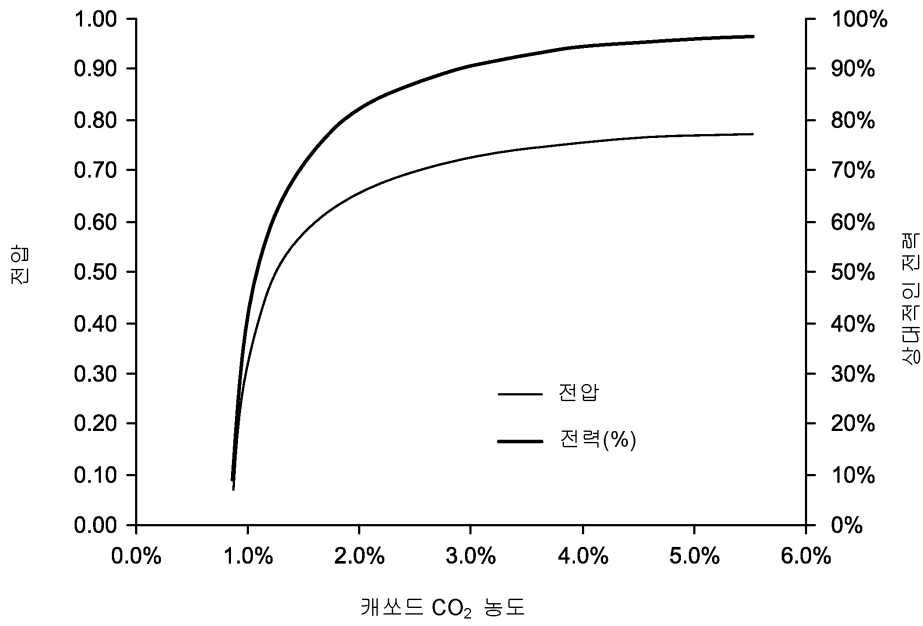
도면3



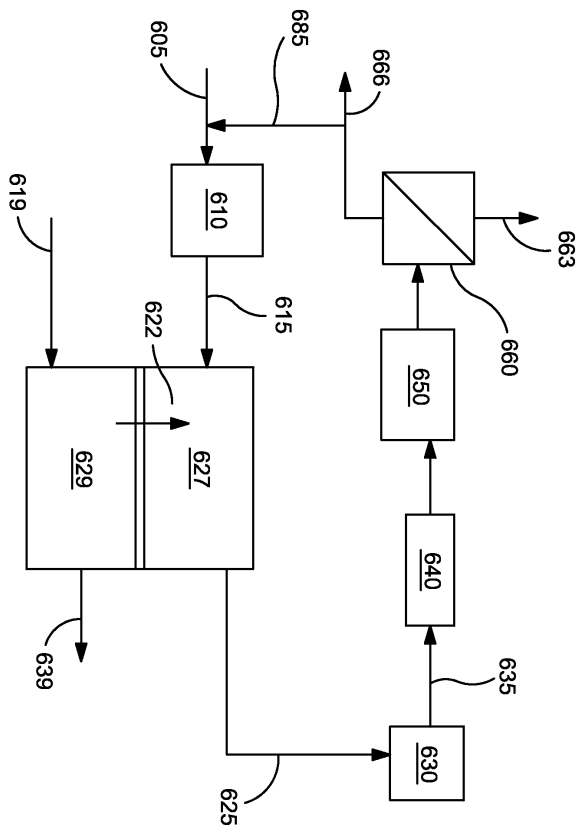
도면4



도면5

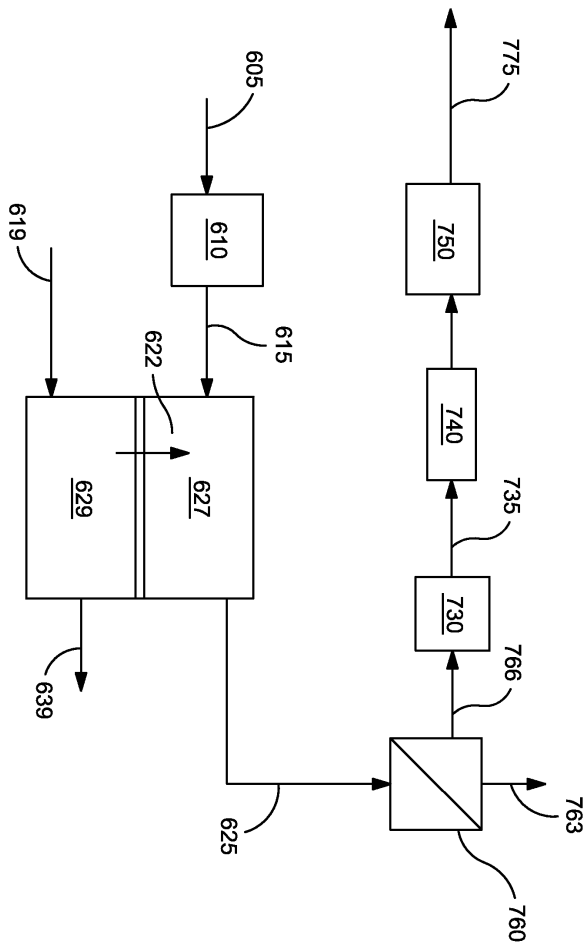


도면6



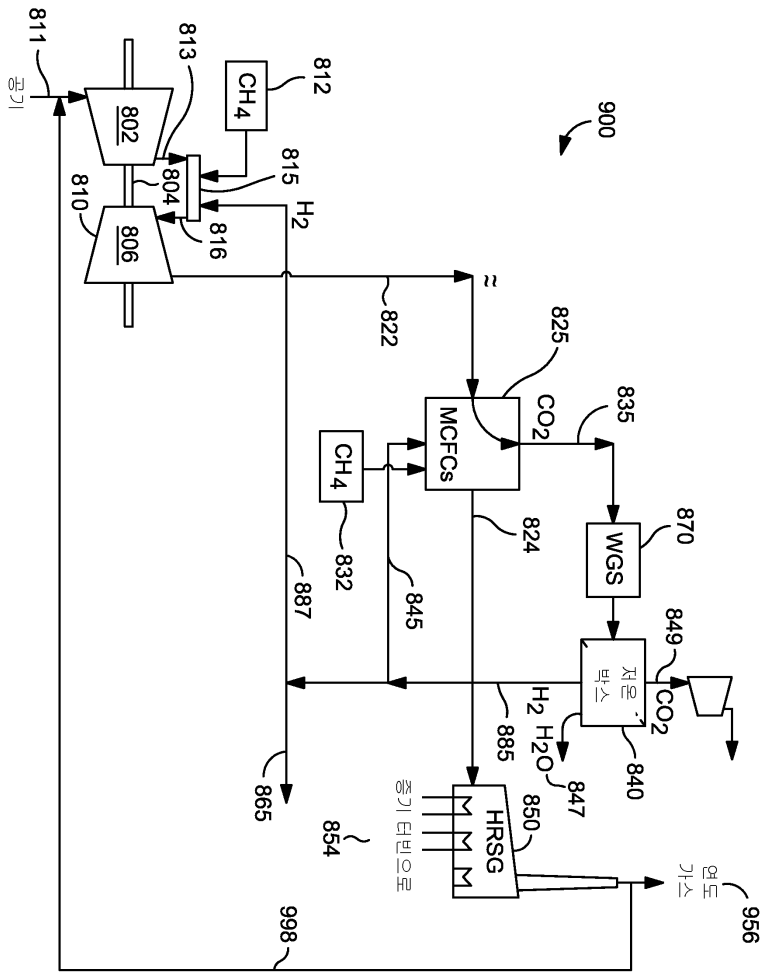


도면7





도면9











도면13a

경우	기본 경우				권선 1: 애노드 채순환											
	0	1a	1b	1a'	2a	2a	2a	2a	2b	2b	...	2b	2b			
연료 이용률(%)	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%			
중기 대 탄소 비	3.6	3.6	3.6	3.6	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0			
배기 가스 채순환(%)	0%	35%	35%	35%	35%	0%	0%	0%	35%	0%	0%	0%	0%			
수정 가스 전화 반응기	없음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음			
내부 개질(%)	99%	99%	99%	99%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%			
MCFCCO <sub>2</sub> 캐포드 입구 농도(%)	4.80%	7.36%	6.87%	5.31%	6.11%	4.05%	4.05%	6.13%	1.5%	1.5%	4.07%	4.07%	4.07%			
MCFCCO <sub>2</sub> 캐포드 배기 가스 농도(%)	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%			
MCFCCO <sub>2</sub> 캐포드 배기 가스 농도(%)	10.0%	4.2%	4.5%	4.8%	5.9%	10.9%	10.9%	5.8%	10.9%	10.9%	10.9%	10.9%	10.9%			
MCFCC 전압(V)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.65	0.70	0.70	0.70	0.65	0.65			
MCFCC 전류 밀도 (A/m <sup>2</sup> )	1015	1007	1000	915	961	847	1089	999	878	878	1120	1120	1120			
MCFCC 면적 (k-m <sup>2</sup> )	184	215	197	236	174	169	131	168	164	129	164	129	129			
CO <sub>2</sub> 포획(%)	72.5%	83.2%	82.6%	82.6%	71.0%	60.7%	60.5%	81.2%	70.2%	70.1%	70.2%	70.1%	70.1%			
CO <sub>2</sub> 포획(M톤/년)	1.62	1.88	1.84	1.88	1.64	1.41	1.40	1.67	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43			
연적/포획된 열 (k-m <sup>2</sup> * 년/M톤)	113.9	114.2	107.6	126.0	106.0	119.9	93.6	101.1	114.9	90.1	114.9	90.1	90.1			
CO <sub>2</sub> 배출가스(캐포드 배기 가스로부터, lbs CO <sub>2</sub> /MMWh)	212.0	145.7	147.5	134.8	141.9	217.9	218.8	143.4	217.5	218.7	217.5	218.7	218.7			
애노드 공급물 중 비 H <sub>2</sub> 개질가능한 C(물)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.81	0.80	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30			
애노드 공급물 중 N <sub>2</sub> (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			
애노드 중기 페널티(MW)	10.4	12.0	11.0	12.0	4.0	3.4	3.4	3.9	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4			
H <sub>2</sub> 또는 CO인 터빈 연료 %(LHV 기준)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%			
총 손전력(MW)	679	611	609	688	630	654	652	624	651	648	651	648	648			
전기 효율(%)	57.6%	51.2%	52.1%	57.3%	58.6%	61.3%	61.1%	57.9%	60.8%	60.5%	60.8%	60.5%	60.5%			

1302

1304

1306

1308

1309

1310

1312

1314

1316

1318

1320

• • •

도면 13b

...권선 1: 애노드 재순환														EGR		
2c	2c	2c	2c	2d	2d	2d	2d	2e	2e	2e	2e	2e	2e	2g	2g	EGR
75%	75%	75%	75%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	30%	30%	50%
0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0	2.0
35%	35%	0%	0%	35%	35%	0%	0%	35%	35%	0%	0%	35%	35%	35%	35%	35%
있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음
0%	0%	0%	0%	20%	20%	20%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	20%	20%
6.13%	6.13%	4.07%	4.07%	6.13%	6.13%	4.07%	4.07%	6.13%	6.13%	4.07%	4.07%	6.53%	6.47%	6.47%	4.48%	4.48%
1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
5.8%	5.8%	10.9%	10.9%	5.8%	5.8%	10.9%	10.9%	5.8%	5.8%	10.9%	10.9%	4.8%	4.9%	4.9%	6.2%	6.2%
0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.65	0.70
1045	1329	919	1147	1093	1376	984	1218	1138	1414	1020	1246	1318	1603	938	938	938
161	126	157	126	154	122	147	118	148	119	141	115	140	114	179	179	179
81.1%	81.1%	70.2%	70.1%	81.3%	81.3%	70.1%	70.0%	80.9%	81.1%	69.8%	69.8%	82.6%	82.6%	80.7%	80.7%	80.7%
1.66	1.66	1.43	1.43	1.67	1.67	1.43	1.43	1.66	1.66	1.42	1.42	1.82	1.80	1.80	1.66	1.66
96.6	76.0	109.6	88.0	92.5	73.4	102.7	82.9	89.0	71.6	99.1	81.2	77.0	63.3	107.7	107.7	107.7
142.5	143.5	223.7	225.5	146.0	146.5	230.6	231.7	147.0	146.6	213.2	232.3	144.0	145.0	149.4	149.4	149.4
1.28	1.28	1.28	1.28	3.80	3.80	3.80	3.80	3.62	3.64	3.64	3.64	8.58	8.59	3.78	3.78	3.78
0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	3.9	3.4	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	4.2	3.9	3.9	3.9
0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
630	627	633	630	611	607	617	614	615	612	621	617	617	609	618	618	618
58.5%	58.2%	59.1%	58.8%	56.7%	56.4%	57.6%	57.3%	57.1%	56.8%	58.0%	57.6%	53.3%	53.1%	57.1%	57.1%	57.1%
1322	1324	1326	1328	1330	1332	1334	1336	1338	1340	1342	1344	1346	1348	1350	1350	1350



도면14a

경우	기본 경우				컨셉 2: 재순환					
	0	1a	1b	3a	3a	3a	3a	3a	3a	
연료 이용률(%)	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
증기 대 탄소 배	3.6	3.6	3.6	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
배기 가스 재순환(%)	0%	35%	35%	35%	35%	0%	0%	0%	0%	
수정 가스 전환 반응기	없음	없음	있음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	
내부 개질(%)	99%	99%	99%	99%	20%	20%	20%	20%	20%	
MCFC CO <sub>2</sub> 캐포드 일구 농도(%)	4.80%	7.36%	6.87%	5.87%	5.87%	3.92%	3.92%	3.92%	3.92%	
MCFC CO <sub>2</sub> 캐포드 배기 가스 농도(%)	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	
MCFC O <sub>2</sub> 캐포드 배기 가스 농도(%)	10.0%	4.2%	4.5%	6.1%	6.1%	11.0%	11.0%	11.0%	11.0%	
MCFC 전압(V)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.65	
MCFC 전류 밀도 (A/m <sup>2</sup> )	1015	1007	1000	889	1176	793	1029	1029	1029	
MCFC 면적 (k-m <sup>2</sup> )	184	215	197	179	135	171	132	132	132	
CO <sub>2</sub> 포획(%)	72.5%	83.2%	82.6%	80.9%	80.9%	70.3%	70.3%	70.3%	70.3%	
CO <sub>2</sub> 포획(Mt/년)	1.62	1.88	1.84	1.54	1.54	1.32	1.32	1.32	1.32	
연저/포획된 열 (k-m <sup>2</sup> *년/Mt)	113.9	114.2	107.6	116.3	87.9	129.5	99.7	99.7	99.7	
CO <sub>2</sub> 배출가스(캐포드 배기 가스로부터, lbs CO <sub>2</sub> /MMWh)	212.0	145.7	147.5	150.4	151.4	236.9	238.1	238.1	238.1	
애노드 공급물중 배 H <sub>2</sub> :개질가능환 C(물)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.81	0.80	0.80	0.80	
애노드 공급물중 N <sub>2</sub> (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
애노드 증기 페널티(MW)	10.4	12.0	11.0	5.0	5.0	4.2	4.2	4.2	4.2	
H <sub>2</sub> 또는 CO인 터빈 연료 %(LHV 기준)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
총 순 전력(MW)	679	611	609	599	596	603	601	601	601	
전기 효율(%)	57.6%	51.2%	52.1%	55.5%	55.2%	56.5%	56.2%	56.2%	56.2%	

1402

1404

1406

1408

1410

1412

1414

1416

도면14b

컨셉 2: CTG로의 재순환													EGR
3b	3b	3b	3b	3d	3d	3d	3d	3d	3d	3g			
75%	75%	75%	75%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	30%	50%		
2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0		
35%	35%	0%	0%	35%	35%	0%	0%	35%	35%	35%	35%		
있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음		
20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%		
5.72%	5.72%	3.83%	3.83%	5.12%	5.12%	3.50%	3.50%	4.53%	3.83%	3.83%	3.83%		
1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%		
6.2%	6.2%	11.1%	11.1%	6.6%	6.6%	11.2%	11.2%	6.5%	6.9%	6.9%	6.9%		
0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.70		
878	1161	784	1018	916	1164	846	1053	1050	800	800	800		
175	132	167	128	144	113	133	107	106	165	165	165		
80.7%	80.7%	69.0%	69.0%	80.0%	79.5%	68.5%	68.5%	80.2%	79.8%	79.8%	79.8%		
1.62	1.62	1.38	1.38	1.55	1.54	1.32	1.32	1.57	1.55	1.55	1.55		
108.0	81.7	121.0	93.2	93.1	73.5	100.8	80.8	67.8	106.3	106.3	106.3		
147.8	148.6	234.9	235.8	160.2	162.5	247.2	248.2	186.1	185.0	185.0	185.0		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
4.8	4.8	4.1	4.1	6.2	6.1	5.3	5.3	8.7	6.2	6.2	6.2		
6.6%	6.6%	5.5%	5.5%	16.4%	16.5%	13.9%	13.9%	32.1%	16.5%	16.5%	16.5%		
610	607	613	610	571	570	581	580	501	568	568	568		
57.7%	57.4%	58.3%	58.1%	55.4%	55.4%	56.5%	56.4%	47.2%	54.8%	54.8%	54.8%		
1418	1420	1422	1424	1426	1428	1430	1432	1434	1436	1436	1436		

도면 15a

경우	기본 경우				권선 4B: 고불활성 화합물 경우							
	0	1a	1b	4d	4d	4d	4d	4d	4d	4d	...	
연료 이용률(%)	75%	75%	75%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	
중기 대 탄소비	3.6	3.6	3.6	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
배기 가스 재순환(%)	0%	35%	35%	35%	35%	0%	0%	0%	0%	45%	45%	
수성 가스 전회 반응기	없음	없음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	
내부 개질(%)	99%	99%	99%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	
MCFC CO <sub>2</sub> 캐포드 일구 농도(%)	4.80%	7.36%	6.87%	5.56%	5.56%	3.75%	3.75%	3.76%	3.76%	6.50%	6.50%	
MCFC CO <sub>2</sub> 캐포드 배기 가스 농도(%)	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	
MCFC O <sub>2</sub> 캐포드 배기 가스 농도(%)	10.0%	4.2%	4.5%	6.3%	6.3%	6.3%	11.1%	11.1%	11.1%	3.8%	3.8%	
MCFC 전압(V)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.70	
MCFC 전류 밀도 (A/m <sup>2</sup> )	1015	1007	1000	1096	1364	990	1211	1080	1211	1080	1080	
MCFC 면적 (k-m <sup>2</sup> )	184	215	197	135	108	128	104	142	104	142	142	
CO <sub>2</sub> 포획(%)	72.5%	83.2%	82.6%	80.5%	80.4%	69.7%	69.2%	83.9%	69.2%	83.9%	83.9%	
CO <sub>2</sub> 포획(Mt/년)	1.62	1.88	1.84	1.60	1.60	1.38	1.37	1.66	1.37	1.66	1.66	
연적/포획된 탄소 (k-m <sup>2</sup> 년/Mt)	113.9	114.2	107.6	84.1	67.7	92.8	76.1	85.3	76.1	85.3	85.3	
CO <sub>2</sub> 배출가스(캐포드 배기 가스로부터, lbs CO <sub>2</sub> /MMWhr)	212.0	145.7	147.6	154.7	156.3	229.6	233.3	128.6	233.3	128.6	128.6	
애노드 공급물 중 비 H <sub>2</sub> 개질 가능한 C(물)	0.00	0.00	0.00	1.18	1.19	1.20	1.19	1.18	1.19	1.18	1.18	
애노드 공급물 중 N <sub>2</sub> (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
애노드 중기 페널티(MW)	10.4	12.0	11.0	5.3	5.3	4.6	4.6	5.5	4.6	5.5	5.5	
H <sub>2</sub> 또는 CO인 터빈 연료 %(LHV 기준)	0.0%	0.0%	0.0%	9.3%	9.3%	7.9%	7.8%	9.8%	7.8%	9.8%	9.8%	
총 손 전력(MW)	679	611	609	587	584	618	616	580	616	580	580	
전기 효율(%)	57.6%	51.2%	52.1%	55.5%	55.3%	58.6%	58.4%	55.1%	58.4%	55.1%	55.1%	

1502

1504

1506

1508

1510

1512

1514

1516

1518

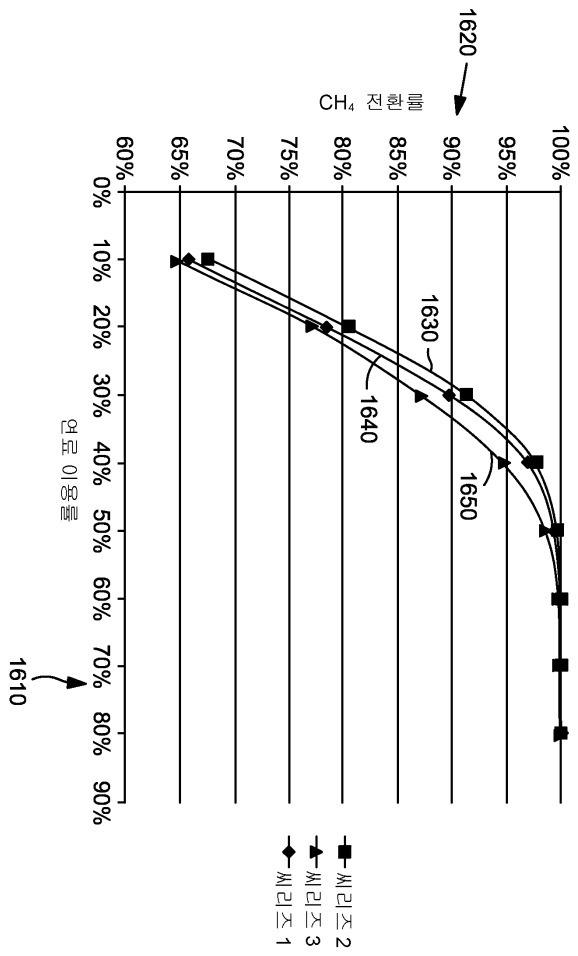
• • •

도면 15b

... 권선 4B: 고분화선 화합물 경유

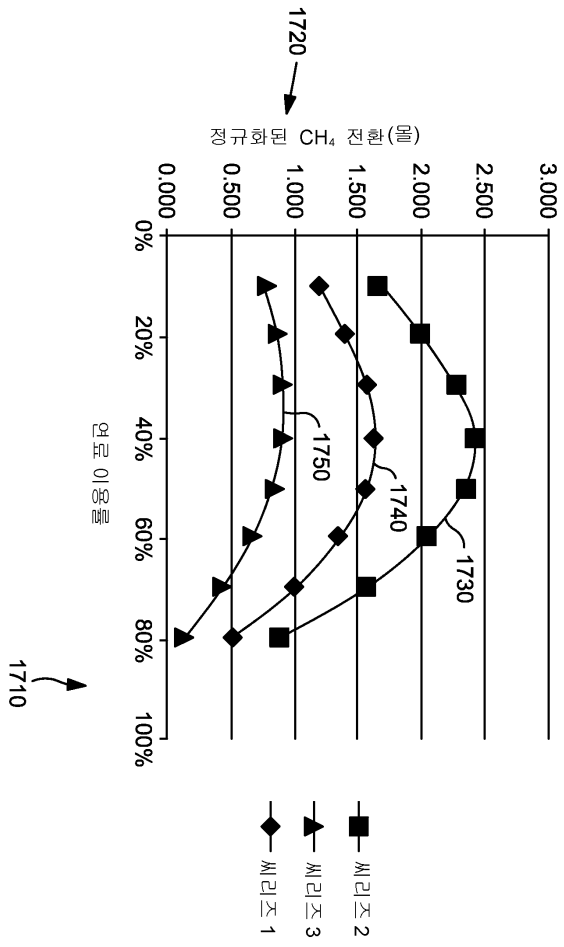
		EGR									
4e	4e	4e	4e	4e	4f	4f	4f	4f	4f	4f	
50%	50%	50%	50%	50%	33%	33%	33%	33%	33%	50%	
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	
35%	35%	0%	0%	45%	35%	35%	0%	0%	0%	35%	
있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	있음	
0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
5.57%	5.57%	3.76%	3.76%	6.51%	6.46%	6.47%	4.99%	4.99%	4.13%		
1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	
6.3%	6.3%	11.1%	11.1%	3.8%	4.8%	4.8%	9.5%	9.5%	6.6%		
0.70	0.65	0.70	0.65	0.70	0.70	0.65	0.70	0.65	0.65	0.70	
1104	1372	999	1214	1094	1362	1227	1509	950			
134	108	127	105	141	133	108	160	130	156		
80.8%	80.8%	69.3%	69.3%	83.9%	82.3%	82.2%	73.1%	73.0%	79.9%		
1.60	1.60	1.37	1.37	1.65	1.74	1.75	1.63	1.63	1.60		
84.1	67.7	93.1	76.6	85.0	76.0	61.6	97.6	79.7	97.2		
152.8	153.8	232.0	231.9	128.8	148.3	150.1	217.5	217.3	158.1		
1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.79	1.81	1.80	1.81	1.18		
0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
2.7	2.7	2.3	2.3	2.8	4.3	4.3	4.7	4.7	5.3		
9.3%	9.3%	7.7%	7.8%	9.7%	24.0%	24.2%	25.6%	25.7%	9.2%		
589	586	620	618	584	602	598	654	652	595		
55.6%	55.3%	58.7%	58.5%	55.2%	53.1%	56.2%	54.9%	54.6%	55.9%		
1520	1522	1524	1526	1528	1530	1532	1534	1536	1538		

도면16





도면17



도면18a

	터빈 공급물 가스중 20% CO <sub>2</sub>				터빈 공급물 가스중 20% N <sub>2</sub>			
	버나로의 재순환	애노드로의 재순환	CTG로의 재순환	홀더로의 재순환	버나로의 재순환	애노드로의 재순환	CTG로의 재순환	홀더로의 재순환
경우	0	2d	3d	4d	0	2d	3d	4d
연료 이용률(%)	75%	50%	50%	50%	75%	50%	50%	50%
중기 대 탄소 배	3.6	2.0	2.0	2.0	3.6	2.0	2.0	2.0
배기 가스 재순환(%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
수성 가스 전화 반응기	없음	있음	있음	있음	없음	있음	있음	있음
내부 개질(%)	99%	20%	20%	20%	99%	20%	20%	20%
MCFC CO <sub>2</sub> 캐포드 임구 농도(%)	6.14%	5.09%	4.16%	4.57%	4.85%	4.08%	3.51%	3.77%
MCFC CO <sub>2</sub> 캐포드 배기 가스 농도(%)	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
MCFC O <sub>2</sub> 캐포드 배기 가스 농도(%)	9.0%	10.3%	10.8%	10.6%	9.7%	10.6%	11.0%	10.8%
MCFC 전압(V)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
MCFC 전류 밀도 (A/m <sup>2</sup> )	1125	1118	935	1119	1037	996	861	1009
MCFC 면적 (k-m <sup>2</sup> )	235	180	160	153	184	145	132	126
CO <sub>2</sub> 포획(%)	79.4%	77.0%	74.4%	75.6%	73.1%	69.7%	68.7%	69.4%
CO <sub>2</sub> 포획(Mt/년)	2.28	1.99	1.75	1.86	1.64	1.42	1.33	1.37
면적/포획된 톤 (k-m <sup>2</sup> *년/Mt)	103.1	90.5	91.5	82.6	111.9	101.5	99.3	91.6
CO <sub>2</sub> 배출기스(캐포드 배기 가스로부터, lbs CO <sub>2</sub> /MMWh)	189.2	213.3	238.1	221.1	206.3	231.4	244.4	230.2
애노드 공급물중 배 H <sub>2</sub> :캐질가능한 C(물)	0.00	3.73	0.00	1.17	0.00	3.74	0.00	1.17
애노드 공급물중 N <sub>2</sub> (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
애노드 중기 페널티(MW)	11.7	3.8	5.6	5.0	8.5	2.7	4.2	3.7
H <sub>2</sub> 또는 CO인 터빈 연료 %(LHV 기준)	0.0%	0.0%	18.2%	10.5%	0.0%	0.0%	13.8%	7.8%
총 손 전력(MW)	734	647	596	639	688	621	584	622
전기 효율(%)	57.1%	57.3%	55.9%	58.0%	57.9%	57.9%	56.8%	58.9%

도면18b

경우	터빈 공급물 35% CO <sub>2</sub>		애노드 공급물 가스중 20% CO <sub>2</sub>				터빈 및 애노드 공급물 가스중 35% CO <sub>2</sub>	
	CTG로의 재순환	플타로의 재순환	버너로의 재순환	애노드로의 재순환	CTG로의 재순환	플타로의 재순환	CTG로의 재순환	플타로의 재순환
연료 이용률(%)	3d 50%	4d 50%	0 75%	2d 50%	3d 50%	4d 50%	3d 50%	4d 50%
증기 대 탄소 비	2.0	2.0	3.6	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
배기 가스 재순환(%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
수정 가스 전환 반응기	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
내부 개질(%)	20%	20%	99%	20%	20%	20%	20%	20%
MCFC CO <sub>2</sub> 캐포드 일구 농도(%)	4.87%	5.45%	5.16%	4.07%	3.50%	3.76%	4.86%	5.45%
MCFC O <sub>2</sub> 캐포드 배기 가스 농도(%)	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
MCFC O <sub>2</sub> 캐포드 배기 가스 농도(%)	10.4%	10.0%	9.8%	10.9%	11.3%	11.1%	10.4%	10.0%
MCFC 전압(V)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
MCFC 전류 밀도 (A/m <sup>2</sup> )	1030	1233	952	929	744	884	889	1094
MCFC 면적 (k-m <sup>2</sup> )	183	179	218	156	150	143	211	201
CO <sub>2</sub> 포획(%)	78.4%	80.2%	76.3%	72.4%	71.5%	71.8%	81.3%	82.3%
CO <sub>2</sub> 포획(Mt/년)	2.19	2.38	1.96	1.59	1.56	1.58	2.60	2.75
연적/포획된 톤 (k-m <sup>2</sup> *년/Mt)	83.6	75.2	111.5	98.0	96.5	90.3	81.2	73.1
CO <sub>2</sub> 배출가스(캐포드 배기 가스로부터, lbs CO <sub>2</sub> /MMWh)	229.1	215.5	210.7	230.3	254.1	244.9	234.4	221.4
애노드 공급물중 비 H <sub>2</sub> 개질기 능력 (C/mol)	0.00	1.16	0.00	3.84	0.00	1.18	0.00	1.16
애노드 공급물중 N <sub>2</sub> (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
애노드 증기 폐열(MW)	5.7	5.2	17.7	5.2	8.0	7.0	8.8	8.0
H <sub>2</sub> 또는 CO인 터빈 연료 %(LHV 기준)	22.5%	13.4%	0.0%	0.0%	13.6%	7.8%	22.5%	13.3%
총 순 전력(MW)	616	642	679	613	574	591	606	633
전기 효율(%)	55.7%	55.6%	56.2%	57.2%	55.9%	56.1%	54.9%	54.8%